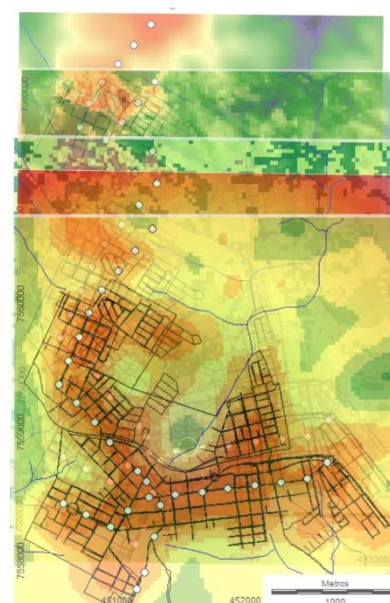
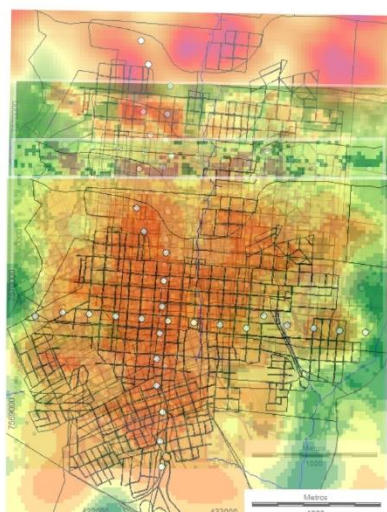
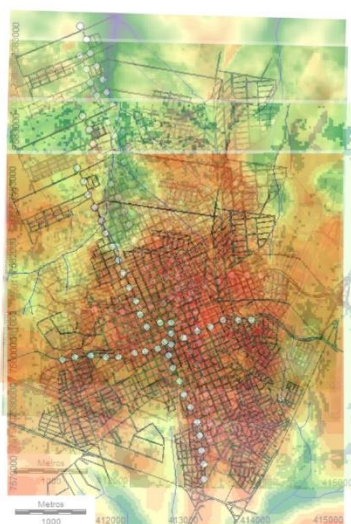




UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



**O clima urbano das cidades de pequeno porte do oeste paulista:
análise do perfil térmico de
Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil**

Danielle Cardozo Frasca Teixeira



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

DANIELLE CARDOZO FRASCA TEIXEIRA

**O clima urbano de cidades de pequeno porte do oeste paulista:
análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo
Anastácio e Álvares Machado, Brasil**

Presidente Prudente
outubro de 2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**O clima urbano de cidades de pequeno porte do oeste paulista:
análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo
Anastácio e Álvares Machado, Brasil**

DANIELLE CARDOZO FRASCA TEIXEIRA

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Campus de Presidente Prudente (SP), como requisito para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Margarete Amorim

Pesquisa financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, Processo 2015/ 26224-8.

Presidente Prudente,
outubro de 2019

T266c Teixeira, Danielle Cardozo Frasca

 O clima urbano das cidades de pequeno porte do oeste paulista :
 análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e
 Álvares Machado, Brasil / Danielle Cardozo Frasca Teixeira. --
 Presidente Prudente, 2019

 238 f. : il., tabs., fotos, mapas

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
 Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

 Orientadora: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

 1. Cidades pequenas. 2. Clima urbano. 3. Ilhas de calor. 4. Perfil
 térmico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

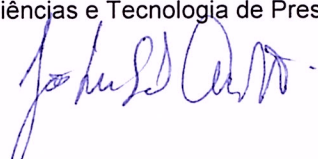
TÍTULO DA TESE: O CLIMA URBANO DE CIDADES DE PEQUENO PORTE DO OESTE PAULISTA:
análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado

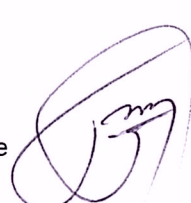
AUTORA: DANIELLE CARDOZO FRASCA TEIXEIRA

ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em GEOGRAFIA, área:
Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM 
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Prof. Dr. JOÃO LIMA SANTANNA NETO 
FCT / UNESP/Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI 
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Prof. Dr. GISELENE FIGUEIREDO ORTIZ PORANGABA 
UFMS/Câmpus de Três Lagoas

Prof. Dr. VINCENT DUBREUIL 
UNIVERSIDADE DE RENNES 2

Presidente Prudente, 03 de outubro de 2019

*Ao meu esposo Fábio e à nossa
Maria Júlia, com amor.*

AGRADECIMENTOS

Reconhecendo que o percurso é solitário, mas que a elaboração de uma tese depende (muito) de outras pessoas, dedico algumas palavras para agradecer àqueles que contribuíram diretamente e indiretamente para o alcance desse projeto de realização pessoal e profissional.

Agradeço a Deus, por acreditar que eu *escolho* os caminhos, mas Ele conduz os meus passos (Provérbios 16, 9).

Ao meu esposo Fábio, agradeço pelo suporte no sentido amplo que essa palavra assume. Por estar comigo nessa jornada de conciliar *sonhos*: o de gestar, dar à luz, educar a nossa filha e, simultaneamente, elaborar essa tese. Obrigada por dividir seus dias comigo, especialmente nos trabalhos de campo instalando estações e fazendo os transectos. Agradeço por compreender a minha presença-ausente. Não chegaria até aqui sem a sua parceria. Amo-te!

À minha filha, Maria Júlia {Maju}, um sonho de menina que chegou no começo do doutorado e que nos seus 3 anos de vida enxerga muito além do que os olhos alcançam. Filha, obrigada por me ensinar a ser mãe, pois foi assim que eu conheci o amor genuíno e compreendi que a vida não se ajusta a uma reta. Mamãe te ama além de todo o (meu) entendimento. Você e seu pai são o meu lar.

Agradeço à Prof^a. Dra. Margarete Amorim, pela parceria de tantos anos e pela orientação brilhante que excede os “limites” de uma tese e da climatologia urbana. Obrigada pela sua leitura cuidadosa, pelas conversas motivadoras na sua sala, pelo apoio quando eu precisei ir além do que eu já conhecia (me refiro à modelagem) e por acolher o meu cansaço. A sua excelência profissional vem da pessoa que você é *a priori*.

Agradeço à minha rede de apoio: mãe Luciene, pai Angelo e sogra dona Cida. Porque quando nós precisamos estiveram com a Maria Júlia para que fosse possível a dedicação na pesquisa, prestar concurso, etc.

Dedico um especial agradecimento aos meus pais. Ao meu pai, por me ensinar que o impossível acontece. À minha mãe, por todo acolhimento quando Maju nasceu. Por toda preocupação expressa com esse conciliar de “lugares”: o de mãe, o de esposa e o de doutoranda. Durante todo esse tempo minha mãe me disse que “tudo dá certo no final”. Amo vocês!

Aos meus irmãos Vitor Frasca e Lais Benedetto Frasca, por estarem perto, porque estão no coração.

Aos funcionários e profissionais da educação da Escola Municipal Benedita de Pádua Martins, pelo trabalho de qualidade dedicado à minha filha que é para além do cuidar. Sem dúvida me transmitiram segurança para concentrar-me na tese.

À Prof^a Dra. Gislene Figueiredo Ortiz-Porangaba, pela amizade de todos esses anos que alcança aspectos multivariados de nossas vidas como a maternagem, a geografia e o clima urbano.

Agradeço pelas suas contribuições no exame de qualificação. Saiba que a sua participação na banca é muito simbólica.

Ao amigo Washington Paulo Gomes, pela valiosa ajuda com a cartografia dos sítios e com a modelagem. Mesmo de longe, sempre se mostrou solícito e presente. Muito obrigada!!

À Larissa Piffer Dorigon, minha companheira de ingresso no doutorado. Amizade que vou levar para a vida. Agradeço pela parceria na análise rítmica, por responder as minhas dúvidas mais banais sobre qualquer coisa, pela ajuda fundamental com os transectos, pelo apoio emocional e ultimamente na minha meteórica participação como editora da Revista Formação. Valeu, Lari!

À Janaina Lopes Moreira, amiga que o clima urbano me deu. Agradeço pela ajuda com a interpolação. Sem dúvida o caminho foi menos solitário e sempre aprendi algo na sua presença, seja do clima ou da vida. Gratidão, Jana!

À Renata dos Santos Cardoso, pelos textos compartilhados e pelas conversas que também me ensinam algo a mais sobre clima urbano.

À Mariana Cunha Souza, pela amizade de anos e por compartilhar o climograma de Presidente Prudente. Sempre muito bom estarmos juntas, Mari.

À Liriane Barbosa, pela ajuda com transecto e na Revista Formação.

Ao Aristóteles Teobaldo Neto, meu amigo do Gaia. Sempre disposto a contribuir.

À Nubia Beray Armond pelo importante ajuda com o *abstract* daquele projeto FAPESP que hoje é uma tese. Pela partilha dos seus conhecimentos, textos e dicas no concurso, obrigada!

Ao Paulo Cesar Zangalli (Juninho), pela palavra amiga e todo apoio prestado na tese e nos concursos.

Ao Lindberg Nascimento Júnior, por me ensinar sobre amizade, Geografia e Climatologia.

À Camila Riboli Rampazzo pelos felizes encontros nos corredores da Pós.

À Karime Pechutti Fante por tudo o que dividimos na etapa final desse doutorado.

Ao querido amigo Marcos Campos, com quem dividi muitas coisas no doutorado. Foi a pessoa que não soltou a minha mão (“ninguém solta a mão de ninguém”). Daqueles amigos que ficam para sempre.

Ao Guilherme Claudino, com quem dividi preocupações sobre o presente e o futuro.

Ao amigo Gustavo Leandro, pelas longas conversas, por me indicar revistas para publicar e por estar junto nesse doutorado.

Ao Gustavo Henrique Pereira da Silva, pela companhia no SBCG em Juiz de Fora.

Ao Tiago Milani e a todos os colegas do Gaia pelas boas trocas de experiências.

Ao Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli pelas contribuições no exame de qualificação.

Ao Prof. Dr. Edilson Ferreira Flores pela fundamental ajuda com a regressão linear, *Anova* e testes de significância.

À querida Eliane Batista Silva, minha amiga-irmã por tudo o que vivemos para além da Geografia.

À querida amiga Claudia Ogata, que me incentivou a ingressar na Pós-Graduação.

Agradeço ao Baltazar, Carla, Layla e Maya, pelo convívio nos últimos anos.

Às famílias que abriram as suas casas, emprestaram seus quintais e cuidaram dos equipamentos:

- Em Venceslau: à Vilma e Rogério (P1); Edna (P2); Luciana Braguiroli (minha amiga da graduação que cuidou do sensor 3); Sr. Mauro e o seu funcionário Wilton (rural).
- Em Santo Anastácio: Vanda e Toninho (rural); Dona Hilda e Sr. Manoel (que sempre nos receberam com carinho, bate-papo e doces caseiros, P2); Michele, Adriano e a pequena Livia (P3); Eleandra, os gêmeos e o cachorrinho Tintin (P4).
- Em Álvares Machado: à Letícia e família (P1); Marcos Ribeiro e esposa (P2); Dona Antônia (P3); Marleudo e Anaclea (rural).

Às primas Thayane Cardozo e Thayná Cardozo pela especial ajuda na execução dos transectos.

À Aparecida Tamae pelo atendimento no escritório de pesquisa da Fapesp e atenciosa ajuda na elaboração das 4 prestações de contas.

À bibliotecária Micheli Oshima pela revisão da lista de referências e demais dúvidas esclarecidas.

À FCT UNESP, extensão da minha casa, agradeço pelo apoio institucional.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação.

Ao CNPq pela bolsa de estudos (PROCESSO 140607/2016-1).

À FAPESP, pela concessão de bolsa de doutorado e reserva técnica que foram elementares para a execução desta pesquisa (PROCESSO Nº 2015/26224-8).

“Mas é claro que o sol vai voltar amanhã. Mais uma vez, eu sei [...]”

Flávio Venturini e Renato Russo

RESUMO

A investigação da interferência da cidade na composição da atmosfera próxima à superfície remonta ao século XIX. Os estudos pioneiros do clima urbano apresentaram considerações sobre as alterações da cidade e da agricultura nos climas dos lugares. Esse quadro de interferências gerou grande comprometimento da qualidade do ambiente, refletindo nas condições de vida das populações, pois as alterações climáticas influenciam no conforto térmico, na saúde e no desempenho humano. Especialmente no ambiente tropical, o desconforto térmico demanda adaptação via climatização dos ambientes internos, influenciando no maior aporte energético, além de não ser acessível por parte da população. Em contrapartida, os espaços externos estão sujeitos aos efeitos das ilhas de calor, derivadas das condições meteorológicas e das características urbanas (OKE, 1987). O clima urbano é entendido como o clima de um determinado espaço e sua urbanização (MONTEIRO, 1976), não existindo uma escala rígida para o diagnóstico deste fenômeno. Nesse sentido, as cidades médias e pequenas também mostram importantes alterações das suas condições pretéritas à urbanização e exibem relativas facilidades para uma investigação climática qualitativa, pois seus espaços reduzidos permitem a melhor diferenciação dos seus ambientes intraurbanos e existem possibilidades de intervenção e planejamento urbano nos novos espaços em expansão. Esta pesquisa teve como objetivo investigar o clima urbano de cidades do ambiente tropical localizadas no Oeste paulista (Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado), com ênfase no campo térmico. Parte-se da hipótese de que apesar da proximidade entre as cidades e, considerando-se a circulação regional da atmosfera, elas respondem à atuação dos sistemas atmosféricos de maneira diferenciada, em virtude das peculiaridades climáticas que dependem dos seus atributos geoambientais (relevo, orientação do relevo, cobertura vegetal) e urbanos (uso e ocupação da terra, estrutura, formas e as dinâmicas urbanas). O embasamento teórico-metodológico desta pesquisa é a proposta Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976), com destaque para o subsistema termodinâmico que é percebido pelo homem através do conforto térmico. A caracterização geoambiental e urbana das cidades possibilitou a diferenciação dos ambientes intraurbanos previamente à aquisição dos dados primários por estações fixas e transecto móvel, que foram representados através das tabelas dinâmicas, isotermas e modelagem espacial. Os dados secundários, na forma das termografias de superfície e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), foram relacionados com a disponibilidade hídrica. Os resultados permitiram o diagnóstico de anomalias térmicas nas áreas intraurbanas tomando como referência os ambientes rurais próximos às áreas urbanas. A pesquisa diagnosticou o clima urbano específico das cidades, expresso pelas ilhas de calor de forte e muito forte magnitude confirmando a hipótese de concepção da tese.

Palavras-chave: Cidades pequenas. Clima urbano. Ilhas de calor. Perfil térmico.

ABSTRACT

The investigation of cities' interference in the composition of the near-surface atmosphere dates back to the nineteenth century. Pioneering studies on the urban climate presented considerations regarding changes in cities and agriculture in the climates of the places. This situation of interference compromised to a large degree the quality of the environment, reflecting on the living conditions of the populations, as climate change has an impact on human thermal comfort, health, and performance. Particularly in the tropical environment, thermal discomfort demands adaptation via climate control of indoor environments, influencing the greater energy supply, besides not being accessible by the population. In contrast, outdoor spaces are subject to the effects of heat islands, derived from weather conditions and urban characteristics (OKE, 1987). The urban climate is understood as the climate of a given space and its urbanization (MONTEIRO, 1976), and there is no rigid scale for the diagnosis of this phenomenon. In this sense, small and medium-sized cities also show important changes in their conditions prior to urbanization and present relative ease for a qualitative climate investigation, as their small spaces allow a better differentiation of their intraurban environments, and there are possibilities of intervention and urban planning in the new expanding spaces. This research aimed to investigate the urban climate of cities in the tropical environment located in the western region of the state of São Paulo (Presidente Venceslau, Santo Anastácio, and Álvares Machado), with an emphasis on the thermal field. It is hypothesized that despite the proximity between the cities and, considering the regional circulation of the atmosphere, they respond to the action of the atmospheric systems in a different way, due to the climatic peculiarities that depend on their geoenvironmental (relief, relief orientation, vegetation cover) and urban attributes (land use and occupation, structure, urban forms and dynamics). The theoretical-methodological basis of this research is the proposed Urban Climate System (MONTEIRO, 1976), in particular the thermodynamic subsystem, which is perceived by humans through thermal comfort. The geoenvironmental and urban characterization of the cities made it possible to differentiate intraurban environments prior to the acquisition of primary data by fixed stations and by the mobile transect, which were represented through pivot tables, isotherms, and spatial modeling. Secondary data, in the form of surface thermographies and normalized difference vegetation index (NDVI), were related to water availability. The results allowed the diagnosis of thermal anomalies in the intraurban areas, employing the rural environments near the urban areas as a reference. The research diagnosed the specific urban climate of cities, expressed by the heat islands of strong and very strong magnitude, confirming the conception hypothesis of the thesis.

Key-Words: Small cities. Urban climate. Heat islands. Thermal profile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização das cidades do universo de análise.....	28
Figura 2: Noção de hierarquia segundo Arthur Koestler.....	33
Figura 3. Temperatura radiante diária de solo exposto e rocha, concreto, vegetação, solo exposto úmido e objetos metálicos.....	42
Figura 4. Esquema de organização da modelagem multicriterial.....	50
Figura 5: Processo de formação da ilha de calor urbana	63
Figura 6: Mapa de uso e ocupação da terra, Presidente Venceslau (SP).....	75
Figura 7: Mapa de uso e ocupação da terra de Santo Anastácio (SP).	77
Figura 8: Mapa de uso e ocupação de Álvares Machado (SP)	79
Figura 9. Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o Oeste Paulista	82

LISTA DE PRANCHAS

Prancha 1: Cartografia do sítio urbano de Presidente Venceslau (SP): hipsometria, relevo sombreado, declividades e orientação das vertentes	67
Prancha 2: Cartografia do sítio urbano de Santo Anastácio (SP): hipsometria, relevo sombreado, declividades e orientação das vertentes	69
Prancha 3: Cartografia do sítio urbano de Álvares Machado (SP): hipsometria, relevo sombreado, declividades orientação das vertentes	71
Prancha 4: Percursos dos transectos nas cidades de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado (SP).....	93
Prancha 5: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações bem distribuídas nos 30 dias e com 5 ou 10 dias de estiagem antecedentes à obtenção da imagem, Presidente Venceslau (SP).....	99
Prancha 6: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações distribuídas nos 30 dias e concentradas nos 5 a 10 dias antecedentes à obtenção da imagem, Presidente Venceslau (SP)	101
Prancha 7: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as baixas precipitações distribuídas nos 30 dias antecedentes à obtenção da imagem, Presidente Venceslau (SP)	103
Prancha 8: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações nos 30 dias e com 5 ou 10 dias de estiagem antecedentes à obtenção da imagem, Santo Anastácio (SP).....	106
Prancha 9: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as baixas precipitações distribuídas nos 30 dias antecedentes à obtenção da imagem, Santo Anastácio (SP)	108
Prancha 10: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações nos 30 dias e com 5 ou 10 dias de estiagem antecedentes à obtenção da imagem, Álvares Machado (SP).....	111
Prancha 11: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as baixas precipitações distribuídas nos 30 dias antecedentes à obtenção da imagem, Álvares Machado (SP)	113
Prancha 12: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, março de 2017	124
Prancha 13: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, abril de 2017	125
Prancha 14: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, maio de 2017	126
Prancha 15: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, junho de 2017	127
Prancha 16: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, julho de 2017.....	128

Prancha 17: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, agosto de 2017	129
Prancha 18: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, setembro de 2017	130
Prancha 19: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, outubro de 2017	131
Prancha 20: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, novembro de 2017	132
Prancha 21: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, dezembro de 2017	133
Prancha 22: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de março de 2017 (início da observação em 20/03/17) nas cidades do universo de análise.....	139
Prancha 23: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de abril de 2017 nas cidades do universo de análise	140
Prancha 24: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de maio de 2017 nas cidades do universo de análise	141
Prancha 25: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de junho de 2017 nas cidades do universo de análise	142
Prancha 26: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de julho de 2017 nas cidades do universo de análise	143
Prancha 27: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de agosto de 2017 nas cidades do universo de análise	144
Prancha 28: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de setembro de 2017 nas cidades do universo de análise	145
Prancha 29: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de outubro de 2017 nas cidades do universo de análise	146
Prancha 30: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de novembro de 2017 nas cidades do universo de análise	147
Prancha 31: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de dezembro de 2017 nas cidades do universo de análise.....	148
Prancha 32: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 02/04/17	152
Prancha 33: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 02/04/17	153
Prancha 34: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 02/04/17	154
Prancha 35: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 23/04/17	156
Prancha 36: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 23/04/17	157
Prancha 37: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 23/04/17	158

Prancha 38: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 28/05/17	160
Prancha 39: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 28/05/17	161
Prancha 40: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 28/05/17	162
Prancha 41: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 11/06/17	164
Prancha 42: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 11/06/17	165
Prancha 43: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 11/06/17	166
Prancha 44: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 19/07/17	168
Prancha 45: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 19/07/17	169
Prancha 46: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 19/07/17	170
Prancha 47: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 03/09/17	172
Prancha 48: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 03/09/17	173
Prancha 49: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 03/09/17	174
Prancha 50: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 15/09/17	176
Prancha 51: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 15/09/17	177
Prancha 52: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 15/09/17	178
Prancha 53: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 29/11/17	180
Prancha 54: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 29/11/17	181
Prancha 55: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 29/11/17	182
Prancha 56: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 04/11/17	184
Prancha 57: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 04/11/17	185
Prancha 58: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 04/11/17	186

Prancha 59: Síntese da cartografia do sítio urbano de Presidente Venceslau (SP) com os mapas de entrada para a elaboração da modelagem espacial	192
Prancha 60: Síntese da cartografia do sítio urbano de Santo Anastácio (SP) com os mapas de entrada para a elaboração da modelagem espacial	193
Prancha 61: Síntese da cartografia do sítio urbano de Álvares Machado (SP) com os mapas de entrada para a elaboração da modelagem espacial	194
Prancha 62: Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada nos transectos (y) e as variáveis independentes (x), Presidente Venceslau (SP)	197
Prancha 63: Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada nos transectos (y) e as variáveis independentes (x), Santo Anastácio (SP).....	199
Prancha 64: Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada nos transectos (y) e as variáveis independentes (x), Álvares Machado (SP).....	202
Prancha 65: Resultados da Regressão linear múltipla e dos testes de significância, com destaque para os valores de r^2 ajustado, valor-p e f de significância.....	206
Prancha 66: Análise dos resíduos do modelo gerado para o dia 02/04/17	208
Prancha 67: Análise dos resíduos do modelo gerado para o dia 11/06/17	209
Prancha 68: Análise dos resíduos do modelo gerado para o dia 15/09/17	210
Prancha 69: Análise dos resíduos do modelo gerado para o dia 04/12/17	211
Prancha 70: Modelagem da intensidade da ilha de calor nas cidades do universo de análise, às 21 horas, 02/04/17	215
Prancha 71: Modelagem da intensidade da ilha de calor nas cidades do universo de análise, às 21 horas, 11/06/17	216
Prancha 72: Modelagem da intensidade da ilha de calor nas cidades do universo de análise, às 21 horas, 15/09/17	217
Prancha 73: Modelagem da intensidade da ilha de calor nas cidades do universo de análise, às 21 horas, 04/12/17	218
Prancha 74: Modelagem da intensidade da ilha de calor nas cidades do universo de análise, às 21 horas, média dos dias 02/04/17, 23/04/17, 11/06/17, 28/05/17, 11/06/17, 19/07/17, 03/09/17, 15/09/17, 29/11/17 e 04/12/17	219

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano.	34
Quadro 2. Especificações das bandas espectrais do satélite <i>Landsat</i> 8 com destaque para as bandas aplicadas ao NDVI e à termografia de superfície.....	43
Quadro 3: Albedo de algumas superfícies	60
Quadro 4: Características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre.....	61
Quadro 5: Quadro síntese das características dos pontos fixos instalados na malha urbana e rural circundante de Presidente Venceslau (SP)	87
Quadro 6: Quadro síntese das características dos pontos fixos instalados na malha urbana e rural circundante de Santo Anastácio (SP)	89
Quadro 7: Quadro síntese das características dos pontos fixos instalados na malha urbana e rural circundante de Álvares Machado (SP)	91
Quadro 8: Características geoambientais e urbanas dos pontos urbanos selecionados	116
Quadro 9: Intensidades da ilha de calor atmosférica, sistemas atmosféricos, velocidade e direção dos ventos durante as mensurações por transectos móveis às 21h.	188

LISTA DE SIGLAS

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos climáticos

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FE – Frente Estacionária

FPA – Frente polar atlântica

IAV – Índice de Área Foliar

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU – Ilha de Calor Urbana

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IT – Instabilidade Tropical

mPa – Massa polar atlântica

mTa – Massa tropical atlântica

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

REP – Repercussão de frente

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM – Missão topográfica Radar Shuttle

Tac – Massa tropical atlântica continentalizada

USGS – United States Geological Survey

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCOU – Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	32
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	37
3.1 Cartografia do sítio.....	37
3.2 Termografias de superfície	38
3.3 O NDVI.....	41
3.4 Registro de dados primários: rede meteorológica de superfície	43
3.5 Registro de dados primários: transecto móvel	45
3.6 Análise rítmica	47
3.7 Modelagem multicriterial da ilha de calor urbana	49
4 A CIDADE E O CLIMA URBANO	54
4.1 Ilha de calor urbana: conceito e gênese	58
4.2 Tipos de ilha de calor.....	62
5 CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES DO UNIVERSO DE ANÁLISE	64
5.1 Caracterização geoambiental: a cartografia dos sítios urbanos	64
5.1.1 Cartografia do sítio urbano de Presidente Venceslau	65
5.1.2 Cartografia do sítio urbano de Santo Anastácio	68
5.1.3 Cartografia do sítio urbano de Álvares Machado	70
5.2 Caracterização urbana: uso e ocupação da terra nas cidades do universo de análise	72
5.2.1 O uso e a ocupação da terra em Presidente Venceslau de acordo com a densidade construtiva e a distribuição da cobertura vegetal.....	73
5.2.2 O uso e a ocupação da terra em Santo Anastácio de acordo com a densidade construtiva e a distribuição da cobertura vegetal	76
5.2.3 O uso e a ocupação da terra em Álvares Machado de acordo com a densidade construtiva e a distribuição da cobertura vegetal.....	78
5.3 Caracterização climática das cidades na perspectiva regional	80
6 CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE REGISTRO DE DADOS: OS PONTOS FIXOS E OS PERCURSOS DOS TRANSECTOS MÓVEIS	84
6.1 O estabelecimento da rede meteorológica de superfície	84
6.1.1 Caracterização dos pontos fixos em Presidente Venceslau	85
6.1.2 Caracterização dos pontos fixos em Santo Anastácio	88
6.1.3 Caracterização dos pontos fixos em Álvares Machado	90

6.2 Definição dos percursos dos transectos móveis.....	92
6.2.1 O percurso do transecto móvel em Presidente Venceslau	92
6.2.2 O percurso do transecto móvel em Santo Anastácio	92
6.2.3 O percurso do transecto móvel em Álvares Machado	92
7 ANÁLISE RÍTMICA: OS TIPOS DE TEMPO ATUANTES DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO (MARÇO A DEZEMBRO DE 2017).....	94
8 AS ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE: INTENSIDADE E FORMA NOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO	96
8.1 As ilhas de calor de superfície em Presidente Venceslau: intensidade e forma nos períodos seco e chuvoso	97
8.2 As ilhas de calor de superfície em Santo Anastácio: intensidade e forma nos períodos seco e chuvoso	104
8.3 As ilhas de calor de superfície em Álvares Machado: intensidade e forma nos períodos seco e chuvoso	109
9 AS ILHAS DE CALOR ATMOSFÉRICAS	114
9.1 Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no período do monitoramento climático (entre março e dezembro de 2017)	115
9.2 Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas mediante os diferentes tipos de tempo e horários de interesse (0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h)...	134
9.3 Ilhas de calor atmosféricas: intensidade e magnitude diagnosticadas por transectos móveis	149
9.3.1 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 02 de abril de 2017	150
9.3.2 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 23 de abril de 2017	155
9.3.3 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 28 de maio de 2017.....	159
9.3.4 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 11 de junho de 2017.....	163
9.3.5 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 19 de julho de 2017	167
9.3.6 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 03 de setembro de 2017	171
9.3.7 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 15 de setembro de 2017	175

9.3.8 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 29 de novembro de 2017	179
9.3.9 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 04 de dezembro de 2017	183
9.3.10 Síntese dos resultados alcançados pelos transectos móveis em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado	187
9.4 Modelagem multicriterial da intensidade da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise.....	189
9.4.1 Os mapas de entrada na modelagem da ilha de calor atmosférica	189
9.4.1.1 Composição colorida	190
9.4.1.2 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).....	190
9.4.1.3 Classificação não-supervisionada: análise de <i>cluster</i>	190
9.4.1.4 Relevância	191
9.4.1.5 Distância geométrica do centro	191
9.4.2 A escolha das variáveis independentes explicativas da temperatura do ar.....	195
9.4.2.1 Correlações estatísticas parciais obtidas para a representação da ilha de calor de Presidente Venceslau.....	195
9.4.2.2 Correlações estatísticas parciais obtidas para a representação da ilha de calor de Santo Anastácio	198
9.4.2.3 Correlações estatísticas parciais obtidas para a representação da ilha de calor de Álvares Machado.....	200
9.4.3 Os testes de significância dos modelos e análise dos resíduos.....	203
9.4.4 Os modelos da intensidade da ilha de calor atmosférica: resultados.....	212
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	220
REFERÊNCIAS	225

As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade das autoras e não necessariamente refletem a visão da FAPESP”.

Apresentação

O tema norteador desta tese é o clima urbano expresso através das ilhas de calor urbanas (ICUs). Conforme a literatura nos apresenta, o clima interfere de forma irrestrita no cotidiano das pessoas e por ser tão abrangente e facilmente percebido pelas populações justifica-se a relevância desses estudos, especialmente quando se considera o recorte territorial inserido no ambiente tropical continental, que naturalmente produz desconforto térmico aos cidadãos.

A concepção desta tese partiu da hipótese de que, sob influência dos mesmos sistemas atmosféricos, cidades próximas e de pequeno porte apresentam respostas térmicas particulares em razão de suas características geoambientais e urbanas que lhes conferem um clima específico.

A hipótese foi confirmada por meio de um estudo empírico e simultâneo entre cidades do Oeste do Estado de São Paulo. A escolha de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado atendeu ao critério da exequibilidade da pesquisa e à intenção da autora de contribuir para estudos de caso das cidades de pequeno porte localizadas nessa região do Estado, no contexto do Grupo de Pesquisa Interações na superfície terrestre, água e atmosfera - GAIA, que vem se destacando pelos sucessivos estudos de climatologia urbana realizados nos últimos anos.

Para atingir os objetivos propostos, foi necessário conhecer as características dos sítios urbanos e posteriormente “adentrar as cidades para tomar-lhe a temperatura” (MONTEIRO, 1990), realizando-se trabalhos de campo periódicos para registros da temperatura do ar através de diferentes procedimentos cujos dados foram tratados por técnicas diversas e complementares.

A pretensão da pesquisa foi exibir o tratamento clássico dos dados climatológicos, mas também avançar em procedimentos inovadores, abordados de forma introdutória no momento da dissertação de mestrado (2015) com o recorte territorial de Rancharia (SP). Faço referência à modelagem da ilha de calor atmosférica que nesta tese alcançou refinamento técnico e teórico. Tal procedimento permitiu maior confiabilidade estatística em generalizar os dados, a partir da mensuração das influências geoambientais e urbanas na variação das intensidades térmicas.

Para além da discussão teórica, conceitual e da demonstração dos procedimentos, almeja-se com a presente pesquisa alcançar outros pesquisadores da climatologia geográfica e os cidadãos a partir do poder público das três cidades para que sejam tomadas medidas de compatibilização do uso da terra com as características do sítio, advertindo-se sobre a relação entre o adensamento urbano e as anomalias térmicas.

Dessa forma, o texto foi sistematizado em nove seções, a saber:

1. Introdução

Apresentando-se além das justificativas, a hipótese e os objetivos pretendidos.

2. Fundamentação teórica

A seção 2 aborda a opção pela proposta teórico-metodológica Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976) no escopo conceitual da escala local e na concepção do ritmo climático (MONTEIRO, 1971) para a construção dessa investigação.

3. Procedimentos metodológicos

Detalha nossas opções metodológicas para atingir os objetivos da tese.

4. A cidade e o clima urbano

Versa sobre as contribuições da literatura clássica para a climatologia urbana, especialmente dedicadas ao estudo da ICU. Destacaram-se os estudos amplamente difundidos, mas também se relacionaram aqueles dedicados às cidades de pequeno porte e que seguiram a base teórica e metodológica adotada nesta pesquisa.

5. Caracterização das cidades do universo de análise

A seção 5 apresenta a caracterização geoambiental e urbana na forma da cartografia do sítio e da caracterização climática na perspectiva regional.

6. Caracterização dos pontos de registro de dados: os pontos fixos e os percursos dos transectos móveis

Descreve os locais selecionados de acordo com os critérios geográficos que envolvem as condicionantes geoambientais e urbanas. Este tópico dividido em caracterização da rede meteorológica e dos percursos dos transectos móveis.

7. Análise rítmica: os tipos de tempo atuantes durante o período de monitoramento climático (março a dezembro de 2017)

A seção 7 aborda as características atmosféricas no período de registro de dados da temperatura no interior das cidades e entorno rural. Descreve os principais sistemas atuantes nos meses, com ênfase para os volumes de precipitação.

8. As ilhas de calor de superfície: intensidade e forma nos períodos seco e chuvoso

Reúne os resultados das termografias de superfície tratadas a partir de técnicas de conversão dos níveis de cinza em temperatura radiante. Foram utilizadas imagens do satélite *Landsat* 8 e a análise considerou a distribuição da precipitação nos períodos anteriores à captura da imagem.

9. As ilhas de calor atmosféricas

Esta seção foi subdividida em quatro itens para demonstração das ICUs atmosféricas registradas e tratadas por diferentes técnicas. No caso dos dados registrados em pontos fixos buscou-se a síntese nas tabelas dinâmicas e o detalhamento nos painéis espaço-temporais divididos em horários de interesse. Tratando-se das mensurações por transectos, o tratamento dos dados seguiu a exibição na forma de interpolação espacial e por modelagem espacial da ICU por modelagem multicriterial. Por meio da modelagem foi possível mensurar as influências dos elementos geoambientais e urbanos mediante as condições atmosféricas. Comprovou-se a relação entre densidade construtiva e a intensidade da temperatura do ar.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O clima sempre influenciou na vida dos homens, sobretudo no que se refere à mobilidade ou à fixação das populações. Concernente à fixação, a agricultura e a domesticação de animais constituem o marco inicial do sedentarismo humano, um processo histórico iniciado há cerca de dez mil anos (PITTON, 1997). No seu processo de sedentarização o homem mostrou-se como potencial agente transformador do espaço geográfico, que explora a natureza, a energia e suas matérias-primas para promover avanços tecnológicos.

Embora difícil de precisar a gênese, sabe-se que a cidade é uma construção humana remota que, na significação da palavra, constitui a materialização da urbanização, uma aglomeração de pessoas, construções e atividades em um determinado local. Na modernidade, a cidade é resultado da substituição das atividades feudais pela mercantil baseada pelo modo capitalista de produção (MENDONÇA, 2003).

Na sociedade urbana e industrial, a cidade se tornou a opção de habitar do homem moderno passando a exercer papel determinante na organização dos espaços regionais e locais. As alterações das condições naturais pretéritas produziram condições ambientais peculiares ao desenvolvimento urbano, incluindo no rol de alterações aquelas referentes à atmosfera próxima à superfície.

A preocupação que a humanidade tem com o clima justifica-se pela influência que a atmosfera exerce no cotidiano, como no conforto térmico e nas variações pluviais que desorganizam o espaço e as atividades econômicas em geral. A cidade, espaço do coletivo, civilizou o homem, ao mesmo tempo em que passou a ser uma armadilha ambiental diante da fixação perene, exigindo adaptações. Nesse sentido, a cidade se tornou um paradoxo da modernidade:

Por mais paradoxal que possa parecer, a cidade que representa o domínio da tecnologia, a organização social e econômica e as formas mais profundas de domínio da natureza, significa também, o aumento da exposição das sociedades urbanas aos riscos naturais (e aos riscos tecnogênicos), tornando-as mais vulneráveis e menos resilientes. A concentração das edificações, as elevadas densidades demográficas populacionais, a saturação dos sistemas de circulação e a impossibilidade de responder rapidamente aos eventos e episódios extremos, notadamente os de origem meteorológicos, que agredem a integridade urbana, dificultam enormemente as possibilidades de gerenciamento do território por parte da sociedade (SANT'ANNA NETO, 2011, p. 47).

O tema é relevante pois a população mundial atual é de 6,1 bilhões de pessoas, sendo que a metade deste montante vive em zonas urbanas¹. Mesmo que distribuídas irregularmente pela superfície do planeta, as ocupações humanas são causadoras de profundas transformações na paisagem, notadamente na escala local.

No Brasil, a urbanização presenciada nas últimas décadas ocorreu de forma rápida e intensa. Segundo Mendonça (2015), entre a década de 1950-1960 a população urbana era de 50% e superou a rural no ano de 2010 quando passou a contabilizar 85%. Esse quadro evidenciou problemas socioambientais que interferem na qualidade de vida urbana e estas condições tendem a se intensificar visto que o “processo de urbanização brasileiro é muito vivo, altamente dinâmico, desigual e de elevada complexidade” (MENDONÇA, 2015, p. 156). Desse histórico resultou uma significativa rede urbana de pequenas, médias e grandes cidades, com destaque para as regiões metropolitanas concentradoras de milhões de habitantes. Contudo, atualmente é expressivo o número de arranjos populacionais² de pequeno e médio porte na urbanização brasileira:

Os 189 arranjos que possuem baixa concentração populacional correspondem a 64,3% do número total de arranjos. Eles reúnem 8 359 513 habitantes (no Brasil e no exterior) e 393 municípios brasileiros, o que corresponde a 7,8% e 41,2% dos totais registrados nos arranjos populacionais, respectivamente. Mais da metade dos municípios (240, equivalente a 61,1%) possui contiguidade da mancha urbanizada principal (IBGE, 2016, p. 34).

De acordo com Santos (1982b, p. 71, grifos do autor), as cidades locais (ao invés de pequena) são definidas como “[...] dimensão mínima a partir da qual as aglomerações deixam de servir às necessidades da *atividade* primária para servir às necessidades inadiáveis da *população*, com verdadeira especialização do espaço”, pressupondo uma vida de relações.

Para além da função de habitar, na cidade se dão relações complexas, mediadas pelo modo de produção capitalista, que orienta o desenvolvimento pela visão economicista, negligenciando de forma arbitrária as potencialidades e fragilidades ambientais e produzindo desigualdades sociais.

¹ Fonte das informações: <<http://ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/11122001onu.shtm>> Acesso em: 01 nov. 2016.

² Conceito de *arranjos populacionais* foi desenvolvido pela Coordenação de Geografia do IBGE no intuito de fornecer um modelo territorial do processo de urbanização brasileira que identifica as médias e as grandes concentrações urbanas através de parâmetros comuns cuja metodologia visa sistematizar as informações estatísticas e aumentar a noção de urbano.

Mais recentemente, foi introduzida a dimensão social na interpretação do clima urbano entendida como Geografia do Clima (SANT'ANNA NETO, 2012). A Geografia do Clima pressupõe que “a repercussão dos fenômenos atmosféricos na superfície terrestre se dá num território em grande parte, transformado e produzido pela sociedade de maneira desigual e apropriado segundo os interesses dos agentes sociais” (SANT'ANNA NETO, 2001, p. 58).

Partindo da concepção de que o espaço (e nele a cidade) caracteriza-se como conjunto indissociável de fixos e fluxos, de objetos e ações, que estabelecem entre si relação de solidariedade e contraditoriedade (SANTOS, 2002), é aceitável conceber que neste jogo de fluxos e ações presentes no espaço urbano encontram-se as componentes ambientais, a dinâmica atmosférica e o clima que atuam no sistema urbano, afetando e condicionando a vida na cidade. Admitindo que a produção do espaço ocorre por um processo diverso e controverso que segue a lógica de reprodução capitalista:

[...] portanto gerador de espaços segregados e fragmentados, longe de se produzir um sistema que respeite e se adapte às condições ambientais e naturais, é de se esperar que esta contradição resulte em impactos altamente sensíveis aos diversos grupos sociais que habitam a cidade, também de forma desigual, tornando as desigualdades sociais, ainda mais agudas. Admitindo que, em geral, o equilíbrio entre o sistema urbano e o sistema climático é precário, então quanto maior o desequilíbrio entre estes sistemas, maior a vulnerabilidade urbana, principalmente nas cidades da periferia do mundo desenvolvido, como é o caso das cidades tropicais brasileiras. Se a cidade é o habitat da modernidade, se os sistemas urbanos são altamente complexos e desiguais e, se a atmosfera urbana é o produto da interação entre as variáveis do clima e as intervenções socioeconômicas, então os diversos grupos sociais não experimentam nem se relacionam com o tempo e o clima urbano da mesma forma. Espaços desiguais potencializam os efeitos do clima, que se manifestam, também, de forma desigual. Nesta perspectiva, tem-se que admitir que o clima urbano possa ser interpretado como uma construção social (SANT'ANNA NETO, 2011, p. 47).

Dessa forma, as características do clima urbano são reflexos das desigualdades sociais, econômicas e ambientais que são manifestadas na cidade, pois se registram diferenças de temperatura quando se comparam os ambientes intraurbanos e o rural (AMORIM, 2012). Se observam também diferenças no intraurbano, derivadas, sobretudo, do padrão construtivo que está associado ao poder aquisitivo das populações, articulando-se com a questão do uso e ocupação da terra.

Por isso, o clima é uma das componentes que influencia e é influenciada pela urbanização, tanto em grandes cidades como também nas menores, como vem sido demonstrado pelos numerosos estudos de climatologia comprometidos com a questão

socioambiental e a qualidade de vida urbana. Em comparação, diferentes graus de urbanização produzem impactos diferentes nos climas dos lugares:

Assim, pelo maior comprometimento da qualidade de vida nos grandes centros urbanos, o estudo do clima dos mesmos tem atraído mais atenção de estudiosos que aquele de cidades de menor porte, talvez porque nas grandes concentrações os problemas ambientais pareçam ser mais graves que nas pequenas. Entretanto, o acelerado crescimento apresentado por algumas destas nas últimas décadas e a sua representação quantitativa e qualitativa, particularmente no território brasileiro, tem despertado cada vez mais o interesse para a investigação de seus ambientes. Isto se deve também ao fato de que intervenções apontadas pelo planejamento urbano em tais contextos apresentam menor problemática de execução que nas grandes cidades com urbanização praticamente consolidada (MENDONÇA, 2003, p. 95).

Apesar de suas dimensões reduzidas, estudos comprovam que nas cidades pequenas as alterações impostas pela urbanização e a ação antrópica promovem modificações da atmosfera próxima à superfície capazes de gerar um clima próprio, nomeadamente o clima urbano (PITTON, 1997).

Entende-se que cidades de pequeno e médio porte são passíveis de investigação dos seus ambientes atmosféricos uma vez que Monteiro (1976), através de sua proposta baseada na perspectiva sistêmica, não delimitou uma escala, grau de urbanização, teor populacional ou condições geoecológicas que devam existir em um determinado sítio para o emprego da terminologia “clima urbano”. Além disso, as cidades médias e pequenas apresentam relativas facilidades para uma investigação climática qualitativa, uma vez que possibilitam a diferenciação dos seus ambientes intraurbanos. Além do detalhamento espacial, existem nestas cidades “[...] possibilidades de intervenção no ordenamento territorial da cidade, fato que é muito mais difícil em cidades de grande porte” (AMORIM, 2000, p. 22).

Admitindo-se que o clima é um importante indicador de qualidade do ambiente e da qualidade de vida do homem urbano e, portanto, entender como o clima influencia e é influenciado nos/pelos lugares justifica a importância deste estudo pois as situações de desconforto térmico são recorrentes no ambiente tropical, onde se inserem as cidades de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, localizadas na porção Oeste do Estado de São Paulo³, como exibido no mapa de localização da Figura 1. Para a definição do recorte territorial considerou-se que os estudos de climatologia aplicados a essa região do

³ De acordo com a Fundação SEADE, para fins estatísticos, as três cidades pertencem à região administrativa de Presidente Prudente, como também a esta região de governo. Disponível em: <<http://produtos.seade.gov.br/produtos/divpolitica/index.php?page=tabela&action=load&nivel=10>> Acesso em: 04 maio. 2017.

Estado têm demonstrado importantes resultados sobre a formação do clima urbano em cidades de pequeno e médio porte, assim como a exequibilidade da pesquisa em virtude da proximidade entre as cidades.

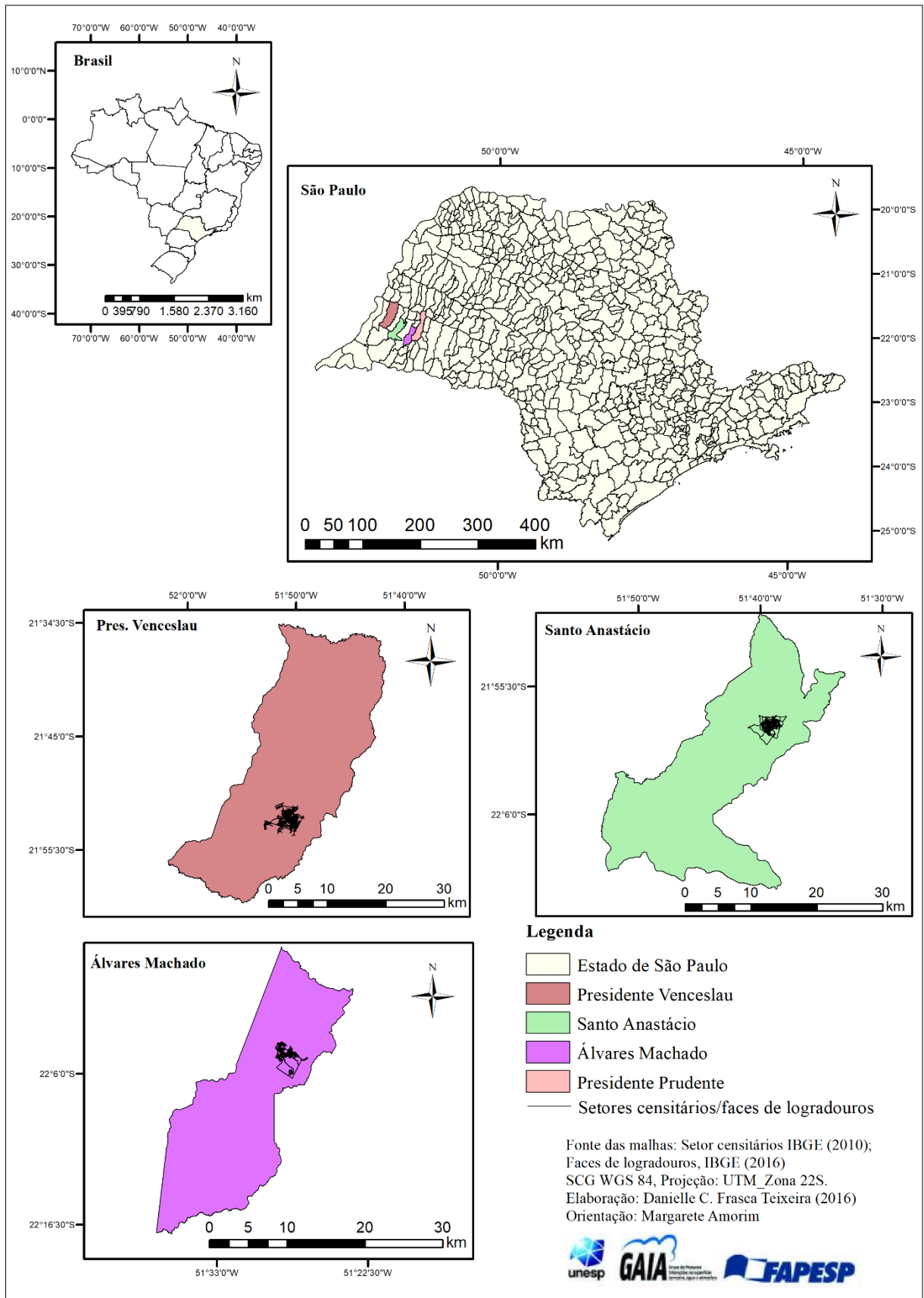
A cidade de Presidente Venceslau está localizada a 610 km de São Paulo, capital. O ingresso de desbravadores na região ocorreu em 1906 pela construção da rodovia ligando São Paulo ao Sul do Mato Grosso. Contudo, a colonização se concretizou em 1921 com a instalação dos trilhos da Estrada de Ferro Sorocabana⁴. De acordo com o Censo 2010, somavam-se 37.910 habitantes neste mesmo ano, sendo que destes, 95% eram da área urbana, onde a densidade demográfica era de 50,10 hab/km², sendo que a unidade territorial apresenta 755,203 km² de área. A economia se destaca pelas práticas agropastoris, comércio e prestação de serviços.

A cidade de Santo Anastácio possui 600 km de distância da capital do Estado. Contabilizou 20.475 habitantes, com 93% de residentes na área urbana de acordo com o censo do IBGE 2010. Sua densidade demográfica era de 37,06 hab/km² e a unidade territorial tem 552,876 km² de área. Foi formada a partir das fazendas dos desbravadores da região Oeste do Estado, onde a Estrada de Ferro Sorocabana contribuiu para a constituição do núcleo urbano, pois a construção visava alcançar as barrancas do Rio Paraná, em Presidente Epitácio. A economia do município se baseia nas atividades agropastoris.

Álvares Machado apresenta área territorial de 347,647 km². Está distante 568 km da capital do Estado, cujo acesso é dado através da Rodovia Raposo Tavares. O transporte ferroviário, que exigiu a construção da Estrada de Ferro Sorocabana, e a fertilidade das terras foram fatores da fundação do distrito de Álvares Machado em 1927. Em 2010 a população do município era de 23.513 habitantes, a sua densidade demográfica de 67,69 hab/km² e 90% da população era de procedência urbana. A economia do município está apoiada na agricultura diversificada, com destaque para as frutas e verduras, além disso, a pecuária de corte e leiteira também possui relevância.

⁴ As informações geográficas e dos históricos das três cidades foram extraídas do sítio eletrônico IBGE cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: 04 maio. 2017.

Figura 1: Mapa de localização das cidades do universo de análise.



Para o entendimento do processo de urbanização das cidades do Oeste paulista, pode-se recorrer ao contexto da urbanização de Presidente Prudente, cidade que se destacou na região pelo incremento populacional na primeira metade do século XX (SPÓSITO, 1983). Historicamente, o incremento populacional urbano ocorreu em função do êxodo rural, que mobilizou os trabalhadores rurais para as cidades em busca de oportunidades, visto que a agricultura capitalizada repeliu os trabalhadores das áreas rurais (SANTOS, 2005). No Brasil, em virtude de um processo de industrialização tardio, esse feito ocorreu a partir da década de 1940, intensificando-se nas décadas posteriores. Em 1970, a população urbana⁵ já superava a população rural. Porém, a industrialização não pode ser definida como a única causa da urbanização, visto que o processo aconteceu em todo o território brasileiro e as cidades menos industrializadas apresentaram um ritmo de crescimento tão intenso quanto o de cidades industriais (SPÓSITO, 1983).

A ocupação do Oeste paulista é atribuída à decadência da mineração, ao processo de migração concomitante à Guerra do Paraguai e às manobras de ocupação ilegal das terras pela grilagem. Assim, o Estado de São Paulo tornou-se um polo dinâmico e atrativo populacional devido à cafeicultura nas décadas de 1920 e 1930, que possibilitou a multiplicação dos núcleos urbanos, notadamente no Oeste paulista, onde a construção da Estrada de Ferro Sorocabana estruturou a economia cafeeira e atribuiu fluidez a esta parte do território paulista (ABREU, 1972; SANTOS, 2005).

A fertilidade das terras do Oeste paulista fomentou a implantação dos trilhos da Estrada de Ferro Sorocabana, que avançando no sentido do rio Paraná, foi fundando os núcleos urbanos. Paralelamente ao café, o algodão e o amendoim tiveram expressiva participação na estruturação da economia da região, juntamente com a engorda de bovinos, que inseriram a região ao circuito produtivo e intensificaram as relações de produção capitalistas na Alta Sorocaba, e em especial de Presidente Prudente. Nos anos 1930, em virtude da concentração de terras, do excedente de mão de obra do café, as condições de fixação do homem no campo foram reduzidas, acontecendo a emigração rural.

Mais tarde, no ano de 1937, foi inaugurada a Rodovia Raposo Tavares (SP-270), que tornou-se o principal acesso da capital ao Oeste paulista. Contando com 654 km de extensão, atravessa as cidades do recorte territorial, constituindo a principal ligação do Estado de São Paulo com o Mato Grosso do Sul.

⁵ Segundo Censo IBGE, em 1970, a taxa de urbanização brasileira era de 55,92%.

Com maior acessibilidade e dada a maior importância delegada às cidades de porte médio com a desmetropolização (SANTOS, 1991), o Oeste paulista tornou-se atrativo para atividades econômicas e população. Esse movimento migratório no sentido do interior proporcionou às cidades de porte médio e pequeno problemas ambientais urbanos decorrentes de sua produção espacial, situações que só eram percebidas em cidades grandes e regiões metropolitanas.

O fato é que a expansão das cidades brasileiras, na maioria dos exemplos, não levou em consideração as condições climáticas do ambiente tropical, onde o desconforto pelo calor é frequente. A conversão das áreas de pastagens e de florestas em áreas construídas, os materiais construtivos empregados, a impermeabilização excessiva da superfície, a interação entre as edificações e os espaços livres de ocupação são elementos que proporcionam às cidades maior capacidade de absorção de radiação e armazenamento de energia em comparação com áreas rurais circundantes (AMORIM, 2010; GARTLAND, 2010). Como consequência, se observa a redução da evapotranspiração e o maior aporte energético para a climatização dos ambientes internos, o que não está acessível para toda a população.

Tendo isso em vista, a questão de partida da tese pressupõe que, apesar da proximidade entre as cidades e, considerando a circulação regional da atmosfera, elas respondem à atuação dos sistemas atmosféricos de maneira diferenciada, pois apresentam peculiaridades climáticas que dependem dos seus atributos geoambientais (relevo, orientação do relevo, cobertura vegetal) e urbanos (a estrutura, formas e as dinâmicas urbanas).

Supõe-se que, mesmo sendo de pequeno porte, estas cidades apresentam alterações das suas características pretéritas que contribuem para a formação do clima específico e, por isso, o objetivo central da tese é investigar o clima urbano das cidades com ênfase no campo térmico, definindo-se como objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar o ambiente urbano das três cidades através das condicionantes geoambientais (cobertura vegetal, hipsometria, declividades, orientação de vertentes, hidrografia) e urbana (uso e ocupação da terra);
- ✓ Caracterizar o entorno rural das três cidades;
- ✓ Caracterizar simultaneamente e na escala local a individualidade climática das cidades, Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, localizadas no Oeste paulista, área de clima tropical continental;
- ✓ Diagnosticar ilhas de calor superficiais a partir do canal termal do satélite *Landsat 8* associando a distribuição da precipitação;

- ✓ Verificar a influência da urbanização na formação do clima específico de cada localidade;
- ✓ Identificar anomalias térmicas e representá-las em isotermas e modelagem da ICU, tomando como referência áreas representativas do rural.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O direcionamento das leituras e trabalhos de revisão teórica desta tese foram baseados na literatura clássica, na perspectiva sistêmica nomeada Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976), na concepção de ritmo de sucessão de tipos de tempo (MONTEIRO, 1971) e nos trabalhos de clima urbano que versam sobre as ilhas de calor do ambiente tropical.

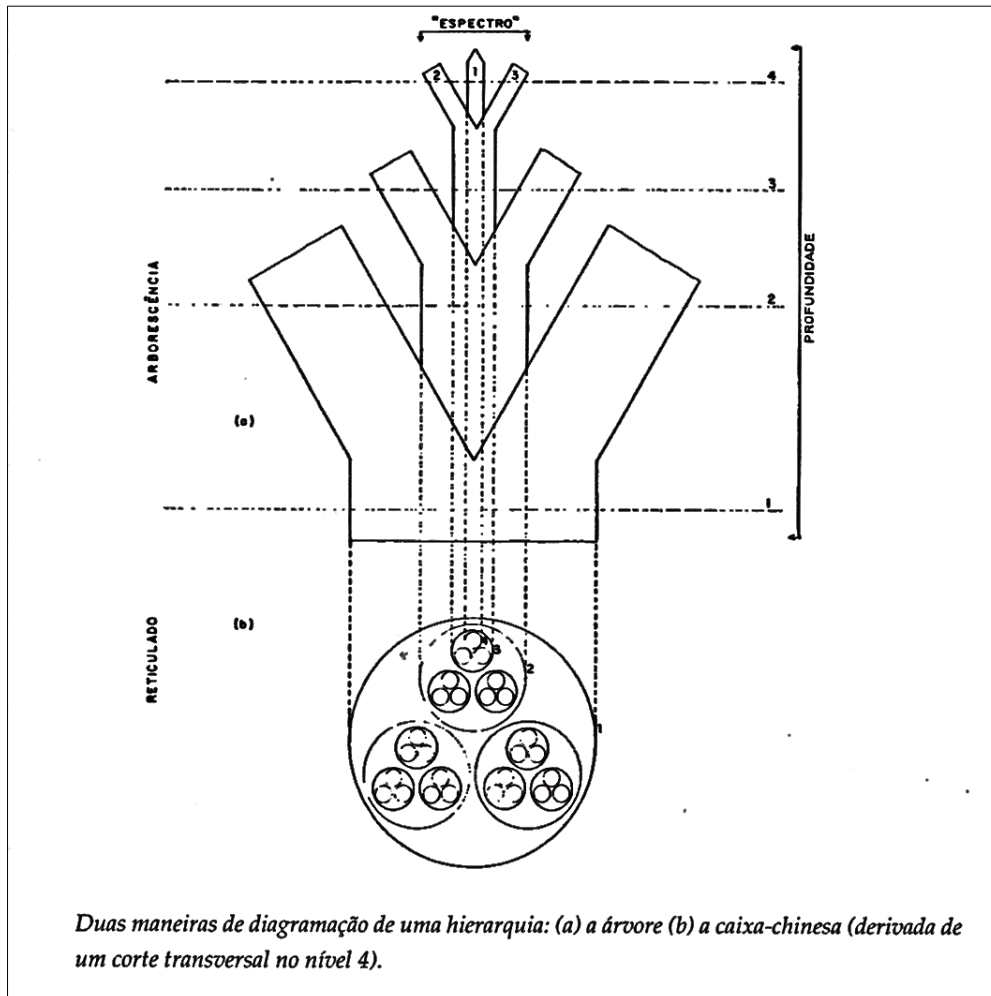
Para a construção do objeto de investigação existe uma escala apropriada que sustenta e condiciona a maneira de apreender o objeto de análise (CORREA, 2011; MELAZZO; CASTRO, 2007). No recorte desta pesquisa, a opção pela escala local, no nível dos topoclimas, assenta-se na ideia de que ela confere visibilidade a fenômenos complexos cujos processos se relacionam às atividades antrópicas que influenciam e são influenciadas pelo clima (SANT'ANNA NETO, 2013).

A pesquisa objetivou investigar o clima urbano de cidades do ambiente tropical localizadas no Oeste do Estado de São Paulo (Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado) e foi sistematizada no escopo teórico e metodológico do Sistema Clima Urbano (S. C. U.) - (MONTEIRO, 1976), que propõe a análise integrada e sistêmica da cidade para subsidiar a intervenção e o planejamento urbano. Tal proposta teórica e metodológica foi organizada em dez enunciados básicos que a descrevem como um *sistema aberto, adaptativo, dinâmico, integrado, evolutivo, autorregulável, morfogenético*, ordenado em *subsistemas* de percepção humana (MONTEIRO, 1976).

O S. C. U. articula escalas superiores com as inferiores a partir de uma taxonomia considerando todos os elementos do conjunto, o enquadramento e o posicionamento dos mesmos em níveis escalares. Sua elaboração foi baseada na arborescência do esquema Koestleriano de ordem hierárquica (Figura 2). A noção de níveis estratificados demonstra o caráter dinâmico, profundo e evolutivo do sistema de forma que o escalonamento das unidades climáticas identificadas no espaço geográfico assemelha-se à articulação existente entre os troncos, galhos, ramos e brotos.

Do nível 1, que é o tronco inicial unificador da superfície terrestre, desdobram-se galhos de organização zonal (nível 2), de onde saem galhos regionais (nível 3), atingindo os ramos locais (nível 4).

Figura 2: Noção de hierarquia segundo Arthur Koestler.



Fonte: Monteiro (2009, p. 30).

Transversalmente, a visão dinâmica se transforma na visão estática de uma “caixa-chinesa”, taxonômica, que mostra como as partes estão contidas no todo. Para o estudo do clima urbano esta organização hierárquica pressupõe a ligação no plano vertical e o entrelaçamento no plano horizontal.

De acordo com Monteiro (2015, p. 107):

A proposição de Koestler, com o seu SOHO, visa complementar a noção mecanicista na análise de um sistema organizado, que não deve estar limitada a uma simples avaliação em termos de causa-efeito (relação S-R, situação-reação, estímulo-resposta), mas, sim, estender-se à compreensão da interdependência dos processos em termos de organização funcional. Ao incorporar esse princípio básico na proposição do S.C.U., nosso objetivo foi o mesmo.

A taxonomia proposta, com base na Geomorfologia, não objetivou o estabelecimento de limites rígidos para cada unidade climática, mas esclarecer a articulação das escalas tempo-espaço e as respectivas estratégias de abordagem. Trazendo para o clima urbano, o quadro taxonômico relaciona o escalonamento entre as unidades climáticas desde a urbanização até a região urbana conforme as respectivas ordens de grandeza, demonstradas no Quadro 1.

Quadro 1: Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano.

Ordens de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	(milhões de km)	1: 45.000.000 1: 10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	(milhões de km)	1: 5.000.000 1: 2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
IV	(centenas de km)	1: 1.000.000 1: 5.000.000	Sub-regional (fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
V	(dezenas de km)	1: 250.000 1: 100.000	Local	Área metropolitana metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Interação geológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	(centenas de km)	1: 50.000 1: 25.000	Mesoclima	Cidade grande Bairro ou subúrbio de cidade	Registros móveis (Episódicos)	Urbanismo	Especiais
-	Dezenas de metros	1: 10.000 1: 5.000	Topoclima	Pequena cidade Fácies de bairro Subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	Metros	1: 2.000	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Monteiro (2009, p. 29).

Para cada escala climática existe uma estratégia de apreensão e uma distância territorial que a relaciona com o espaço (urbano ou rural). Estas escalas partem, portanto, da generalização (Global) à especialização (Local), passando pela organização (Regional) (SANT'ANNA NETO, 2013). No caso do clima urbano e, em especial, do clima da cidade de pequeno porte, a combinação de estratégias de abordagem é apropriada uma vez que existem muitos fatores de organização e diferentes formas de observação. Além disso, as técnicas de análises espaciais têm avançado pelas novas abordagens metodológicas, incorporando as geotecnologias que conferem tratamento robusto dos dados climatológicos.

Considerando que a cidade é o lugar de ampla interação entre o homem e a natureza, a perspectiva climática pressupõe um esquema de interrelações entre o *operador* (atmosfera) e o *operando* (tudo o que não é atmosférico):

Deve ser lembrado que a estrutura do S.C.U. inclui obrigatoriamente o natural e o construído pelo homem. Assim, a noção de estrutura na abordagem sistêmica é um elemento importante, sem dúvida, sobretudo no que diz respeito à sua capacidade em refletir o grau de mudanças no comportamento funcional. O artefato físico criado pela urbanização, integrado ao suporte geoecológico em que se insere, dinamizado pelos fluxos urbanos, é que constitui o operando do S.C.U cuja estrutura é penetrada e percorrida por fluxos energéticos do operador: a atmosfera (MONTEIRO, 2003, p. 41).

A complexidade da participação urbana no S. C. U. foi sintetizada em subsistemas que relacionam-se a filtros perceptivos humanos, a saber:

- a) Conforto Térmico (*Subsistema Termodinâmico*): Englobando as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a esta noção. É um filtro perceptivo bastante significativo, pois afeta a todos permanentemente. Constitui, seja na climatologia médica, seja na tecnologia habitacional, assunto de investigação de importância crescente.
- b) Qualidade do ar (*Subsistema Físico-Químico*): A poluição é um dos males do século, e talvez aquele que, por seus efeitos mais dramáticos, atraia mais a atenção. Associada às outras formas de poluição (água, solo etc.), a do ar é uma das mais decisivas na qualidade ambiente urbana.
- c) Meteoros de impacto (*Subsistema Hidrometeorológico*): aqui estão agrupadas todas aquelas formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiros), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestade), que assumindo, eventualmente, manifestações de intensidade são capazes de causar impacto na vida da cidade, perturbando-a ou desorganizando-lhe a circulação e os serviços (MONTEIRO, *op. cit.*, p. 24, grifo nosso).

A componente termodinâmica implica a coparticipação entre natureza e homem e caracteriza-se como o insumo do sistema, que se transforma na cidade e produz o balanço de energia. Vincula-se ao uso da terra, à forma e função urbanas, ao jogo integrado entre atmosfera e homem. Seus produtos são as ilhas de calor, os padrões de ventilação por diferenças de pressão e as precipitações restritas a áreas do centro. Em função da alta aplicabilidade no S. C. U., sobretudo dos procedimentos correspondentes ao subsistema termodinâmico em termos de aquisição de instrumentos, os trabalhos brasileiros de clima urbano das décadas de 1980 e 1990

foram norteados por este tema. O privilégio pelo subsistema termodinâmico também se deu pelas características do clima tropical e pelas recorrentes situações de desconforto térmico nas áreas urbanas.

O subsistema Físico-Químico é de responsabilidade do homem e penetra no sistema em sentido inverso. É também responsabilidade da natureza, quando da ocorrência das explosões vulcânicas, mas vincula-se fortemente à atividade humana e às aglomerações urbanas pelas atividades industriais, pelo tráfego dos veículos que contaminam a atmosfera, diferenciando-se pelo desenvolvimento econômico dos lugares. O subsistema Físico-Químico, que apresenta estudos da qualidade do ar, demonstra certa rigidez em termos de operacionalização e aquisição de instrumentos de mediação, que são mais custosos e por isso comparecem mais nos países desenvolvidos.

O terceiro canal também se destaca pela participação da natureza como insumo energético proveniente da atmosfera na forma dos mecanismos de circulação regional que incluem várias manifestações meteóricas tais como as tempestades, tornados, furacões, aguaceiros, entre outras. Constituem variações extremas e distribuídas irregularmente geram impactos urbanos e rurais. No caso do Brasil o exemplo mais notável são os aguaceiros e as chuvas concentradas que, apesar de muito recorrentes no ambiente tropical, não foi um campo muito privilegiado para estudos.

Para os objetivos desta pesquisa, o subsistema termodinâmico foi direcionado para as análises, assim como a escala local, nomeadamente a do nível topoclima, que melhor se enquadra, devido às complexidades inerentes aos espaços de dimensões reduzidas. A gênese dos processos observados nesta dimensão escalar são os aspectos geoecológicos (relevo - altitude, orientação, declividades; distribuição da cobertura vegetal, presença de hidrografia) e os urbanos, expressos pelo uso e ocupação da terra.

Portanto, nesta dimensão escalar, o detalhamento das feições da paisagem é importante e exige técnicas diretas empíricas que identificam a relação entre a estrutura, a forma urbana e as interações com o clima urbano, pois considera-se que a cidade não é um todo homogêneo, mas apresenta heterogeneidades intraurbanas que resultam de seus componentes físicos e antrópicos (AMORIM, 2010). Existem, portanto, estreitas relações entre o sítio urbano, os diversos fatores inseridos na paisagem (como a densidade de cobertura vegetal, o uso da terra, a posição geográfica e a variação altimétrica) e o clima (FIALHO, 2012). Dessa diversidade intraurbana resulta a produção de diferentes microclimas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No escopo conceitual e metodológico do subsistema termodinâmico as ICUs constituem produto direto e neste recorte foram investigadas no nível da atmosfera inferior (OKE, 1987) e no nível da superfície (AMORIM, 2018; CHEN; ZHAO; LI; YIN, 2006; FIALHO, 2009; LOMBARDO, 1985; LUCENA, 2013; STATHOPOULOU; CARTALIS, 2006; WENG, 2009).

O diagnóstico da ICU atmosférica de nível inferior ou do dossel urbano requer o monitoramento da temperatura do ar comprometido desde o nível do solo até os telhados e topo de árvores. Para isso, são procedimentos pertinentes para coletas os pontos fixos através do estabelecimento de rede meteorológica de superfície e os transectos móveis (MONTEIRO, 1990; OKE, 2004), que objetivam o registro de dados primários. Frequentemente o tratamento dos dados primários está direcionado para a interpolação dos valores (absolutos, gradientes, média) através da estatística de regressão e da estatística descritiva para a redução da massa de dados que resultem em informação geográfica qualitativa e sua melhor representação geográfica (SANT'ANNA NETO, 2014).

A partir de dados secundários foi possível a detecção das ilhas de calor de superfície (temperatura dos alvos), obtidas a partir das termografias de superfície que são elaboradas por imagens do canal termal do satélite com base em um conjunto de procedimentos que permitem a conversão dos níveis de cinza em temperatura radiante (DUMKE, 2006; LUCENA, 2013).

Para atingir os objetivos definidos, os dados primários foram registrados, tratados e cruzados por técnicas e procedimentos diversos a fim de corroborar a existência de um clima específico urbano e a existência de ICUs atmosféricas e superficiais nas cidades do universo de análise, a partir dos conceitos de intensidade e magnitude do fenômeno (FERNANDEZ GARCÍA, 1996). Os procedimentos e materiais adotados são descritos na sequência.

3.1 Cartografia do sítio

As cidades médias e pequenas apresentam relativas facilidades para uma investigação climática, pois os espaços reduzidos permitem uma melhor diferenciação dos seus ambientes intraurbanos e facilitam a intervenção nos novos espaços da urbanização (AMORIM, 2000, p. 22). No caso da cidade de pequeno porte, Mendonça (2003, p. 98) destaca que:

A “geografia circunvizinha à cidade desempenha papel mais preponderante na formação de seu clima urbano quanto menor ela for”. [...] O estudo do clima de cidades deste porte deve levar em consideração a abordagem geográfica detalhada tanto do fato urbano quanto da área rural regional contígua.

A caracterização da área rural circunvizinha à área urbana é fundamental para o conhecimento do clima da cidade de pequeno porte, pois, em muitos casos, estudos realizados nas variadas estações do ano demonstram grande diferenciação ou homogeneização entre essas áreas, o que depende da distribuição da cobertura vegetal no entorno rural próximo (TEIXEIRA, 2015).

No que se refere aos aspectos geoambientais, considera-se “[...] que estas variáveis constituem aspectos importantes para a compreensão do clima urbano e particularmente para entender as singularidades termodinâmicas das urbes” (PITTON, 1997, p. 28). As cartas de caracterização geoambiental foram elaboradas a partir de imagens da Missão Topográfica Radar *Shuttle* (SRTM) topodata⁶ das áreas de interesse, tratadas no programa *Arc Gis*⁷ através das ferramentas apropriadas. Considerou-se para a análise climática a hipsometria, as declividades, a orientação das vertentes e o relevo sombreado.

Ainda na etapa de caracterização das urbes, procedimento previsto para a diferenciação dos ambientes intraurbanos com base nos trabalhos de cunho climatológico (AMORIM, 2000; LOMBARDO, 1985; PITTON, 1997; STEWART; OKE, 2009), foram elaboradas cartas de uso e ocupação da terra para a caracterização urbana, conforme interpretação subjetiva da predominância das áreas construídas, dimensão dos lotes e presença de cobertura arbórea nas imagens de satélite de visualização híbrida⁸, atribuindo-se uma classificação subjetiva aos polígonos da malha urbana.

Tanto a caracterização geoambiental como a urbana precederam a instalação da rede meteorológica de superfície para a tomada de decisão dos locais representativos das urbes que seriam selecionados para o monitoramento climático.

3.2 Termografias de superfície

Uma das ferramentas muito empregadas na análise climática, o sensoriamento remoto, consiste na medição ou aquisição de informação da propriedade de um objeto ou fenômeno, por

⁶ Missão Topográfica Radar *Shuttle*. Dados Topodata (SRTM) que oferecem o Modelo Digital de Elevação, disponibilizados pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, INPE. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>> Acesso em: fev. 2018.

⁷*Arc Gis* é marca registrada Esri.

⁸ Foram utilizadas imagens do banco de dados do aplicativo *Arc Gis*, o *Imagery*.

meio de um dispositivo de registro que não esteja em contato físico com o objeto ou fenômeno em estudo. Assim, todas as feições da paisagem como a vegetação, o solo, as rochas, a água e as pessoas emitem radiação eletromagnética infravermelha termal podendo ser mapeadas e transformadas em informação geográfica qualitativa (JENSEN, 2009).

As termografias de superfície foram efetivadas a partir de imagens do canal termal do satélite *Landsat 8*⁹ para o diagnóstico das ilhas de calor de superfície (ARNFIELD, 2003; CHEN; ZHAO; LI; YIN, 2006; HUANG; ZHAN; VOOGT; HU; WANG; QUAN; JU; GUO, 2016; KIMUKU; NGIGI, 2017; WALKER; BEURS; HENEBRY, 2015; WENG, 2009; WETHERLEY; McFADDEN; ROBERTS, 2018). Considerou-se a distribuição da precipitação no período do monitoramento climático (AMORIM, 2018).

As imagens do canal termal (banda 10, intervalo espectral 10,30 - 11,30 μm) têm resolução espacial de 100 metros, mas são disponibilizadas pelo Serviço de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos (USGS)¹⁰ com resolução de 30 metros. Foram tratadas no aplicativo *Idrisi*¹¹ as imagens tomadas no período entre março e dezembro de 2017, selecionando-se aquelas que não apresentaram cobertura de nuvens. Utilizou-se de variáveis fixas e fórmulas que consistem em coeficientes de redimensionamento radiométrico fornecidos a partir do arquivo de metadados (extensão MTL.txt), pelos quais foram feitas as conversões de níveis de cinza em radiância medida em Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Para o cálculo da radiância do topo da atmosfera são aplicados os metadados na Equação 1:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cat} + A_L \quad (1)$$

Onde:

L_{λ} = radiância espectral do topo da atmosfera medida em Watts.

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (x é o número da banda).

A_L = Fator adicional de redimensionamento de cada banda contido nos metadados (x é o número da banda).

Q_{cat} = Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN).

Na sequência, a banda termal é convertida de radiância para temperatura Kelvin através dos seguintes parâmetros, conforme a Equação 2:

⁹ *Landsat 8*, sensor OLI/TIRS C1 - Level 1.

¹⁰ USGS, *U. S. Geological Survey*. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 22 jun. 2018.

¹¹ *Idrisi* é marca registrada da *Clark Labs*.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda} + 1}\right)} \quad (2)$$

Onde:

T = Temperatura efetiva de brilho do topo da atmosfera (K).

L_{λ} = radiância espectral do topo da atmosfera medida em Watts.

K_1 = constante de calibração 1 = 774, 89.

K_2 = constante de calibração 2 = 1.321,08

Finalizou-se com a conversão da temperatura Kelvin para Celsius, a partir da subtração da imagem em relação ao valor de 273,15. A maioria dos estudos nesta perspectiva dedicou-se à obtenção dos valores absolutos da temperatura dos alvos pela conversão de níveis de cinza em radiância, relacionando os alvos mais aquecidos com as características da superfície urbana (densidade construtiva, cobertura vegetal, uso, ocupação da terra e funções urbanas). Contudo, visando a abordagem qualitativa da intensidade da ilha de calor de superfície (AMORIM, 2018; FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996; WENG, 2003), o presente estudo se pautou no cálculo das diferenças entre as temperaturas intraurbanas e o rural próximo que apresentasse temperaturas inferiores às daquela área. Para isso, utilizou-se da operação matemática de subtração¹² da imagem em relação à menor temperatura do recorte espacial, resultando no “ponto 0”, aquele que registra a menor temperatura do intervalo dos dados. Nas áreas investigadas, o “ponto 0” coincidiu com os fundos de vale providos de vegetação.

As cartas termais exibem as diferenças térmicas superficiais no momento da aquisição da imagem pelo satélite, ou seja, próximo às 10 horas da manhã para as cidades do universo de análise (10h28 e 10h22)¹³. Para a análise das informações geográficas geradas, as imagens foram diferenciadas em períodos secos e chuvosos, pois o desenvolvimento da vegetação varia de acordo com a época do ano em razão da disponibilidade hídrica, condição especialmente representativa no entorno rural próximo. Por esse motivo, as cartas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) elaboradas para o exame da distribuição da vegetação no período do estudo foram apresentadas juntamente às termografias de superfície pelo entendimento de que esses produtos cartográficos são complementares.

¹² Em ferramenta do aplicativo *Idrisi*, função *Image calculator*.

¹³ 10h28 min para a cena 223/075 e 10h22 para a cena 222/075.

Para a correspondência da representação cartográfica, utilizou-se da mesma escala de cores¹⁴ para as três áreas, fundamentada na equivalência dos valores da temperatura da superfície.

3.3 O NDVI

Entre as metodologias aplicadas aos estudos do clima urbano e que complementam a análise da temperatura da superfície está o mapeamento da cobertura vegetal. Este produto pode ser obtido a partir do NDVI, definido como “medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade de vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa” (JENSEN, 2009, p. 384).

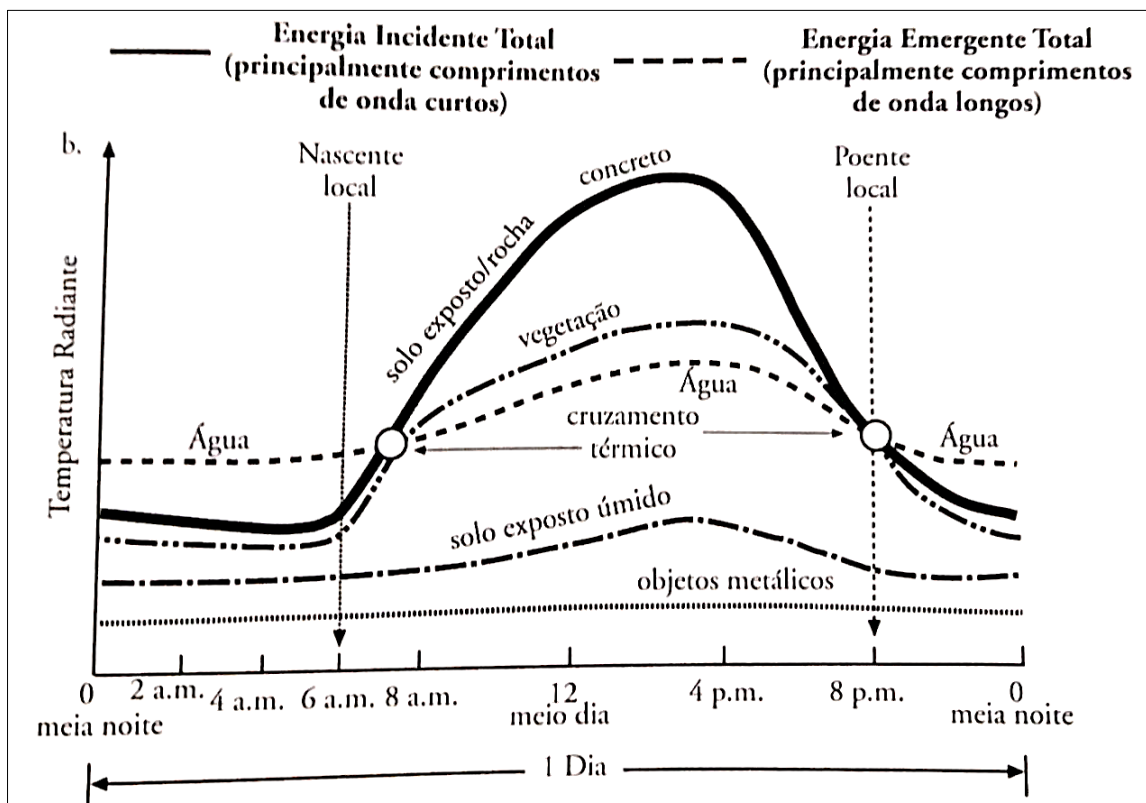
Todos os alvos da superfície apresentam um determinado comportamento espectral, através do qual é possível estimar a vegetação fotossinteticamente ativa, que varia conforme o tipo de cultura e o ciclo vegetativo das espécies vegetais. Os solos também apresentam características espectrais condicionadas pela disponibilidade hídrica que influenciam no albedo, por exemplo (NOVO, 2010). O NDVI, portanto, mede a exuberância da vegetação, sendo que quanto maior o índice (positivo), mais sadia é a vegetação, enquanto que menores valores (negativos) condizem com a menor densidade ou exuberância da cobertura vegetal.

Relacionando a temperatura da superfície com o NDVI, foi possível constatar que as superfícies providas de vegetação apresentam menores temperaturas do que áreas construídas. Essa relação se explica em virtude das propriedades térmicas dos materiais, pois a vegetação apresenta maior capacidade térmica, que “é uma medida da capacidade de um material para absorver energia calórica” (JENSEN, 2009, p. 262). Alguns materiais possuem resposta térmica, ou seja, inércia térmica, mais rápida a mudanças de temperatura enquanto que outros são mais lentos. A vegetação é uma dessas componentes da superfície terrestre que demandam mais energia para aquecer do que as superfícies urbanas, pois decompõe o calor sensível em calor latente através do mecanismo de evapotranspiração. Dessa forma, os alvos da superfície que correspondem a área vegetada apresentaram menor temperatura. Quanto mais abundante e exuberante a vegetação, menor será a temperatura da área. Vegetações menos densas tendem a apresentar resposta térmica muito semelhante às das áreas construídas e de solo nu, que

¹⁴ Escala de cores em equivalência foi um direcionamento adotado para a presente pesquisa em todos os produtos cartográficos representativos da intensidade da temperatura do ar.

possuem menor capacidade térmica e apresentam forte variação da temperatura em um período de 24 horas como verificado na Figura 3.

Figura 3. Temperatura radiante diária de solo exposto e rocha, concreto, vegetação, solo exposto úmido e objetos metálicos.



Fonte: JENSEN (2009, p. 277).

Visando abranger o período do monitoramento climático, foram tratadas todas as imagens do satélite *Landsat 8* disponíveis no sítio eletrônico do USGS¹⁵. Para a elaboração das cartas de NDVI, foram escolhidas as bandas considerando os intervalos espectrais e suas aplicações (Quadro 2). A estimativa da vegetação foi feita no aplicativo *Idrisi* a partir da utilização das bandas vermelho e do infravermelho próximo, que correspondem, respectivamente, às bandas 4 (intervalo espectral 0,630 μm - 0,680 μm) e 5 (entre 0,845 μm e 0,885 μm).

¹⁵ As cidades destacadas para o estudo não estão posicionadas na mesma cena de abrangência do satélite *Landsat* e, portanto, a captura das imagens ocorre em datas diferentes. As cidades de Santo Anastácio e Álvares Machado são captadas no ponto 222, órbita 75. A cidade de Presidente Venceslau está no ponto 223, órbita 075.

Quadro 2. Especificações das bandas espectrais do satélite *Landsat 8* com destaque para as bandas aplicadas ao NDVI e à termografia de superfície.

Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Área imageada	Resolução radiométrica
Sensor OLI (Operational Land Imager)	B1 (costal)	0,433 - 0,453 μm	30 metros	16 dias	185 km	12 bits
	B2 (azul)	0,450 - 0,515 μm				
	B3 (verde)	0,525 - 0,600 μm				
	B4 (Vermelho)	0,630 - 0,680 μm				
	B5 (infravermelho próximo)	0,845 - 0,885 μm				
	B6 (Infravermelho médio)	1,560 - 1,660 μm				
	B7 (Infravermelho médio)	2,100 - 2,300 μm				
	B8 (pancromático)	0,5 - 0,680 μm	15 metros			
	B9 (cirrus)	1.360 - 1.390 μm	30 metros			
TIRS (Thermal infrared sensor)	B10 (LWIR-1)	10,30 - 11,30 μm	100 metros			
	B11 (LWIR-2)	11.50 - 12.50 μm				

Fonte: Embrapa¹⁶.

3.4 Registro de dados primários: rede meteorológica de superfície

A aquisição de dados primários ocorreu pelo estabelecimento de rede meteorológica de superfície em feições representativas no ambiente urbano e rural das cidades investigadas (MONTEIRO, 1990). Para isso, foram instalados abrigos meteorológicos equipados com sensores¹⁷ programados para o registro horário da temperatura do ar no período compreendido entre 20 de março a 31 de dezembro de 2017. A montagem das estações se deu a 1,5 metros do solo (OKE, 2004). Foram utilizadas doze estações fixas que, considerando a individualidade das localidades, distribuíram-se em pontos com cotas de altitude aproximada, visando a

¹⁶ Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html> Acesso em: 11 maio 2018.

¹⁷ Especificações dos equipamentos: foram utilizados sensores do tipo *ThermaData Logger*, da marca *Eti Eletronic temperature instruments*, protegidos em abrigos meteorológicos *Ambient weather*, modelo SRS 100 *Pagoda Temperature and Humidity Radiation Shield.*, marca registrada *Ambient LLC*, 2011.

minimização da influência do relevo, conforme Brandão (1996). Em virtude da pouca diversidade de uso e ocupação da terra foi possível estabelecer uma equidade na distribuição dos miniabrigos nos recortes territoriais de análise. Assim, em cada área urbana foram usados três abrigos no ambiente urbano e um no ambiente rural para a comparação entre áreas.

A escolha metodológica para esta pesquisa fundamentou-se na obtenção dos valores da intensidade da temperatura do ar conforme Fernández García (1996). Desta forma, foram calculadas as intensidades através da diferença entre os pontos fixos pela aplicação da expressão:

$$\Delta T = T^{\circ}C \text{ urbano} - T^{\circ}C \text{ rural} \quad (3)$$

Onde $T^{\circ}C \text{ urbano}$ foram as temperaturas registradas na área urbana subtraídas da $T^{\circ}C \text{ rural}$, temperatura medida na área rural.

Através desse cálculo, determinaram-se a ocorrência das ilhas de calor ou das ilhas de frescor, locais onde a diferença térmica foi abaixo de zero, também designadas de efeito oásis (AMORIM, 2000; MENDONÇA, 1994; OKE, 1978).

A análise considerou o perfil simultâneo das três cidades a partir da identificação dos padrões térmicos nos tipos de tempo estáveis e instáveis. Buscou-se relacionar esses padrões aos sistemas atmosféricos desencadeadores das ICUs e potencializadores dos seus efeitos através dos conceitos de intensidade e magnitude, adotando o critério de classificação das ilhas de calor de Fernández García (1996, p. 264, tradução nossa):

- a) **Fraca**, quando as diferenças variam entre $0^{\circ}C$ e $2^{\circ}C$.
- b) **Moderada**, entre $2^{\circ}C$ e $4^{\circ}C$.
- c) **Forte**, entre $4^{\circ}C$ e $6^{\circ}C$.
- d) **Muito forte**, quando as diferenças são superiores a $6^{\circ}C$.

A representação dos dados ocorreu em nível de detalhamento de horário a partir da síntese em tabelas dinâmicas (AMORIM; DUBREUIL, 2017), pelas quais se demonstrou a evolução diária, a variação horária e a duração da intensidade da ilha de calor atmosférica. Para a elaboração das tabelas dinâmicas, selecionou-se um ponto representativo urbano de cada localidade e sua diferença térmica (intensidade) em relação ao rural próximo respectivo. A representação das magnitudes da ICU foi realizada pela atribuição de escala coroplética¹⁸ fixada

¹⁸ As ilhas de frescor, entendidas pela diferença negativa da intensidade medida no urbano em relação ao rural, foram identificadas com a cor verde sem, contudo, haver a distinção de intensidades. Ilhas de calor foram identificadas conforme a magnitude apresentada e também seguiu a escala fixa para equivalência das representações.

nos valores conforme a classificação de Fernández García (1996). Para esta forma de representação selecionou-se como representativos os pontos urbanos: ponto 3 de Presidente Venceslau, o ponto 3 de Santo Anastácio e o ponto 1 de Álvares Machado.

Outro viés analítico dos dados registrados por pontos fixos baseou-se em horários de interesse 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h, incluindo os horários sinóticos. Neste caso, as diferenças térmicas (intensidades) foram demonstradas em painéis espaço-temporais (BRANDÃO, 2003; SANT'ANNA NETO, 1990; TEIXEIRA, 2015), em que o *eixo y* (*ordenadas*) foi representativo do espaço (ponto fixo) e o *eixo x* (*abscissas*) representou o período da observação (tempo - análise mensal).

Procedimento frequente em trabalhos de cunho climatológico, representações desse tipo exibem isolinhas, que referem-se a linhas de mesmo valor e tem a *krigagem*¹⁹ como interpolador que é questionável na espacialização dos dados em virtude das generalizações que se apresentam nas áreas onde não se obteve o registro dos dados, ficando sua confiabilidade restrita aos pontos de registro (ORTIZ PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017). Apesar destas limitações, no contexto deste trabalho considerou-se as informações qualitativas locais que esse procedimento oferece, uma vez que nos painéis os pontos representativos não estão em contiguidade espacial. Além disso, buscou-se a associação entre os diferentes procedimentos metodológicos adotados para corroborar os resultados.

3.5 Registro de dados primários: transecto móvel

As ICUs atmosféricas também foram diagnosticadas através de transectos móveis, metodologia amplamente difundida na comunidade científica dedicada à climatologia urbana em fina escala, tanto que se firmou como um procedimento clássico para o registro de dados primários (AMORIM, 2005; BRANDÃO, 2003; GÓMEZ, 1993; LÓPEZ GÓMEZ; FERNÁNDEZ GARCÍA, 1993; MONTEIRO, 1997; OKE, 1982; PITTON, 1997).

A realização desse procedimento segue protocolos estabelecidos na literatura internacional:

Trata-se de um monitoramento espacial cuja investigação refinada da temperatura e umidade do ar ocorre pelo uso de um sensor equipado em uma bicicleta ou carro que atravessam áreas de interesse para ver se há anomalia

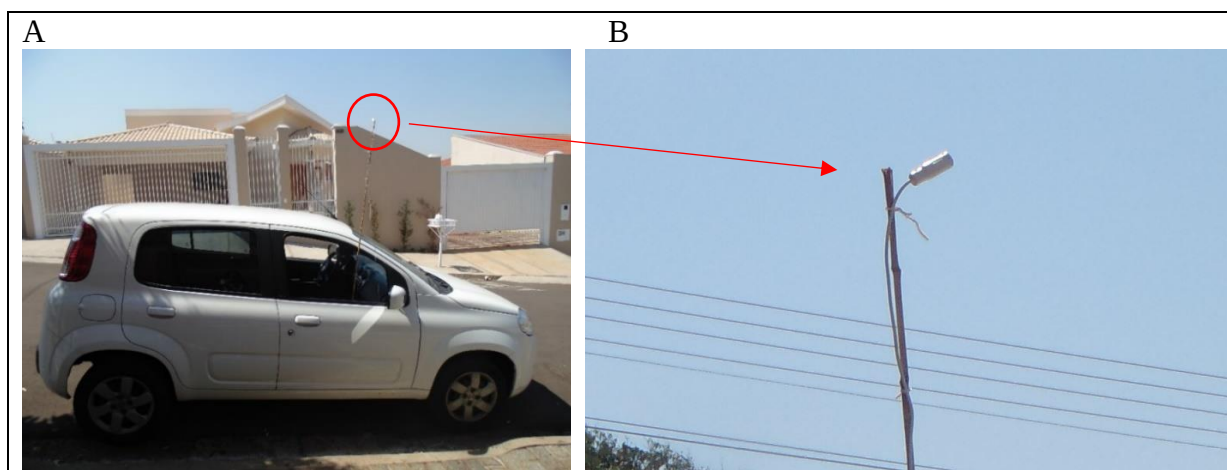
¹⁹ De acordo com Silva (1999, p. 175), a *Krigagem* é um procedimento geoestatístico “definido como uma estimativa de um atributo em um volume de suporte através da ponderação de todas as amostras disponíveis [...] Existem diferentes tipos de krigagem, podendo dar impressão de complexidade. Em verdade, todas são técnicas de regressão que diferem apenas nos tipos peculiares de funções obtidas a partir de dados que estão sendo combinados para a obtenção da estimativa”.

de umidade ou temperatura. A melhor hora para fazer o experimento é algumas horas após o pôr do sol ou antes do nascer do sol em noites com fluxo de ar relativamente calmo e céus sem nuvens, pois nessas condições se maximiza o potencial para a diferenciação climática local e microclimática (OKE, 2004, p. 4-6, tradução nossa).

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, os transectos móveis foram realizados simultaneamente nas cidades investigadas no período noturno (21 horas), com a utilização de três veículos, um em cada cidade²⁰, pois considerou-se que pela extensão das mesmas se realizaria o procedimento com duração máxima de 50 minutos, e, dessa forma, a atmosfera não passaria por bruscas alterações naturais.

Cada veículo foi preparado para transportar uma haste de 1,5 metros com o sensor²¹ encaixado na extremidade (Foto 1). A temperatura do ar foi registrada a cada 100 metros percorridos, obtidos com o auxílio do hodômetro²² do veículo objetivando a precisão das coordenadas geográficas e a coincidência dos registros nos mesmos pontos²³ em todas as coletas. Os trajetos foram atravessados a uma velocidade variável entre 20 e 30 km/h. As medições ocorreram em dias não sequenciados, visando abranger várias dinâmicas urbanas e sob diferentes tipos de tempo.

Foto 1: Veículo equipado com haste (A) e detalhe do sensor na extremidade para realização do transecto móvel (B)



Fonte: Teixeira (2015).

²⁰ Para a realização dos trabalhos de campo, três equipes foram formadas e previamente treinadas para familiarização com os equipamentos, com a técnica e o conhecimento dos percursos. Cada veículo contou com um motorista e um auxiliar responsável pela anotação dos pontos medidos.

²¹ Os sensores utilizados foram: Termohigrômetro Digital, modelo TH-03B da marca *Impac*.

²² Hodômetro é um equipamento destinado a medir a distância percorrida por um veículo. Fonte: Wikipédia. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Od%C3%B3metro>> Acesso em: 22 maio. 2017.

²³ Foram elaboradas três planilhas (uma para cada cidade) para haver precisão dos pontos em todas as coletas.

As coordenadas dos pontos de registros foram tomadas a partir do traçado dos trajetos no aplicativo *Q-Gis*²⁴. A interpolação dos dados foi feita no ambiente *Arc Gis*, através da representação espacial da intensidade da temperatura do ar resultante dos pontos de registro (MOREIRA, 2016; GOMES, 2017). Esse tipo de tratamento representa a informação geográfica (intensidade térmica) associando-a com as feições percorridas, a densidade construtiva dos caminhos, o que se comprova pela análise de perfis longitudinais e da altimetria dos percursos, ilustrações que simulam as feições urbanas e rurais percorridas pelos veículos.

O procedimento do transecto móvel é vantajoso nos aspectos: 1) da investigação da distribuição da temperatura nas vias de fluxo livre, sem interferência direta das edificações; 2) na viabilidade econômica que possibilita o monitoramento contínuo e sistemático, se essa for a opção da pesquisa; 3) possibilita maior número de registros quantitativos (mais pontos registrados) e qualitativos (que referem-se às diferentes feições percorridas) conferindo maior confiabilidade estatística ao tratamento dos dados. Contudo, a sua realização está condicionada pela estabilidade atmosférica.

As intensidades²⁵ térmicas foram cruzadas com a base do *Imagery*²⁶, de visualização híbrida, fornecida pelo aplicativo *Arc Gis*. A escala de cores foi fixada para exibir equivalência.

3.6 Análise rítmica

Segundo Sant'Anna Neto (2014), as publicações monterianas da década de 1960 se firmaram como o marco histórico do nascimento de uma escola de climatologia geográfica, caracterizada por um conjunto de procedimentos amplos, associados a uma análise dinâmica, integrada e estritamente geográfica do clima.

A partir deste marco histórico, inúmeros estudos foram realizados pautando-se nas bases conceituais, teóricas e metodológicas propostas por Monteiro, dada a aplicabilidade das mesmas como nos estudos que demandam análise genética dos tipos de tempo em interação com os atributos geográficos locais, dentre os quais podem ser listados aqueles relacionados ao meio ambiente, à agricultura, ao clima urbano e ao planejamento urbano e regional.

²⁴ *Creative commons*, atribuição.

²⁵ A mesma equação aplicada para o tratamento dos dados registrados pela rede meteorológica foi utilizada para o tratamento dos dados registrados pelos transectos móveis.

²⁶ O tratamento utilizando a base do *Imagery* foi realizado para as cidades de Santo Anastácio e Álvares Machado, mas inviabilizado para o recorte espacial de Presidente Venceslau pela presença de nuvens. Visando superar essa restrição, a opção foi utilizar uma composição colorida *falsa-cor* a partir da combinação das bandas 3,5 e 4 e da banda pancromática do satélite *Landsat 8*, ponto 223 órbita 075. Apesar da baixa resolução espacial do satélite, que não é benéfica para cidades de pequeno porte, os resultados garantem a diferenciação entre áreas urbanas e rurais, e entre feições de relevo que é o objetivo central dos mapas.

Esta concepção teórica foi sistematizada a partir do conceito de ritmo da sucessão dos tipos de tempo (SORRE, 1951). A análise rítmica em climatologia se firmou como um paradigma apropriado aos estudos geográficos do clima no Brasil, distinguindo-o da meteorologia (ZAVATTINI, 2004) devido à noção de dinâmica atribuída ao conceito e ao distanciamento dos valores médios dos elementos do clima.

A análise rítmica em Geografia constitui, portanto, um método para o conhecimento dos sistemas atmosféricos atuantes e os tipos de tempo decorrentes, expressos através dos gráficos de análise rítmica. Estes decompõem, cronologicamente, os estados atmosféricos em sua contínua sucessão, observados em episódios de precisão diária ou horária a partir da variação dos elementos do clima em interação com a circulação atmosférica regional. Em um gráfico de análise rítmica são representados os elementos: temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa, precipitação, direção e velocidade do vento, cobertura do céu e os sistemas atmosféricos atuantes (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Para os fins da presente tese, a elaboração dos gráficos de análise rítmica foi realizada utilizando-se de dados meteorológicos obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através da estação automática de Presidente Prudente, única da rede oficial de dados nas proximidades das cidades destacadas para o estudo. Entende-se que pela distância entre as cidades e a estação não há perda de generalidade dos dados meteorológicos por localizarem-se em uma mesma região climática²⁷.

Desta estação, foram utilizados dados da temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação, direção predominante e velocidade do vento. A nebulosidade foi obtida pela observação de imagens do satélite *Goes13*²⁸ em virtude da falta dessa informação no banco de dados oficial. Dados de precipitação foram considerados de cada cidade a partir do banco de dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)²⁹.

Os sistemas atmosféricos foram identificados pela análise sinótica em superfície baseada nos boletins técnicos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)³⁰, considerando-se também as cartas náuticas da Marinha do Brasil³¹.

²⁷ Conforme o Guia de Instrumentação Meteorológica e Métodos de observação da *World Meteorological Organization* (2012, p. 17, tradução nossa), “[...] as observações sinóticas são representativas em uma área de 100 km ao redor da estação meteorológica [...]”.

²⁸ Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>> Acesso em: 03 maio. 2018.

²⁹ Foram considerados os dados do DAEE de Presidente Venceslau e Santo Anastácio. Para representação de Álvaro Machado considerou-se os dados da estação do INMET de Presidente Prudente.

³⁰ Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/130512>. Acesso em 21 ago. 2019.

³¹ Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/search/node> Acesso em: 03 maio. 2018.

3.7 Modelagem multicriterial da ilha de calor urbana

O tratamento dos dados geográficos frequentemente conduz à questão da generalização necessária para uma representação precisa, o que depende “principalmente da escala, da complexidade dos fenômenos representados e do tema ou objetivo do mapa” (ANDERSON, 1981, p. 60).

Estudos atuais são fortemente amparados nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), importante ferramenta para o tratamento dos dados climatológicos. Em ambiente SIG é possível realizar tratamento robusto que permite análise espacial integrada dos dados que geram novas informações (LANG; BLASCHKE, 2009).

Em fina escala, é possível o tratamento dos dados em que pesem as características superficiais a partir da modelagem multicriterial (AMORIM; DUBREUIL; CARDOSO, 2015; FOISSARD, 2015; GOMES, 2017; TEIXEIRA; AMORIM; DUBREUIL, 2015; TEIXEIRA; AMORIM, 2018) distinguindo-se os fatores mais influentes para explicar a variação espacial da temperatura do ar.

Por definição, a função de modelagem de mapas constitui:

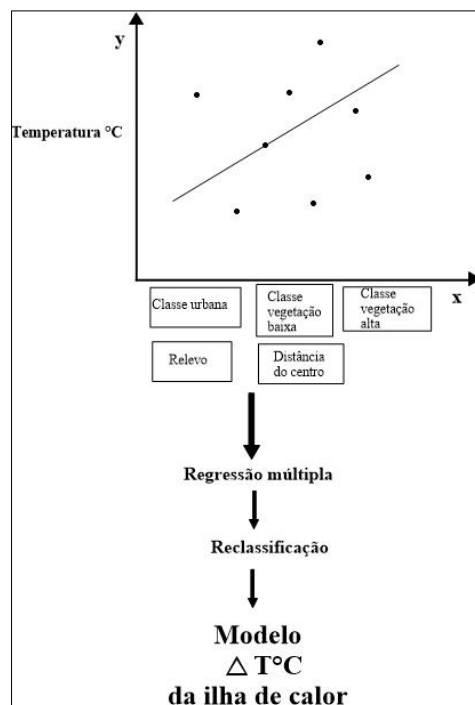
[...] tema de vital importância à análise geoespacial: a combinação entre informações espaciais em sistema de informação geográfica (SIG), utilizando o conceito de *função de modelagem de mapas* (FMM). A partir de uma *pergunta espacial* formulada pelo pesquisador, uma FMM transformará um *mapa-entrada* em um *mapa-saída* com base em comandos e módulos analíticos disponíveis no SIG. [...] a partir de algoritmos computacionais (FERREIRA, 2014, p. 297, grifos do autor).

A modelagem espacial da ilha de calor é composta por uma sequência de procedimentos que visam o detalhamento da espacialização do fenômeno, buscando a relação entre a temperatura do ar e a cobertura de superfície, a temperatura do ar e a distância do centro, a temperatura do ar e o relevo, e/ou a combinação de todas essas variáveis, sendo mais confiável a correspondência entre áreas onde se tem registros da temperatura do ar com áreas descontínuas (sem dados), mas com características superficiais semelhantes, a partir da estimação da temperatura por *pixel*. A partir da classificação *cluster* de uso da terra, fez-se a generalização por *pixel*, que referiu-se ao cálculo em porcentagem do número de pixels presentes em torno de cada ponto medido do transecto, extraídos em janelas de observação

atmosférica, que, conforme a resolução espacial do satélite *Landsat 8*, variam de 3 por 3 (90 por 90 metros), 5 por 5 (150 por 150 metros), 7 por 7 (210 por 210 metros), expansíveis a partir da janela 9 por 9 (270 por 270 metros).

Para o cruzamento de dados foi adotada a estatística de regressão linear múltipla³², que explica a relação entre as variáveis *x* (*explicativas ou preditoras*) e *y* (*resposta*) considerando o ajuste em um diagrama de dispersão segundo a técnica dos desvios mínimos ao quadrado, que permite calcular a equação de uma reta que melhor se ajuste à nuvem de distribuição dos dados. Na Figura 4 representa-se o esquema de organização da modelagem multicriterial.

Figura 4. Esquema de organização da modelagem multicriterial



Elaboração: Danielle C. Frasca Teixeira (2019).

Conforme a literatura:

As relações entre duas variáveis: *x*, considerada independente, e *y*, considerada dependente, podem ser representadas num diagrama de dispersão, com os valores de *y_i* em ordenada e os de *x_i* em abcissa. Cada par de valores *x_i* e *y_i* fornecerá um ponto; utilizando-se, por exemplo, o método dos desvios mínimos ao quadrado, pode-se calcular a equação de uma curva de tendência que melhor se ajuste à nuvem de distribuição. O método mais simples é o da

³² Além de referências bibliográficas consultadas, a abordagem e interpretação da regressão linear múltipla na presente análise baseou-se no manual explicativo do programa *minitab 18*, disponível no sítio eletrônico <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fitted-line-plot/perform-the-analysis/enter-your-data/>. Acesso em: 14 maio. 2019.

análise de regressão linear simples [...] onde α e β são constantes desconhecidas a serem determinadas e ε representa toda a fonte de variabilidade em y não explicada por x (LANDIM, 1998, p. 103, grifo nosso).

No caso de regressão linear múltipla, Landim (1998, p. 103) destaca que a técnica é usada para:

[...] testar dependências cumulativas de uma única variável dependente em relação a diversas variáveis independentes. Cada variável é isolada e mantida constante enquanto as restantes variam sistematicamente, sendo observados os seus efeitos sobre a variável dependente. A variável a ser inicialmente mantida constante é aquela que ocasiona a maior influência na variabilidade da variável dependente.

A temperatura do ar é considerada uma variável dependente (y) ou variável **resposta**. As variáveis que condicionam a sua variação são chamadas independentes (x) ou **preditoras**, que correspondem às informações geográficas ou mapas de entrada, selecionados intencionalmente para o modelo. Considerando-se a realidade das urbes, foram identificadas nas áreas de interesse e definidas como variáveis independentes (x) as classes de uso da terra (urbana, vegetação baixa e vegetação alta), o relevo e a distância geométrica do centro.

Cada variável independente apresenta um coeficiente parcial, ou seja, um valor de mudança em relação à variável dependente. Sobre os valores de mudança, Ferreira (2014) esclarece que o instrumento geométrico e o parâmetro quantitativo sobre o grau de dependência entre as variáveis são a reta de regressão e o coeficiente de regressão “ r ”, respectivamente. O outro parâmetro para a verificação de dependência entre variáveis é representado pelo coeficiente de determinação r^2 , que, de acordo com Landim (1998, p. 106):

Valores de r^2 irão dispor-se no intervalo 0-1, fornecendo uma medida dimensional de quantidade do ajuste do modelo de regressão múltipla aos dados. Se o valor r^2 for próximo de 1, significa que as diversas variáveis x medidas são responsáveis quase que totalmente pela variabilidade de y . Caso contrário, r^2 apresentará um valor próximo a zero.

Conhecidos os coeficientes de correlação r e de determinação r^2 parciais, foi possível selecionar as variáveis independentes mais importantes (classes de uso da terra, relevo, distância do centro) para a previsão de “ y ” (temperatura do ar). Essas informações foram cruzadas através da função de *regressão linear múltipla* cujo resultado de coeficiente global (R^2

ajustado) representa a qualidade do ajuste do modelo, indicativa da porcentagem de variação na resposta que é explicada pelo modelo³³ com as variáveis adotadas.

A função de regressão resulta na fórmula de tratamento, que representa matematicamente a relação entre as variáveis. Na fórmula foram incorporados os mapas de entrada das variáveis independentes escolhidas para a previsão de *y*, como no exemplo da temperatura estimada em 02/04/17 para o recorte de Presidente Venceslau (Fórmula 4):

$$\text{Temperatura 02 abril} = 15,5107 + 0,0273 * cl1_41x41 - 0,4258 * cl3_41x41 + 0.0259 * \text{Relevo} \quad (4)$$

Onde:

Temperatura 02 abril é a temperatura estimada;

Cl1_41x41 é a extrapolação por ponto medido da porcentagem de variação da classe 1 (urbana) na janela de abrangência 41 por 41 pixels;

Cl3_41x41 é extrapolação por ponto medido da porcentagem de variação da classe 3 (vegetação alta) na janela de abrangência 41 por 41 pixels;

Relevo refere-se ao valor de altimetria de cada ponto medido.

Cada dia de monitoramento apresentou uma fórmula específica de tratamento que resultou no mapa de espacialização da intensidade da ICU. Como se trata de um trabalho empírico, vários testes foram realizados para que se obtivesse uma representação cartográfica próxima à realidade das urbes e com confiabilidade estatística. Por meio da modelagem, a particularidade climática de cada cidade foi confirmada não somente pelas intensidades da ilha de calor diagnosticadas, que de fato foram distintas, mas também em virtude das variáveis independentes que foram selecionadas para a composição dos modelos de cada uma delas, considerando que “uma das mais importantes aplicações da análise de regressão múltipla é a escolha [...] daquelas mais úteis na previsão de *y*” (LANDIM, 1998, p. 105, grifo nosso). Portanto, as variáveis explicativas adotadas para cada uma das cidades foram individuais, considerando a realidade observada nas urbes e os coeficientes de correlação parciais alcançados.

³³ Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fitted-line-plot/interpret-the-results/key-results/>. Acesso em: 14 maio. 2019.

Foram tratados por modelagem os dados registrados nos transectos simultâneos. Identificados os padrões de repetição da forma e da intensidade da ICU, a presente análise dedicou-se em demonstrar a alternância do desenho da ICU e a variação da intensidade mediante os diferentes tipos de tempo. Portanto, apresenta-se os resultados de quatro episódios e a espacialização da média de todos os transectos.

4 A CIDADE E O CLIMA URBANO

As discussões sobre a atmosfera das cidades no âmbito da ciência remontam o século XVII com a cidade de Londres como recorte de investigação no contexto da Revolução Industrial. Os trabalhos clássicos já destacavam as interferências dos núcleos urbanos e da agricultura nos climas dos lugares, tratando, sobretudo, do aumento da temperatura e da poluição atmosférica. Frequentemente, estas análises estavam amparadas pela perspectiva meteorológica e estática da atmosfera (CHANDLER, 1965; LANDSBERG, 1981).

Os temas concernentes à climatologia das cidades passaram a comparecer na literatura internacional pela razão de que as cidades e as áreas metropolitanas se expandiram na superfície terrestre com projeções significativas de crescimento e concentração populacional, e, por isso, os primeiros estudos dedicavam-se às metrópoles europeias. Evelyn (1661 apud LANDSBERG, 1981)³⁴ iniciou os estudos descrevendo o ar poluído e a elevada nebulosidade do ar de Londres como efeitos da industrialização. A cidade de Paris evidenciou alterações climáticas importantes, quando Renou (1855 apud GARTLAND, 2010)³⁵ constatou o aumento da temperatura na cidade a partir de medições com termômetros. Schmidt (1917 apud GARTLAND, 2010)³⁶ introduziu estudos de micrometeorologia da paisagem urbana inovando com uso de veículos para medições móveis e estações fixas de registro. Outro trabalho clássico, Chandler (1965) versou sobre alterações da cidade no clima que se expressam pelo aquecimento, inversões nos padrões de ventilação e concentração dos poluentes, tendo como recorte a cidade de Londres.

A abordagem essencialmente geográfica do clima compareceu na literatura somente no século XIX em virtude da institucionalização tardia da Geografia como ciência (SANT'ANNA NETO, 2013). Segundo o autor, destacou-se o pioneirismo de Emmanuel De Martonne na classificação climática e na definição geográfica do clima em sua obra *Traité du Géographie Physique* (1909) caracterizando o clima como a zona de contato entre a atmosfera, as águas e o solo, considerando-se o estado médio da atmosfera em um ponto da superfície.

No decorrer do século XX, várias críticas e concepções de estudos do clima na perspectiva da Geografia se sucederam. Em oposição ao estado médio da atmosfera, Maximilien Sorre (1951, p. 14, tradução nossa) defendeu que o clima é entendido como a “série

³⁴ EVELYN, J. (1661). *Fumifugium: or the Inconvenience of the Aer, and Smoke of London Dissipated*. Oxford. (Reimpressão de. Man-chester: *National Smoke Abatement Society*, 1933). 43 p.

³⁵ RENOU, E. Instructions meteorologiques. *Annuaire Société Meteorologie de France* 3 (1), p. 73-160.

³⁶ SCHMIDT, W. (1917). Zum Einfluss grosser Städte auf das Klima. *Naturwissen* 5, p. 494-495.

de estados atmosféricos sobre um lugar em sua sucessão habitual”, uma concepção mais abrangente já que considera a dinâmica atmosférica (série de estados da atmosfera) e a noção de ritmo (sucessão habitual).

No Brasil, os estudos de climatologia tinham como modelo as produções europeias e, por este motivo, eram amplamente divulgados na Europa. Somente com a fundação das universidades de São Paulo e do Rio de Janeiro que os estudos climatológicos passaram a circular no Brasil em 1934. As primeiras obras de cunho climatológico brasileiras tinham preocupações voltadas para a relação homem-clima e para a proposição de classificações climáticas com base na meteorologia e na medicina (MORIZE, 1889; 1922; PEIXOTO, 1938).

A partir da noção de ritmo proposta por Sorre,(1951) que fundamentou trabalhos de França (1946 apud ZAVATTINI, 2015)³⁷ e Monteiro (1971), cujas obras apresentaram grande repercussão na Geografia, é que se firmou um paradigma apropriado aos estudos geográficos do clima no Brasil, distinguindo-o da meteorologia (ZAVATTINI, 2004). Dessa forma, os estudos de clima na perspectiva estática, fortemente amparada pela matemática e pela estatística foram se desenvolvendo de maneira dinâmica.

Com a análise rítmica, Monteiro (1971) realizou o tratamento dinâmico do clima, pois demonstra a dinâmica atmosférica e a gênese dos acontecimentos:

[...] a abordagem alcança o nível geográfico quando colocamos a análise dos tipos de tempo em sequência contínua. Embora nas mais diferentes escalas de tempo ou espaço - desde a análise comparativa de vários anos tomados como padrões representativos da circulação de um continente, nas variações sazonais dentro de um ou alguns anos numa região, até a análise episódica de um fenômeno local - será necessária a continuidade da sequência. Por coerência com a noção de “sucessão” de que se reveste o caráter geográfico do clima. Porque só o encadeamento dos estados atmosféricos mostra os “tipos” esquematizados na análise meteorológica precedente, em suas perspectivas reais, revestidos de suas infinitas gradações e facetas. Também é pela sucessão que se percebem as diferentes combinações dos elementos climáticos entre si e suas relações com os demais elementos do quadro geográfico. É a sequência que conduz ao ritmo, e o ritmo é a essência da análise dinâmica (MONTEIRO, 1969, p. 13).

No intuito de superar a abordagem do clima que colocava o homem e a natureza como forças ambíguas (homem *versus* natureza), Monteiro (1976) se amparou na Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1950 apud MONTEIRO, 2003) e elaborou uma proposta teórico-

³⁷ FRANÇA, A. Estudo sobre o clima da bacia de São Paulo. Geografia, n. 3, FFCL/USP, São Paulo, 1946.

metodológica nomeada de Sistema Clima Urbano (S. C. U.), uma concepção sistêmica da cidade com ampla divulgação em sua obra *Teoria e clima urbano*.

A partir da concepção sistêmica, o clima urbano é concebido como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (MONTEIRO, 2003, p. 19), uma dimensão do espaço urbano que afeta a saúde e o desempenho das populações continuamente. O S. C. U. está ordenado em subsistemas ligados aos filtros perceptivos humanos, dentre os quais o subsistema termodinâmico e o respectivo canal do conforto térmico que tem como produto direto as ilhas de calor atmosféricas.

O subsistema termodinâmico é um dos temas mais trabalhados nas pesquisas de clima urbano no Brasil. Essa preferência pelo canal térmico é explicada pelas características naturais do clima tropical que proporcionam desconforto pelo excesso de calor e pela facilidade instrumental (MENDONÇA, 2015).

Na perspectiva termodinâmica, destacaram-se trabalhos como o de Lombardo (1985), que investigou as ilhas de calor na metrópole paulistana e inaugurou em sua análise o sensoriamento aplicado à detecção da ilha de calor de superfície, e o de Mendonça (1994), que apresentou notável estudo sobre Londrina (PR) a partir da metodologia de detalhamento das características intraurbanas e do comportamento higrométrico dos solos rurais.

Entre os anos 2000 a 2010, ainda com grande ênfase ao campo termodinâmico, os estudos de caso aplicados às cidades de médio e pequeno porte concentraram-se nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, em razão do destaque progressivo que estas regiões tiveram no cenário econômico brasileiro atraindo e absorvendo a população (SANTOS; ELIAS 1996), quadro que levou à urbanização intensa e geradora de problemas de qualidade ambiental que comprometem a qualidade de vida em cidades de todos os portes. Alguns destes estudos foram destacados, pois convergem com a presente tese, pela particularidade da localização no interior do Estado de São Paulo e dedicação ao tema da ICU.

Pitton (1997) investigou simultaneamente o campo térmico de cidades de médio e pequeno porte e atestou alterações térmicas derivadas dos componentes geourbanos, assim como a importância das áreas verdes para arrefecimento dos ambientes através da proposição de modelos de zonas arbóreas para cada cidade estudada.

Com referência à cidade de médio porte, o trabalho de Amorim (2000) comprovou a existência de um clima específico em Presidente Prudente (SP) derivado do uso e da ocupação da terra e das demais características físicas do sítio urbano como o relevo e a densidade de cobertura vegetal.

Tratando-se de cidades de pequeno porte, Ugeda Junior (2012) identificou o clima específico urbano em Jales (SP), localizada no Noroeste do Estado de São Paulo, cujas diferenças térmicas foram superiores a 10°C em condições de estabilidade atmosférica. O estudo voltou-se para o clima urbano e o planejamento da paisagem aplicado ao planejamento urbano.

Considerando estudos de cidades médias, a cidade de Araçatuba foi estudada por Minaki (2014) que utilizou-se do clima urbano como indicador de qualidade ambiental lançando-se de medidas móveis para investigação da ilha de calor atmosférica que atingiu a máxima intensidade de 6,4°C. O estudo incorporou a delimitação de unidades paisagísticas para o planejamento urbano.

Teixeira (2015) analisou o subsistema termodinâmico pelos procedimentos clássicos de registro de dados primários em Rancharia (SP). Os dados foram tratados por procedimentos diversos, entre eles, a modelagem da ilha de calor. O estudo demonstrou que a urbanização e as funcionalidades da superfície urbana contribuem para a formação do clima urbano de Rancharia. O perfil clássico da ilha de calor foi confirmado, quando as ilhas de calor atingiram magnitudes moderada a forte. Pelo estudo, a autora propôs medidas ao planejamento urbano voltadas para a amenização dos efeitos da ilha de calor.

Em estudo sincrônico entre cidades de pequeno e médio porte do interior paulista, Ortiz-Porangaba (2015) constatou que o uso e ocupação da terra influenciou mais do que o tamanho das cidades na intensidade da ilha de calor atmosférica monitorada por transecto móvel e pontos fixos.

Em investigação do clima urbano de Penápolis (SP), Moreira (2016) identificou que a ilha de calor se difere entre as estações do ano, sendo que no verão ocorreu a maior magnitude e duração em relação ao inverno, quando a ilha térmica foi extinta no período da tarde. O estudo considerou dados gerais e médios mediante os tipos de tempo e as características meteorológicas como dias com vento e sem vento, com chuva e sem chuva.

Amorim (2017) discutiu a teoria e a experimentação aplicada aos estudos de clima urbano, demonstrando os avanços no tratamento dos dados climatológicos tomando como recorte a cidade média de Presidente Prudente (SP). A autora diagnosticou as ilhas de calor articulando as características de superfície com a dinâmica atmosférica pelo viés analítico do episódio e demonstrou os resultados por procedimentos inovadores como a modelagem multicriterial.

Esses estudos comprovam que há semelhança nos padrões térmicos do ambiente tropical continental, mas cada cidade manifesta sua singularidade climática a partir das características do sítio urbano combinadas à dinâmica atmosférica.

4.1 Ilha de calor urbana: conceito e gênese

Documentada desde o século XIX em cidades de tradição industrial como Londres (HOWARD, 1833 apud LANSDBERG, 1981), a ilha de calor foi inicialmente diagnosticada em grandes metrópoles, mas estudos posteriores realizados a partir do século XX, bem como os mais recentes também o constataram em diversas regiões climáticas do globo e em cidades de menores portes (AMORIM, 2000; 2017; ARNFIELD, 2003; CARRERAS; MARIN; MARTIN VIDE; MORENO; SABÍ, 1990; DOYLE; HAWKINS, 2008; DORIGON, 2015; FERNANDEZ GARCÍA, 1986; 1990; MENDONÇA, 1995; MINAKI, 2014; MONTEIRO, 1997; MOSER; UHL; ROTZER; BIBER; DAHLHAUSEN; LEFER; PRETZSCH, 2017; ORTIZ-PORANGABA, 2015; PITTON, 1997; TEIXEIRA, 2015).

O fato é que a ICU é considerada como um dos maiores problemas do século XXI, uma situação que torna as pessoas mais vulneráveis, pois a maior parte da população mundial reside nas cidades com projeções de maior crescimento até 2030, conforme a *World Urbanisation Prospectus* (2019) (RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008, tradução nossa).

O fenômeno é conceituado como o excesso de calor antropogênico nas áreas urbanas em relação ao rural circundante que se forma pelas características superficiais urbanas, combinadas com as condições de meteorologia (OKE, 1987). Conforme Carreras, Marin, Martin Vide, Moreno e Sabí (1990, p. 53, tradução nossa), “[...] existe na cidade uma peculiaridade climática que acarreta na modificação térmica a favor do centro urbano e entre este e a periferia das cidades”.

Em áreas do clima temperado, as ilhas de calor propiciam benefícios para amenização dos efeitos do frio, tanto no que diz respeito à economia energética como no conforto térmico dos indivíduos. A literatura ainda nos apresenta a expressão ilha de frescor urbana (RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008) para designar os setores mais frios do que os arredores da ilha de calor, o que no ambiente tropical pode ser benéfico no mesmo sentido.

Considerando que a ICU é, portanto, um dos elementos mais característicos do clima urbano, seu estudo perpassa pelo entendimento da variação espaçotemporal e da força, descritas como:

- a) A intensidade como indicativa da magnitude do fenômeno. Depende em grande parte do tamanho do espaço urbano e das condições meteorológicas dominantes.
- b) As variações espaciais estão quase todas relacionadas com as diferentes estruturas urbanas.
- c) O ritmo diário e sazonal depende dos ciclos diários e estacionais da radiação (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996, p. 263, tradução nossa).

A intensidade da ICU relaciona-se ao efeito ou força do fenômeno, sendo obtida pela diferença de temperatura do ar entre áreas urbanas e rurais (VOOGT, 2002), enquanto que a magnitude é de ordem qualitativa e refere-se à característica das ilhas de calor medida pela intensidade, sendo a classificação mais utilizada na comunidade científica aquela elaborada por Fernandez García (1996).

A literatura demonstra que as ilhas de calor são verificadas em todos os portes de cidade, pois os materiais construtivos empregados na estruturação urbana como os objetos escuros e os pavimentos são impermeáveis, não-evaporativos e não dispõem de umidade para dissipar o excesso de calor, e por isso absorvem e armazenam energia (JENSEN, 2011).

As manifestações desse fenômeno nas cidades de ambientes tropicais potencializam o calor e o desconforto térmico aos cidadãos, desencadeando problemas de saúde, exigindo maior aporte energético para o arrefecimento dos ambientes internos, o que não é amplamente acessível às populações, especialmente nos países subdesenvolvidos. Além do excesso de calor, o fenômeno provoca:

[...] Além das temperaturas mais elevadas, as ilhas de calor propiciam a circulação do ar na cidade que favorece a concentração de poluentes. As diferenças nas temperaturas provocam diferenças nas pressões, pois na escala local do clima, temperaturas maiores resultam em menores pressões e, conseqüentemente, o ar do entorno mais frio desloca-se para os lugares mais quentes. Nesse percurso, caso haja fontes emissoras de poluição no ar, tais poluentes são carreados para os lugares mais quentes, podendo resultar em problemas de saúde nas pessoas que respiram esse ar (AMORIM, 2010, p.73).

Tais alterações nos padrões de ventos pelas diferenças de pressões que influenciam na dispersão dos poluentes são mais importantes em maiores áreas urbanas e de vocação industrial (MENDONÇA, 2003).

A gênese da ilha de calor decorre da relação da radiação com a superfície terrestre cujo trânsito de energia é explicado por esquemas de emissão, reflexão, transmissão e absorção, designado balanço de radiação. Na atmosfera, a transferência de energia ocorre

simultaneamente através de processos que envolvem ondas curtas nos menores comprimentos de ondas da luz visível (radiação solar), os que envolvem radiação de ondas longas na faixa espectral do infravermelho, associados à radiação terrestre e, finalmente, pelos processos de transferência de energia por convecção (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A radiação pode ser refletida, absorvida ou transmitida conforme as propriedades térmicas dos componentes da superfície terrestre. Cada corpo/alvo possui um determinado coeficiente de reflexão ou albedo, que é a capacidade dos corpos refletirem a radiação, um saldo explicado em porcentagem e variável em função da cor e constituição dos objetos. De modo geral, elevados albedos representam materiais eficientes para a reflexão da energia, conforme demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3: Albedo de algumas superfícies

Tipo de superfície	ALBEDO %
Solo negro e seco	14
Solo negro e úmido	8
Solo nu	7-20
Areia	15-25
Florestas	3-10
Campos de cultivos secos	20-25
Gramados	15-30
Cidades	14-18
Concreto seco	17-27
Madeira	5-20
Asfalto	5-10

Fonte: Danni-Oliveira; Mendonça (2007, p. 35).

Algumas características urbanas que se relacionam à formação das ICUs atmosféricas estão reunidas no Quadro 4. Ocorre um acúmulo de energia nas áreas urbanas em virtude do balanço de radiação solar e atmosférica incidente que pode ser emitida e refletida a partir das superfícies formadas por materiais com menor capacidade de refletância da energia solar incidente e pouco evaporativos. Essa característica interfere na variação temporal da ilha de calor, uma vez que existe um armazenamento de calor durante o dia e liberação do excesso de calor no decorrer da noite. Genericamente, as ilhas de calor são mais quentes após o pôr do sol,

mas “a magnitude da intensidade das ilhas de calor e seus horários de pico variam de cidade para cidade” (GARTLAND, 2010, p. 13).

Quadro 4: Características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre.

Características que contribuem para a formação das ilhas de calor	Efeitos sobre o balanço de energia
Falta de vegetação	Reduz evaporação
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz evaporação
Maior difusidade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa reflectância solar dos materiais urbanos	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta o calor antropogênico

Fonte: Gartland (2010, p. 26).

Os materiais urbanos como o asfalto, a impermeabilização excessiva da superfície e a consequente diminuição das superfícies permeáveis favorecem o armazenamento de calor pelas suas propriedades térmicas como a condutividade e capacidade calorífica dos objetos. De maneira oposta, as superfícies representativas da área rural têm outra resposta térmica pela presença de cobertura vegetal (rasteira ou arbórea) e porque não apresentam densidade construtiva. A cobertura vegetal possui maior capacidade térmica, demandando mais tempo para se aquecer. Além disso, são mais evaporativas e transportam o calor para a atmosfera sem adição de calor à atmosfera na forma de calor latente (GARTLAND, 2010).

Especialmente, as ilhas de calor variam pela distinção entre áreas urbanas e rurais, mas também pela diferenciação intraurbana expressa pelo uso e ocupação da terra (AMORIM; DUBREUIL; QUENOL; SANT’ANNA NETO, 2009). O desenho da ilha de calor comprova que áreas mais densamente construídas e com pouca cobertura vegetal possuem temperatura do ar mais elevadas do que áreas de baixa densidade construtiva, providas de cobertura vegetal e feições rurais.

O padrão clássico de configuração da ilha de calor “centro-periferia” se verifica na maioria das cidades, mas também pode se manifestar na forma de arquipélagos, com vários núcleos de excesso de calor em função de maior ou menor densidade construtiva

(MENDONÇA, 2002). As condições de meteorologia, como a velocidade e a direção dos ventos, são importantes para sobressair as diferenças de temperatura do ar entre as áreas urbanas e o rural próximo, interferindo na intensidade do fenômeno.

4.2 Tipos de ilha de calor

Conforme a heterogeneidade, a rugosidade da superfície e a maneira como cada feição interage com as forças externas (aquecimento solar, precipitação e o fluxo de ar), diferenciam-se as ilhas de calor atmosféricas de nível superior e inferior que se formam sobre as cidades:

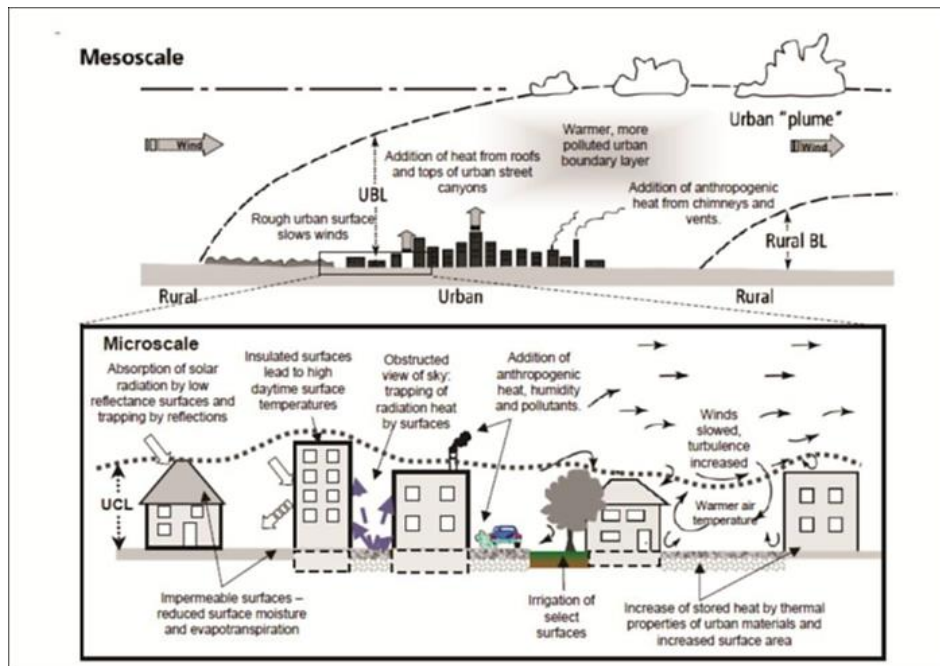
a) Urban boundary layer: A camada limite urbana é um fenômeno local de mesoescala, cujas características são reguladas pela natureza da “superfície” urbana.

b) Urban canopy-layer: camada de dossel urbano (camada de cobertura urbana), o qual é produzido por processos de microescala que operam nas ruas, entre as construções. Seu clima é um conjunto de microclimas cada um dos quais é dominada pelas características de seu entorno imediato (OKE, 1987, p. 274, tradução nossa).

A *Urban Boundary Layer* (UBL) é a ilha atmosférica da camada superior, um processo de mesoescala que ocorre no espaço urbano pela adição de calor a partir do nível dos telhados e do alto de estruturas que formam *canyons* urbanos (edifícios), cuja rugosidade reflete na diminuição do fluxo dos ventos.

O segundo tipo, *Urban Canopy Layer* (UCL), ou camada do dossel urbano, refere-se à ilha atmosférica de nível inferior, fenômeno observado em microescala a partir do solo até o nível dos telhados e que, portanto, reúne toda complexidade urbana, pois se expressa através: 1) do excesso de calor armazenado pelos materiais urbanos; 2) da redução da evapotranspiração pelo exagero na impermeabilização das superfícies; 3) da obstrução do fator de visão do céu (*sky view factor*), como um efeito dos edifícios que aprisionam o calor das superfícies; 4) da desaceleração dos ventos ou aumento da turbulência que contribuem para concentração do excedente de calor próximo à superfície. A Figura 5 apresenta o esquema dos dois tipos de ilhas de calor verificadas nas cidades.

Figura 5: Processo de formação da ilha de calor urbana



Fonte: http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/EPA_How_to_measure_a_UHI.pdf. Acesso em: 22 out. 2013.

Um terceiro tipo de ilha de calor é verificado no nível da superfície, designada ilha de calor superficial (AMORIM, 2018; CHEN; ZHAO; LI; YIN, 2006; FIALHO, 2009; LOMBARDO, 1985; LUCENA, 2013; STATHOPOULOU; CARTALIS, 2006; WENG, 2009). Referem-se à temperatura dos alvos presentes na superfície e não à temperatura do ar propriamente, pois não existe uma correspondência exata da superfície em modular a temperatura do ar visto que este está sujeito a outras influências, tais como a variação horária da temperatura do ar, as condições de meteorologia, a geografia e o padrão de urbanização de cada cidade (GARTLAND, 2010).

Apesar de não se estabelecer diretamente essa relação, a medição da temperatura dos alvos é importante no sentido de verificar as feições aquecidas presentes na superfície urbana, como as coberturas, os pavimentos, a cobertura vegetal, e os solos nus, e que, portanto, estão associados ao uso e cobertura da terra (AMORIM, 2017b).

5 CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES DO UNIVERSO DE ANÁLISE

5.1 Caracterização geoambiental: a cartografia dos sítios urbanos

Entender o sítio urbano e a relação que a cidade estabelece com o relevo é primordial para a análise climática em fina escala visto que as condições do clima urbano local derivam tanto da heterogeneidade do terreno como também da estruturação e funcionalidade urbana (FIALHO, 2009).

As cidades do recorte territorial estão inseridas no planalto ocidental paulista com predomínio de relevo monótono suavemente ondulado, formado por colinas e morretes cujas altitudes variam entre 250 e 600 metros (BOIN, 2000). O relevo interage com o clima nos aspectos da altimetria, orientação e inclinação das vertentes, pois “a posição do relevo favorece ou dificulta os fluxos de calor e umidade entre áreas contíguas” (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 47). Na distribuição espacial das temperaturas, a altimetria proporciona diferenças entre os topos e os fundos de vale especialmente no período noturno em virtude da inversão térmica, pronunciadas em episódios regidos pelas massas polares (AMORIM, 2017), favorecendo o posicionamento do ar frio nos fundos de vale e o ar quente nas partes mais elevadas do sítio urbano.

O aspecto da orientação do relevo é decisivo na distribuição da incidência solar sobre as superfícies produzindo diferenças no balanço de energia em virtude da maior ou menor exposição ou sombreamento. Nas latitudes em que as cidades do estudo se encontram, a vertente Norte recebe maior incidência solar do que a vertente voltada ao Sul, pois no hemisfério Sul, “o Sol estará sempre no horizonte norte, deixando à sombra as vertentes voltadas para o horizonte sul” (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 47). Visando a abordagem dessa característica, cartas de relevo sombreado foram elaboradas. Com relação às vertentes posicionadas para o Leste ou Oeste observa-se distribuição similar em função do movimento aparente do sol no período da manhã (nascente) e tarde (poente).

No que diz respeito à rugosidade da superfície, áreas onduladas apresentam o fator da declividade na relação entre a distribuição de radiação e a superfície. Para a análise do fator declividade dos sítios urbanos investigados, esta pesquisa baseou-se na classificação executada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), através do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2009). Segundo a publicação, as condições de declividade que afetam a forma da topografia são diferenciadas nas seguintes classes de relevo:

Plano - superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 a 3%.
 Suave ondulado - superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3 a 8%.

Ondulado - superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%.

Forte ondulado - superfície de topografia movimentada, formada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45%.

Montanhoso - superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%.

Escarpado - áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando 75% (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2009, p. 287).

De forma geral, predominam nos sítios urbanos as condições de assentamento plano e relevo suavemente ondulado que atingem declividades de até 20% nas áreas urbanas investigadas.

5.1.1 Cartografia do sítio urbano de Presidente Venceslau

A variação altimétrica do sítio urbano de Presidente Venceslau ocorre no intervalo entre 325 e 460 metros, conforme exibido no mapa A da Prancha 1. Os fundos de vale se encontram ao Norte e ao Sul da malha urbana, separados pelo espigão divisor de águas onde foi construída a ferrovia, a parte mais plana e elevada do relevo. Os pontos fixos de registro de dados primários foram estabelecidos em cotas de altitudes próximas cuja média é de 402 metros.

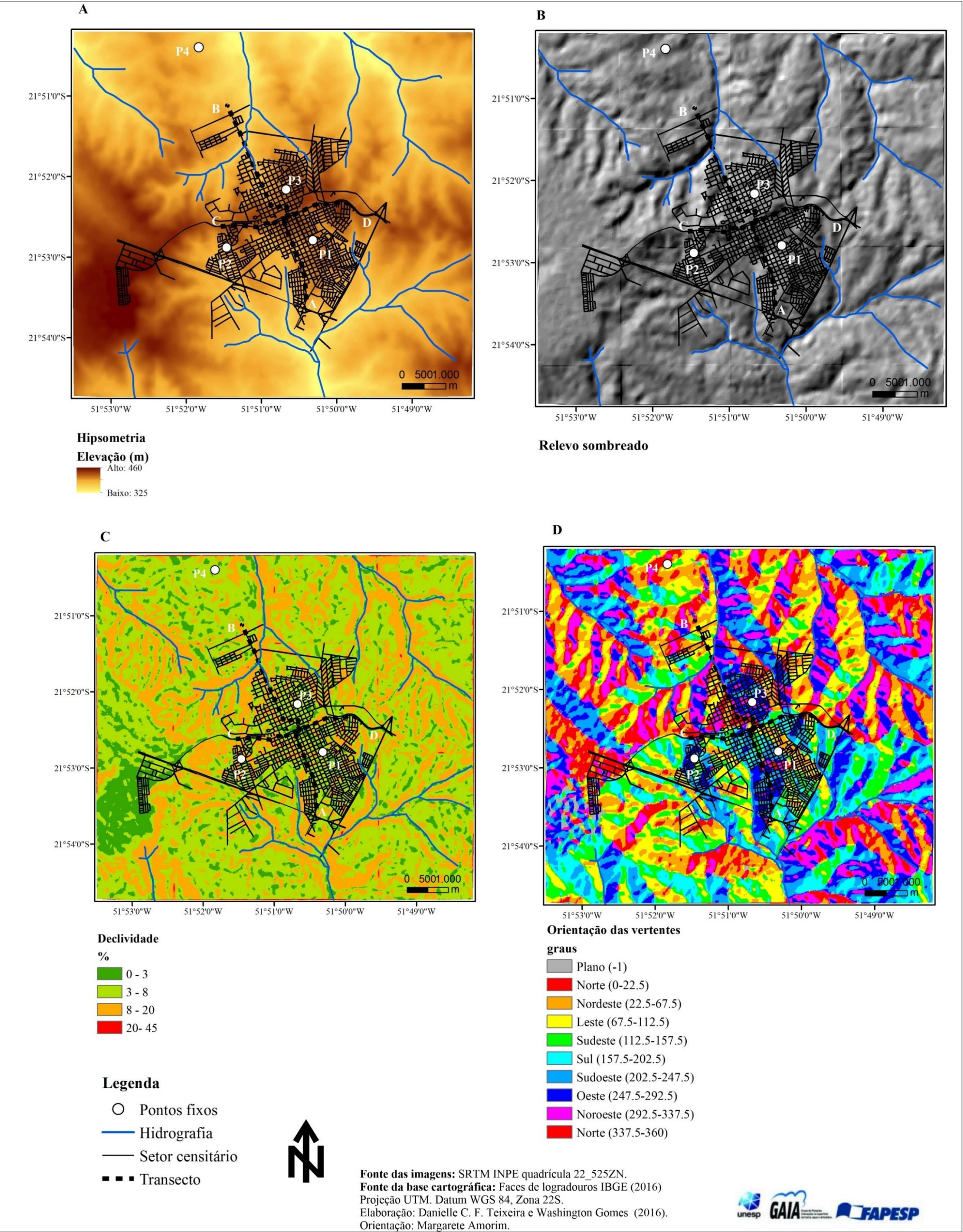
O relevo sombreado (Mapa B) favorece a análise do relevo conforme a distribuição de uma fonte de luz (GOMES, 2017). A carta elaborada para esta finalidade simula a posição solar conforme sua trajetória na abóboda celeste no hemisfério Sul. Para tanto, se utiliza do ângulo do azimute solar em determinado momento, que é definido como o ângulo compreendido entre a direção Norte e a projeção do sol sobre o plano do horizonte (VAREJÃO-SILVA, 2006). Em ferramenta apropriada do aplicativo *Arc gis*, foi simulada a direção solar em Noroeste, no

azimute 315° e na altitude de 45° , que expõe à condição de sombra as vertentes voltadas para o Sul e o quadrante Leste.

Examinando a carta de declividades (Mapa C), nota-se que na área em destaque, as declividades aumentam nas proximidades dos fundos de vale e são menores nas áreas do planalto que configuram-se como áreas planas. Com relação à posição dos pontos fixos, a maior declividade foi verificada somente no ponto 1 (de 8 a 20%), sendo mínima nos demais pontos (de 0 a 3%).

Quanto à orientação das vertentes (Mapa D), na malha urbana ocorre predomínio de vertentes voltadas ao Sudoeste, Oeste e Sul, alguns setores posicionados em vertentes de sentido Leste, Nordeste e Norte. Os pontos fixos apresentaram uma distribuição diversa neste aspecto: o ponto 1 volta-se para o Sul, o ponto 2 está voltado ao Oeste, o ponto 3 tem orientação Noroeste e o ponto rural está em vertente direcionada ao Norte.

Prancha 1: Cartografia do sítio urbano de Presidente Venceslau (SP): hipsometria, relevo sombreado, declividades e orientação das vertentes



5.1.2 Cartografia do sítio urbano de Santo Anastácio

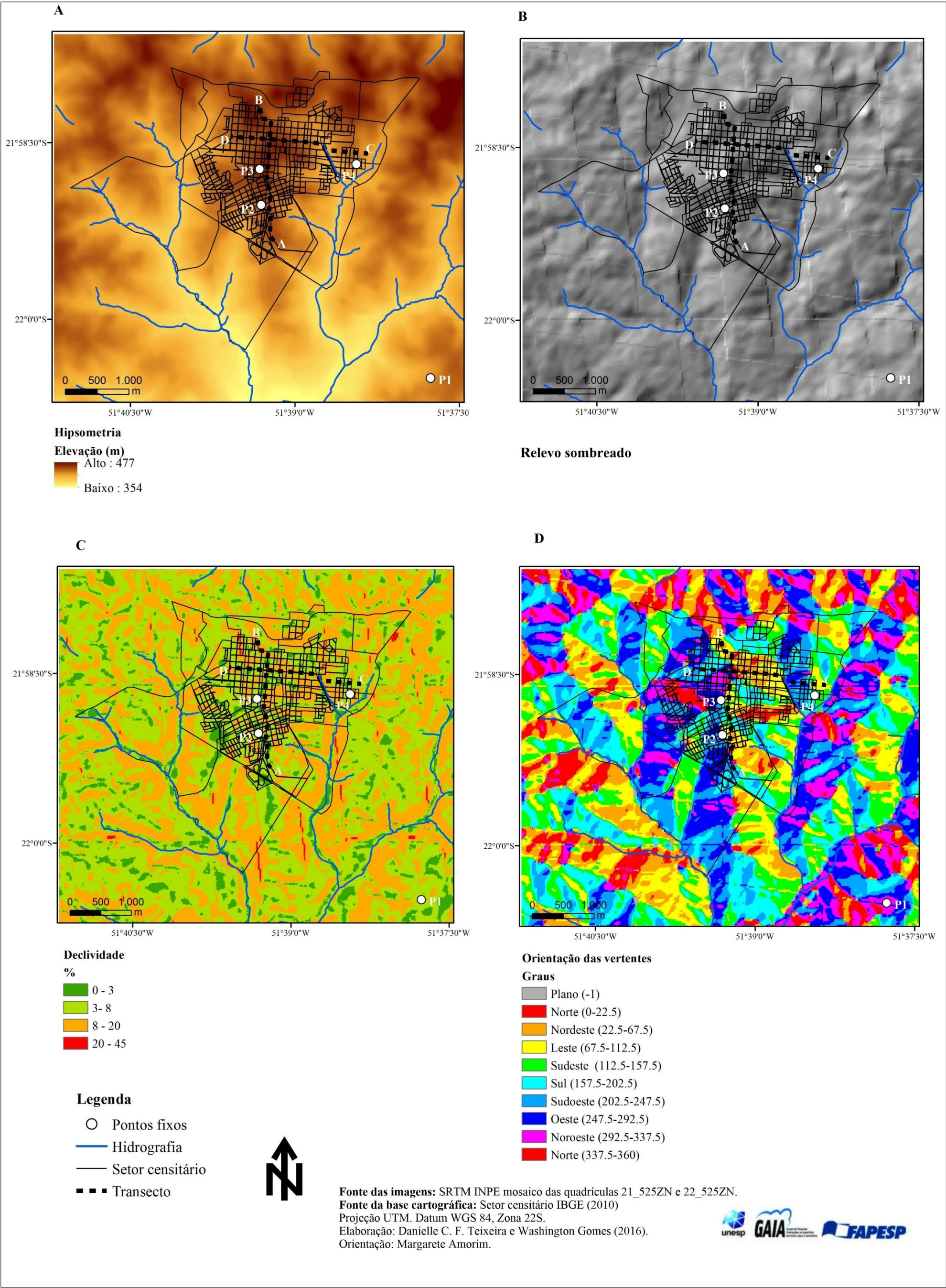
A cartografia do sítio urbano de Santo Anastácio está exibida para melhor associação das informações na Prancha 2. A malha urbana de Santo Anastácio situa-se em áreas planálticas no intervalo entre 477 e 354 metros como se visualiza no Mapa A da Prancha 2. No rural próximo verificam-se as baixas altitudes associadas aos fundos de vale que atingem 354 metros. Os pontos de registro da temperatura do ar foram fixados em áreas de altitude média de 432 metros.

Na carta de relevo sombreado (Mapa B), que simula a posição solar em Noroeste (azimute 315° na altitude 45°), as vertentes voltadas para o quadrante Sul apresentam maior sombreamento, o que se estabelece de forma evidente nas áreas próximas aos fundos de vale.

As declividades encontradas no sítio urbano de Santo Anastácio variam entre 0 e 20% (Mapa C), e são superiores a estes valores em direção aos fundos de vale na área intraurbana e no rural circunvizinho. A estação fixa 2 é a que apresenta a menor declividade (de 0 a 3%) no recorte, enquanto que as demais apresentam declividades variáveis entre 3 e 8%.

Quanto à orientação das vertentes, em Santo Anastácio (Mapa D), observa-se o predomínio de áreas dispostas em vertentes voltadas para o Sul, Sudoeste e Oeste. Na porção Leste da malha urbana, são verificadas as vertentes voltadas para o Norte, Nordeste e Leste. Os pontos fixos urbanos estão posicionados em áreas de ocorrência das vertentes Sudoeste (ponto 2), Oeste (ponto 3), Sul (ponto 4). No ponto de controle rural, a vertente está orientada para o Noroeste.

Prancha 2: Cartografia do sítio urbano de Santo Anastácio (SP): hipsometria, relevo sombreado, declividades e orientação das vertentes



5.1.3 Cartografia do sítio urbano de Álvares Machado

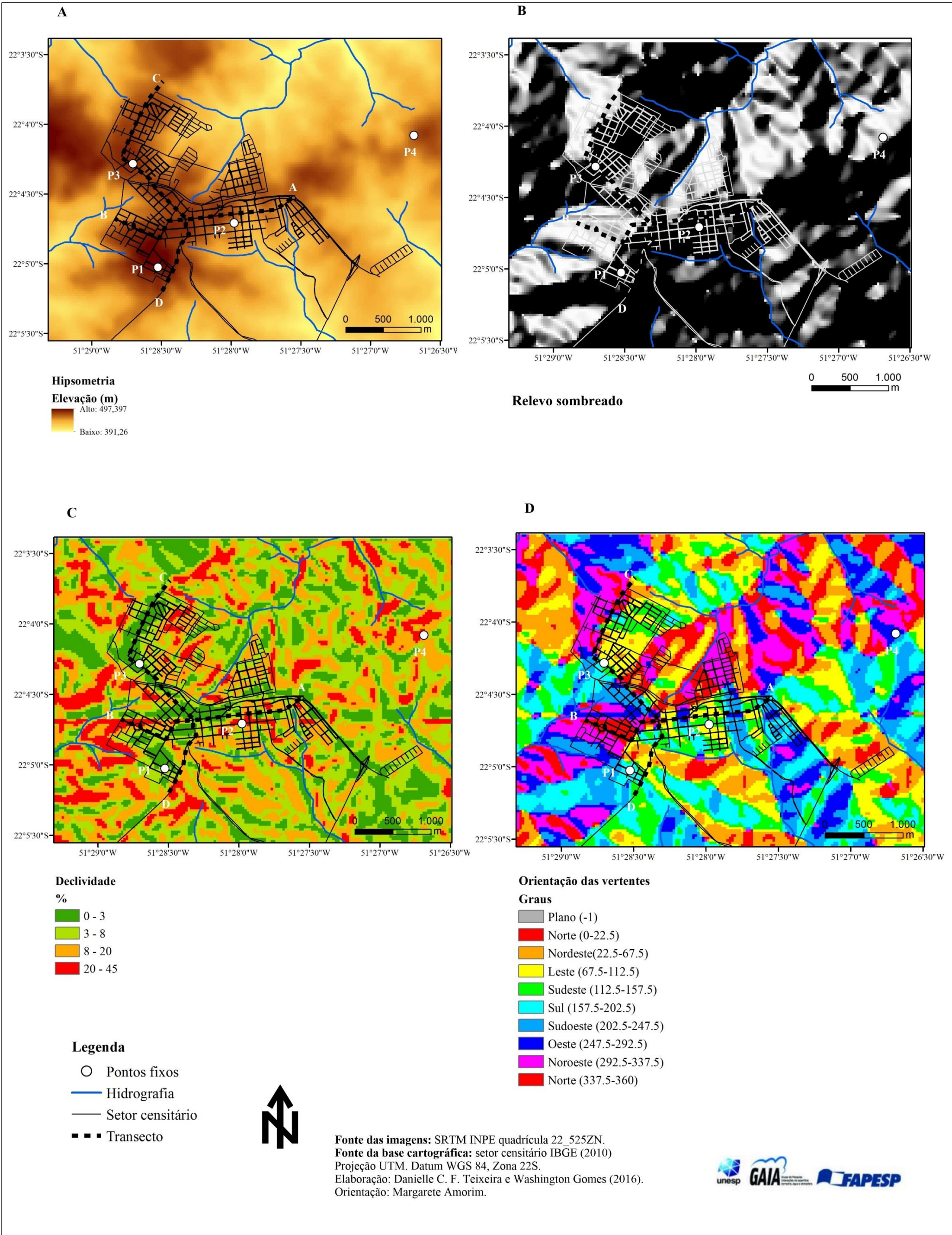
A Prancha 3 apresenta a síntese da cartografia do sítio de Álvares Machado. A característica principal do relevo da malha urbana de Álvares Machado é o fato de que a cidade se posiciona nos topos em toda a sua extensão, apresentando cotas de altitude que variam entre 382 e 497 metros (Mapa A), sendo que os pontos fixos variam pouco em altitude, cerca de 14 metros. As mínimas cotas de altitude verificadas aos fundos de vale ocorrem no rural próximo.

O relevo sombreado (Mapa B), na posição do azimute em 315° e 45° de altitude, mostra que os pontos urbanos apresentam situação semelhante de sombreamento em virtude da exposição de suas vertentes, sendo o ponto rural mais exposto aos raios solares.

Com relação ao fator declividade (Mapa C), observa-se pela análise da carta que as áreas do topo configuram setores planos enquanto que maiores declividades são encontradas na periferia da cidade, acompanhando os fundos de vale, onde atingem o valor de 20%. Com relação aos pontos de monitoramento da temperatura do ar, verifica-se que os pontos urbanos 1 e 3 apresentam cotas aproximadas de declividade, configurando áreas mais planas. O ponto urbano 2 se diferencia como o ponto de maior declividade (8 a 20%), assim como o ponto de controle rural (de 20 a 45%).

A orientação das vertentes da malha urbana de Álvares Machado (Mapa D) apresenta grande variação de posições. Analisando-se individualmente os pontos fixos, o ponto 1 posiciona-se em área de vertente voltada ao Sul, o ponto 2 em exposição de vertente Sudeste, o ponto 3 de orientação Leste e, finalmente, o ponto rural situa-se em vertente de posição Oeste.

Prancha 3: Cartografia do sítio urbano de Álvares Machado (SP): hipsometria, relevo sombreado, declividades orientação das vertentes



5.2 Caracterização urbana: uso e ocupação da terra nas cidades do universo de análise

Para entender a dimensão climática das áreas urbanas faz-se necessário “a setorização geográfica da cidade em ambientes relativamente homogêneos como base para o estudo da diferenciação climática intraurbana” (MENDONÇA, 2003, p. 99).

Para a realização desta etapa, a diferenciação dos ambientes intraurbanos considerou a densidade construtiva e a predominância de cobertura vegetal (arbórea ou rasteira) na área urbana das localidades empregando classificação manual e subjetiva³⁸ dos polígonos da malha urbana com base nas imagens de satélite de visualização híbrida³⁹ (ORTIZ-PORANGABA, 2015). A área rural limítrofe também foi classificada de acordo com a densidade de cobertura vegetal rasteira, arbustiva e arbórea, pois considera-se que no caso da cidade de pequeno porte o rural próximo é importante para a formação do clima urbano (MENDONÇA, 2003).

As classes de uso e ocupação da terra, elaboradas para a síntese das feições da superfície urbana, foram:

- ✓ Área de predomínio de vegetação arbórea: reúne nesta classe a arborização urbana ou rural de maior porte.
- ✓ Área de predomínio de vegetação rasteira: refere-se à vegetação rasteira presente na malha urbana como nos canteiros centrais, áreas públicas e na área rural caracteriza as pastagens.
- ✓ Expansão urbana: consistem nas áreas em fase de urbanização como os novos loteamentos das periferias urbanas.
- ✓ Policultura⁴⁰: classe que reuniu as áreas onde existem cultivos, tais como as hortaliças e as vegetações de médio porte (arbustos).
- ✓ Área industrial: identificou as edificações destinadas aos estabelecimentos industriais/comerciais cuja característica marcante é o emprego amplo das coberturas metálicas.

³⁸ Entende-se que para a finalidade da pesquisa, o tipo de classificação manual e subjetiva garantiu maior refinamento para o mapeamento, evitando-se assim as generalizações que são pertinentes às classificações automáticas.

³⁹ *Imagery*, Banco de dados disponível no aplicativo *Arc Gis*, marca *Esri*.

⁴⁰ A classe *policultura* foi identificada somente na área rural circundante de Álvares Machado, pois esse é o traço econômico do município juntamente com a pecuária. Nas demais cidades, o rural limítrofe é caracterizado somente pelas pastagens e pela ocorrência de vegetação arbórea nas áreas de fundos de vale, especialmente.

- ✓ Área densamente construída com vegetação esparsa e terrenos menores: nesta classe foram identificados os setores de grande densidade construtiva nos terrenos menores e com arborização esparsa no interior do lote ou nas calçadas. Esta classe pode ser visualizada tanto nas áreas centrais como periféricas, mas geralmente esteve associada aos grandes conjuntos habitacionais estabelecidos nas periferias urbanas.
- ✓ Área densamente construída, vegetação arbórea e terrenos maiores: esta categoria reuniu as áreas com terrenos maiores, dotados de vegetação arbórea que foram identificados nas áreas de ocupação mais antigas das cidades, próximas ou não aos centros comerciais.

5.2.1 O uso e a ocupação da terra em Presidente Venceslau de acordo com a densidade construtiva e a distribuição da cobertura vegetal

Na maior cidade do recorte de análise, Presidente Venceslau, predomina a classe denominada *Área densamente construída, vegetação esparsa e terrenos menores* com maior concentração nas porções central, Sudeste, Sul, Oeste e Noroeste da malha urbana, conforme ilustrado na carta de uso e ocupação elaborada para a caracterização da localidade (Figura 6).

Na maioria das quadras, notadamente naquelas posicionadas nas áreas de ocupação mais antiga, visualizaram-se terrenos grandes em profundidade. A vegetação que acompanha esta categoria é esparsa e está presente geralmente no fundo dos lotes ou no passeio público. Os tipos construtivos nesta classe são bastante variados, podendo se referir aos conjuntos habitacionais até residências maiores que alternam coberturas cerâmicas (vermelha) ou fibrocimento. Especialmente nos conjuntos habitacionais os lotes são ainda mais reduzidos colocando as edificações em justaposição.

A categoria *densamente construída, vegetação arbórea, terrenos maiores* compareceu predominantemente nos setores Norte, Nordeste e Noroeste da malha urbana de Presidente Venceslau. Esta área é caracterizada por residências com cobertura de telhas cerâmicas, edificadas em lotes grandes, dotados de cobertura vegetal rasteira e arbustiva.

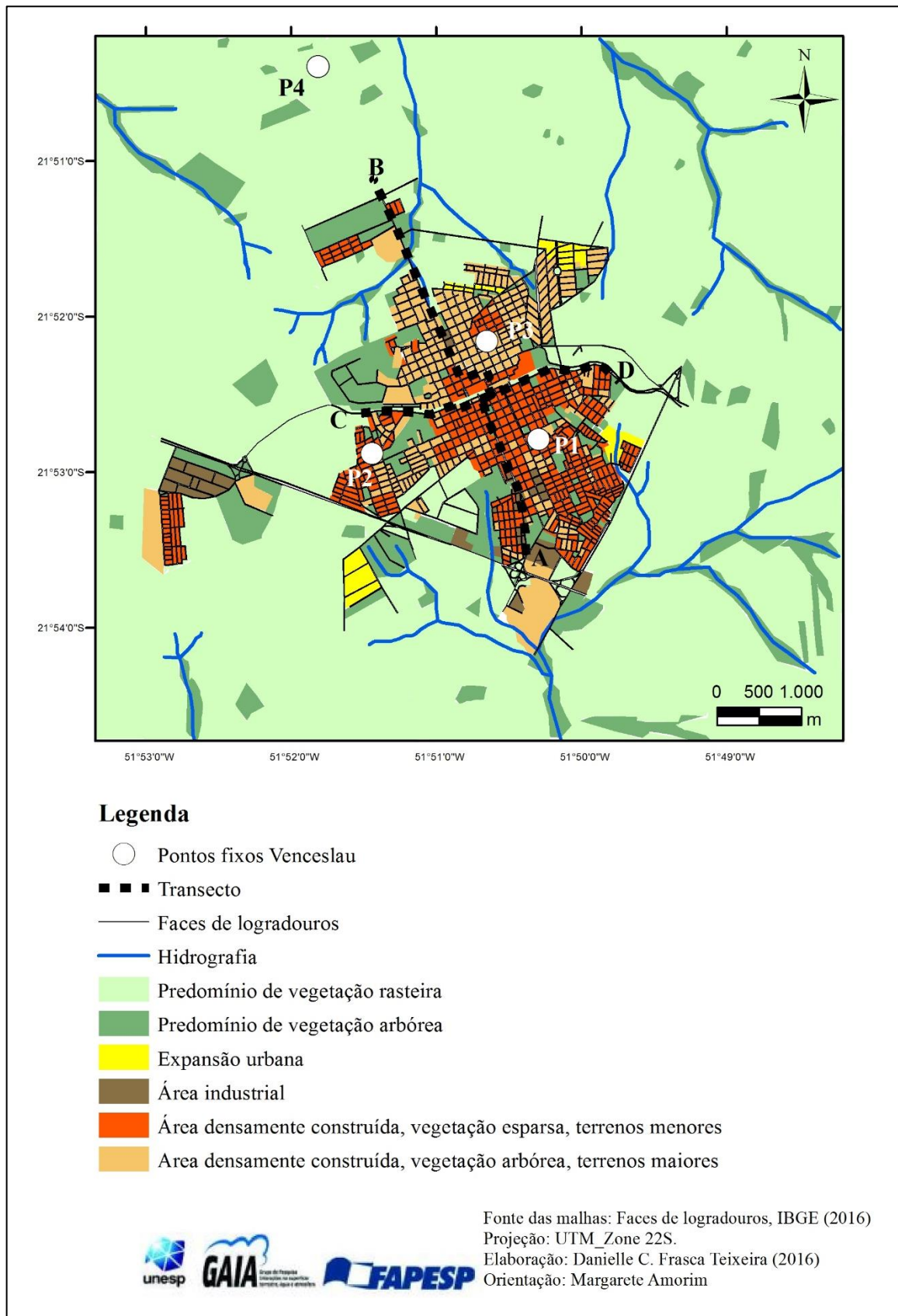
As áreas de *expansão urbana* são reduzidas nesta cidade e foram identificadas somente nos setores Nordeste, Leste e Sudoeste da área urbana.

A categoria *área industrial* refere-se às grandes edificações com coberturas metálicas no Oeste e na área Sul da malha urbana. Estes estabelecimentos são utilizados para a prática do comércio de automóveis, oficinas, indústria de transformação, confecções, entre outras funções.

O setor de *predomínio de vegetação arbórea* identificou áreas providas de cobertura vegetal arbórea como as praças públicas, as áreas de reserva de matas no limite entre os ambientes urbano e rural. É notável que no interior da área urbana esta classe é reduzida e se localiza nas praças.

A classe nomeada *predomínio de vegetação rasteira* identificou a vegetação de cobertura superficial, que na área urbana corresponde aos canteiros centrais e na área rural próxima referem-se às pastagens.

Figura 6: Mapa de uso e ocupação da terra, Presidente Venceslau (SP)



5.2.2 O uso e a ocupação da terra em Santo Anastácio de acordo com a densidade construtiva e a distribuição da cobertura vegetal

Em Santo Anastácio a caracterização do uso e ocupação da terra identificou o predomínio da categoria *Área densamente construída, vegetação esparsa e terrenos menores* nas áreas periféricas da cidade, conforme Figura 7. Estas correspondem às áreas de ocupação mais recente com predomínio dos conjuntos habitacionais que frequentemente utilizam a cobertura do tipo fibrocimento.

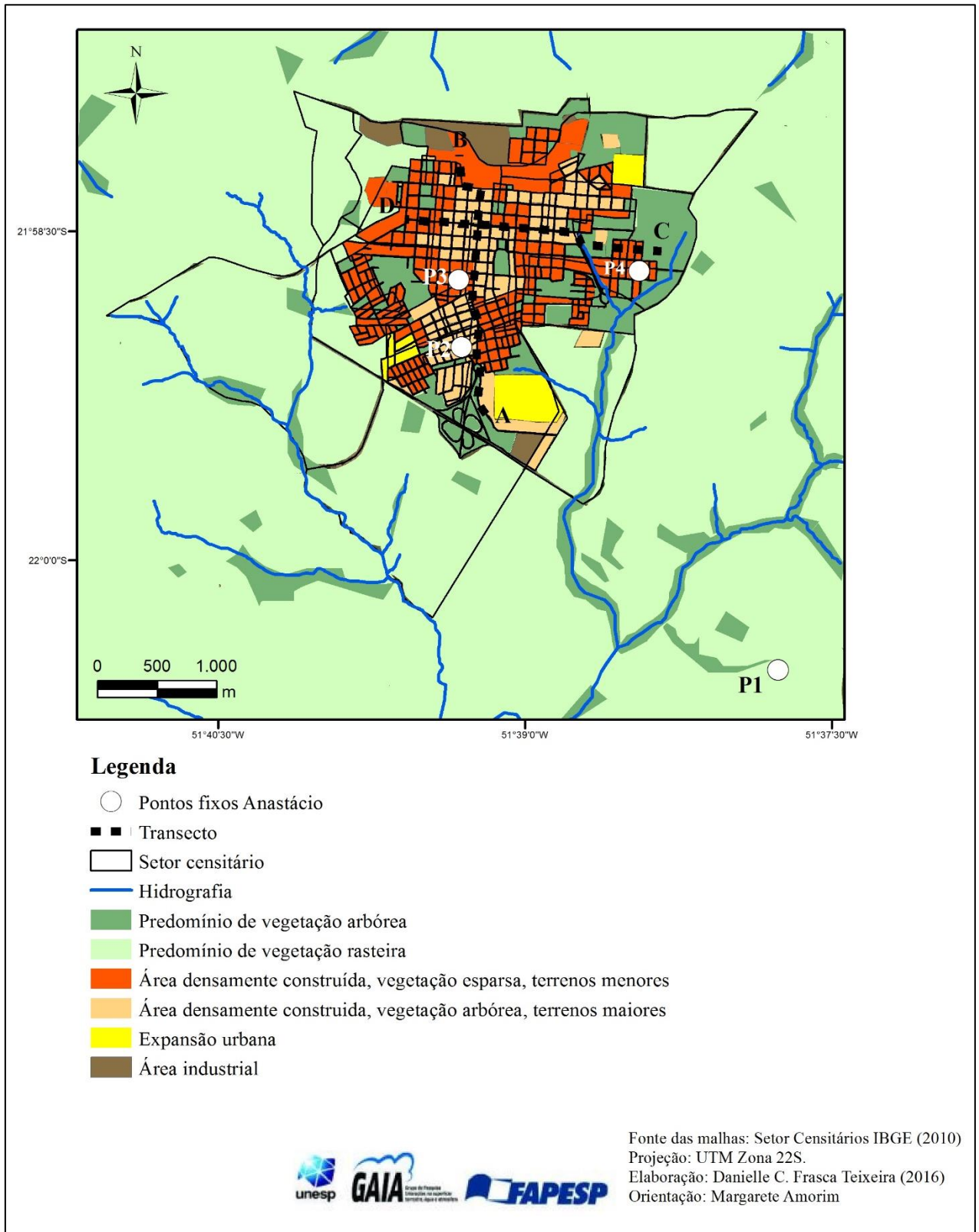
Na porção central da malha urbana, prevaleceu a classe *densamente construída, vegetação arbórea, terrenos maiores* que sugerem ter ocupação remota. De forma geral, no que se refere às características das edificações, as coberturas de telhas cerâmicas podem ser encontradas tanto nas áreas periféricas como na parte central de Santo Anastácio.

A classe designada *área industrial* reuniu os galpões de cobertura metálica posicionados ao Norte e ao Sudeste da malha urbana, que são ocupados por indústrias agropecuárias com destaque para a de ração animal e de sementes.

Setores referentes à classe de *expansão urbana* foram identificados ao Nordeste, Sudeste e Oeste da malha urbana, constituindo conjuntos habitacionais. A categoria *predomínio de vegetação arbórea* reuniu as áreas de reserva de matas no limite entre os ambientes urbano e rural e as praças públicas.

O *predomínio de vegetação rasteira* considerou as áreas urbanas na forma dos canteiros centrais e algumas áreas sem ocupação. Na área rural, esta mesma classe caracterizou o rural próximo onde predominam as pastagens.

Figura 7: Mapa de uso e ocupação da terra de Santo Anastácio (SP).



5.2.3 O uso e a ocupação da terra em Álvares Machado de acordo com a densidade construtiva e a distribuição da cobertura vegetal

Álvares Machado se caracteriza pela predominância da classe *área densamente construída vegetação arbórea, terrenos maiores* em sua área central devido ao seu histórico, cujo núcleo urbano se formou nas proximidades da estação ferroviária. Esta categoria também pode ser visualizada na porção Leste, Oeste e Noroeste da malha urbana, que são áreas de formação mais recentes, como se visualiza no mapa da Figura 8. Nesta classe, os terrenos apresentam-se maiores em profundidade, dotados de vegetação arbórea ao fundo dos lotes ou nas calçadas. Com relação às construções, esta classe combina edificações com coberturas cerâmicas e de fibrocimento.

A classe designada *área densamente construída, vegetação esparsa e terrenos menores* é evidenciada na parte Norte da cidade, onde se posicionam os conjuntos habitacionais caracterizados por grande densidade construtiva e coberturas de fibrocimento. Ao Sul da malha e demais áreas periféricas também foram identificados setores de terrenos menores.

Constituem *áreas de expansão urbana* aquelas verificadas nas regiões Noroeste, Leste, e Sudeste da área central. Na porção Sul, trata-se de área de residencial fechado, em fase de expansão.

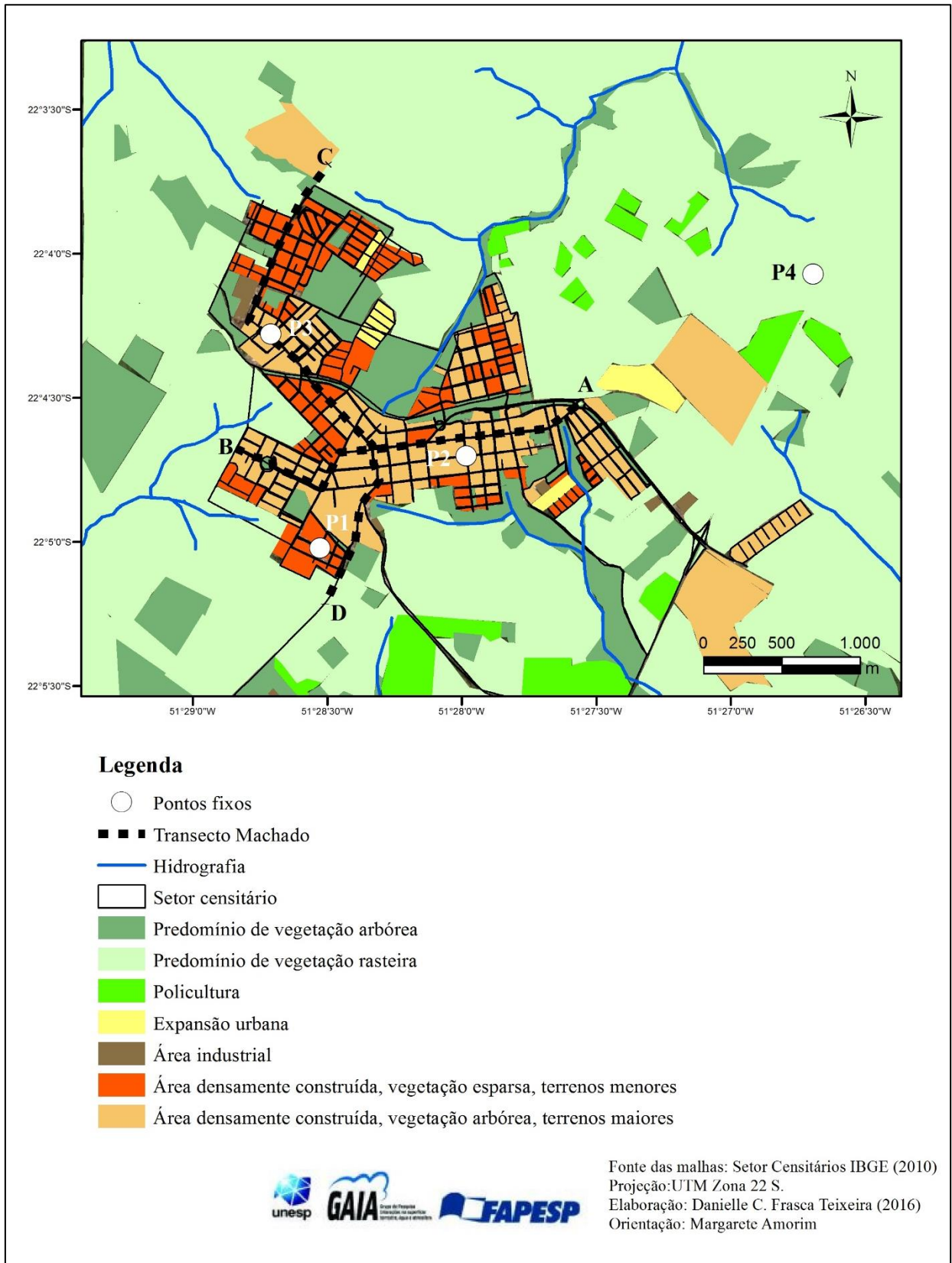
A categoria *Industrial* identificou os galpões e estabelecimentos que possuem as coberturas metálicas e que de maneira geral são ocupados pelo terceiro setor como os postos de combustíveis, oficinas mecânicas, escolas entre outras funções. A atividade industrial do município se deve à indústria química, de implementos, de sementes, papel, transformação da madeira, alimentícia entre outras, posicionadas nos limites com o rural circundante⁴¹.

O grupo denominado *predomínio de vegetação arbórea* agrupa as áreas de matas do entorno da malha urbana em contiguidade com o rural, as praças e os parques.

A classe *policultura* identificou as diversas áreas de cultivo como as hortas e fruticulturas localizadas no rural próximo de Álvares Machado, a única cidade com estas particularidades. A classe *predomínio de vegetação rasteira* representa as áreas de prevalência da vegetação rasteira que na área urbana é encontrada nos canteiros centrais e na área rural nas pastagens.

⁴¹ Essas indústrias foram identificadas durante os trabalhos de campo de reconhecimento das áreas de estudo.

Figura 8: Mapa de uso e ocupação de Álvares Machado (SP)

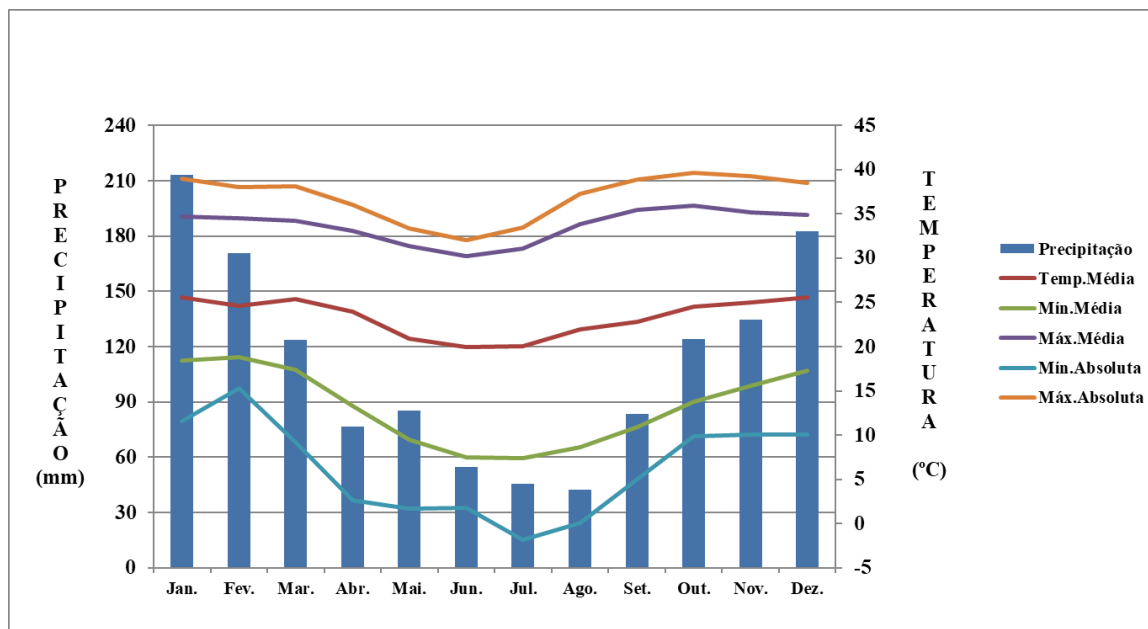


5.3 Caracterização climática das cidades na perspectiva regional

Inseridos no contexto climático da região Sudeste do Brasil, os municípios estão situados na área de atuação da maioria dos sistemas atmosféricos que atingem a América do Sul, em região de ocorrência do clima tropical continental.

A sazonalidade do clima da região Oeste do Estado de São Paulo é marcada pela definição de duas estações do ano de forte oposição, o verão e o inverno (Gráfico 1). As maiores temperaturas são percebidas nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, caracterizando o final da primavera e o início do verão. A partir do mês de maio, as temperaturas mensais se amenizam marcando o período de transição do outono para o inverno. As amplitudes térmicas são altas, mas, notadamente no inverno, mostram maior diferença entre a temperatura máxima e a mínima. A pluviosidade anual média é de 1300 milímetros, irregularmente distribuídas, pois as chuvas estão mais concentradas no verão, com maiores volumes no mês de janeiro. O inverno é a estação que caracteriza o período da estiagem com irregular precipitação (SANT'ANNA NETO; TOMMASELLI, 2009).

Gráfico 1: Climograma série histórica Presidente Prudente (1970-2017)



Fonte: Adaptado de Cunha Souza (2016) com atualizações (BDMEP, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – INMET, 2018).

Segundo Sant'Anna Neto (2000, p. 96), a posição latitudinal do Estado de São Paulo atribui-lhe uma complexidade de participações de sistemas atmosféricos, “visto que é nessa faixa de transição que ocorre o confronto entre os climas controlados pelos sistemas tropicais e pelos extratropicais (polares), além dos fenômenos frontológicos”.

A circulação atmosférica da América do Sul é regulada por sete centros de ação positivos e negativos que se alternam durante o ano. Especificamente, na porção Oeste do Estado de São Paulo, os centros de ação com maior importância na regulação da dinâmica atmosférica se referem ao anticiclone semifixo do atlântico Sul, cuja mobilidade no sentido Leste-Oeste é dada em virtude do centro de altas pressões subtropicais que se posiciona na costa Oeste do continente e pela subsidência do ar. Exerce influência em climas do centro do Brasil, Nordeste, Sudeste, Sul, com destaque no verão (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Outro centro de ação, o anticiclone migratório polar é formado no extremo Sul da América do Sul. Sua mobilidade é dada pela diminuição da radiação solar no hemisfério Sul durante o inverno nas latitudes baixas (30° S) e durante o verão retorna às latitudes maiores. Este anticiclone origina as massas de ar polar que quando encontram a Cordilheira dos Andes se dividem em dois ramos, a massa polar atlântica (mPa) e polar pacífica (mPp).

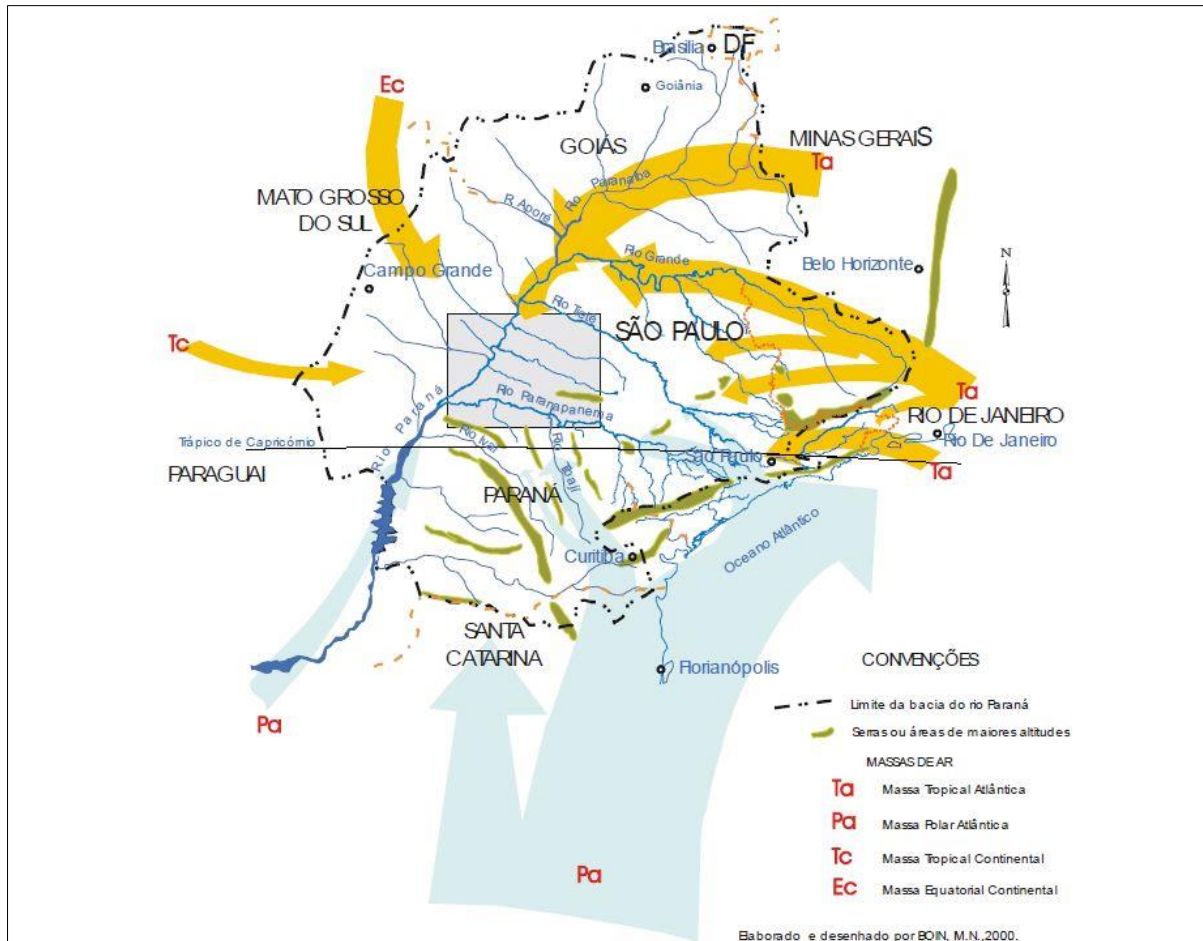
O ramo da massa polar pacífica se associa à corrente marítima fria de Humboldt atuando em latitudes mais próximas ao trópico de Capricórnio. A massa polar atlântica avança até menores latitudes influenciando sobre o centro Sul e Leste do continente.

Um dos centros de ação negativos, a depressão do Chaco, se caracteriza como um centro de baixa pressão de formação termal proporcionado pelo aumento das temperaturas no continente na estação de verão. Dessa forma, a região da depressão do Chaco atrai para o continente o ar úmido e quente dos centros de ação limítrofes, especialmente do anticiclone semifixo do Atlântico. Durante o inverno, este centro de ação atrai o anticiclone migratório polar até as mais baixas latitudes do continente sul americano.

Na porção Oeste do Estado de São Paulo, associados aos anticiclones, os grupos de massas de ar que se destacam pela importância e interação com as características geográficas da região são: a massa tropical atlântica (mTa), uma das principais da América do Sul, atua o ano inteiro no Brasil e exerce influência para a distinção de climas. Seu principal traço é o calor e a umidade devido à sua região de origem, nas altas pressões subtropicais do Oceano Atlântico; e outro sistema importante para a caracterização climática do Sudeste brasileiro é a massa tropical continental (mTc), caracterizada como seca e quente (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O trajeto das massas de ar que atingem o Estado de São Paulo está demonstrado na Figura 9.

Figura 9. Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o Oeste Paulista



Fonte: Boin (2000, p. 197).

As frentes frias condicionam o tempo durante todo o ano, desempenhando papel importante na organização das chuvas (intensidade e duração) quando das suas passagens pela América do Sul, uma vez que “a precipitação é maior ao longo e atrás da frente que passa no Sudeste” (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009, p. 146).

Além das frentes, outros sistemas meteorológicos possuem papel regulador nas precipitações na América do Sul. Neste grupo, incluem-se os complexos convectivos de mesoescala, a zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a zona de convergência intertropical (ZCIT), zona de convergência de umidade (ZCOU), alta da Bolívia, os vórtices ciclônicos de altos níveis e os cavados.

Os complexos convectivos de mesoescala constituem “sistemas responsáveis pela maior parte da precipitação nos trópicos e em várias localidades de latitudes médias durante a estação quente” (DIAS; ROZANTE; MACHADO, 2009, p. 181). Este fenômeno é caracterizado pela junção de nuvens do tipo cúmulos-nimbos que formam uma cobertura contínua e facilmente detectada nas imagens de satélites (ORLANSKI, 1975 apud DIAS; ROZANTE; MACHADO, 2009)⁴².

Para a região Oeste do Estado de São Paulo, merecem destaque os sistemas reguladores de precipitação ZCAS e a ZCOU que atuam na primavera e verão. Segundo Carvalho e Jones (2009, p. 96), a ZCAS ocorre:

Acompanhando o ciclo anual da chuva, observa-se uma das características mais marcantes do clima tropical na América do Sul durante o verão: a presença de uma banda de nebulosidade e chuvas com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até o Sudeste do Brasil e, frequentemente, sobre o oceano Atlântico Subtropical. Essa característica climatológica que se associa a um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera, convencionou-se chamar de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Mesmo sendo verificada nos verões, ocorrem variações espaciais e temporais importantes das ZCAS que interferem na intensidade e distribuição das chuvas determinando a ocorrência de eventos extremos cujas repercussões são os alagamentos e deslizamentos. As imagens de satélite exibem que a atividade da ZCAS podem se realizar desde a Amazônia até o oceano Atlântico subtropical ou apenas até a região Sudeste do Brasil. A ZCOU apresenta padrão semelhante ao estabelecido pela ZCAS, mas difere em relação à durabilidade que é de três dias. A partir do 4º dia de persistência do padrão convencionou-se chamar ZCAS (SACRAMENTO NETO; ESCOBAR; SILVA, 2010).

⁴² ORLANSKI, I. A rational subdivision on scales for atmospheric processes. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 56, n. 5, p. 527-530, 1975.

6 CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE REGISTRO DE DADOS: OS PONTOS FIXOS E OS PERCURSOS DOS TRANSECTOS MÓVEIS

6.1 O estabelecimento da rede meteorológica de superfície

Conforme mencionado, a definição de locais representativos das feições urbanas baseou-se em critérios geográficos, sobretudo no que tange ao uso e ocupação da terra. Para atingir esse objetivo, a elaboração de cartas de uso e ocupação da terra considerando a predominância de edificações e da densidade da cobertura vegetal foi realizada previamente para a seleção de pontos potencialmente representativos. Diante da impossibilidade de reunir diversos critérios, considerou-se os locais representativos onde a segurança dos abrigos e sensores não estivesse comprometida pelo extravio ou vandalismo. Nesta etapa do trabalho, imagens de satélite⁴³ foram fundamentais para o reconhecimento visual das feições, além da execução de trabalhos de campo.

Em cada cidade do recorte territorial, o posicionamento dos abrigos ocorreu em pontos com cotas de altitude aproximadas, para mensurar apenas o papel da urbanização e não influenciar a amostra com a questão altimétrica (BRANDÃO, 1996). Foram instalados abrigos meteorológicos em pontos de controle rurais para a comparação entre o urbano e rural próximo⁴⁴. Assim, foram posicionados 4 abrigos meteorológicos em cada localidade, sendo 3 na malha urbana e um ponto de controle (rural), como exibido na Foto 2.

Na sequência deste capítulo, serão apresentadas as características individuais dos pontos fixos.

⁴³ Foram utilizadas imagens de visualização híbrida do programa *Google Earth* (Google Inc. 2017, marca da Google).

⁴⁴ A análise das isotermas considerou a distribuição dos pontos fixos no sentido Sul-Norte.

Foto 2: Abrigo meteorológico instalado em área rural de Santo Anastácio (SP).



Fonte: Arquivo pessoal, trabalho de campo (2017).

6.1.1 Caracterização dos pontos fixos em Presidente Venceslau

Ponto fixo 1: Jardim Tropical

Posicionado no setor Sudeste da malha urbana de Presidente Venceslau, o abrigo meteorológico foi instalado em um terreno residencial localizado à rua Felipe dos Santos, no Jardim Tropical. Neste bairro as residências alternam coberturas cerâmicas e de fibrocimento. Nesta quadra especificamente, nota-se que os terrenos são menores, parcialmente impermeabilizados, dotados de vegetação arbórea, sendo estas as características do lote selecionado para o registro de dados. A cota de altitude apresentada é de 417 metros.

Ponto fixo 2: Jardim Coroados

Este bairro consiste no Conjunto Habitacional “Azuma Futigami”. O traço característico desta área são os lotes de tamanho reduzido, densamente construídos, com a superfície altamente impermeabilizada, predomínio de cobertura do tipo cerâmica vermelha. Com relação à vegetação, o porte é arbóreo, restrito às calçadas e poucas vezes comparecem no interior dos lotes. Com referência à altitude, este local está em 408 metros.

Ponto 3: Jardim Arantes

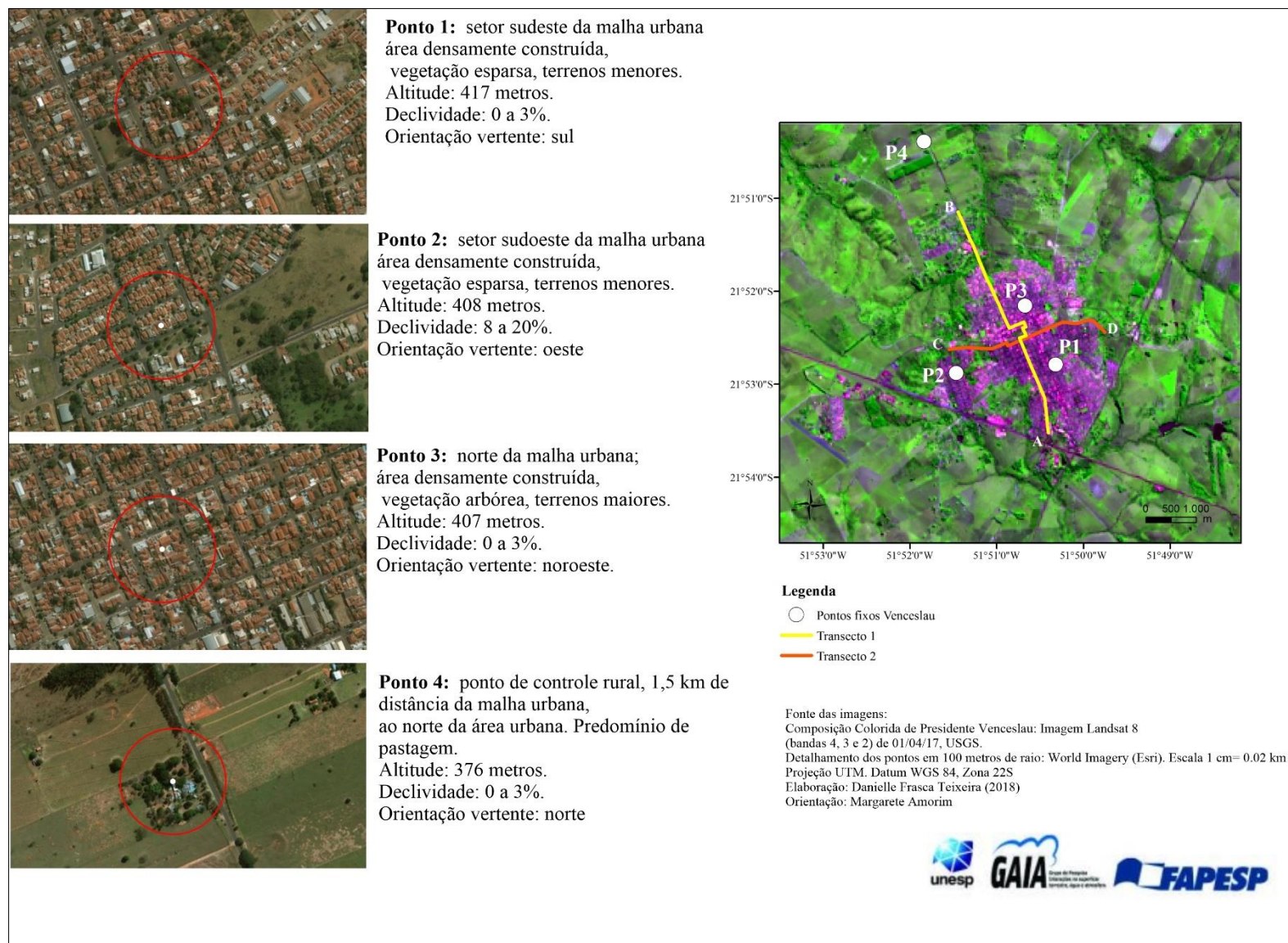
O ponto 3 está localizado na rua Rui Barbosa, porção central da malha urbana de Presidente Venceslau, próximo ao centro de comércio local. Os terrenos desta área representam ocupação antiga, por isso são maiores, mas densamente construídos que mesclam vegetação de porte arbóreo ou arbustiva no interior e superfícies permeáveis, como é o caso da residência selecionada para a instalação do miniabrigo meteorológico. Predominantemente, o uso desta região tem destinação residencial, mas é possível encontrar estabelecimentos comerciais dispersos. De forma geral, as residências empregam as coberturas cerâmicas. A altitude do local está na cota de 407 metros.

Ponto 4: Rural

O ponto de controle rural selecionado em Presidente Venceslau fica situado ao Norte da malha urbana, distante aproximadamente 1,5 km da mesma e cerca de 3,0 km em relação ao centro⁴⁵. O local consiste em uma propriedade particular cujo arredor é caracterizado por pastagens. No entanto, o seu interior é marcado pela presença de vegetação arbórea de grande porte densa e as edificações são esparsas. Sua cota altimétrica é de 376 metros. Características gerais dos pontos fixos instalados em Presidente Venceslau estão exibidas no Quadro 5.

⁴⁵ Refere-se ao centro comercial.

Quadro 5: Quadro síntese das características dos pontos fixos instalados na malha urbana e rural circundante de Presidente Venceslau (SP)



6.1.2 Caracterização dos pontos fixos em Santo Anastácio

Ponto 1: Rural

O ponto representativo rural localiza-se a Sudeste da malha urbana de Santo Anastácio, distante desta aproximadamente 3,5 km, em cota de altitude de 422 metros. O local caracteriza-se pelo predomínio de vegetação rasteira, caracterizando pastagem.

Ponto 2: Bairro Jardim América

A residência selecionada para receber o abrigo meteorológico localiza-se no bairro Jardim América, zona Sul de Santo Anastácio. Nesta área os terrenos são grandes em comprimento e reduzidos em largura caracterizando grande densidade construtiva pela proximidade das casas. De forma geral, o bairro apresenta uma mistura de coberturas do tipo cerâmico e fibrocimento e cobertura vegetal arbórea nos lotes ou passeios. O terreno apresenta vegetação arbórea no seu interior (fundos) e abriga uma residência que emprega telhas cerâmicas. A cota de altitude é de 442 metros.

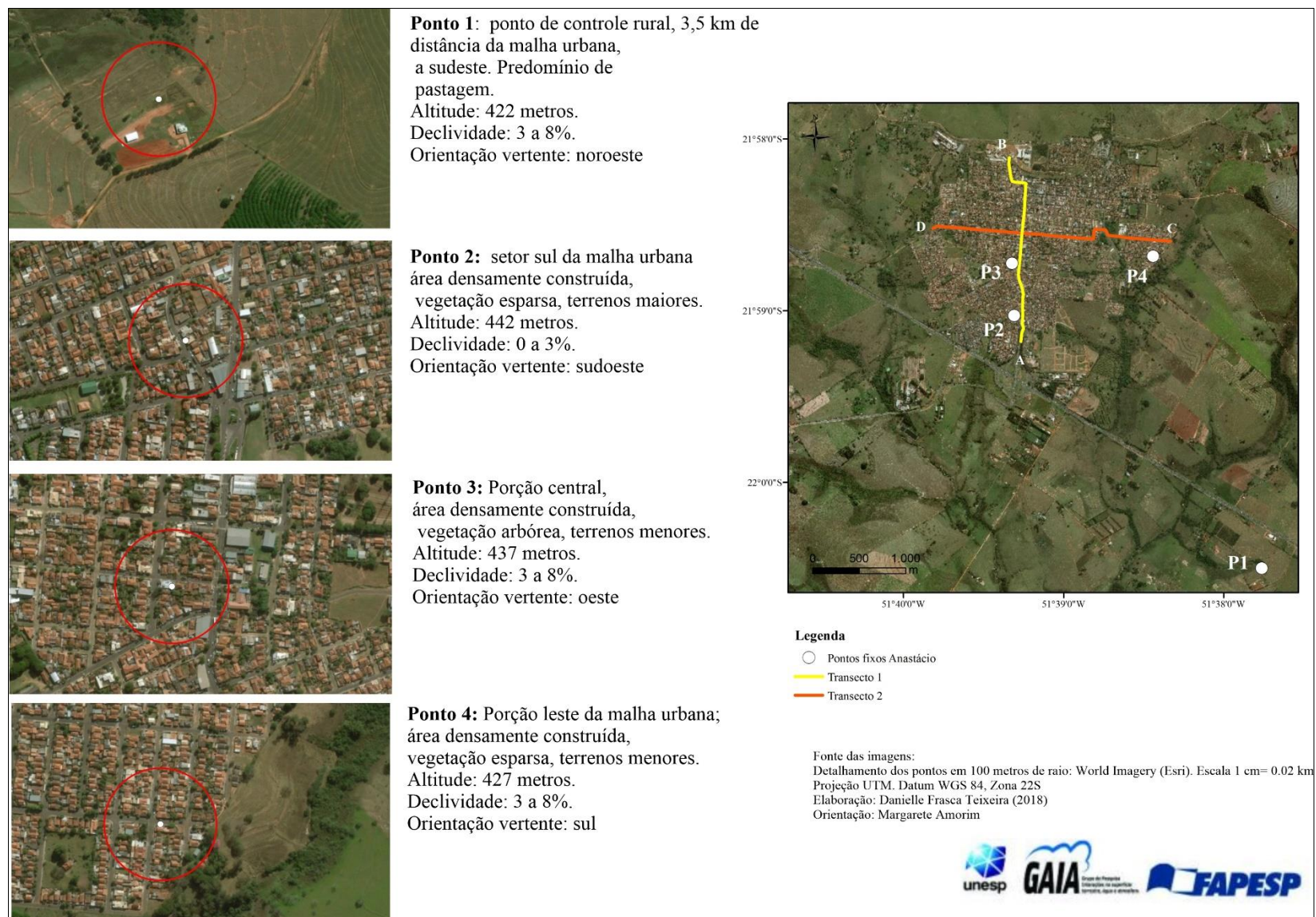
Ponto 3: Centro

O ponto representativo do centro de Santo Anastácio foi estabelecido em uma residência com cobertura de telhas cerâmicas, situada próximo à área de comércio local. O terreno é totalmente impermeabilizado. Neste setor, os terrenos são menores e densamente construídos. Predominam residências de alvenaria que empregam a cobertura cerâmica vermelha. A cobertura vegetal arbórea se apresenta nos passeios públicos. A hipsometria do local é de 437 metros.

Ponto 4: Bairro Vitória Régia

O bairro Vitória Régia localiza-se na porção Leste da malha urbana de Santo Anastácio. Neste setor, os terrenos são pequenos, densamente construídos e caracterizados pelas residências que combinam edificações de alvenaria, madeira e coberturas em telhas cerâmicas vermelhas ou fibrocimento. De forma geral, a vegetação arbórea é irregularmente distribuída e mais presente nas calçadas públicas. A altitude deste local é de 427 metros. As características dos pontos fixos e entorno são exibidas no Quadro 6.

Quadro 6: Quadro síntese das características dos pontos fixos instalados na malha urbana e rural circundante de Santo Anastácio (SP)



6.1.3 Caracterização dos pontos fixos em Álvares Machado

Ponto 1: Parque dos Orixás

O abrigo meteorológico foi fixado na porção Sul da malha urbana de Álvares Machado no bairro residencial Parque dos Orixás. Nesta porção, predominam os terrenos menores, com grande densidade construtiva e baixa quantidade de vegetação arbórea. Nesta área prevalecem residências com vasto emprego da cobertura cerâmica. O terreno selecionado é totalmente impermeabilizado e a altitude do local é de 488 metros.

Ponto 2: Centro

Representando o ponto do centro urbano, o miniabrigo foi instalado em área residencial com predomínio de terrenos maiores cujas residências apresentam coberturas cerâmicas. O terreno é parcialmente impermeabilizado, dotado de vegetação de médio porte arbustiva e frutífera. A cota de elevação no local é de 464 metros.

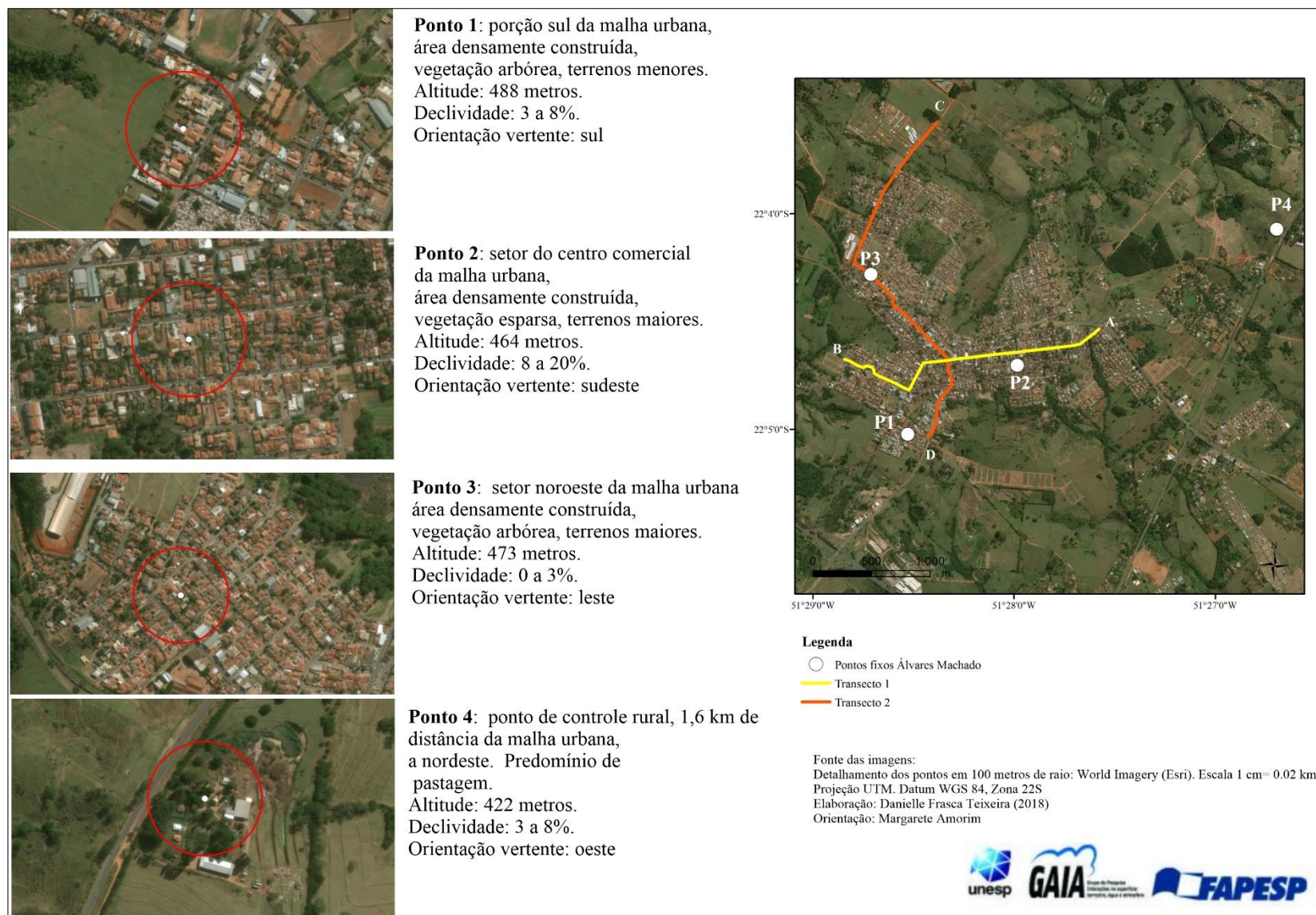
Ponto 3: Jardim São José

Para o monitoramento do setor Norte da malha urbana selecionou-se no bairro Jardim São José uma residência cujo terreno é grande, dotado de vegetação de porte arbustivo, arbóreo e extensa área permeável. O lote possui uma casa com coberturas de cerâmica vermelha e fibrocimento. A cota de elevação do local é de 473 metros.

Ponto 4: Rural

O ponto de controle rural definido no município de Álvares Machado fica situado a Leste da malha urbana, distante aproximadamente 1,6 km desta. O local consiste em uma propriedade particular cujo entorno é caracterizado por pastagens. O interior é marcado pela presença de vegetação arbórea densa e edificações esparsas. A altitude é de 474 metros. O Quadro 7 ilustra as características individuais dos pontos fixos estabelecidos em Álvares Machado.

Quadro 7: Quadro síntese das características dos pontos fixos instalados na malha urbana e rural circundante de Álvares Machado (SP)



6.2 Definição dos percursos dos transectos móveis

O conjunto de procedimentos desta tese incluiu o registro da temperatura do ar pelo transecto móvel, que é considerada uma metodologia eficaz para analisar a distribuição da temperatura do ar de acordo com a variação das feições urbanas e rurais dos trajetos. A descrição dos trajetos definidos é apresentada na sequência.

6.2.1 O percurso do transecto móvel em Presidente Venceslau

Em Presidente Venceslau, o percurso de abrangência latitudinal Trajeto 1 (Sul-Norte) apresentou a distância aproximada de 4,8 km. Este trajeto atravessou a área do centro comercial em quase toda a sua extensão alcançando o rural próximo caracterizado por propriedades particulares de sítios e chácaras.

O Trajeto 2 (Oeste-Leste) no sentido longitudinal, de aproximadamente 3 km, é caracterizado pela predominância das áreas residenciais e por áreas de loteamentos em expansão. A demonstração dos percursos está exibida na Prancha 4.

6.2.2 O percurso do transecto móvel em Santo Anastácio

O percurso definido para o registro da temperatura do ar nas vias de fluxo livre em Santo Anastácio pode ser observado no mapa da Prancha 4, detalhado na sequência.

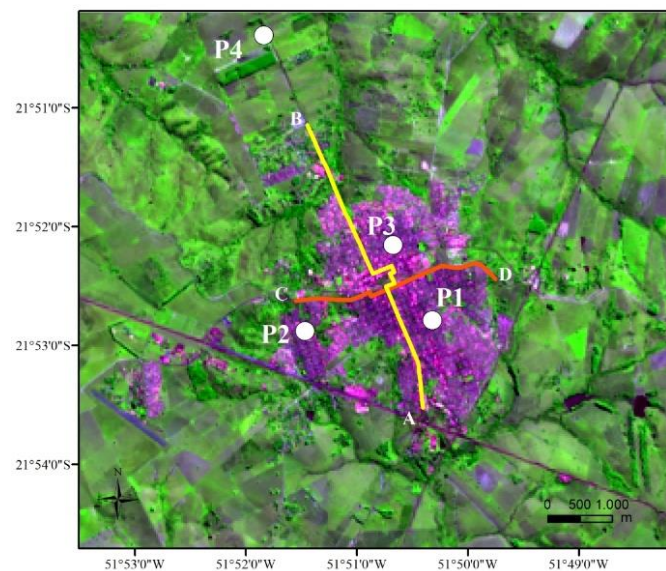
O Trajeto 1 (Sul-Norte), sentido latitudinal de 2,3 km de extensão, percorreu áreas do centro comercial, residenciais e industrial (extremo Norte). O Trajeto 2 (Leste-Oeste) no sentido longitudinal teve extensão de 2,5 km e percorreu áreas centrais e de uso residencial.

6.2.3 O percurso do transecto móvel em Álvares Machado

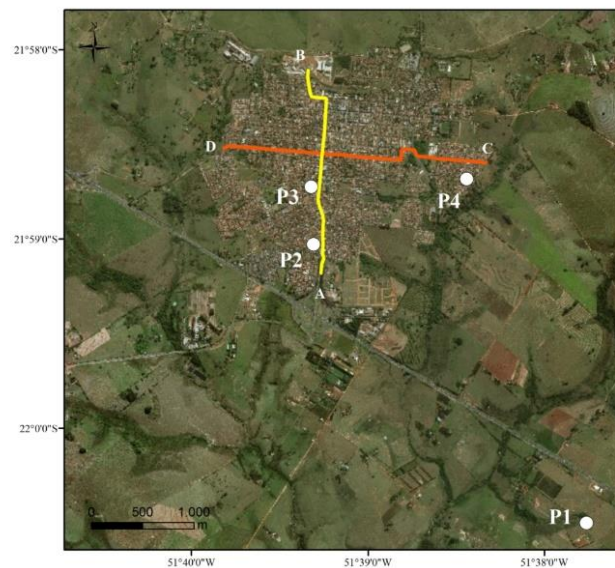
As vias percorridas para monitoramento longitudinal na malha urbana de Álvares Machado são, a saber (Prancha 4): o Trajeto 1 (Leste-Oeste), com aproximadamente 2,5 km de distância, atravessou trechos do centro comercial e de áreas residenciais; o Trajeto 2 (Norte-Sul), sentido latitudinal, com 3,0 km de extensão que percorreu áreas de predomínio residencial.

Prancha 4: Percursos dos transectos nas cidades de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado (SP).

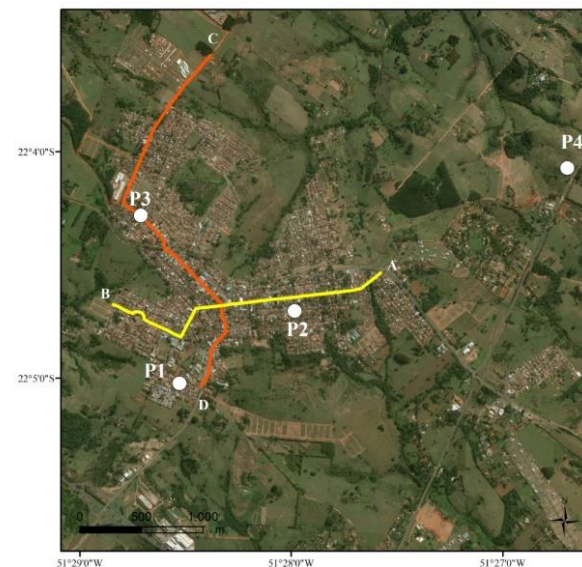
Presidente Venceslau



Santo Anastácio



Álvares Machado



Legenda

- Pontos fixos
- Transecto 1
- Transecto 2

SCG: WGS 1984 UTM Zona 22 S.

Projeção UTM

Datum WGS 84

Fonte das imagens:

Composição Colorida de Presidente Venceslau: Imagem Landsat 8 (bandas 4, 3 e 2) de 01/04/17, USGS.

Imagens de Santo Anastácio e Álvares Machado: World Imagery (Esri).

Elaboração: Danielle Frasca Teixeira (2018)

Orientação: Margarete Amorim



7 ANÁLISE RÍTMICA: OS TIPOS DE TEMPO ATUANTES DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO (MARÇO A DEZEMBRO DE 2017)

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, os gráficos de análise rítmica fundamentaram as análises de forma a compreender como os elementos da atmosfera se caracterizaram sob os sistemas atmosféricos que atuaram durante todo o período de registro dos dados primários e secundários. Para tanto, os gráficos de análise rítmica dos meses do monitoramento climático foram exibidos com as cartas de isotermas na forma de pranchas, podendo ser analisados no capítulo 9 (seção 9.2). Na sequência se apresenta uma breve síntese dos meses de monitoramento (março a dezembro de 2017), com ênfase nas precipitações e características térmicas verificadas.

O mês de março de 2017 foi marcado pela atuação da ZCOU, e pelo ingresso de três frentes polar atlântica (FPA) que justificaram a ocorrência de precipitações (38,2 mm), contudo, em um valor abaixo da média histórica para o mês que é de 124 mm. As temperaturas máximas diárias foram elevadas, especialmente quando atuou a mTa e a massa tropical atlântica continentalizada (Tac). Temperaturas máximas foram atenuadas em episódios regidos pela FPA.

Abril registrou o total de precipitação de 86 mm, acima da média do mês que é de 66 mm, distribuídos conforme a atuação da FPA. As temperaturas máximas foram atenuadas quando atuou a massa polar atlântica (mPa), na repercussão da frente (Rep) e notadamente elevadas em episódios da mTa e Tac.

O mês de maio teve como traço marcante chuvas volumosas, com total de 163,2 mm e concentradas em 5 dias desencadeadas pela ZCOU. Nos episódios influenciados pela FPA e pela ZCOU a temperatura máxima declinou em relação aos dias estáveis.

Junho foi um mês marcado pela escassez de chuva, registrando somente o total de 3,2 mm, valor muito abaixo da média histórica de 51 mm. O ingresso da FPA e posterior atuação da massa polar atlântica (mPa) potencializou os episódios com baixas temperaturas, com destaque para o registro de 5,8°C no dia 10 de junho. As temperaturas mínimas foram inferiores a 20°C e poucos dias registraram temperatura máxima maior que 30°C.

Mantendo o mesmo padrão de falta e irregularidade nas chuvas, o mês de julho destacou-se pela ausência de precipitação, contrastando com a média histórica de 42 mm. Em pelo menos dois episódios, influenciados pela mPa, a temperatura mínima não ultrapassou

12°C. Na maioria dos dias, a temperatura máxima não atingiu os 30°C, com destaque para 15,8°C registrados no dia 18 em evento mediado pela massa polar tropicalizada (mPt).

Em agosto foi registrado o total de 61 mm de chuva superando o valor da média histórica do mês que é de 29 mm. As precipitações foram concentradas na segunda quinzena do mês em virtude da atuação da FPA e da frente estacionária (FE). As temperaturas mínimas diárias não atingiram 20°C enquanto que as temperaturas máximas foram maiores que 30°C nos eventos regidos pela mTa e Tac.

O mês de setembro apresentou total pluviométrico de 15 mm, muito abaixo da média histórica de 81 mm. Esse padrão se apresentou em virtude da ação da mTa e da Tac que garantiram sucessivos episódios de estabilidade atmosférica e de temperaturas máximas elevadas. A incursão das frentes e a Rep foram importantes para o aumento da umidade relativa do ar.

Outubro caracterizou-se por chuvas acima da média mensal, concentrando grandes volumes no início e no final do mês, que totalizaram 204 mm de chuva, explicadas pela atuação de frentes e da configuração da ZCOU. A temperatura máxima manteve-se elevada quando a região foi influenciada pela mTa e declinou na atuação dos sistemas úmidos.

O mês de novembro também registrou chuvas além da média histórica do mês que é de 130 mm. O total pluviométrico foi de 209 mm, com maiores volumes nos episódios da frente fria e da ZCOU, mas também assinalando a atuação da ZCAS. As temperaturas máximas foram naturalmente elevadas quando atuava a mTa e a Tac.

Em dezembro também se sucederam episódios de ZCAS, da FPA e da FE além da ZCOU, sistemas que proporcionaram precipitações acima da média para as localidades que é de 185 mm. O total registrado foi de 276 mm, com maiores volumes concentrados na última dezena do mês. Temperaturas máximas mantiveram-se elevadas na presença dos sistemas estáveis mTa, Tac e massa tropical continental (mTc). Percebe-se por meio dos dados e, considerando a inserção da área de estudo no ambiente tropical, que a diferenciação das estações do ano não é tão definida no que se refere à temperatura, sendo mais importante a distribuição das chuvas que distingue os períodos secos e chuvosos. Por esse motivo, a presente análise distanciou-se da distribuição sazonal da temperatura e fundamentou-se nos tipos de tempo que configuraram padrões térmicos e favoreceram a ocorrência das ilhas de calor, considerando a dinâmica atmosférica atuante. Entende-se que a chuva, regulada pela sazonalidade, exerceu um papel modulador na distribuição da intensidade da temperatura do ar.

8 AS ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE: INTENSIDADE E FORMA NOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

Em virtude dos avanços tecnológicos, as geotecnologias vêm sendo amplamente empregadas para a análise do clima urbano e estão cada vez mais acessíveis nos países em desenvolvimento como diversos autores demonstram (ALMUTAIRI, 2015; AMORIM, 2018; AMORIM; DUBREUIL; QUENOL; SANT'ANNA NETO, 2009; AMORIM; MONTEIRO, 2011; CRUZ, 2009; LEIVA, 2014; KIMUKU; NGIGI, 2017; VOOGT; OKE, 2003).

Segundo Voogt e Oke (2003, p. 1.117, tradução nossa) a temperatura da superfície é uma importante ferramenta para estudos da atmosfera urbana. A realização deste tipo de monitoramento ocorre pela radiometria infravermelha, por estimação indireta da temperatura aparente da superfície com base no brilho recebido dentro do campo de visão do sensor (JENSEN, 2009).

Essa detecção é possível em virtude das propriedades físicas das superfícies urbanas, da composição dos materiais construtivos em que pesem a cor, o albedo, o fator de visão do céu (*sky view factor*), a geometria das ruas e as dinâmicas urbanas como tráfego dos veículos e demais atividades antrópicas que determinam e condicionam a distribuição da temperatura superficial nos ambientes urbanos (CHUDNOVSKY; BEN-DOR; SAARONI, 2004).

De acordo com Weng (2009) a temperatura da superfície é importante para modular a temperatura do ar da camada inferior da atmosfera urbana, sendo um fator primário na determinação da radiação de superfície e correspondente troca de energia que interfere no conforto térmico nas cidades.

Segundo Arnfield (2003, p. 5, tradução nossa):

Embora as temperaturas da superfície mostrem padrões espaciais e temporais semelhantes aos da temperatura do ar, essa correspondência não é exata. Em particular, sob condições calmas, claras e noturnas, elas geralmente exibem uma dependência muito mais forte das características do local em microescala, especialmente pela redução do fator de visão do céu provocada pela geometria das ruas, do que as temperaturas do ar avaliada simultaneamente [...]. Estes resultados sugerem que a temperatura da rua (alvo) possui uma causalidade mais simples do que temperatura do ar, que é acoplado ao estado térmico das superfícies adjacentes, mas que também está sujeito a influências.

Portanto, não há um consenso na literatura internacional que relacione semelhança de padrões entre a temperatura do ar e a temperatura dos alvos, especialmente motivada pela hora

do dia em que ocorre a tomada das imagens (período da manhã), pois existem diferenças no tempo de resposta entre o aquecimento da superfície e o aquecimento do ar (UGEDA JÚNIOR, 2013). Porém, entende-se que o monitoramento da temperatura da superfície auxilia “na compreensão da distribuição das fontes de calor dentro de uma área urbana que contribuem para a formação das ilhas de calor urbanas - ICU” (AMORIM, 2017b, p. 112).

O sensoriamento remoto aplicado à climatologia urbana possui viabilidade financeira, mas conta com limitações quanto à resolução temporal e espacial dos satélites e a qualidade da imagem que é estritamente dependente da cobertura de nuvens (ORTIZ-PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017). A presença de nuvens foi comum nas imagens do *Landsat 8* durante o período de monitoramento climático (ano 2017), especialmente nas estações de transição verão-outono e primavera-verão. Dessa forma, foram tratadas todas as imagens disponíveis que não apresentaram nuvem nas áreas delimitadas neste estudo e, em virtude disso, não houve uma representação efetiva do período do verão (chuvoso). Outra limitação encontrada foi o fato de que as cidades investigadas não estão inseridas na mesma cena do satélite, inviabilizando a análise simultânea, pois a tomada das imagens ocorre em datas diferenciadas. Somente Santo Anastácio e Álvares Machado se encontram na mesma cena (222/075), sendo possível perceber semelhança de padrões de distribuição da temperatura superficial nestas duas cidades. Desta forma, os resultados das cartas termiais foram apresentados separadamente.

8.1 As ilhas de calor de superfície em Presidente Venceslau: intensidade e forma nos períodos seco e chuvoso

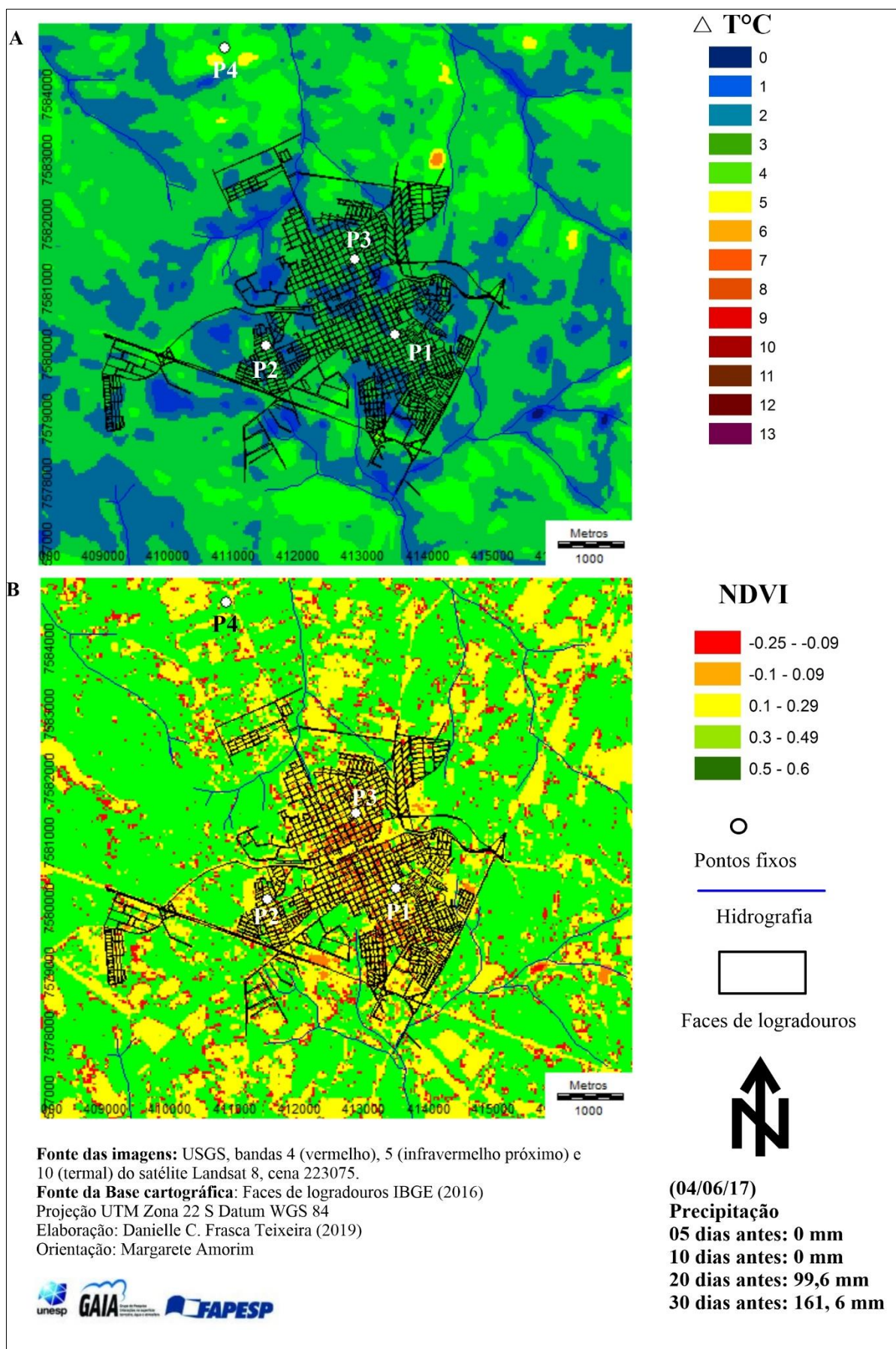
As imagens foram agrupadas considerando-se os períodos chuvoso e seco, conforme o critério adotado por Amorim (2017). O período chuvoso refere-se àquele que as chuvas foram bem distribuídas nos 30 dias e concentradas nos 5 ou 10 dias antecedentes à tomada da imagem ou com 5 até 10 dias de estiagem antes da captura da imagem pelo satélite. O período seco foi aquele que apresentou baixas precipitações nos 30 ou 10 dias de estiagem presenciados antes da passagem do satélite.

A Prancha 5 exibe a intensidade, a forma da ilha de calor superficial diagnosticada em Presidente Venceslau com 10 dias de estiagem (Mapa A), assim como o NDVI para a imagem capturada em 04 de junho de 2017 (Mapa B).

A imagem de 04 de junho estabeleceu padrão de homogeneização entre as áreas urbana e rural motivada pela distribuição da precipitação que foi elevada (161 mm) nos 30 dias antecedentes à tomada da imagem, mas não ocorreu próxima à passagem do satélite para a captura da imagem.

Esse total pluviométrico sugere a determinação de diferenças térmicas superficiais pouco elevadas entre as áreas comparadas. Baseando-se no NDVI, observa-se presença de vegetação no entorno da malha urbana condizente com feições de pastagens que apresentaram diferenças térmicas superficiais muito próximas as do urbano. Ocorreu que a imagem é representativa de período chuvoso, mas as precipitações não aconteceram no período próximo à captura da imagem (5 a 10 dias antecedentes), desencadeando padrão de homogeneização entre as áreas comparadas. Os fundos de vale se contrastaram na termografia com as menores diferenças de temperatura, caracterizando os “pontos 0”.

Prancha 5: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações bem distribuídas nos 30 dias e com 5 ou 10 dias de estiagem antecedente à obtenção da imagem, Presidente Venceslau (SP)

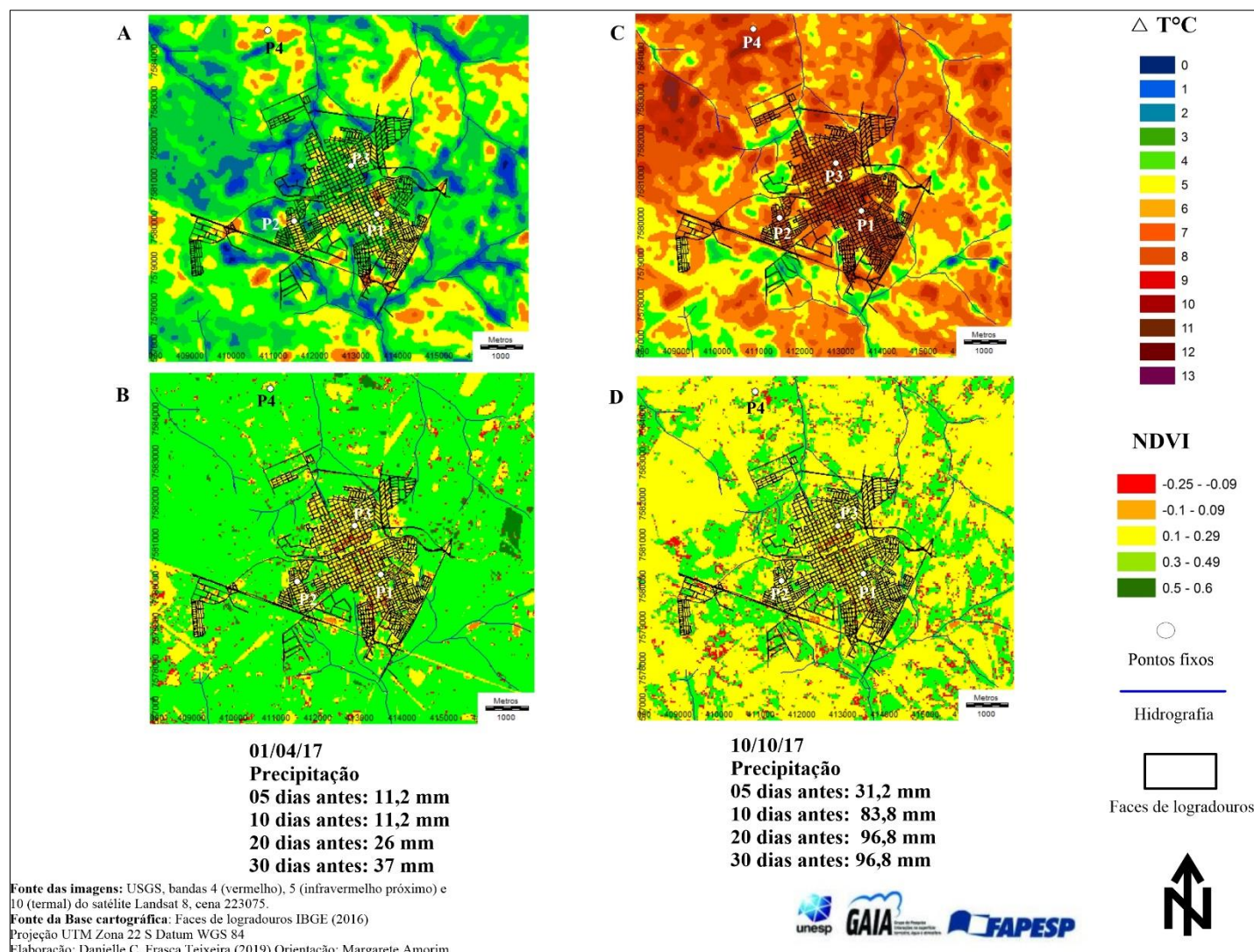


A Prancha 6 apresenta imagens representativas de período com chuvas distribuídas nos 30 dias e registradas nos 5 ou 10 dias anteriores à imagem do satélite. Observa-se que a ocorrência da precipitação nos dias próximos à tomada da imagem é decisiva para a diferenciação entre as áreas urbanas e rurais, além de estabelecer maior intensidade da temperatura, como visualiza-se na imagem do dia 01 de abril (Mapa A). Os fundos de vale ficaram caracterizados pela menor temperatura do recorte, enquanto que as áreas urbanizadas e solos expostos rurais, desprovidos de vegetação densa (Mapa B), atingiram diferença térmica de 7°C.

A imagem do dia 10 de outubro, apesar do elevado volume de precipitação bem distribuída nos 20 dias anteriores à obtenção da imagem reflete a característica da estiagem que é típica da transição inverno-primavera e que contribuiu para a redução da cobertura vegetal, visto que o mês de setembro registrou apenas 15,8 mm de chuva. Por essa razão, ocorreu a homogeneização das áreas urbanas e rurais com diferenças térmicas que se destacam pelos 11°C (Mapa C).

O padrão da temperatura superficial verificado em 10 de outubro é melhor fundamentado quando se compara o mapa de NDVI elaborado para a imagem deste dia, que estimou baixa densidade de cobertura vegetal no rural próximo, atingindo o índice de 0,29 (Mapa D). A cobertura vegetal mais viçosa estava restrita aos fundos de vale, bem como no entorno deles.

Prancha 6: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações distribuídas nos 30 dias e concentradas nos 5 a 10 dias antecedentes à obtenção da imagem, Presidente Venceslau (SP)

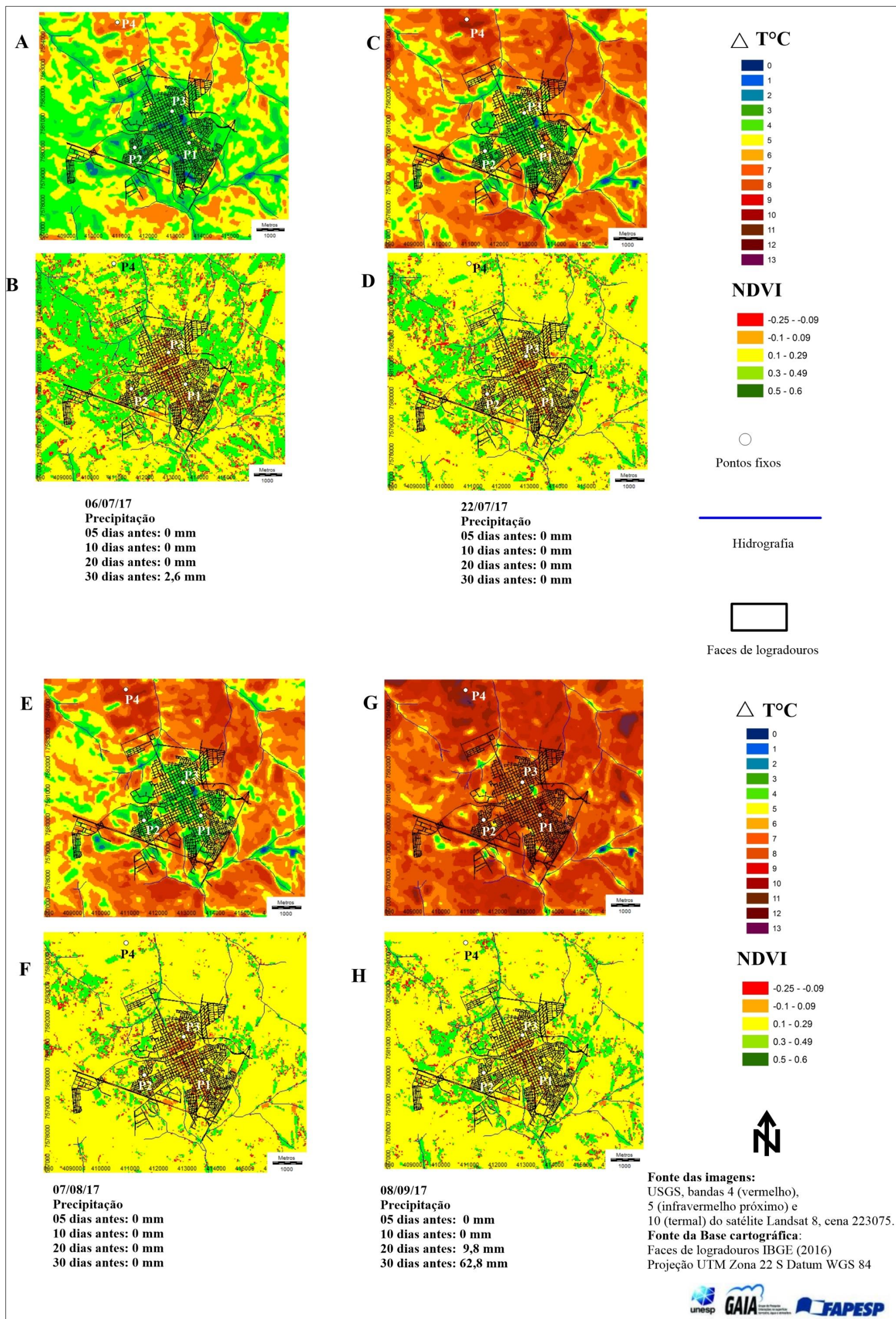


Na Prancha 7 estão distribuídas cartas termais referentes ao período seco, que apresentaram pouca precipitação ou estiagem nos 5 ou 10 dias anteriores à obtenção da imagem pelo sensor.

Observa-se que no período seco, na sequência dos mapas A, C, E e G, progressivamente ocorre a homogeneização entre o urbano e o rural, quando as intensidades se elevam e os solos expostos da área rural atingem as maiores diferenças térmicas em relação ao “ponto 0”. Os fundos de vale foram os locais que se diferenciaram e se configuraram como os alvos com as temperaturas inferiores do recorte pelo fato da manutenção do vigor da vegetação (sequência de mapas B, D, F e H).

As diferenças entre o período chuvoso e o período seco explicam-se pela característica da vegetação que depende da chuva para manter-se vigorosa. No período chuvoso, os solos são providos de umidade e vegetação e, por isso, possuem maior capacidade térmica demandando mais energia para se aquecer do que as áreas construídas (JENSEN, 2009). Além disso, o solo com vegetação libera energia pela evapotranspiração transformando o calor sensível em calor latente sem adicionar o excesso de calor (GARTLAND, 2010). Esses processos favorecem temperaturas menores nos alvos rurais do que aquelas verificadas nas áreas urbanas e nos solos expostos. No período seco, conforme Amorim (2017, p. 67):

Nos períodos de estiagem, além da diminuição da umidade do solo, há o empobrecimento da massa vegetada e, conseqüentemente, da evaporação e evapotranspiração. Com o solo exposto, a temperatura da superfície tende a ser mais elevada e, em alguns casos maiores do que os ambientes construídos. O albedo é reduzido em superfícies de solo exposto e retém mais calor.



8.2 As ilhas de calor de superfície em Santo Anastácio: intensidade e forma nos períodos seco e chuvoso

Para o recorte territorial de Santo Anastácio, imagens adquiridas em 12 de maio, 01 de setembro e 19 de outubro foram representativas de episódios com chuvas distribuídas no período anterior à passagem do satélite (30 dias). Estes exemplos estão exibidos na Prancha 8.

A ocorrência da precipitação nos dias próximos à captura da imagem é importante para a determinação dos contrastes térmicos entre as áreas urbanas e rurais, além de interferir na intensidade da ilha de calor de superfície. No caso de Santo Anastácio e Álvares Machado, que localizam-se na mesma cena no grupo de imagens disponíveis para aplicação neste estudo⁴⁶, não existem imagens referentes ao período chuvoso com precipitações ocorridas em um intervalo inferior a 5 dias

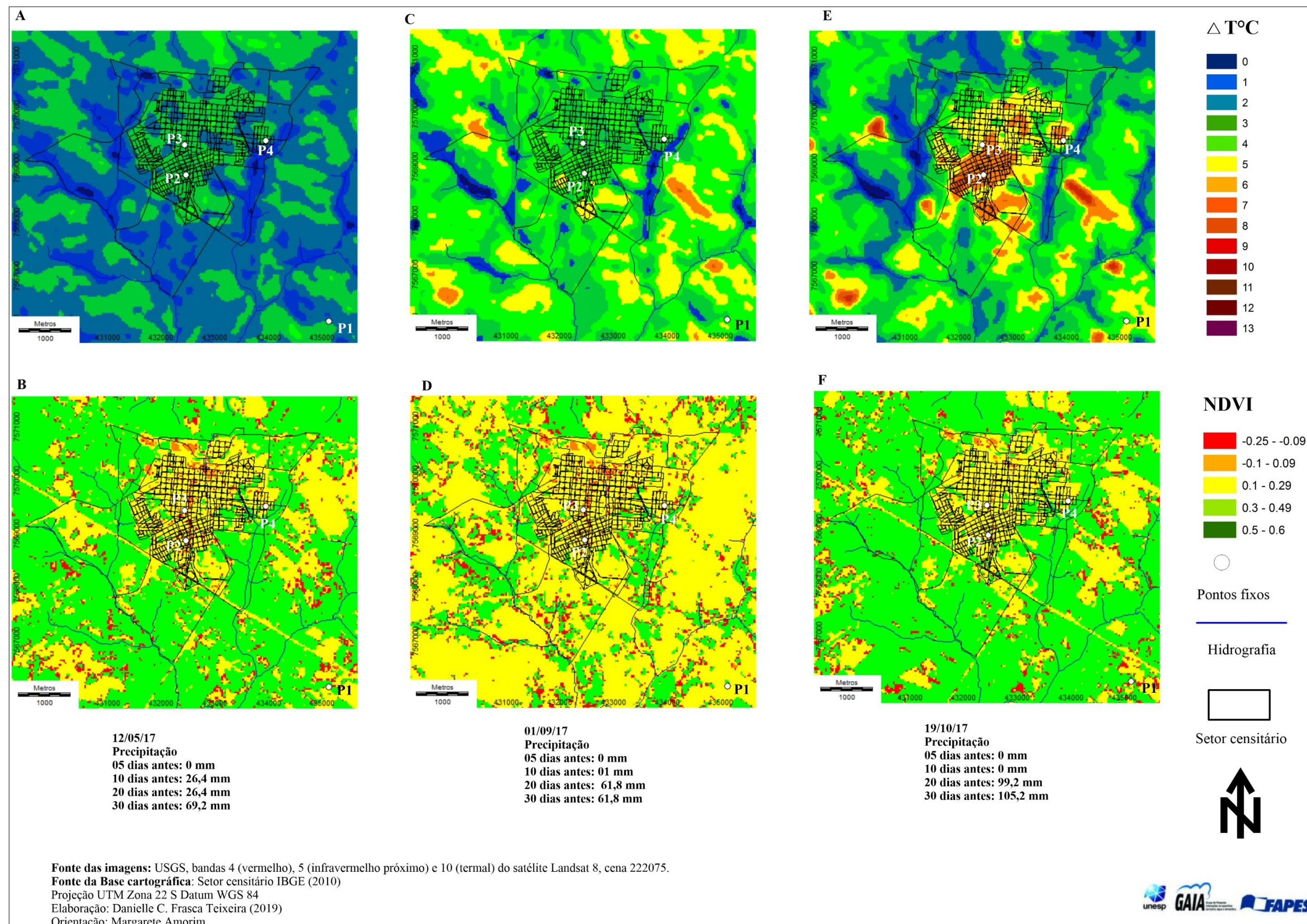
No dia 12 de maio, com ocorrência de precipitação nos 10 dias antecedentes à captura da imagem, a ilha de calor de superfície se configurou na área urbana. Áreas periurbanas, que caracterizaram-se como pastagens ou solos expostos e que se assemelham a condições da superfície urbana mediante o balanço de radiação, tiveram diferenças térmicas equivalentes às da área urbana (Mapa A). Como se verifica na carta de NDVI pelos valores estimados (Mapa B), a vegetação estava bem formada nos fundos de vale e nas áreas de pastagem. Nestas condições, as diferenças entre o “ponto 0” e as áreas mais aquecidas atingiram a intensidade de 4°C.

Em 1º de setembro observou-se maiores contrastes entre as superfícies urbanas, rurais e os fundos de vale. Nos 10 dias antecedentes ao episódio não ocorreu precipitação. A maior diferença térmica (7°C) foi diagnosticada externa à área urbana, em áreas de solos expostos de uso agrícola ou de novos loteamentos em expansão, comprovados pela menor exuberância da vegetação estimada. A malha urbana se caracterizou como ilha de calor superficial, mas com intensidades que atingiram até 4°C.

A imagem tomada em 19 de outubro demonstrou padrão de maior diferenciação dos alvos rurais e urbanos (Mapa E). A ilha de calor superficial com intensidade de 9°C se formou na área urbana mas padrão semelhante se estabeleceu no rural próximo associado a feições de solo nu (loteamentos e pastagens), áreas que apresentaram baixos índices de NDVI (Mapa F). Os fundos de vale compareceram nos recortes como as áreas de temperaturas amenizadas em

⁴⁶ Imagens que não apresentassem cobertura de nuvens.

função do maior desenvolvimento da vegetação. As áreas de pastagens, que apresentavam vegetação bem desenvolvida, atingiram a diferença térmica de 4°C em relação ao “ponto 0”.

Prancha 8: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações nos 30 dias e com 5 ou 10 dias de estiagem antecedentes à obtenção da imagem, Santo Anastácio (SP)

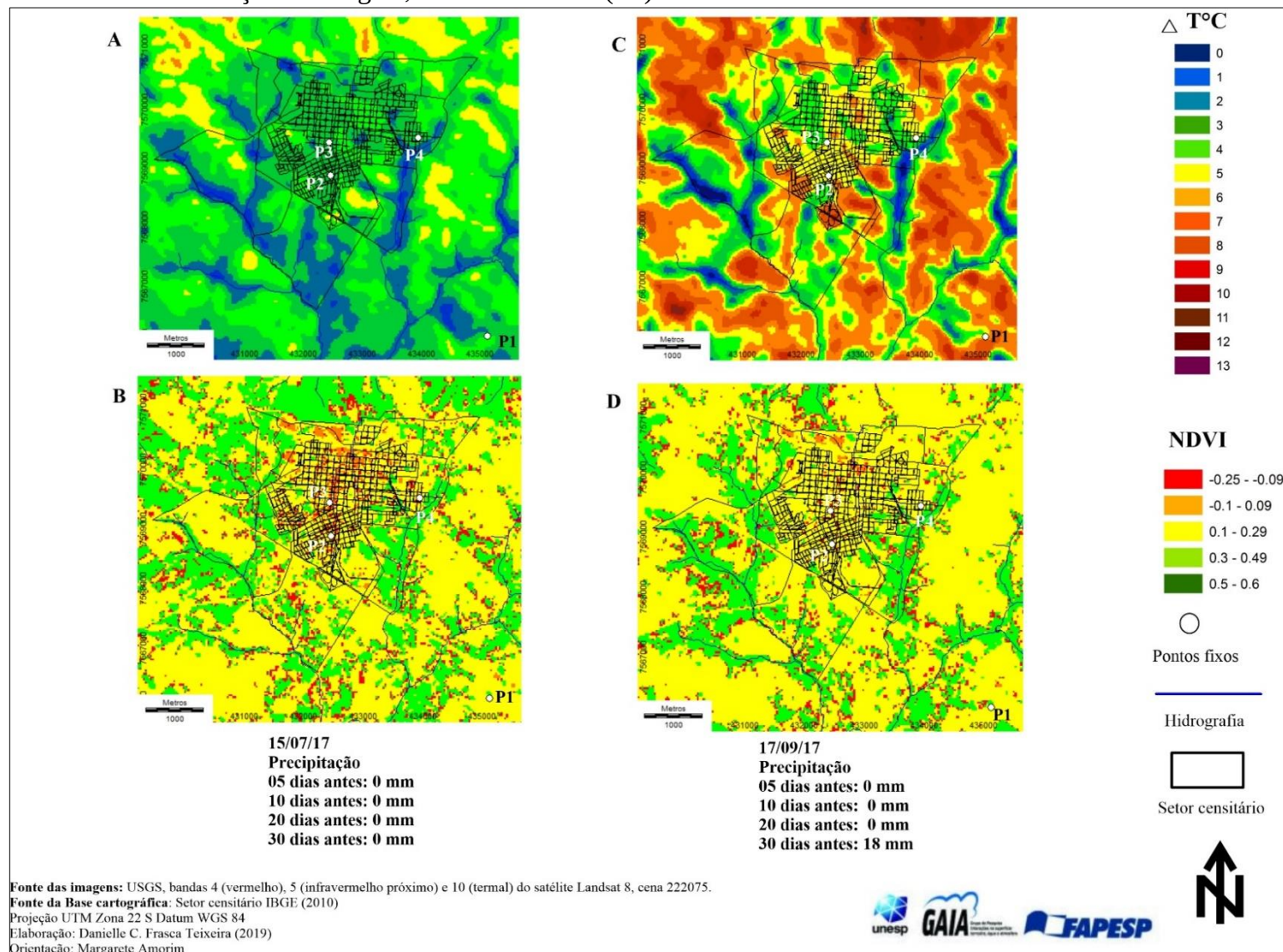
Do período seco foram tratadas imagens dos dias 15 de julho e 17 de setembro de 2017, que estão dispostas na Prancha 9.

No episódio de 15 de julho, observa-se que setores da malha urbana apresentaram intensidades térmicas menores do que as áreas de vegetação rasteira do entorno rural (Mapa A). A maior diferença térmica se configurou em área rural cujos alvos mais aquecidos foram relacionados a baixos índices de NDVI, refletindo a baixa densidade da vegetação no período de estiagem ou a inexistência dela, no caso dos solos expostos (Mapa B).

Na malha urbana se verificou a ocorrência da ICU de superfície com intensidade de 3°C nos setores com predomínio de telhas cerâmicas e cobertura vegetal arbórea (Oeste), enquanto que no centro e no setor Nordeste, onde existem coberturas metálicas e de fibrocimento, a intensidade alcançou 4°C.

Nos produtos cartográficos gerados para o dia 17 de setembro nota-se que ocorreu maior diferenciação entre alvos urbanos e rurais (Mapa C), mas as diferenças térmicas foram potencializadas (11°C) nas áreas de solo exposto do rural circunvizinho, que tiveram baixos valores estimados de NDVI, indicativos do comprometimento da vegetação rasteira (Mapa D). Na área intraurbana, ICUs de superfície se formaram nas áreas de coberturas metálicas e de telhados de fibrocimento.

Prancha 9: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as baixas precipitações distribuídas nos 30 dias antecedentes à obtenção da imagem, Santo Anastácio (SP)



8.3 As ilhas de calor de superfície em Álvares Machado: intensidade e forma nos períodos seco e chuvoso

Por localizarem-se na mesma cena *Landsat* 8, as imagens referentes aos recortes territoriais de Álvares Machado e Santo Anastácio foram adquiridas nas mesmas datas de passagem do satélite. Portanto, ambas cidades possuem padrões de temperatura superficial semelhantes. Como nas outras cidades, os “pontos 0” das termografias de Álvares Machado foram registrados nos fundos de vale do rural próximo.

As cenas de 12 de maio, 1º de setembro e 19 de outubro foram representativas do período chuvoso marcado por chuvas distribuídas nos 30 dias que antecederam a varredura pelo satélite e/ou que apresentou estiagem nos dias próximos (entre 5 e 10 dias anteriores) a esse evento.

Em 12 de maio o padrão de homogeneização entre áreas urbana e rural se estabeleceu (Mapa A). Diferenças térmicas de 4°C foram detectadas nas áreas rurais, onde a vegetação não estava bem desenvolvida conforme os baixos índices de NDVI (Mapa B). No interior da malha urbana a maior intensidade da ilha de calor superficial registrada foi de 4°C, em área densamente construída que apresentou NDVI positivo, mas sugestivo de que a vegetação rasteira não estava vigorosa.

A imagem tomada em 1º de setembro se diferenciou da anterior pelo padrão de maior diferenciação das áreas comparadas (rural-urbana). Neste episódio, a maior intensidade ainda se manteve no rural próximo, mas o interior da malha urbana configurou ICUs de superfície de intensidade 4°C, distribuídas em áreas com predomínio de coberturas metálicas ou fibrocimento (Mapa C). O NDVI (Mapa D) comprova que essas áreas coincidem com áreas densamente construídas ou que contavam com vegetação pouco exuberante (vegetação rasteira).

Em outubro, foram registrados 99,2 mm de precipitação distribuída nos 20 dias antecedentes à captura da imagem do dia 19/10/17. No entanto, verifica-se na imagem tratada que a característica térmica da superfície conduziu à homogeneização das áreas e intensificação dos gradientes térmicos que atingiram 11°C, localizados notadamente nas áreas urbanas e em solos nus (Mapa E). Feições rurais do entorno próximo apresentaram diferenças térmicas de até 8°C em relação às áreas com temperatura dos alvos amenizadas.

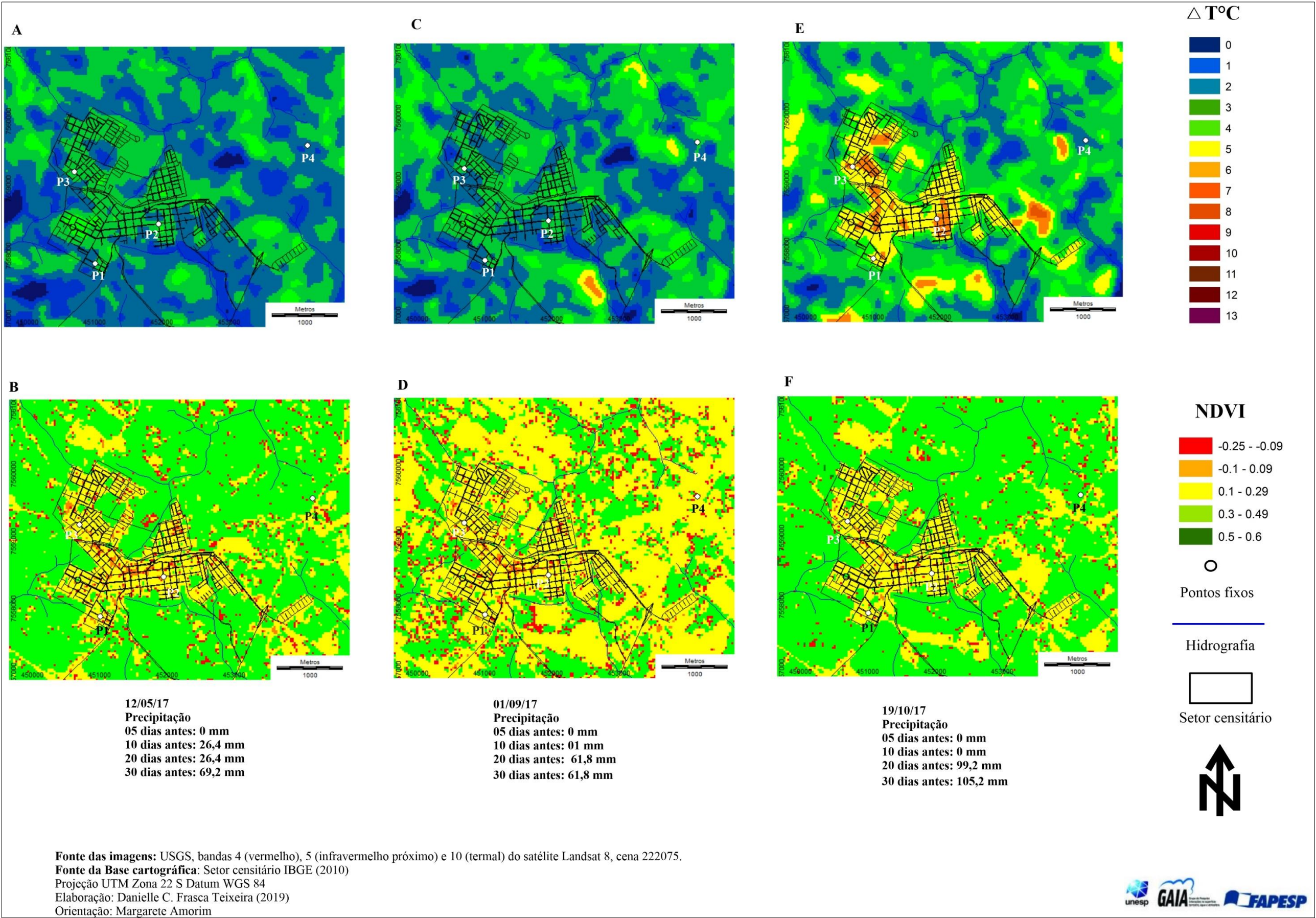
Foram formados vários núcleos de ilhas de calor superficiais que atingiram elevadas intensidades na área urbana. No ambiente rural se estabeleceram diferenças térmicas compatíveis com aquelas verificadas na área urbana. Os fundos de vale foram as feições que se

diferenciaram permanecendo como o “ponto 0”, notadamente aqueles localizados a Sudeste da malha urbana que apresentaram maior estimativa de vegetação.

Nota-se que a vegetação do rural próximo foi estimada entre 0,3 e 0,49 (Mapa F), valor que faz referência à existência da vegetação, mas mediante os resultados alcançados, bem como pela comparação com os dados de precipitação do mês anterior, entende-se que a vegetação rasteira foi comprometida pela estiagem e, por isso, a resposta térmica desses alvos foi muito próxima àquela obtida nas áreas construídas.

As imagens desse período são apresentadas na Prancha 10.

Prancha 10: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações nos 30 dias e com 5 ou 10 dias de estiagem antecedentes à obtenção da imagem, Álvares Machado (SP)



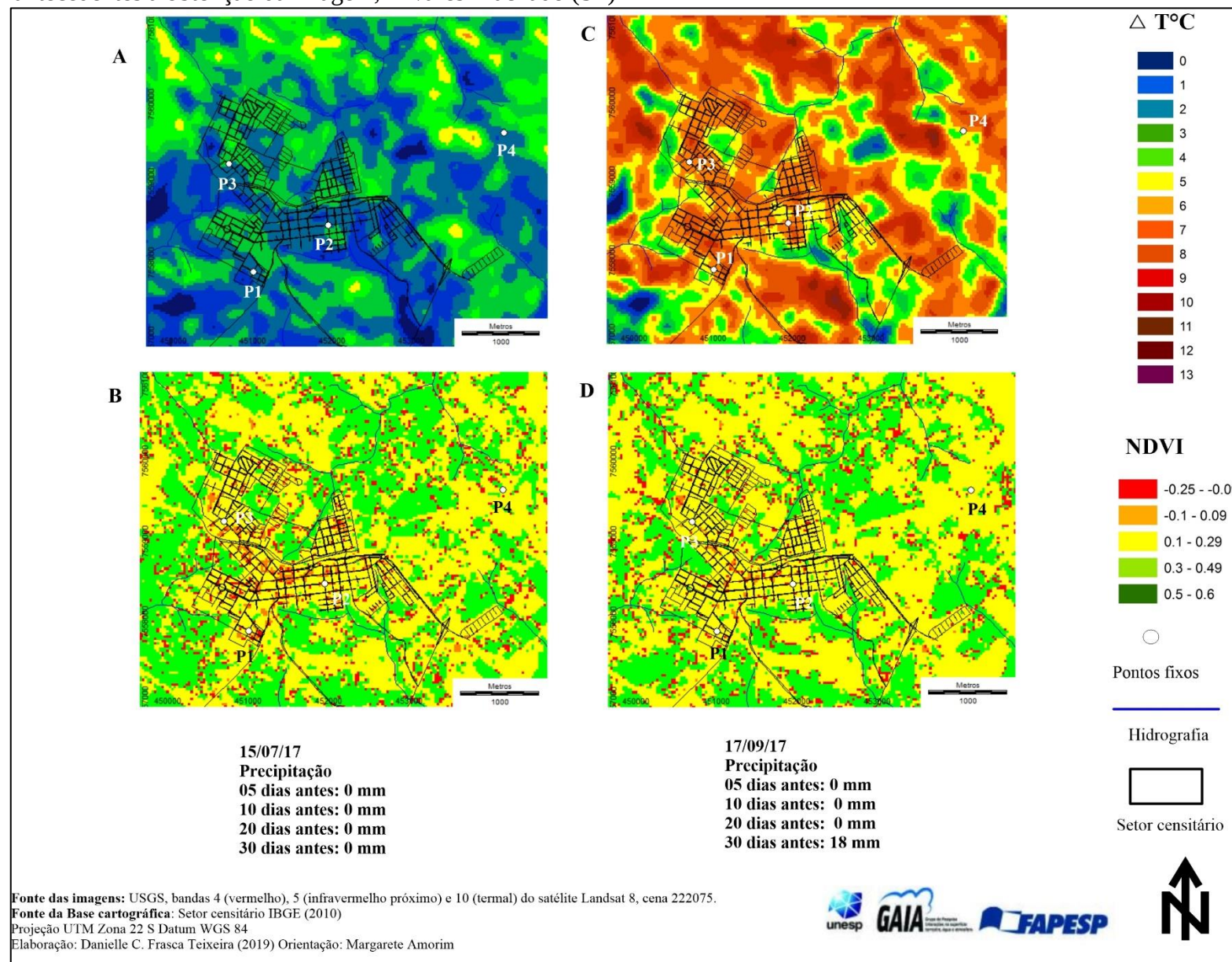
Para a análise do período seco, foram tratadas as imagens de 15 de julho e 17 de setembro de 2017, cujos produtos cartográficos estão exibidos na Prancha 11. Ambas corroboram o padrão térmico do período da estiagem, também constatado nas outras cidades, que é o da tendência à homogeneização entre o rural próximo e o urbano, e do aumento da intensidade das ICUs de superfície em relação ao período chuvoso.

Em 15 de julho, mês que não registrou precipitações, a diferença térmica máxima foi de 8°C (Mapa A) diagnosticada na área rural em áreas com índices de NDVI positivos (Mapa B), porém que sugerem baixo porte da vegetação rasteira em virtude da seca.

As ICUs superficiais oscilaram entre os valores de 2 a 4°C, em feições que correspondem a baixos índices de NDVI, incluindo negativos. Na imagem de 17 de setembro, que também não registrou precipitação nos 20 dias antecedentes à varredura pelo satélite, se constatou a maior diferença térmica superficial (13°C) (Mapa C). Novamente os solos nus do entorno rural compareceram como os alvos mais aquecidos, que sobressaíram em magnitude pela seca. O padrão de homogeneização rural-urbano ficou bem estabelecido, contudo a área urbana registrou ICUs superficiais de intensidade que atingiu 10°C. Áreas providas de vegetação bem desenvolvida apresentaram a menor diferença de temperatura, condição verificada especialmente nos fundos de vale.

Por meio desses resultados, constatou-se que a distribuição das temperaturas dos alvos possui estreita relação com a vegetação fotossinteticamente ativa e com a disponibilidade hídrica nos solos para a diferenciação de áreas, condizente com os resultados encontrados nos estudos de caso do ambiente tropical continental (AMORIM, 2017; MOREIRA, 2016; ORTIZ-PORANGABA, 2015; TEIXEIRA, 2015; UGEDA JÚNIOR, 2012). De fato, pela análise das termografias e das cartas de NDVI, verificou-se que a ocorrência da precipitação nas datas mais próximas à captura da imagem contribuiu efetivamente para menores diferenças térmicas rurais e menores intensidades dos alvos urbanos. Nas imagens obtidas em períodos com distribuição regular de precipitação, esta possui um papel modulador da diferenciação entre urbano-rural, proporcionando aumento da intensidade da ICU de superfície. Imagens representativas do período seco comprovam além do padrão de homogeneização que as maiores diferenças térmicas ocorreram no período de estiagem, situações verificadas nas três cidades do universo de análise.

Prancha 11: Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as baixas precipitações distribuídas nos 30 dias antecedentes à obtenção da imagem, Álvares Machado (SP)



9 AS ILHAS DE CALOR ATMOSFÉRICAS

Na presente tese as ilhas de calor atmosféricas do nível inferior foram diagnosticadas por meio da observação empírica direta nas formas da rede meteorológica de superfície e da rede de transectos, cujos dados foram representados por procedimentos diversos e integrados.

No caso da observação por rede meteorológica, considerada no presente capítulo, o objetivo foi monitorar o ar próximo da superfície de feições representativas urbanas estabelecendo uma comparação com a área rural, representada por áreas abertas, providas de gramíneas que caracterizam uma área rural modificada (OKE, 2006).

Amplamente difundida nos estudos de clima urbano em fina escala, a observação por pontos fixos é vantajosa no sentido da observação contínua e sistematizada em função das possibilidades de programação temporal dos sensores automáticos que atenda aos objetivos do trabalho. Contudo, apresenta restrições financeiras no que tange à cobertura de pontos, o que depende da disponibilidade de abrigos meteorológicos e sensores e consequentemente conduz a problemas de tratamento dos dados. Além disso, os lugares selecionados para a instalação das estações precisam reunir critérios geográficos de representação e segurança para os abrigos e sensores.

Visando atender os objetivos pretendidos e considerando as homogeneidades e similaridades nas feições urbanas identificadas pelo critério de densidade construtiva nas cidades envolvidas no estudo, foi possível estabelecer quatro pontos fixos representativos nos recortes territoriais, sendo que três localizaram-se na área urbana e um no ambiente rural próximo, como mencionado anteriormente. Os sensores foram programados para o registro horário da temperatura do ar. A partir dos valores absolutos registrados foram obtidos gradientes térmicos calculados tomando o rural como ponto referência (o ponto zero), através da expressão matemática que considera a medida de diferença entre pontos urbanos e rurais⁴⁷. Através desse cálculo, foram alcançadas as diferenças térmicas ou intensidades que determinam a ocorrência das ilhas de calor (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996) ou das ilhas de frescor (AMORIM, 2000; MENDONÇA, 1994; OKE, 1987).

Considerou-se a representação da informação geográfica por meio de tabelas dinâmicas e de isotermas, cujos resultados são apresentados nos itens 9.1 e 9.2, respectivamente.

⁴⁷ Conforme detalhado no capítulo referente aos procedimentos metodológicos.

9.1 Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no período do monitoramento climático (entre março e dezembro de 2017)

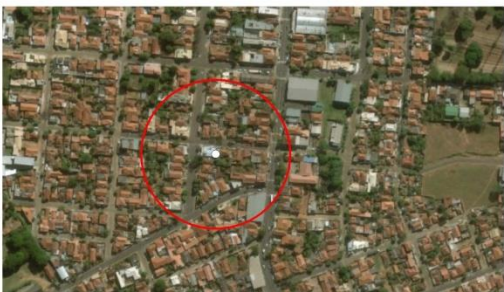
Uma das opções para a demonstração analítica dos resultados alcançados pela observação em rede meteorológica de superfície foi realizada pela síntese das ICUs atmosféricas em tabelas dinâmicas, pelas quais se demonstrou a evolução diária da intensidade da ilha de calor (AMORIM; DUBREUIL, 2017). Para a elaboração das tabelas dinâmicas, selecionou-se um ponto representativo urbano de cada localidade e sua diferença térmica (intensidade) em relação ao rural próximo respectivo. Foram considerados como representativos urbanos: o ponto 3 de Presidente Venceslau, o ponto 3 de Santo Anastácio e o ponto 1 de Álvares Machado, cujas características geoambientais e geourbanas estão reunidas no Quadro 8.

Os sítios urbanos investigados apresentam relevo pouco acidentado, com pouca variação hipsométrica entre os pontos onde os sensores foram instalados. Tratando-se da orientação das vertentes, houve uma distribuição diversa no interior dos sítios urbanos. O ponto de Presidente Venceslau localizou-se em terreno de orientação Noroeste e, por isso, apresentou intensidades maiores do que o ponto de Álvares Machado, exposto à vertente Sul. O ponto representativo de Santo Anastácio, em terreno voltado para o Oeste, gerou intensidades maiores no período da tarde e noite, sugerindo maior influência pelo pôr do sol. Nos estudos de clima urbano, a análise da orientação das vertentes é importante pois,

[...] com exceção da estação do verão, as vertentes voltadas para o norte naturalmente recebem maior incidência dos raios solares, resultando no aumento da temperatura em relação às vertentes voltadas para o sul. Nos casos em que nas vertentes norte há densidade de construções, a intensidade das ilhas de calor é maior quando se compara as vertentes voltadas para o sul em igual densidade de construção, especialmente no inverno (AMORIM, 2017, p. 35-36).

No tocante à densidade construtiva, atributo importante para a distribuição da temperatura do ar próximo à superfície, os três pontos selecionados (ponto 3 de Presidente Venceslau, ponto 3 de Santo Anastácio e Ponto 1 de Álvares Machado) mantêm semelhança de padrão pois são localizados em áreas densamente construídas de bairros residenciais cujos lotes podem apresentar vegetação arbórea no seu interior ou nos passeios públicos.

Quadro 8: Características geoambientais e urbanas dos pontos urbanos selecionados

Ponto representativo urbano*	Altitude (m)	Declividade	Orientação vertente	Vegetação	Características gerais
*Detalhamento dos pontos em 100 m de raio. Fonte da imagem World Imagery (Esri). Escala 1 cm= 0,02 km P3 P. Venceslau 	407 m	0 a 3%	Noroeste	Presença de vegetação arbórea no interior do lote	Bairro possui formação mais antiga, os terrenos são maiores; O lote é parcialmente impermeabilizado; Localização próxima ao centro comercial.
P3 S. Anastácio 	437 m	3 a 8%	Oeste	Presença de vegetação arbórea no passeio público	O lote é totalmente impermeabilizado, localização próxima ao centro comercial
P1 Á. Machado 	488 m	3 a 8%	Sul	Presença de vegetação arbórea no passeio público	O lote é totalmente impermeabilizado, localização periférica

Com relação aos terrenos, o ponto de Venceslau é localizado em terreno de formação mais antiga e, por isso, é maior em largura e profundidade. É dotado de vegetação arbórea e arbustiva e superfície parcialmente permeável. Nos pontos representativos de Santo Anastácio e Álvares Machado, os terrenos são menores que o primeiro, não há cobertura vegetal no interior dos lotes e a superfície é totalmente impermeabilizada. Em ambos a vegetação arbórea está presente somente nos passeios públicos.

Em Venceslau e Santo Anastácio, os pontos urbanos foram instalados nas áreas centrais das urbes, próximos das atividades comerciais. Dessa forma, o desenho da ICU apresentou distribuição radial já que estes pontos se localizam mais próximos ao centro da malha urbana e as temperaturas tendem a ser mais elevadas (AMORIM, 2017). À exceção desses, o ponto 1 (urbano) de Álvares Machado apresentou localização periférica, no limite entre o urbano e o rural.

Na sequência, são apresentados os resultados da intensidade e a evolução das ICUs atmosféricas alcançados no período de março a dezembro de 2017. Nas tabelas dinâmicas foram identificadas⁴⁸ as magnitudes da ilha de calor urbana (ICU) conforme Fernandez García (1996), a precipitação total acumulada em 24h⁴⁹, a velocidade dos ventos⁵⁰ e os sistemas atmosféricos atuantes⁵¹.

As tabelas dinâmicas possibilitam uma análise de maior abrangência temporal, pois partem da escala horária, passando pela variação diária e mensal que articula-se com a questão estacional. Dessa maneira, identificou-se a evolução e a duração da ICU e a associação das maiores intensidades (pico) com os sistemas atmosféricos atuantes, fundamentada na concepção dinâmica do ritmo climático (MONTEIRO, 1971).

O mês de março teve doze dias de monitoramento, iniciado a partir do dia 20 (Prancha 12). Caracterizou-se pela prevalência dos sistemas atmosféricos estáveis, com precipitação concentrada no dia 27 pela influência da FPA. Em Presidente Venceslau, março foi marcado pela ocorrência de ICU de fraca a moderada magnitude, sendo as maiores intensidades diárias constatadas no período da tarde. Na ação da FPA a ilha de calor manteve a magnitude fraca.

⁴⁸ Ilhas de frescor obtidas pelas diferenças negativas entre o urbano e o rural comparativo foram identificadas com a cor verde. Ilhas de calor foram diferenciadas com escala fixa de cores de acordo com a classificação de magnitude da ilha de calor definida por Fernandez García (1996).

⁴⁹ Foram utilizados dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>> Acesso em: 16 nov. 2018.

⁵⁰ Foi considerada a velocidade de vento registrada às 09 horas pela estação do INMET (Presidente Prudente A 707).

⁵¹ Sistemas atmosféricos foram identificados nos gráficos de análise rítmica que podem ser visualizados na seção 9.2.

Ponto selecionado para a representação de Santo Anastácio, o ponto 3, entre todos os aqui representados, foi o que apresentou maior intensidade e duração da ICU noturna, com magnitudes variáveis entre moderada a forte nos meses analisados. Em março, no episódio regido pela FPA (dia 27), as intensidades foram menores no período diurno, mas ainda manifestou ICU noturna. Outro traço comum do período foi a manifestação da ilha de frescor decorrente do efeito sombra (AMORIM, 2010; 2012; MARTILLI, 2012) entre as 8 e 11 horas. O efeito sombra é entendido pela relação existente entre as superfícies urbanas, rurais e a distribuição da radiação solar:

[...] o armazenamento e a reflexão do calor têm comportamentos diferenciados de acordo como período do dia. No início da manhã, quando os raios solares incidem de maneira mais inclinada, as áreas densamente construídas provocam o “efeito sombra” dificultando a penetração dos raios solares, resultando em temperaturas mais baixas do que no entorno rural. Por outro lado, lugares com edificações esparsas ou no ambiente rural, a transformação da energia solar de ondas curtas para ondas longas se dá de maneira mais rápida originando ambientes mais quentes. À medida que a radiação solar se intensifica no decorrer da manhã e no período da tarde, já se observam temperaturas mais altas nas áreas com maior densidade de construções e com menor quantidade de vegetação arbórea nas ruas e nos jardins e no rural (AMORIM, 2010, p. 88).

O ponto 1 de Álvares Machado apresentou aquecimento diurno, com maiores intensidades da ICU registradas entre 13 e 17 horas, embora não se excluiu a ocorrência no período noturno, apenas registrando magnitude fraca. No evento da FPA (dia 27), o ponto urbano apresentou padrão semelhante àquele observado nos dias estáveis, sendo uma possível explicação o registro de baixo volume de precipitação.

Para os dados registrados no mês de abril (Prancha 13), verificou-se que o ponto representativo de Presidente Venceslau gerou ICU de fraca a moderada magnitude no período diurno, contudo ICUs de fraca magnitude diurnas e noturnas predominaram em todo o mês. Os sistemas instáveis produtores de precipitação foram amenizadores dos efeitos da ICU. De forma oposta, sistemas estáveis desencadearam a moderada magnitude. Ilhas de frescor noturnas foram registradas em dias com ventos. No ponto urbano de Santo Anastácio, a ICU teve predomínio noturno, com maiores intensidades verificadas ao entardecer, especialmente nos dias de atuação dos sistemas estáveis (sem precipitação e ventos fracos). Nestes eventos, a manifestação noturna atingiu a magnitude forte. Episódios influenciados pela FPA, produtores de precipitação, amenizaram as ICUs ou extinguíram a sua ocorrência em alguns exemplos. A ilha de frescor ocorreu no mês de abril (entre as 8 e 10 horas), possivelmente em consequência

de efeito sombra. Em Álvares Machado, a ICU manteve-se ativa em todos os períodos do dia, mas a maior intensidade ocorreu no período vespertino. Nos sistemas desencadeadores de precipitação e vento, as diferenças térmicas foram minimizadas, mas não excluíram completamente a ocorrência da ICU, salvo em alguns episódios.

Analisando-se o mês de maio (Prancha 14), no ponto urbano de Presidente Venceslau predominaram as ICUs de magnitude fraca distribuídas tanto no período diurno como noturno, na presença de vento. Alguns registros da moderada magnitude foram feitos em episódios influenciados por sistemas estáveis como a mTa e a polar atlântica tropicalizada (Pt).

Eventos mediados por sistemas úmidos como a FPA e a ZCOU favoreceram menores diferenças térmicas entre o ponto urbano e o rural ou até mesmo anularam a ocorrência da ICU. Para o mesmo período, o ponto representativo de Santo Anastácio gerou ICUs no padrão noturno que perduraram até o amanhecer, notadamente sob atuação de sistemas estáveis como a mTa. As ilhas de calor noturnas atingiram moderada magnitude, mas o pico ocorreu no período da tarde. Na persistência da atuação da ZCOU ocorreu a redução da força da ICU ou a exclusão. No ponto urbano de Álvares Machado, a ICU teve manifestação diurna e noturna, classificada em fraca magnitude. O pico ocorreu no período da tarde, sendo exceção o período de atuação da ZCOU, que favoreceu o registro de fraca magnitude.

A partir do mês de junho (Prancha 15), quando naturalmente ocorre a redução na distribuição das precipitações no clima regional em que as cidades estão inseridas, observou-se alterações no padrão de configuração da ICU, especialmente no que se refere à magnitude, intensidade e quanto ao horário de ocorrência do pico do fenômeno.

Em Venceslau, o ponto 3 apresentou o pico da ICU de moderada magnitude no período da tarde (entre 12 e 15h) e também em episódios noturnos quando passou a apresentar fraca magnitude. Condições atmosféricas condicionadas pelos sistemas mTa, mPa, e as derivações de ambas, favoreceram a ocorrência de ilhas de calor de intensidade variável entre 0 e 2°C, o que também dependeu da força do vento. Sistemas úmidos condicionaram a ocorrência de ilhas de frescor noturnas.

No ponto representativo da cidade de Santo Anastácio, os efeitos da ICU foram anulados no período da manhã, como resposta do efeito sombra. Nos outros períodos, manteve-se ativa, com o predomínio de moderadas magnitudes no decorrer da tarde. Magnitudes forte e muito forte também foram constatadas em alguns episódios vespertinos, em associação com sistemas estáveis (sem precipitação e sem vento). Em junho, o padrão noturno e de forte magnitude foi mantido, com permanência até depois do amanhecer. Nos dias influenciados pela FPA e pela instabilidade tropical (IT), as intensidades foram reduzidas para fraca magnitude.

Na análise de junho, no ponto 3 de Álvares Machado, a ICU de magnitude fraca prevaleceu em todo o mês, sendo os picos de magnitudes forte e muito forte registrados no período da tarde (entre 15 e 16 horas). Eventos regidos pelos sistemas FPA e IT, que resultaram em maior velocidade do vento, produziram efeitos de arrefecimento das diferenças térmicas entre o ponto urbano e o rural, por vezes até extinguindo a ocorrência da ICU.

Na análise de julho (Prancha 16), em Presidente Venceslau a ICU de fraca magnitude persistiu com configuração diurna e noturna. Eventos de ilhas de frescor noturnas foram diagnosticados, relacionados à atuação de sistemas como a REP e a Pt. A presença de ventos com velocidade variável entre 2,5 a 3 m/s condicionou menores diferenças térmicas que resultaram em ICU de fraca magnitude. A ocorrência noturna de moderada magnitude foi localizada no ponto 3, especialmente nos episódios de sistemas estáveis. Neste caso, o pico da ICU foi noturno, com persistência até poucas horas depois do amanhecer.

Santo Anastácio manteve o padrão de configuração e duração noturna de magnitude variável entre moderada a forte. O pico atingiu a intensidade de 7°C, registrado às 16 horas. Em julho, no ponto 1 de Álvares Machado, o padrão do pico da ICU no período da tarde foi mantido. A fraca magnitude foi constatada no período da noite, assim como episódios da ilha de frescor, motivada pelo sistema atmosférico atuante, mas também pela força do vento.

Agosto foi marcado pela ocorrência de ICU com duração noturna de magnitude moderada em Presidente Venceslau (Prancha 17), especialmente em episódios regidos pelos sistemas estáveis com ventos fracos. Nos sistemas úmidos como a FPA e a FE, as diferenças térmicas foram reduzidas à magnitude fraca e, por vezes, a ICU foi extinta.

O ponto 3 de Santo Anastácio manteve o padrão de aquecimento diurno e noturno, manifestando a ilha de frescor no período da manhã, o pico da ICU durante a tarde e a persistência noturna de forte magnitude. O período entre os dias 15 e 20 de agosto, quando atuou a FPA e a FE, foi marcado por menores intensidades térmicas, características de fraca magnitude. Os dados registrados em Álvares Machado confirmam o padrão dos meses anteriores.

Em agosto, o ponto 1 manteve a configuração da forte magnitude diurna e a manifestação da ICU de fraca magnitude no período noturno. Foi mais frequente a configuração de ilhas de frescor no período noturno. A sequência de atuação dos sistemas úmidos impediu a manifestação dos picos da ICU diurna, especialmente entre os dias 15 e 17 de agosto. De maneira geral, velocidades de vento maiores amenizaram as intensidades térmicas.

A partir do mês de setembro, o ponto 3 de Presidente Venceslau passou a registrar ICUs noturnas com maior frequência e duração, com intensidades térmicas classificadas como

magnitude moderada. Setembro não registrou precipitação, mas o ingresso de sistemas úmidos como a FPA e a ZCOU favoreceram a ocorrência da fraca magnitude. A ilha de frescor foi diagnosticada na última dezena do mês, passando a ser um padrão nos meses seguintes.

No caso de Santo Anastácio, foram constatadas ICUs de muito forte magnitude nas horas antecedentes ao amanhecer sob influência da mTa e sua derivação continentalizada, mas que são sugestivas da maior influência das características urbanas do local, pois não se observou nas demais cidades investigadas. A atuação da ZCOU nos dias 29 e 30 foi explicativa das menores intensidades registradas nos pontos urbanos selecionados para representar as três cidades, denotando maior influência dos sistemas atmosféricos sobre os elementos urbanos.

Para o mês de setembro em Álvares Machado, as ICUs do período noturno e matutino atingiram a intensidade de 2°C. Durante as tardes, foram registradas as ilhas de calor mais intensas, classificadas em moderada e forte magnitude que ocorreram em dias sem precipitação e influenciados pelo sistema mTa e sua derivação continentalizada. Episódios condicionados pela mPa e mPt apresentaram homogênea distribuição de diferenças térmicas de até 2°C. Na influência da ZCOU não ocorreu o pico vespertino da ICU, sendo a sua magnitude reduzida à fraca. Registros da ilha de frescor foram realizados no período noturno. A síntese do mês de setembro é apresentada na Prancha 18.

Em outubro (Prancha 19), Presidente Venceslau apresentou maior frequência da ICU noturna, porém seu efeito foi atenuado após as 23 horas, passando a configurar magnitude fraca. O pico do fenômeno ocorreu no dia 19, registrado às 14 horas, tanto no ponto 3 como nos demais pontos fixos instalados em Presidente Venceslau. Neste evento, a região do Oeste paulista estava influenciada pela Tac e no período da tarde foram registradas temperaturas absolutas em torno de 40°C. Em virtude da ocorrência da precipitação (8,4 milímetros), infere-se que a chuva não distribuiu-se uniformemente na área urbana ou que tenha acontecido após o registro do pico da ICU. Dias influenciados por sistemas úmidos como a ZCOU apresentaram efeito atenuado ou extinguiram-na.

Em Santo Anastácio, a atuação dos sistemas atmosféricos condicionou a intensidade e a ocorrência noturna da ICU que foram detectadas em condições atmosféricas regidas pela mPa, mTa e suas derivações. Sistemas produtores de precipitação e ventos como a FPA e a ZCOU favoreceram menores intensidades térmicas, quando a ICU marcou fraca magnitude.

Álvares Machado apresentou o padrão semelhante aos meses anteriores, com a persistência da ICU de fraca magnitude em períodos diurno e noturno. A intensidade máxima da ICU foi verificada durante as tardes, exceto nos dias influenciados pelos sistemas úmidos que enfraqueceram o seu efeito.

No mês de novembro, Presidente Venceslau apresentou ICUs noturnas de maior duração. O pico foi observado no período da tarde, mas também em episódio noturno (às 20 horas). Na presença de ventos, a força da ilha de calor foi amenizada, assim como quando da ocorrência de precipitação pela atuação da FPA. Uma peculiaridade do período foi a prevalência de intensidades térmicas pronunciadas (forte e muito forte magnitude) em eventos chuvosos regidos pela ZCAS, ZCOU e da FPA, o que é sugestivo de que a precipitação foi localizada no ponto rural. A ilha de frescor foi frequente no período em questão, seguindo o padrão do mês anterior. Para o mesmo período, o ponto representativo de Santo Anastácio manteve o padrão noturno de apresentação da ICU, com exceção dos dias regidos pelos sistemas atmosféricos causadores de maiores volumes de precipitação (FPA, Rep, ZCAS e ZCOU), quando a força foi minimizada ou anulada. A ilha de frescor foi percebida entre 09 e 12 horas. O pico da ICU foi constatado no período da tarde, caracterizando forte magnitude.

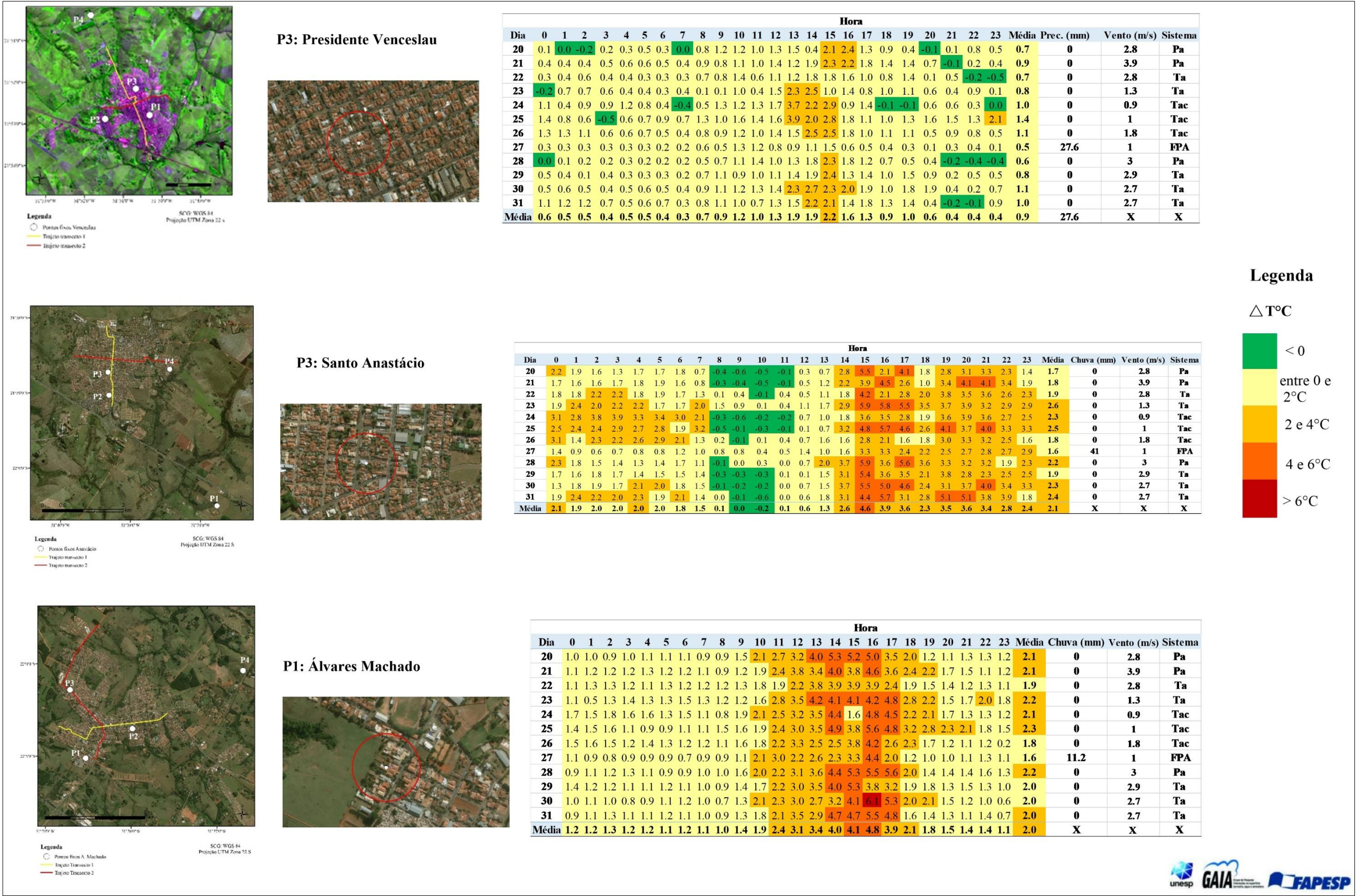
No caso de Álvares Machado, a ICU manteve-se ativa, com prevalência da fraca magnitude. O maior padrão de aquecimento ocorreu no período da tarde, quando o pico atingiu a magnitude muito forte (às 16 horas). A ocorrência da precipitação favoreceu a homogeneização das intensidades térmicas, que atingiram até 2°C, notadamente entre os dias 04 e 06 de novembro. O detalhamento dos resultados do mês de novembro está exibido na Prancha 20.

Em dezembro (Prancha 21), mês de ocorrência de maiores volumes de precipitação (151 mm em Venceslau, 197 mm em Santo Anastácio e 276 mm em Presidente Prudente), outras configurações da ICU em Presidente Venceslau e Álvares Machado foram constatadas. Santo Anastácio manteve o padrão dos meses anteriores, com ilhas de calor de moderada magnitude de duração noturna. Eventos chuvosos da última dezena do mês amenizaram as intensidades das ICUs noturnas. Em Presidente Venceslau, os sistemas úmidos favoreceram a magnitude fraca ou a extinção do fenômeno. Observou-se que as ICUs de maior intensidade tiveram sua manifestação antecipada passando a configurar no período da manhã, mantendo-se ativa até o final da tarde. Nessas condições, atuavam os sistemas estáveis (sem precipitação e ventos fracos) como a mTa e a Tac. As ICUs de maior intensidade tiveram poucos episódios noturnos, com duração de até algumas horas após o pôr do sol. As ocorrências das precipitações influenciaram as características térmicas uma vez que ilhas de frescor se estabeleceram no ponto 3 com frequência nos dias chuvosos, especialmente a partir da segunda quinzena do mês.

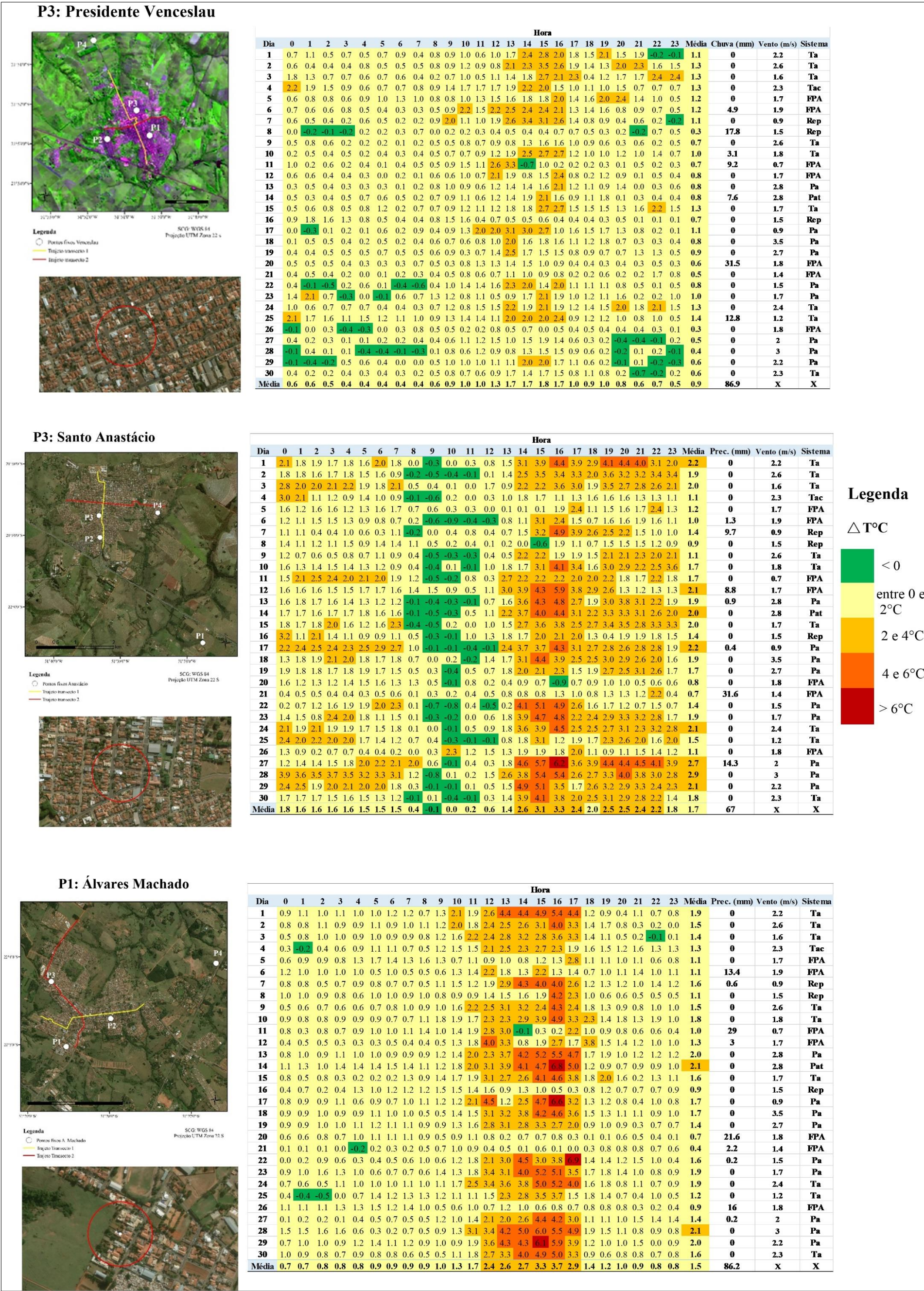
Em Álvares Machado, observou-se que o pico da ICU configurou-se no período da manhã, próximo ao amanhecer, assim como a manifestação noturna episódica. Nestes casos, os sistemas eram estáveis, não houve precipitação e os ventos eram fracos pela atuação das massas

Tac e a mTc. As ICUs foram extintas após a ocorrência de maiores volumes de precipitação, especialmente nas condições atmosféricas regidas pela FE e pela ZCOU.

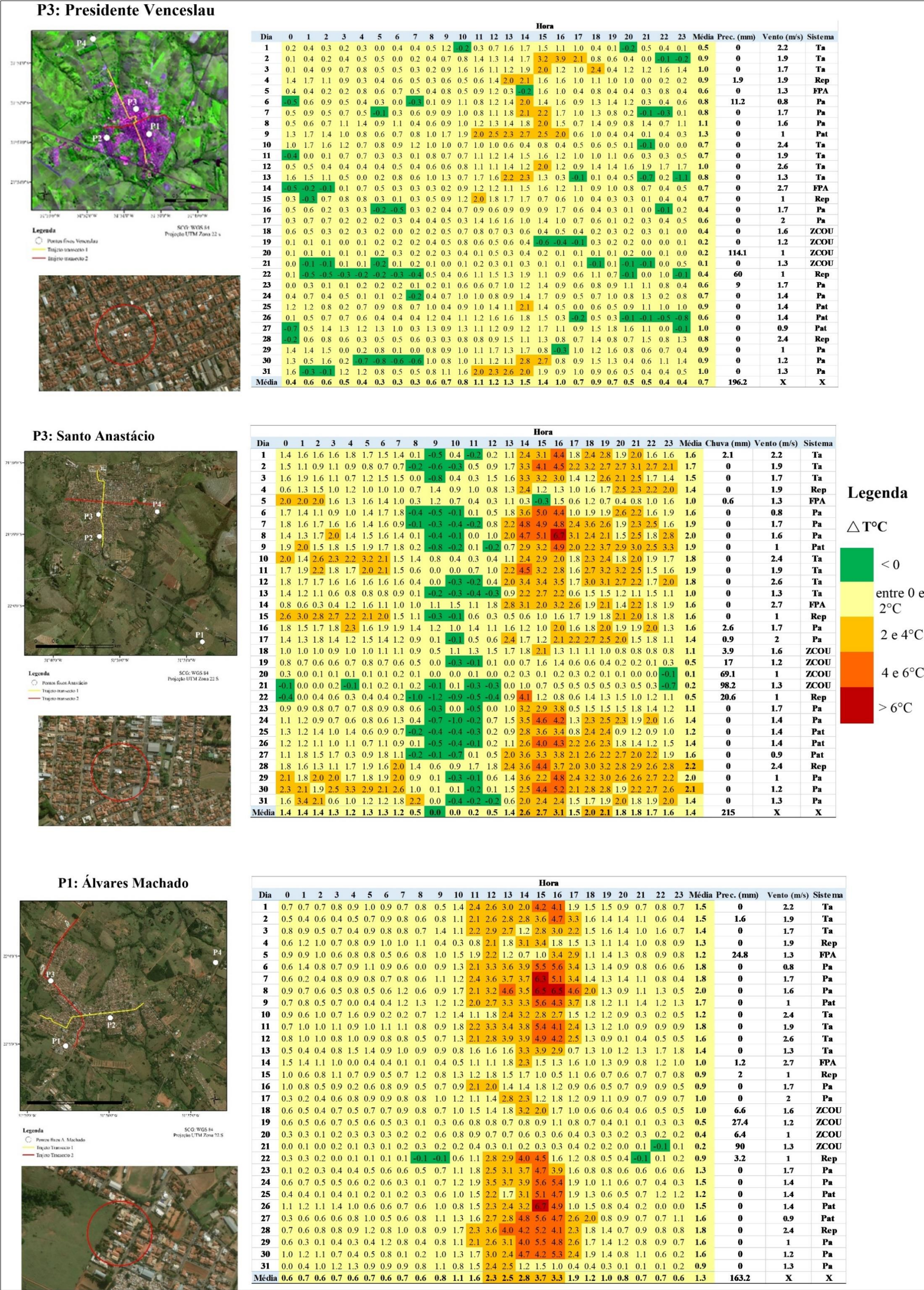
Prancha 12: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, março de 2017



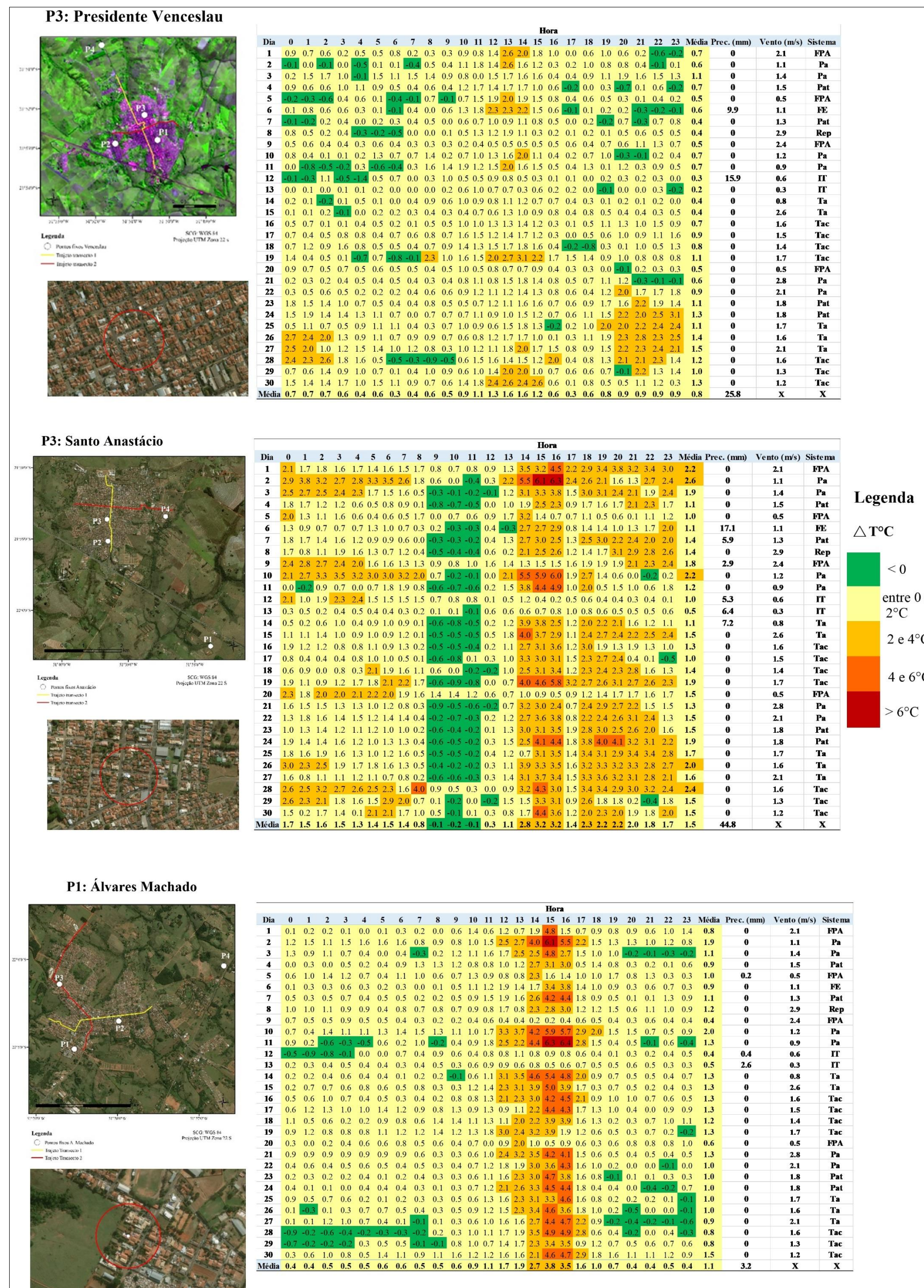
Prancha 13: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, abril de 2017



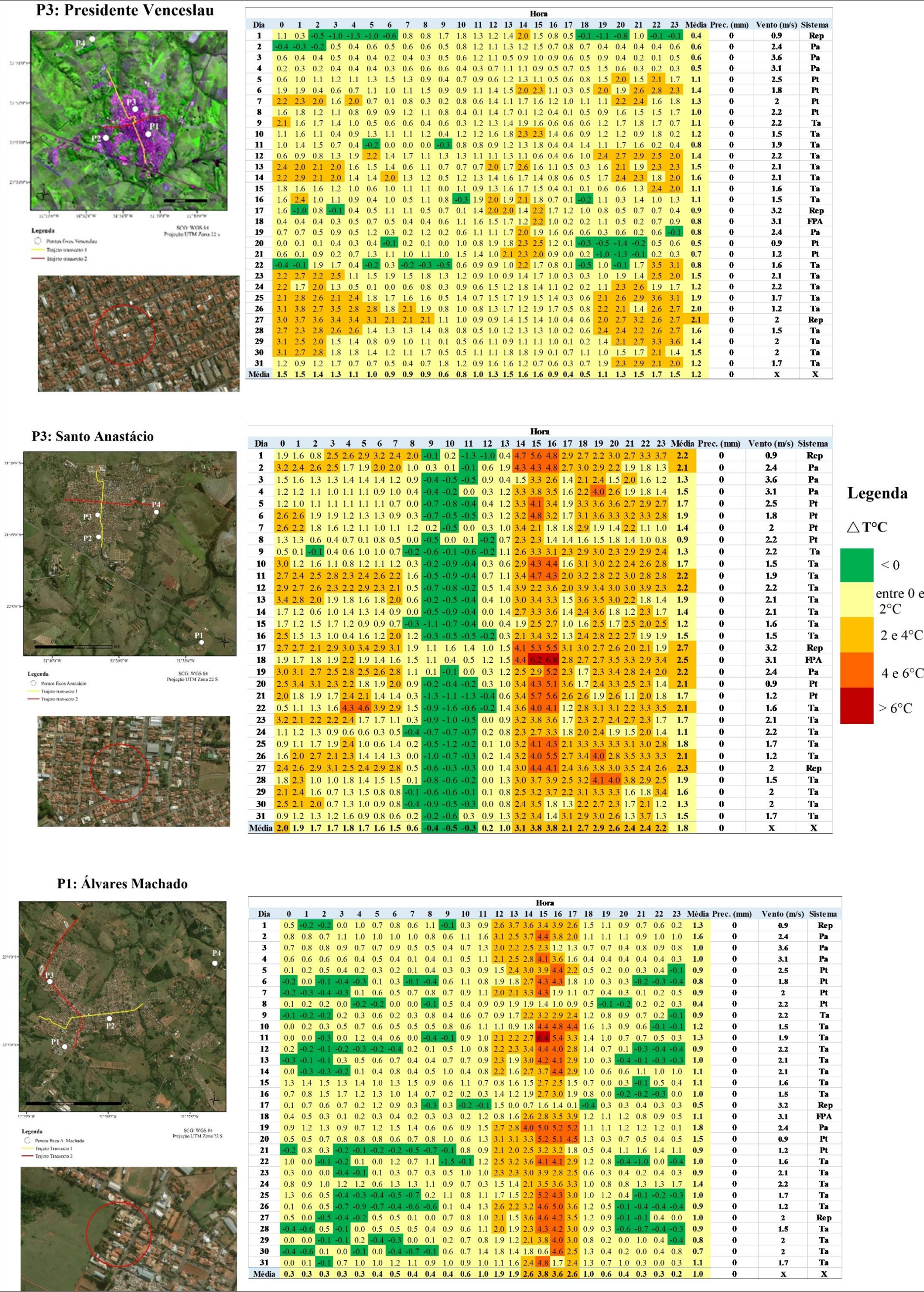
Prancha 14: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, maio de 2017



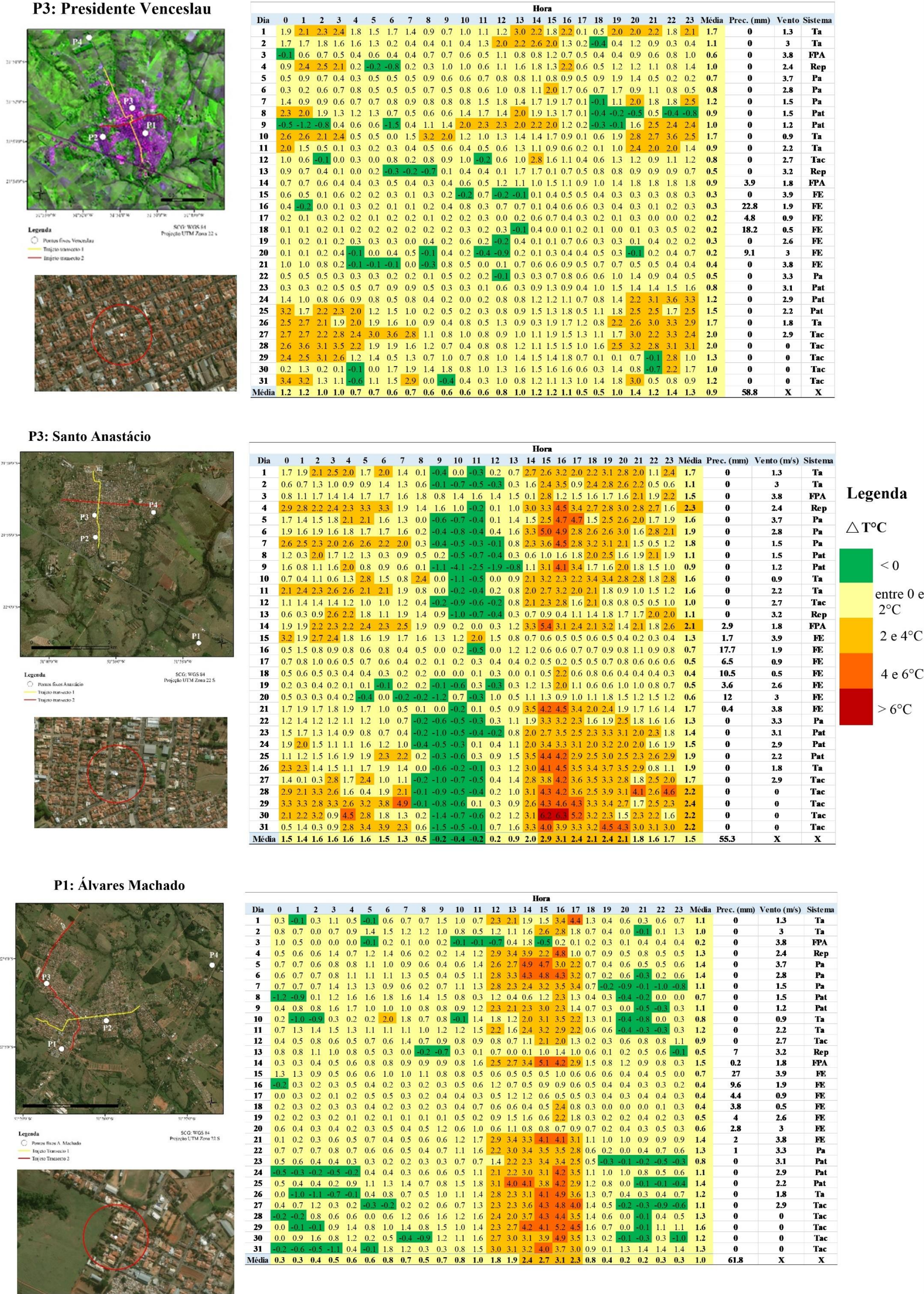
Prancha 15: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, junho de 2017



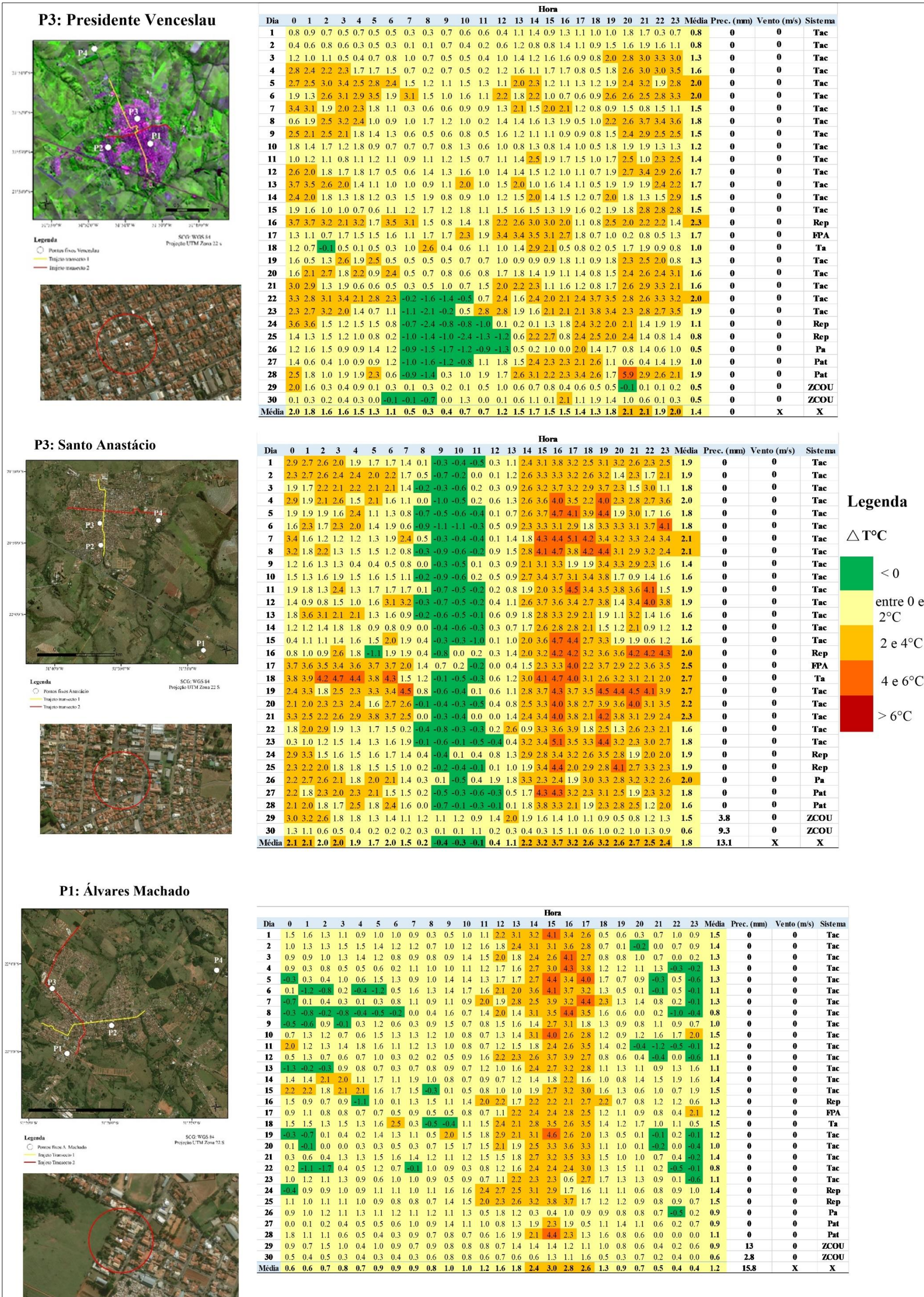
Prancha 16: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, julho de 2017



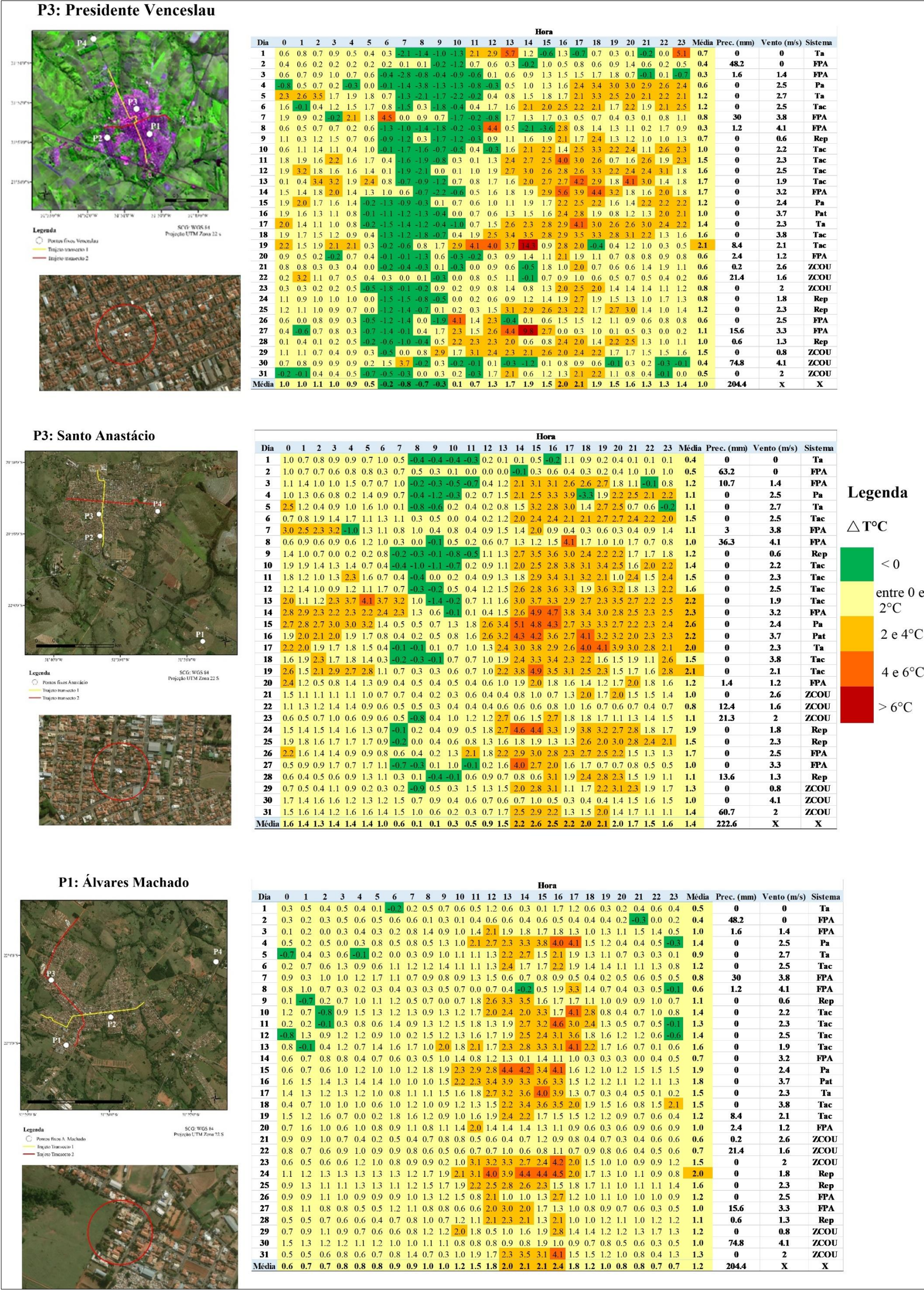
Prancha 17: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, agosto de 2017



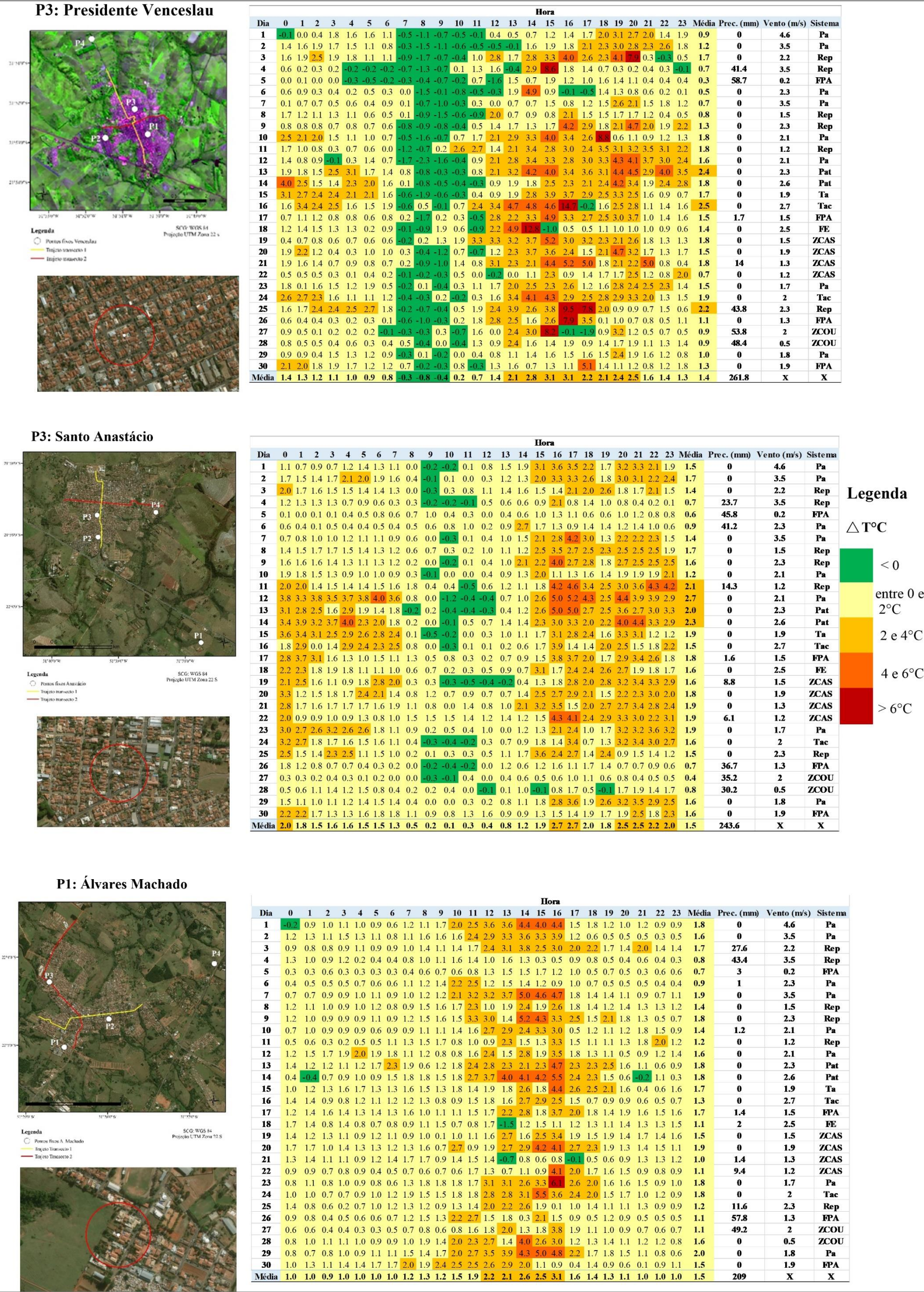
Prancha 18: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, setembro de 2017



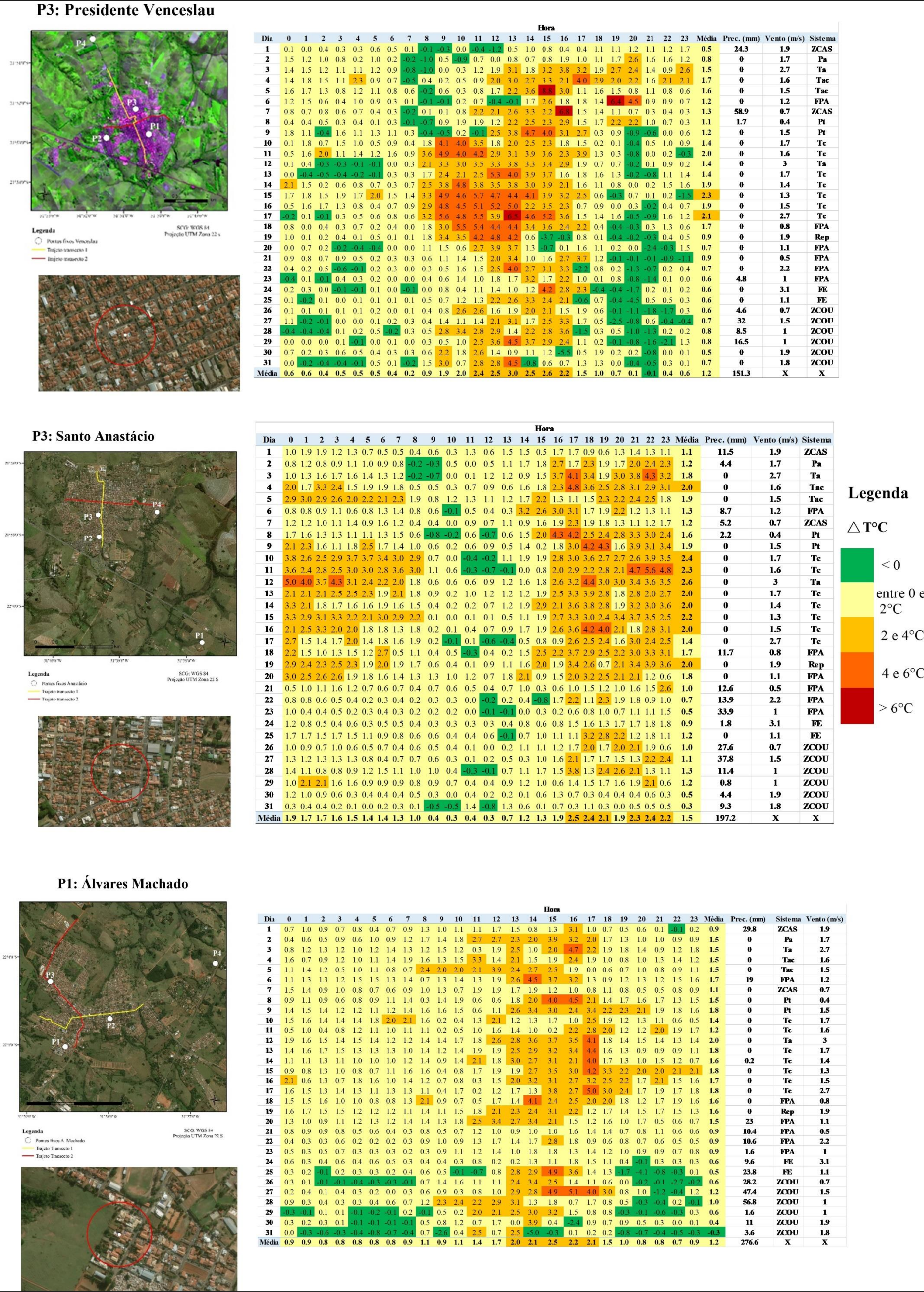
Prancha 19: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, outubro de 2017



Prancha 20: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, novembro de 2017



Prancha 21: Síntese da intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise, dezembro de 2017



9.2 Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas mediante os diferentes tipos de tempo e horários de interesse (0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h)

Nesta seção, as intensidades e a evolução diária das ilhas de calor atmosféricas foram demonstradas através de isotermas nos painéis espaçotemporais. O *eixo y (ordenada)* representou os pontos fixos na disposição Sul-Norte e o *eixo x (abscissas)* referiu-se ao período da observação (dias/mês). Ressalta-se que nessa forma de representação não ocorre a espacialização, pois nos painéis os pontos não têm contiguidade espacial. Este fato não desqualifica a análise, porque o objetivo foi a verificação das diferenças térmicas entre os pontos urbanos tendo o rural como referência. Além disso, considera-se que para a espacialização utilizando-se do método de interpolação espacial seria necessário um número maior de postos de observação para uma representação confiável.

Por meio dos resultados, observou-se a relação entre os sistemas atmosféricos atuantes, a intensidade e magnitude das ICUs na medida em que as condições meteorológicas elevaram a força, extinguíram a ocorrência do fenômeno ou contribuíram para a ocorrência das ilhas de frescor (MENDONÇA, 1994; AMORIM, 2000). Quanto à distribuição espacial, a ICU atmosférica se apresentou a partir das características urbanas como a densidade construtiva, combinadas às características geoambientais. O horário de ocorrência do pico da ilha de calor foi particular nas três cidades, mas foi um padrão os maiores gradientes térmicos verificados no período diurno (às 12, 15 e 18 horas).

A relação entre a distribuição espacial da temperatura do ar (intensidade térmica) e as características geoambientais como a altimetria ficou melhor evidenciada através dos transectos móveis, porque os pontos fixos foram instalados em cotas aproximadas de altitude, conforme será detalhado na seção 9.3.

Com relação à orientação das vertentes, pontos localizados em vertente voltada para o Sul apresentaram menores intensidades térmicas no período da manhã e foram mais aquecidos no período da tarde, como verificou-se nos pontos 1 de Presidente Venceslau e Álvares Machado e no ponto 4 de Santo Anastácio. Os pontos instalados em vertentes de orientação Leste apresentaram temperaturas maiores no período da manhã, pois ficaram mais expostos à incidência solar, condição encontrada nos pontos 2 e 3 em Álvares Machado. No caso dos pontos situados em vertente voltada para Oeste (Ponto 2 de Presidente Venceslau e ponto 3 de Santo Anastácio), nota-se que esses pontos passaram a ter maiores diferenças térmicas no

período da tarde permanecendo após o pôr do sol. Entretanto, nesses dois casos, os pontos são representativos de áreas densamente construídas e localizam-se no setor Oeste da malha urbana.

Considerar a distribuição das chuvas, que no ambiente tropical continental implica na sazonalidade climática, também foi importante para a caracterização das ICU atmosféricas. A distribuição anual da precipitação no período do monitoramento climático com os dados das localidades⁵² (Tabela 1) permite o entendimento da variação temporal das intensidades da ilha de calor nos meses do estudo.

Tabela 1: Total pluviométrico mensal referente aos meses do monitoramento climático.

Meses	Total pluviométrico/mensal 2017 Pres. Venceslau (mm)	Total pluviométrico/mensal 2017 S. Anastácio (mm)	Total pluviométrico/mensal 2017 Pres. Prudente (mm)
Março	102,3	118,7	38,2
Abril	86,9	67	86,2
Maio	196,2	215	163,2
Junho	25,8	44,8	3,2
Julho	0	0	0
Agosto	58,8	55,3	61,8
Setembro	0	13,1	15,8
Outubro	Sem dados	222,6	204
Novembro	261,8	243,6	209
Dezembro	151,3	197,2	276

Fonte dos dados: DAEE (Estação C8011 de Pres. Venceslau; Estação C8009 de Santo Anastácio); INMET Presidente Prudente (estação A-707, altitude 432 metros, dados representativos de Álvares Machado). Organização: Danielle F. Teixeira (2018).

No período do monitoramento climático, os sistemas produtores de precipitação ou ventos fortes (sistemas instáveis) ocorreram sob a FPA, a Rep, a FE, a ZCAS e a ZCOU. Os sistemas estáveis, que proporcionaram ventos fracos foram a mTa, a derivação deste sistema Tac, a mTc (menos frequente), a mPa e a modificação desta, a mPt.

A intensidade/magnitude das ICU foi mais expressiva na recorrência dos sistemas estáveis. De forma oposta, sistemas desencadeadores de precipitação e/ou maior fluxo de ventos favoreceram a formação de ilhas de frescor ou a homogeneização térmica entre as áreas rurais e urbanas. Essa condição não impediu a ocorrência local e episódica da ilha de calor, quando sobressaíram as características urbanas dos pontos fixos.

⁵² Presidente Prudente é a única cidade inserida na mesma região climática provida de rede oficial de dados meteorológicos (estação A-707, altitude 432, do INMET). Está distante 10 km de Álvares Machado. Dados pluviométricos foram obtidos pelas estações do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) presentes nas cidades de Presidente Venceslau e Santo Anastácio.

Constatou-se que nos meses com baixa/irregular precipitação (junho, julho, agosto e setembro), as intensidades das ICUs foram maiores no período noturno, especialmente nas cidades de Presidente Venceslau e Santo Anastácio. As ilhas de calor noturnas de Álvares Machado atingiram a intensidade de 2°C, com uniforme distribuição nos meses do estudo. Neste recorte, somente a análise episódica permite relacionar a ocorrência de ICU de moderada a forte magnitude no período noturno aos sistemas atmosféricos atuantes.

Observou-se a tendência à homogeneização ou a distribuição de baixas intensidades entre áreas urbanas e rurais das cidades no período noturno (0, 3 horas) e diurno (às 6 e 9 horas). Esse padrão se verificou principalmente nas cidades de Presidente Venceslau e Álvares Machado nos meses de março, abril e maio. A partir de junho, se alternaram episódios de pequenas intensidades da ICU e a ocorrência de ilhas de frescor nestas áreas de estudo. Em Presidente Venceslau, diferenciando-se do padrão térmico, episódio de ilha de frescor foi constatado às 15 horas.

Com exceção de março (Prancha 22), os meses de abril (Prancha 23) e maio (Prancha 24) apresentaram chuvas acima da média histórica para os mesmos períodos, que são respectivamente 66 e 74 mm. Nestes meses, as ICUs noturnas em Presidente Venceslau e Álvares Machado configuraram-se na forma de fraca magnitude. A partir de junho (Prancha 25), nos meses correspondentes ao período de estiagem no ambiente tropical continental (julho, agosto e setembro) as ICUs noturnas ganharam força nestas mesmas cidades (Pranchas 26, 27, 28).

Em Presidente Venceslau as maiores intensidades foram verificadas no período da tarde e ao entardecer. O pico da ICU ocorreu no mês de novembro quando a intensidade medida atingiu 9°C às 18 horas, registrada em 10/11/17. Esta ilha de muito forte magnitude se configurou em todos os pontos urbanos, em condição atmosférica de transição entre a Rep e a mPa que proporcionam temperaturas absolutas registradas na casa dos 35°C, manifestação do aquecimento pré-frontal. Não houve precipitação neste horário, embora não se descarte a ocorrência da chuva no ponto rural, único a registrar temperaturas amenas para o horário. Supõe-se que a precipitação ocorreu horas após as 18 horas, quando a ICU se desconfigurou.

Nesses mesmos registros do pico da ICU em Venceslau no mês de novembro (Prancha 30), Santo Anastácio e Álvares Machado apresentaram ilhas de calor com magnitude fraca. Portanto, mediante os sistemas atmosféricos atuantes, as cidades apresentaram respostas térmicas individualizadas.

Em Presidente Venceslau, a ICU noturna permaneceu ativa, porém foi diminuída em intensidade nos períodos da madrugada. Os meses de outubro (Prancha 29) e novembro (Prancha 30) registraram a magnitude entre moderada a forte no período noturno nesta cidade.

Em Santo Anastácio as ICUs mais intensas derivaram do aquecimento urbano diurno (a partir das 12h até as 18h) e se explicam pela orientação das vertentes e densidade construtiva dos pontos. Neste recorte territorial, as ICUs noturnas foram duradouras e atingiram a magnitude forte. No período vespertino e ao entardecer, a ICU se distribuiu por todos os pontos urbanos, mas a prevalência no período noturno foi específica no ponto 3, local com alta densidade construtiva, terreno menor, voltado ao Oeste e totalmente impermeabilizado. Este foi um traço comum desta cidade e do ponto fixo 3 em todo o período de registro de dados. Ao meio-dia este ponto não formou ICU. O efeito sombra foi identificado às 09 horas, especialmente nos pontos 2 e 3.

Álvares Machado apresentou ICUs noturnas de fraca a moderada magnitude no período de março a agosto e no mês de outubro. Em setembro, a ilha de calor noturna apresentou maiores intensidades, atingindo a magnitude forte. O mês de setembro (Prancha 28) foi excepcionalmente seco, com precipitações concentradas em dois dias do mês (dias 29 e 30). Os ventos fracos, pela atuação da massa Tac, criaram condições para a ocorrência das ICUs mais fortes.

Em dezembro (Prancha 31), também para o recorte espacial Álvares Machado, as ilhas de calor no período noturno tiveram pouca duração. Especialmente sob condições de sistemas úmidos (FE, ZCOU), ocorreram ICUs de moderada magnitude. De fato, nessas condições atmosféricas prevaleceram diferenças térmicas maiores no ambiente urbano do que no rural no período diurno. Outro padrão identificado sob condições de ZCOU foi a extinção da ICU às 9 e às 12 horas e a ocorrência noturna do fenômeno.

As ilhas de frescor configuraram-se com frequência às 03, 06 e 09 horas nas cidades de Presidente Venceslau e Santo Anastácio. A cidade de Álvares Machado teve episódios de ilhas frescas no período noturno, mas às 09 horas experimentou maior diferenciação urbano-rural, com ICU bem estabelecidas nos pontos urbanos 2 e 3, cujos terrenos têm orientação para o quadrante Leste e, portanto, estiveram mais expostos à incidência solar durante as manhãs.

Através desses resultados, verificou-se o padrão de aquecimento em favor dos pontos representativos densamente construídos em relação ao rural próximo. A ICU permaneceu ativa nas cidades do universo de análise, contudo, a intensidade e a magnitude do fenômeno foram peculiares nos três recortes territoriais, nos termos da distribuição espaço-temporal e dos sistemas atmosféricos atuantes.

A literatura apresenta que o padrão típico da ICU pressupõe maior aquecimento (intensidade) após o pôr do sol em consequência do aquecimento das superfícies urbanas, com diferenças nas temperaturas realçadas quando o dia está calmo e limpo (GARTLAND, 2010). Porém, a forma como o fenômeno se visualiza em cada cidade é específica, podendo envolver muitos fatores explicativos:

Ilhas de calor em áreas urbanas tendem a apresentar características típicas, mas a intensidade e o momento de ocorrência das ilhas de calor variam de acordo com cada localidade. No final, a ilha de calor de cada comunidade encontra seu próprio e exclusivo equilíbrio entre temperaturas e fluxos de energia, com base no terreno, tipos de construções e condições meteorológicas da área (GARTLAND, 2010, p. 36).

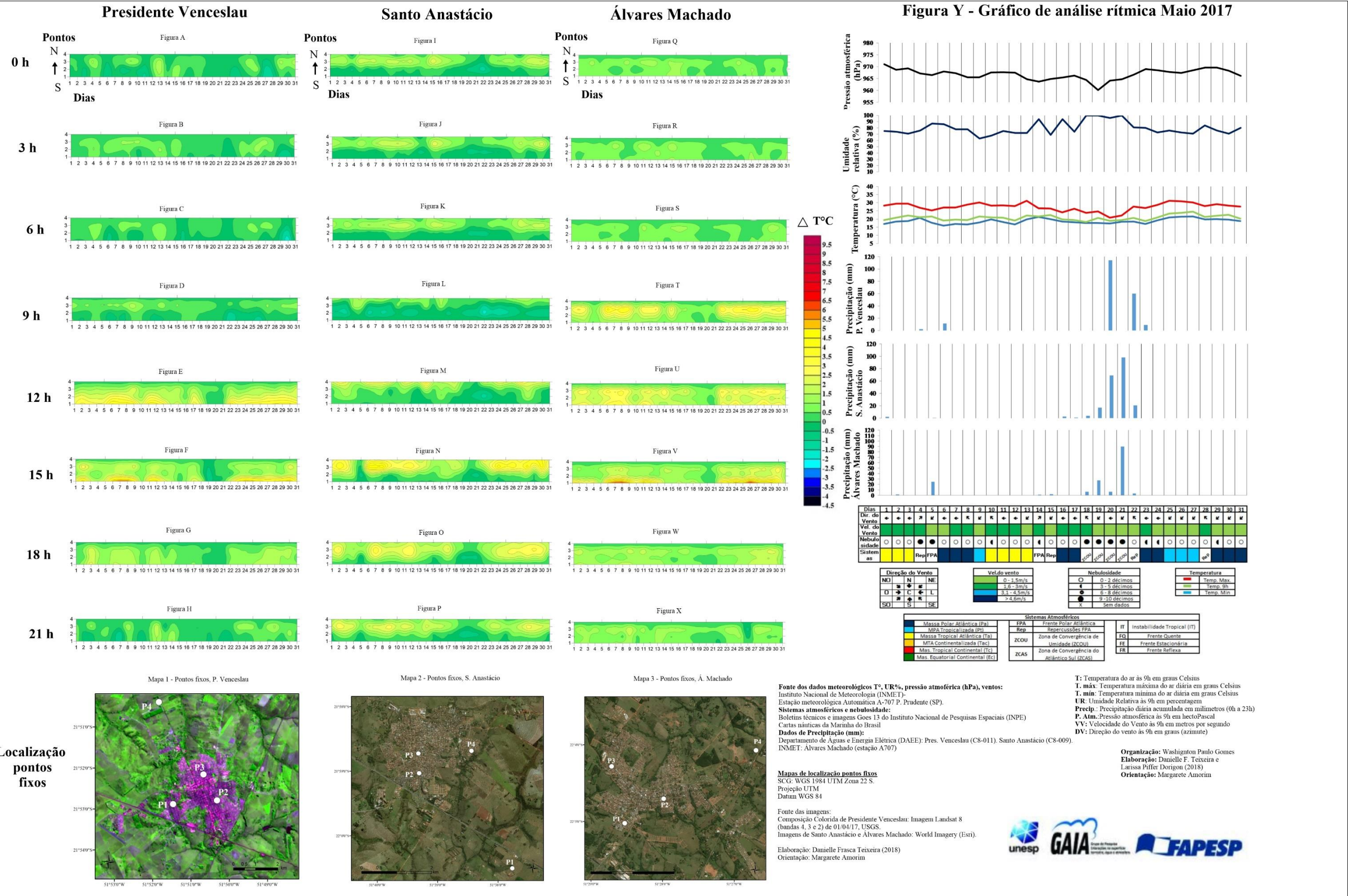
As maiores diferenças térmicas foram constatadas no período diurno nas três cidades, explicadas pelas características térmicas locais dos pontos fixos representativos e em função da orientação das vertentes. Além disso, infere-se que o curso diurno da temperatura pode ter um pico em função da orientação das ruas, como esclarece Oke (2006). Quanto à ocorrência da ICU noturna, ressalta-se que ela prevaleceu no período analisado em todas as cidades, mas com intensidades evidentemente maiores em Santo Anastácio.

No que se refere aos sistemas atmosféricos, os tipos de tempo estáveis desencadearam as ilhas de calor de maior intensidade e magnitude, enquanto que os tipos de tempo instáveis, produtores de precipitação e/ou de fluxos mais velozes de ventos, amenizaram ou extinguiram a ocorrência.

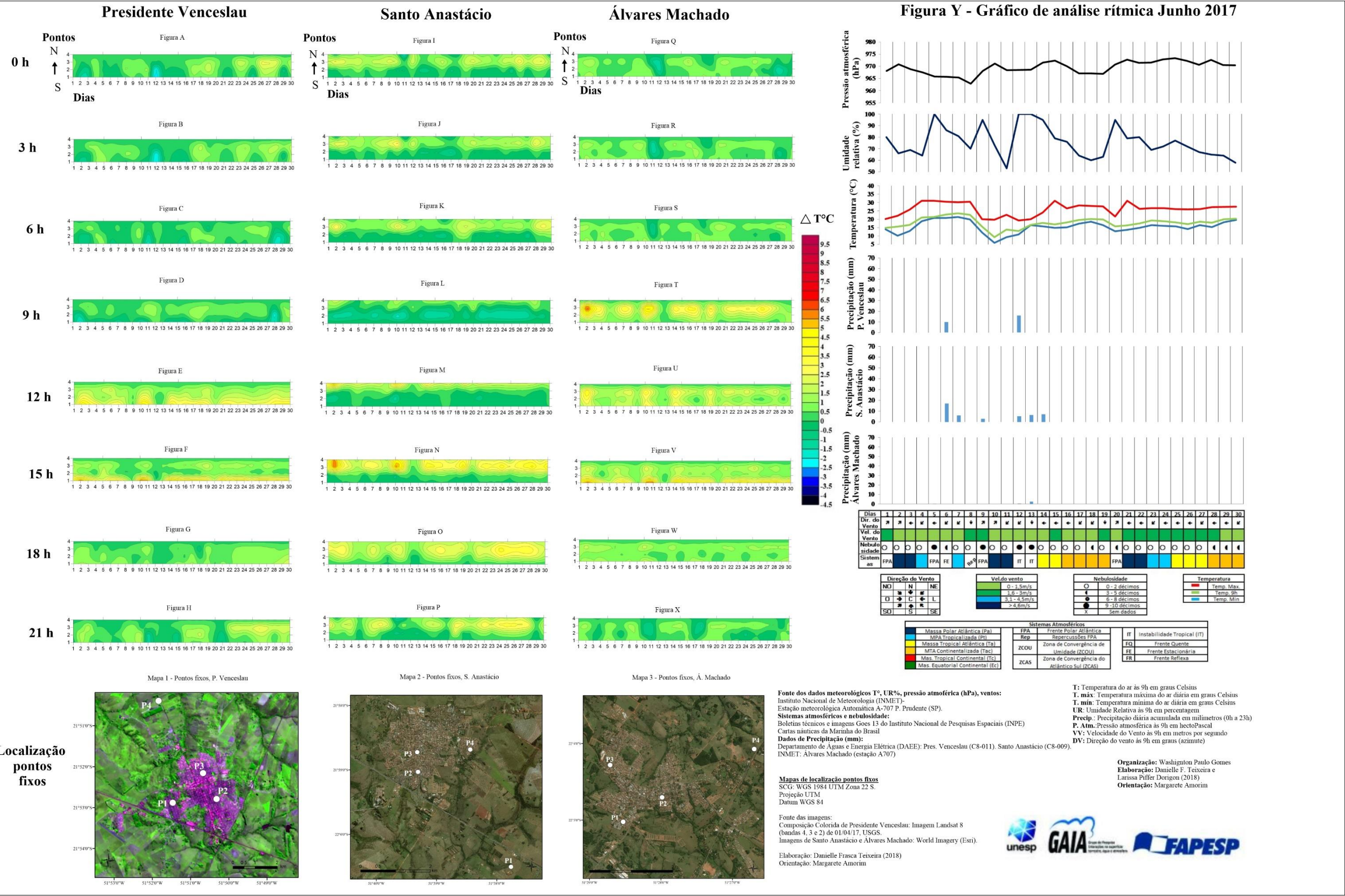




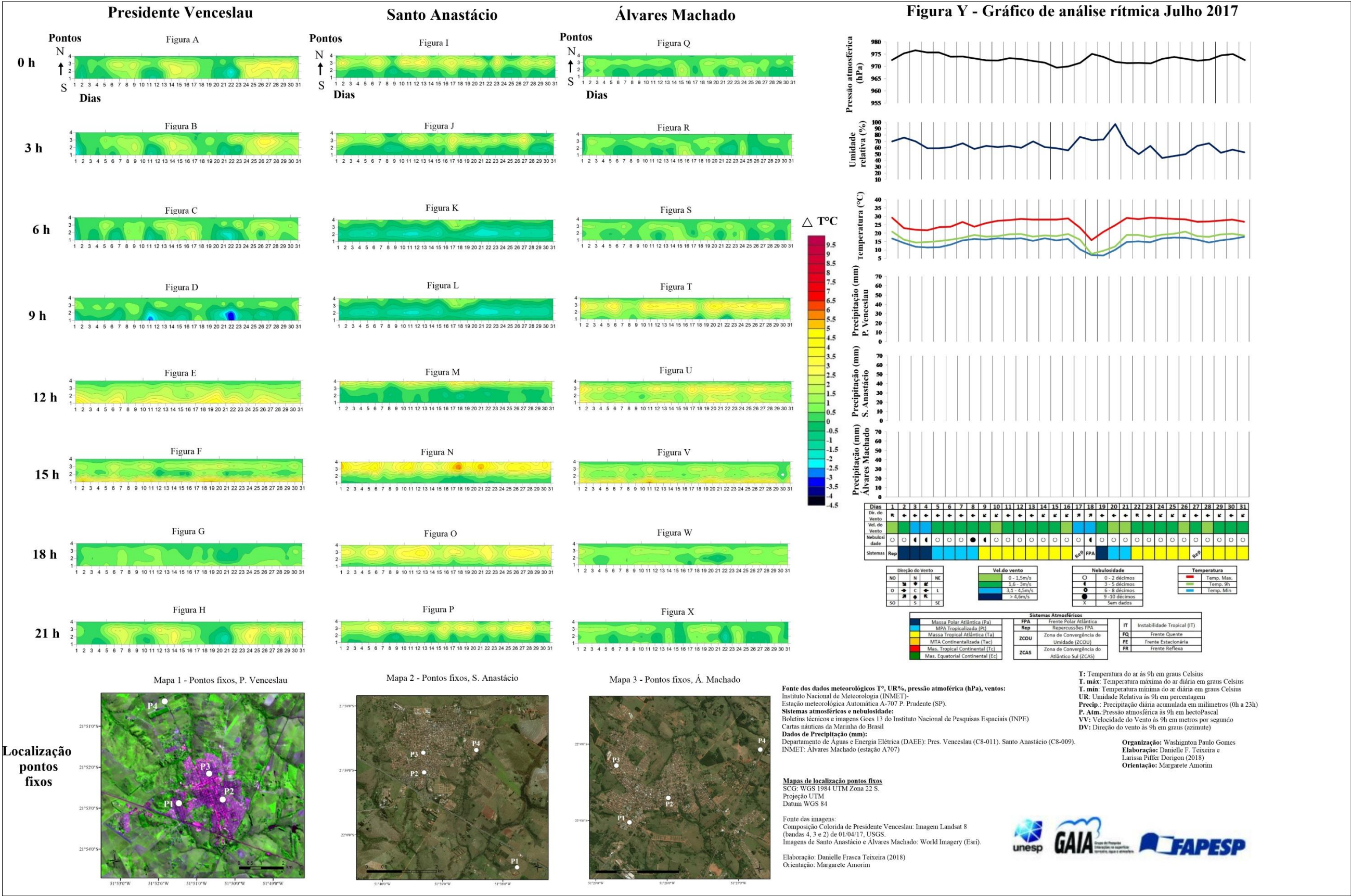
Prancha 24: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de maio de 2017 nas cidades do universo de análise



Prancha 25: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de junho de 2017 nas cidades do universo de análise

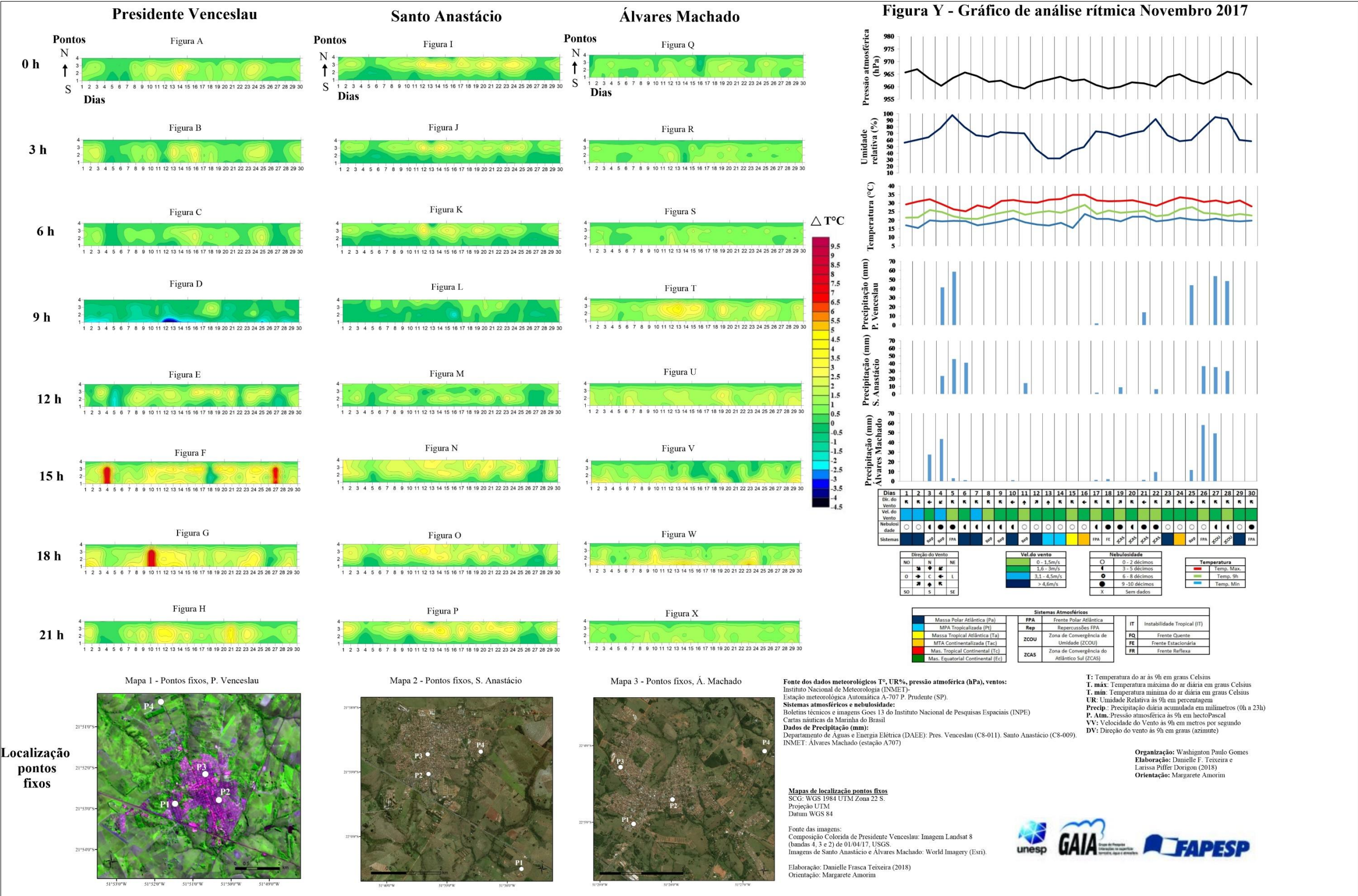


Prancha 26: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de julho de 2017 nas cidades do universo de análise





Prancha 30: Intensidade, magnitude e evolução diária das ilhas de calor atmosféricas no mês de novembro de 2017 nas cidades do universo de análise



9.3 Ilhas de calor atmosféricas: intensidade e magnitude diagnosticadas por transectos móveis

Procedimento amplamente difundido nos estudos de climatologia urbana em escala do topoclíma, o transecto móvel constitui uma técnica de aquisição de dados primários em vias de fluxo livre, sem interferência direta das edificações. Segundo a literatura clássica, deve ser realizado horas após o pôr do sol, coincidindo com o período do pico de liberação de calor pelas superfícies urbanas em situações de calmaria atmosférica (céu claro e sem nuvens) que possibilita a diferenciação climática local entre os ambientes rurais e urbanos. A duração do procedimento de registro não deve ultrapassar uma hora para que a atmosfera não passe por alterações de condições meteorológicas (OKE, 2004).

As principais desvantagens da aplicação dos transectos móveis se dão pela limitação à análise episódica e principalmente por estar condicionado à estabilidade atmosférica (ORTIZ-PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017). Apesar dessas restrições, é vantajoso no aspecto da exequibilidade da pesquisa e viabilidade financeira, ao mesmo tempo em que permite um maior número de registros enriquecendo a amostragem de dados.

Atendendo à proposta da análise sincrônica entre as cidades, os transectos foram realizados simultaneamente às 21 horas, com duração máxima de 50 minutos em episódios não sequenciados para representar diversas condições de tempo e dinâmicas urbanas, como o tráfego de veículos. Por isso, as coletas procederam-se em dias úteis e em finais de semana. O tratamento dos dados foi direcionado à obtenção das intensidades térmicas, conforme detalhado no item relativo aos procedimentos metodológicos. A representação espacial das intensidades da temperatura do ar monitorada pelos transectos ocorreu por duas formas. A primeira se deu pela interpolação dos dados plotados em grade considerando a equidistância dos pontos em 100 metros. Para uma análise complementar, a representação das intensidades foi feita em perfis longitudinais ilustrativos das feições e variações de altimetria percorridas pelos transectos.

A segunda forma de representação foi pela modelagem multicritérios da intensidade da ilha de calor, visando a integração das informações da temperatura do ar com o uso da terra, o relevo e a distância geométrica do centro, cujos resultados são apresentados na seção 9.4.

9.3.1 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 02 de abril de 2017

Em 02 de abril de 2017, as condições meteorológicas estavam influenciadas pela mTa, sistema que favoreceu a estabilidade atmosférica com ventos que atingiram até 3 m/s no decorrer do dia e céu claro. Durante o dia, a temperatura máxima registrada foi de 30°C e a mínima de 16,5°C. No horário da coleta dos dados a velocidade do vento era de 1,0 m/s de direção Leste⁵³.

Nestas condições atmosféricas, em Presidente Venceslau foi registrada a diferença térmica de 7°C (Prancha 32, Figura A), explicada pela diferenciação entre as temperaturas medidas no sítio urbano que estão condicionadas pela altimetria. Pela sequência das coletas, foi possível perceber que se estabeleceu um padrão de distribuição da temperatura que arrefece no fundo de vale (a partir do ponto 35 até o ponto 43) ao Norte da malha urbana, onde se estabeleceu o “ponto 0”, como visualiza-se no perfil longitudinal (Figura B). A temperatura do ar aqueceu nas áreas de topo, onde também se verificou a influência da densidade construtiva. Neste episódio, se desenhou o perfil clássico da ICU, com o padrão de aquecimento centro-periferia pois, à medida que o trajeto reduziu em densidade construtiva, se verificou a amenização da intensidade da temperatura do ar.

Em Santo Anastácio, a maior intensidade da temperatura do ar verificada no horário foi de 4°C (Prancha 33, Figura A). As rupturas foram identificadas nos fundos de vale, notadamente ao longo do percurso 2 (Leste-Oeste). Extremos dos percursos apresentaram diminuição das diferenças térmicas, mas o ponto “0” ficou marcado no setor Leste da malha, nas proximidades do fundo de vale, demonstrados nos pontos 29, 30 e 31 do perfil longitudinal (Figura B). Destaca-se que mesmo terminando em área circunvizinha ao ambiente rural, o extremo do transecto A-B (setor Norte) é caracterizado por maior densidade construtiva, bem como pela presença de um estabelecimento industrial⁵⁴.

As maiores intensidades da temperatura do ar foram distribuídas em áreas de maior densidade construtiva, sem maiores diferenciações ao longo dos trajetos, o que demonstra a homogeneidade das feições urbanas em termos da densidade construtiva e a baixa distribuição da cobertura vegetal.

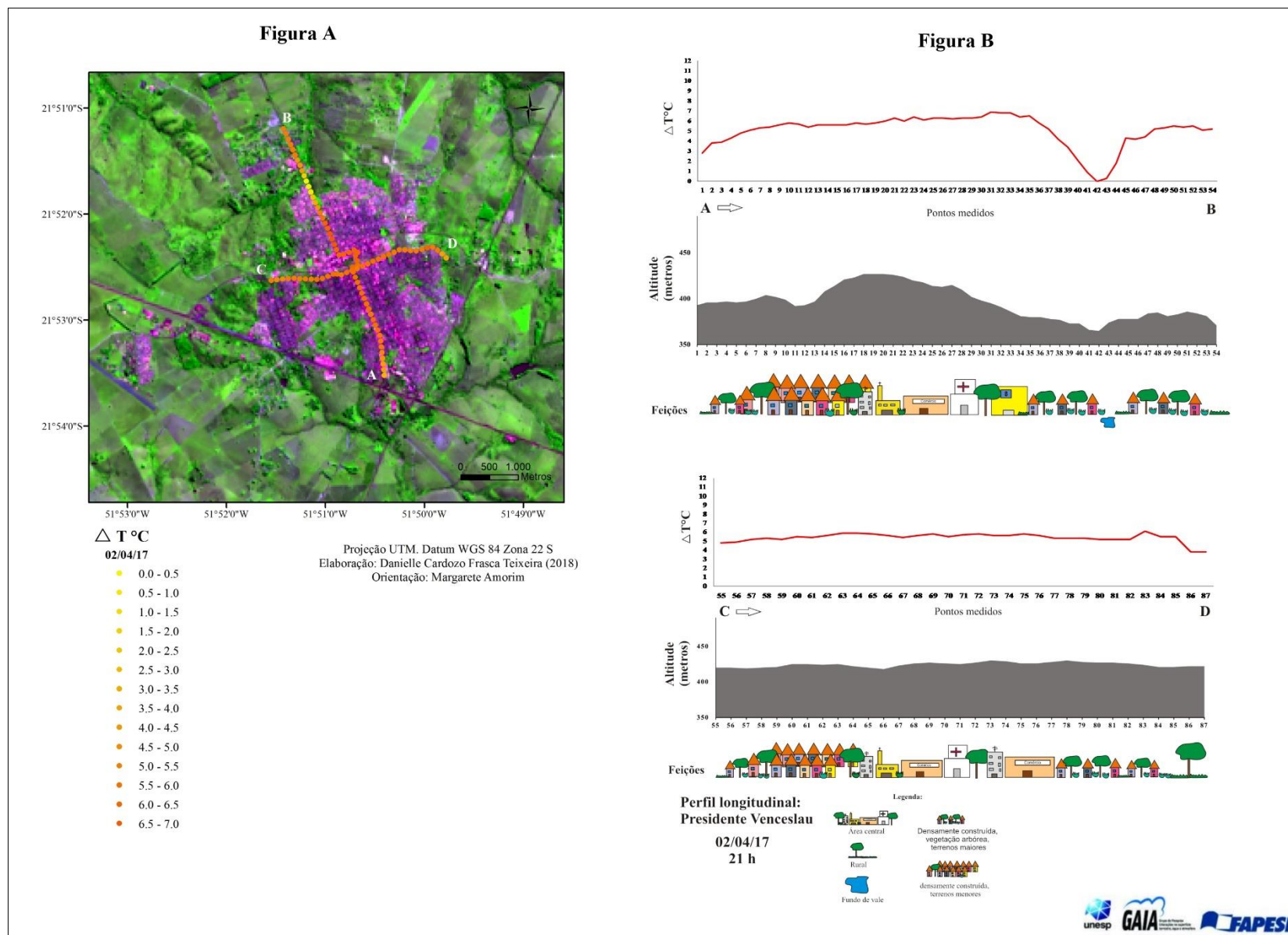
⁵³ Dados registrados na estação meteorológica automática A-707, INMET, Presidente Prudente.

⁵⁴ Ligada ao ramo do armazenamento de grãos e ração animal.

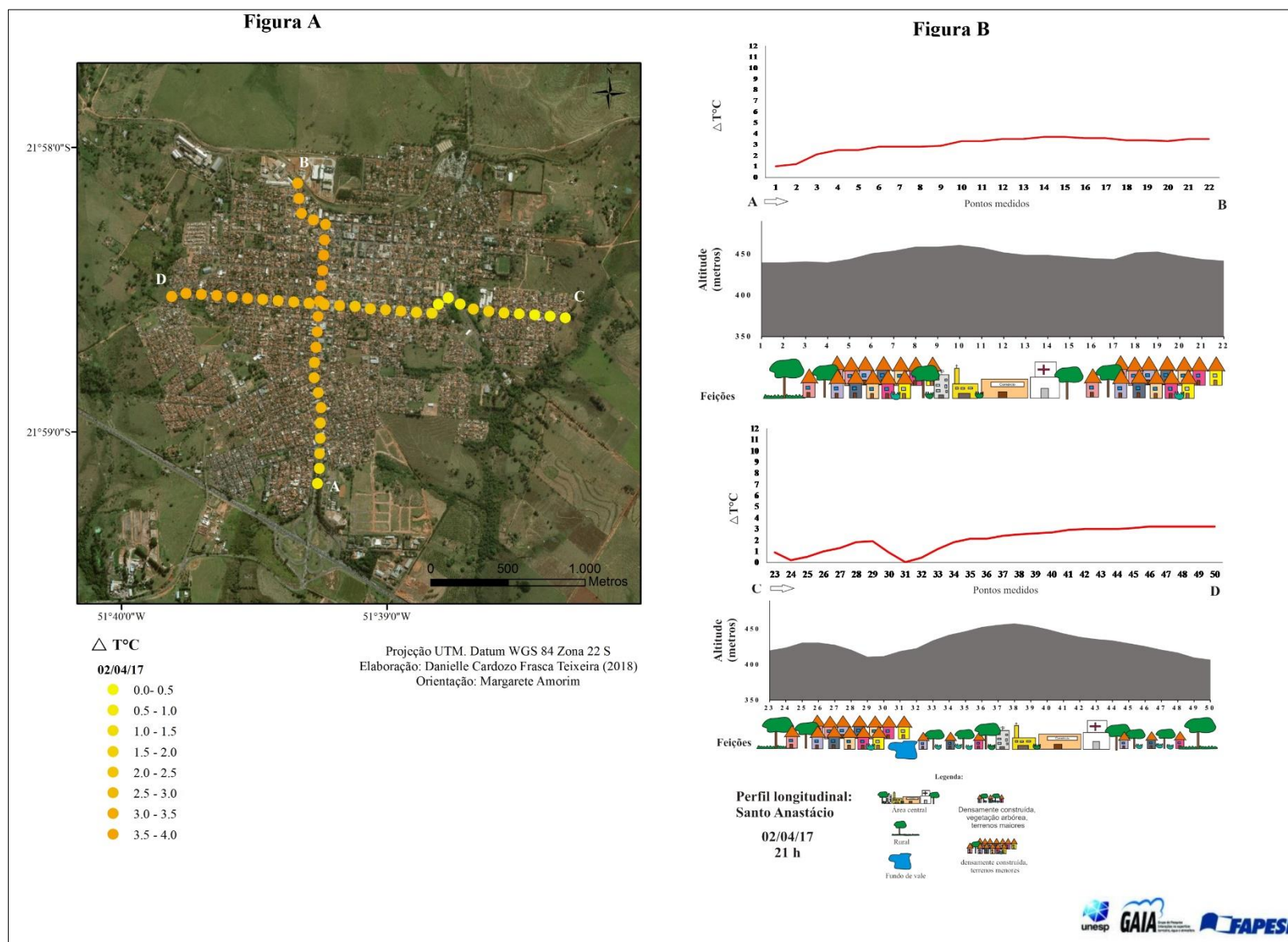
O padrão de distribuição da intensidade térmica em Álvares Machado comprovou a homogeneização dos dois percursos, que atingiram a intensidade máxima de 2,5°C (Prancha 34, Figura A). As características geoambientais do sítio urbano relacionadas à pouca variação da altimetria nos trajetos sugerem que a distribuição da temperatura do ar vincula-se mais às questões urbanas como o uso da terra e a densidade construtiva dos percursos. Em razão disso, não ocorrem grandes diferenciações das intensidades da temperatura do ar.

As menores intensidades da temperatura do ar ficaram evidenciadas nos extremos Norte e Oeste dos trajetos, especialmente nas proximidades dos pontos 25 a 28 do perfil longitudinal (Figura B) em virtude da menor densidade construtiva e da presença de vegetação arbórea na transição rural-urbano. A influência do fundo de vale no rural próximo do setor Oeste também é sugestiva da atenuação da temperatura e da intensidade da temperatura do ar, mas foi percebida em restritos pontos do final do trajeto do transecto móvel.

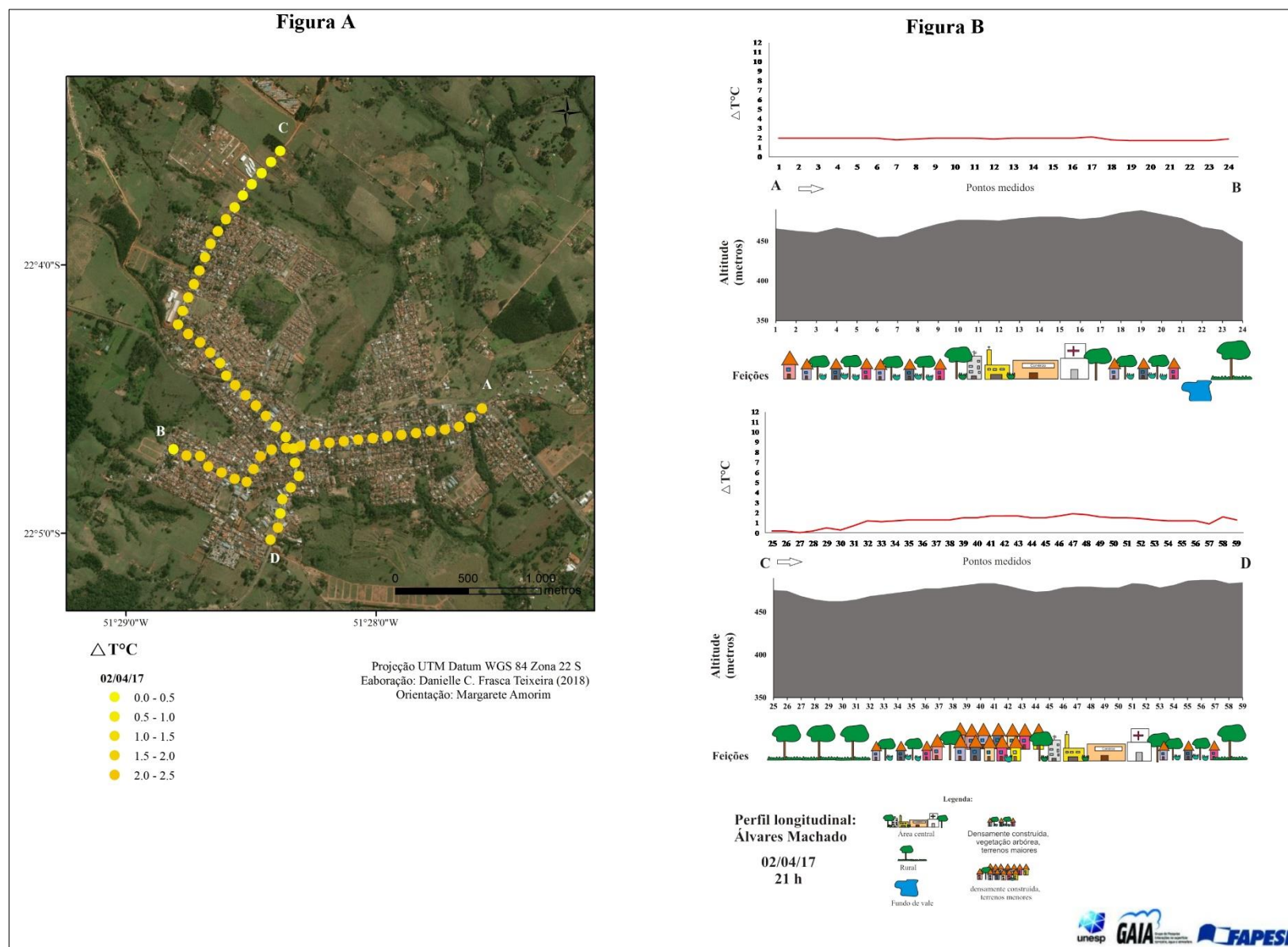
Prancha 32: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 02/04/17



Prancha 33: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 02/04/17



Prancha 34: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 02/04/17



9.3.2 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 23 de abril de 2017

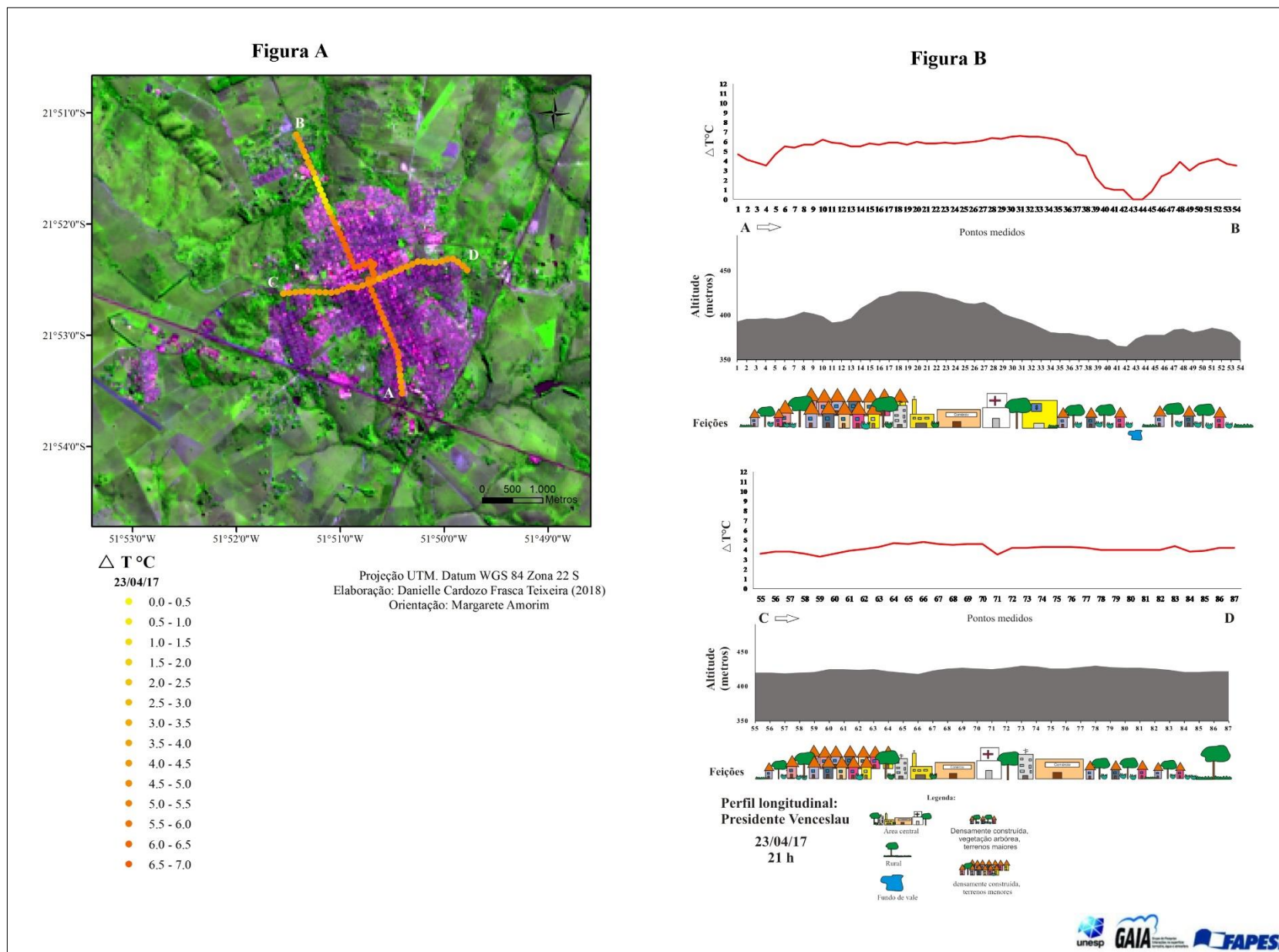
O segundo trabalho de campo para registro com transecto móvel aconteceu em 23 de abril de 2017. Neste dia, as condições atmosféricas estavam caracterizadas pela mPa, com destaque para a ocorrência de precipitação (23,8 mm) nos dois dias que antecederam o trabalho de campo. Durante o dia, a temperatura máxima foi de 27,5°C e a mínima registrada foi de 16,7°C, com ventos que atingiram a velocidade de 3,0 m/s. O céu não apresentou cobertura de nuvens. No momento da aquisição dos dados, o vento tinha velocidade de 1,9 m/s e era proveniente de Sudeste.

Diante destas condições meteorológicas, Presidente Venceslau manteve o mesmo padrão de distribuição da intensidade da temperatura do ar, com o perfil clássico da ICU bem estabelecido no centro da área urbana, cujo núcleo atingiu a intensidade de 7°C (Prancha 35, Figura A). O ponto “0” novamente se posicionou no fundo de vale ao Norte, entre os pontos 35 e 43 do perfil longitudinal (Figura B), caracterizando a inversão térmica de fundo de vale (STEINKE, 2012).

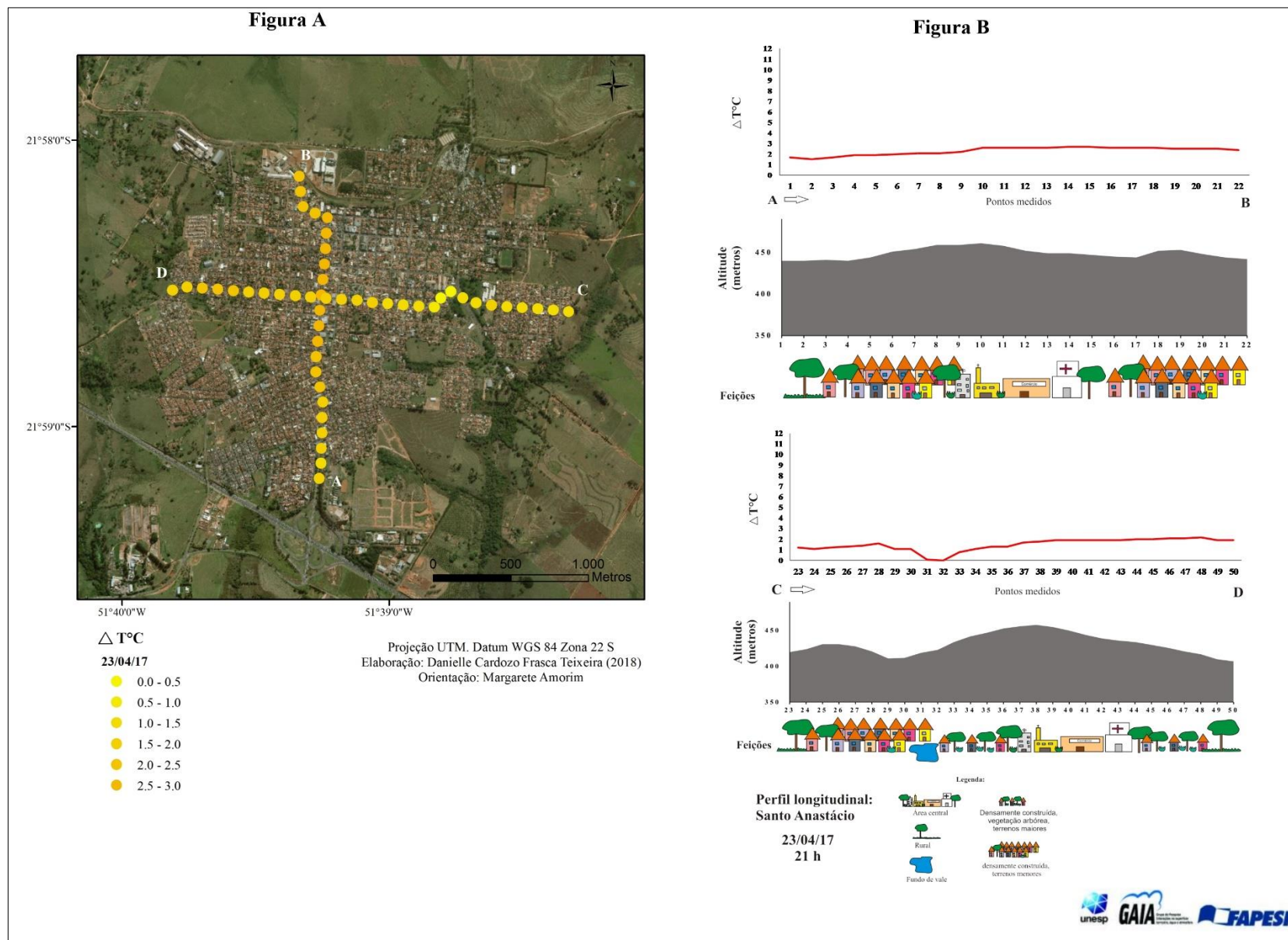
Santo Anastácio registrou intensidade máxima de 3,0°C em seus dois transectos (Prancha 36, Figura A), sendo a maior distinção exibida nas áreas dos fundos de vale, que se apresentaram como o ponto de menor intensidade (ponto “0”), especificamente nos pontos 29, 30, 31 e 32 do perfil longitudinal (Prancha 36, Figura B). Áreas densamente construídas se configuraram como as maiores intensidades, especialmente no trajeto A-B, enquanto que áreas de transição urbano-rural experimentaram menores intensidades térmicas. Observou-se a repetição do perfil de distribuição da intensidade da temperatura do ar com tendência à homogeneização dos trajetos já que houve pouca diferenciação entre feições urbanas e a presença da cobertura vegetal (arbórea, arbustiva ou rasteira) é restrita.

Em Álvares Machado, os resultados comprovaram a pequena diferenciação entre as áreas urbana e rural nas condições atmosféricas regidas pela mPa. A maior intensidade térmica encontrada foi de 2,5°C (Prancha 37, Figura A). Os pontos 25, 26 e 27 (Figura B), por localizarem-se em área de transição urbana-rural foram os “pontos 0”. Nesta cidade, pelo fato dos fundos de vale localizarem-se fora dos percursos, não existiram rupturas para a maior diferenciação das intensidades térmicas, sugerindo que a densidade construtiva e a velocidade do vento definem a variação térmica em Álvares Machado.

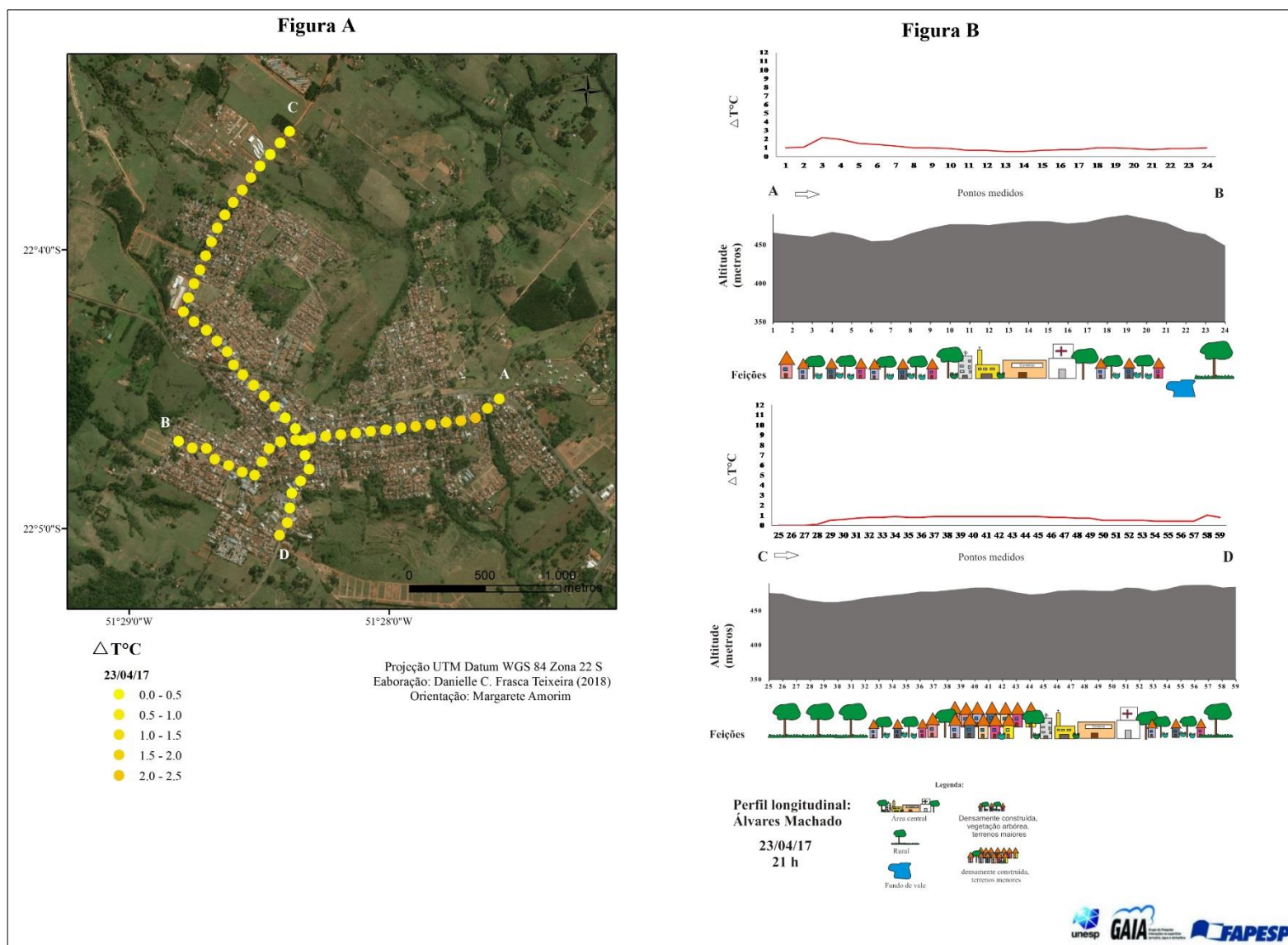
Prancha 35: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 23/04/17



Prancha 36: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 23/04/17



Prancha 37: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 23/04/17



9.3.3 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 28 de maio de 2017

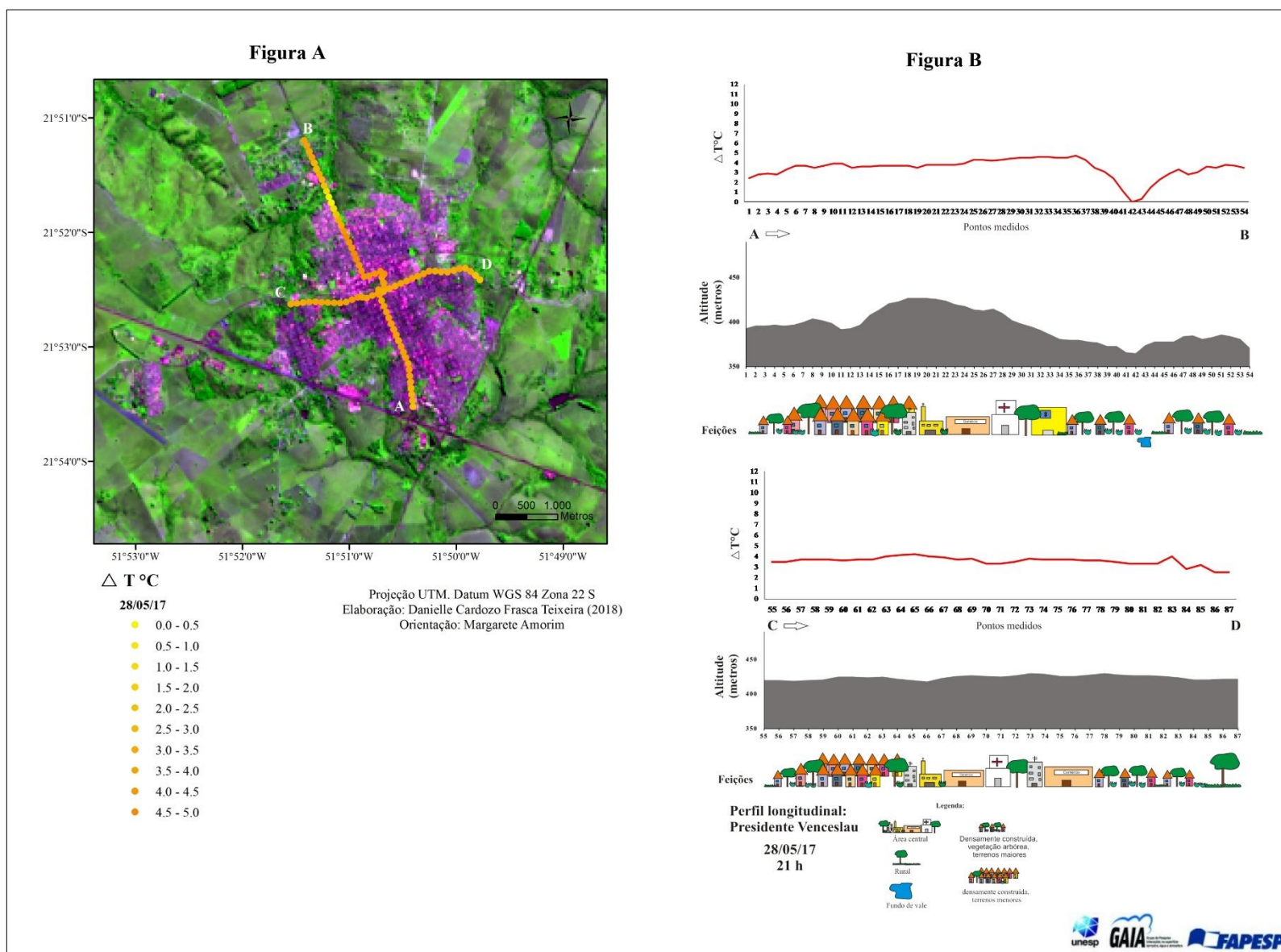
O dia 28 de maio estava sob influência da Rep. Não ocorreu precipitação, mas o sistema proporcionou o aumento da umidade relativa do ar (84%). Não ocorreram precipitações nos cinco dias antecedentes ao trabalho de campo. As condições de tempo no momento da coleta (21 horas) eram de céu claro, ventos de velocidade 1,5 m/s e direção Sudeste.

Sob tais condições, Presidente Venceslau experimentou menor intensidade térmica em relação as que foram detectadas nos monitoramentos anteriores. Ocorreu a homogeneização das intensidades térmicas pois pouco se distinguiu nas áreas urbanas. O fundo de vale no setor Norte foi o fator condicionante das menores intensidades térmicas do percurso A-B, como se observa nos pontos 35 ao ponto 45 do perfil longitudinal (Prancha 38, Figura B). A maior diferença entre as áreas rural e urbana atingiu a intensidade 5,0°C (Prancha 38, Figura A), classificando a ICU de magnitude forte. Os extremos dos trajetos, que se caracterizaram pela transição urbano-rural, apresentaram menores intensidades térmicas que alcançaram até 3,0°C. O pico se posicionou no centro comercial.

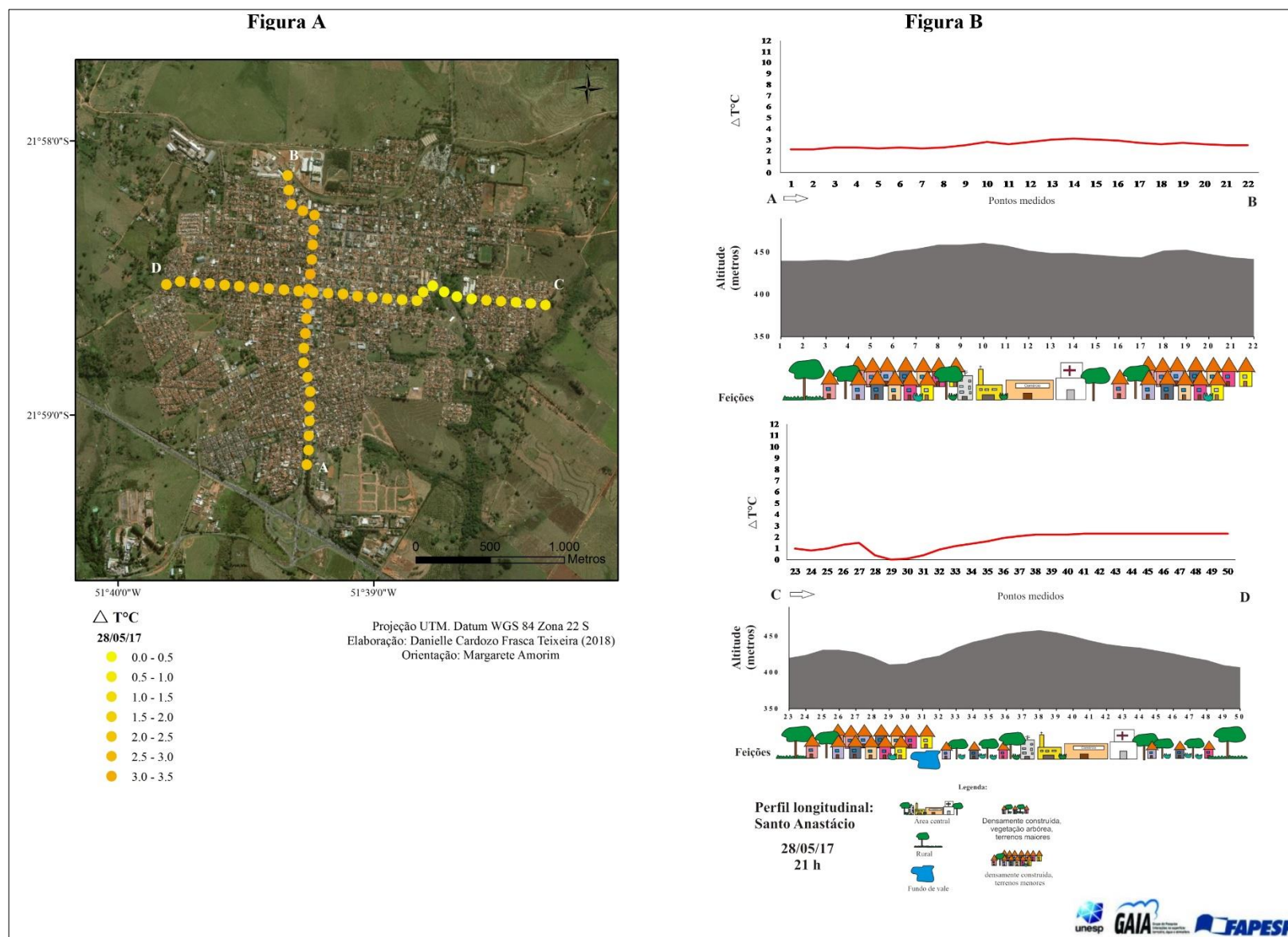
Santo Anastácio manteve o padrão de configuração da intensidade da temperatura do ar das medições anteriores, atingindo o valor máximo de 3,5°C (Prancha 39, Figura A). No fundo de vale foi marcado o “ponto 0” especificamente entre os pontos 29, 30 e 31 da Figura B (Prancha 39). Novamente o percurso A-B demonstrou menor distinção entre os gradientes térmicos em função das características do terreno (topografia) e da uniformidade da densidade construtiva da área urbana. Ao Norte, novamente se posicionou o núcleo da ICU.

Álvares Machado se caracterizou neste episódio por maiores distinções das intensidades térmicas nos percursos, que atingiu o valor máximo de 3,5°C (Prancha 40, Figura A). Neste dia, ficou melhor estabelecido o padrão de aquecimento centro-periferia. As menores intensidades se posicionaram no setor Sul da malha urbana (trajeto C-D), nos pontos 54, 55, 56 e 57 do perfil longitudinal (Figura B), à medida que o transecto percorreu as feições com menores densidades e os arredores do fundo de vale localizados no rural próximo, o que favoreceu o escoamento dos ventos de Sudeste.

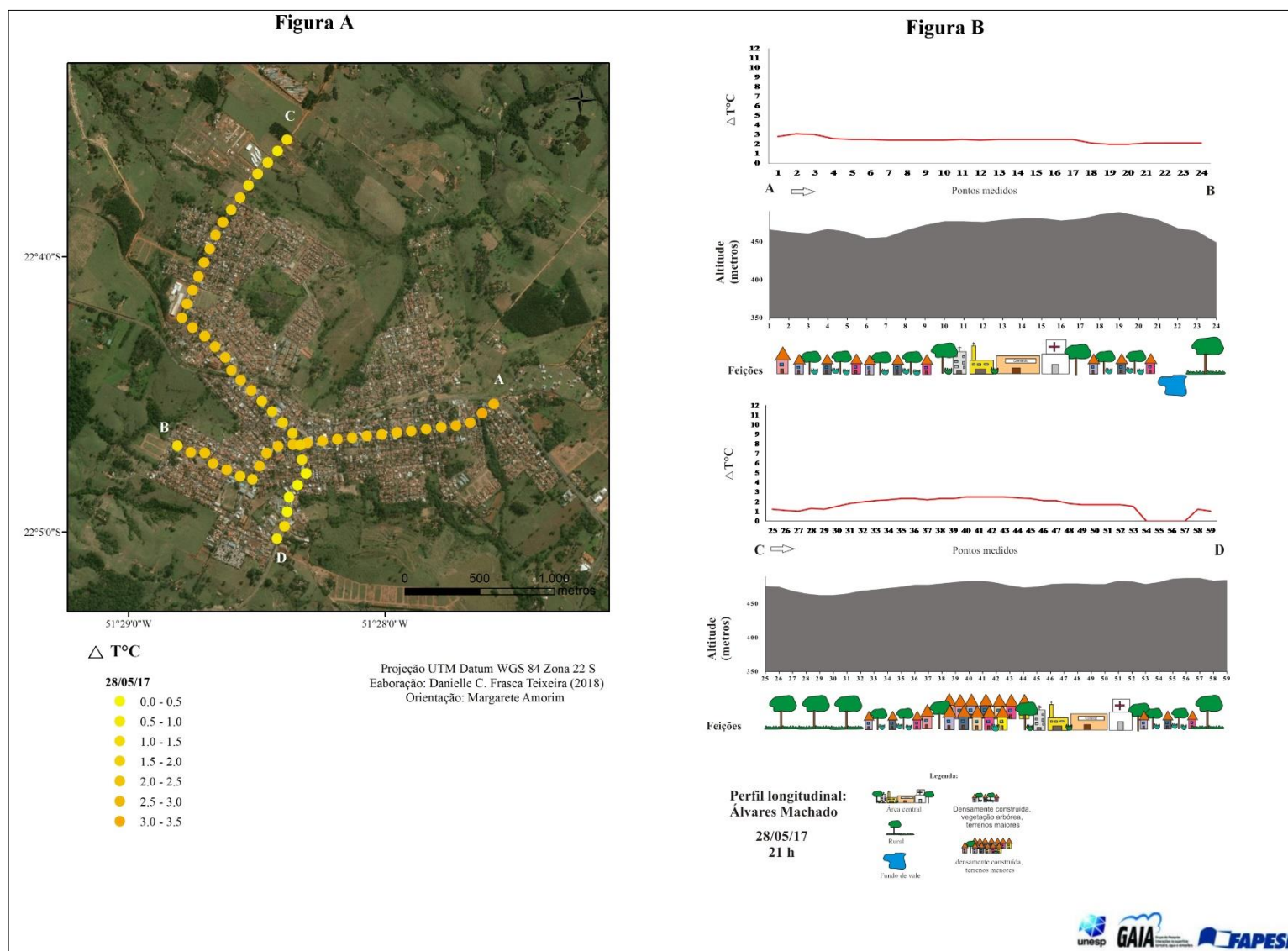
Prancha 38: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 28/05/17



Prancha 39: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 28/05/17



Prancha 40: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 28/05/17



9.3.4 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 11 de junho de 2017

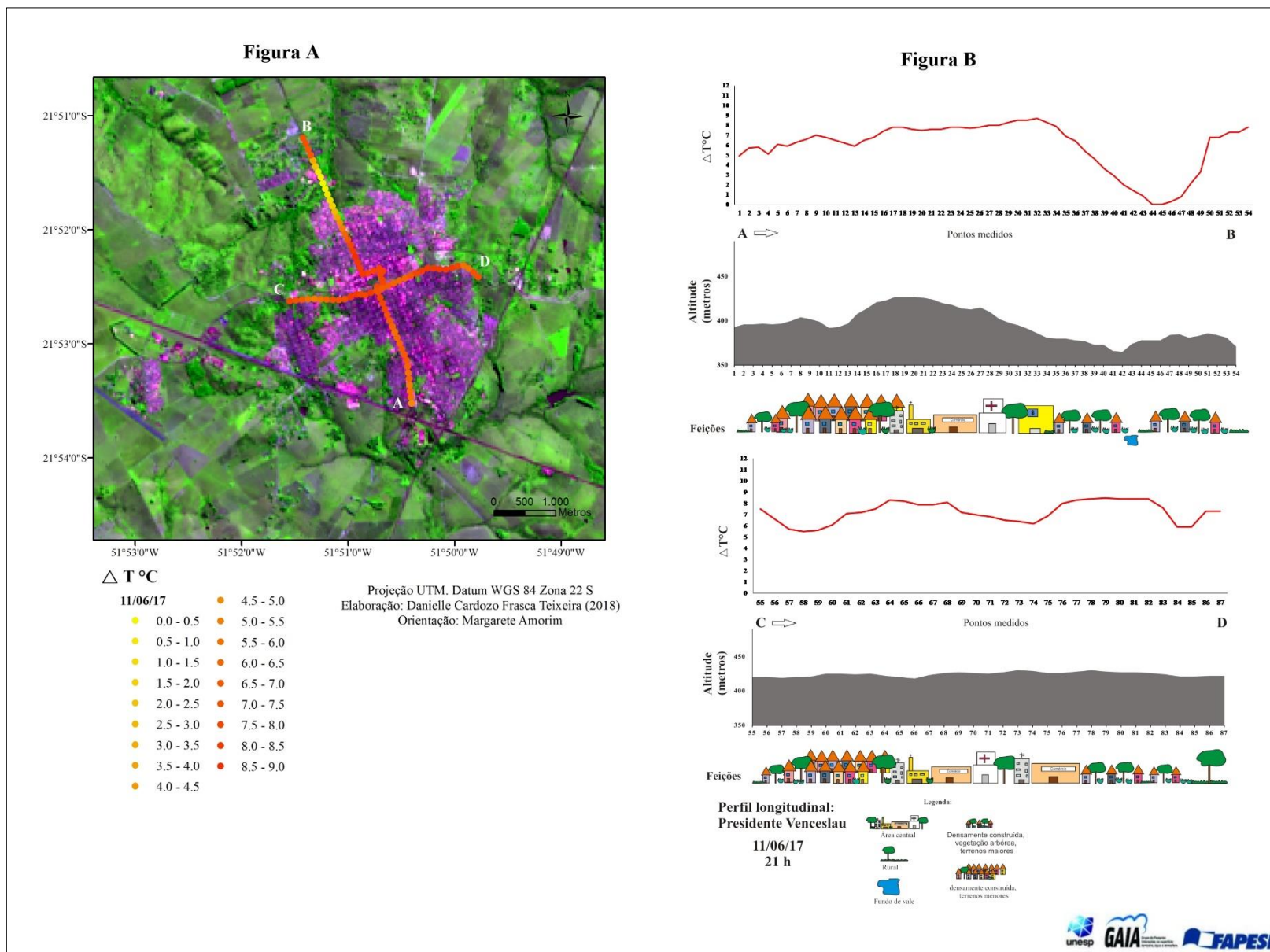
Em 11 de junho de 2017, a região Oeste do Estado de São Paulo estava sob atuação da mPa que proporcionou baixas temperaturas diárias desde o seu ingresso na região. Neste dia a mínima registrada foi de 9,2°C e a máxima de 22,7°C. A umidade relativa estava baixa (53%) pela ausência de precipitações no período anterior ao trabalho de campo. No momento do registro dos dados os ventos estavam fracos (0,6 m/s), provenientes do Sudeste.

No episódio regido pela massa polar, a cidade de Presidente Venceslau respondeu com maior potencialização das diferenças térmicas nos trajetos, pois os fundos de vale apresentaram temperaturas muito baixas em relação às áreas de topo, estabelecendo a inversão térmica que inviabiliza a mistura vertical do ar, pois o ar frio é mais denso e se posiciona abaixo do ar quente, mais leve (AMORIM, 2017). Assim, os topos apresentaram diferenças térmicas de 9,0°C (Prancha 41, Figura A) em relação aos fundos de vale (ponto “0”). À medida que o transecto se aproximou dos fundos de vale a temperatura do ar diminuiu gradativamente, como se observa no perfil longitudinal desde a medição 35 até o ponto 45 (Prancha 41, Figura B). Portanto, ocorreu nesta cidade uma relação mais evidente da influência natural para a distribuição das temperaturas e, por conseguinte, das intensidades térmicas.

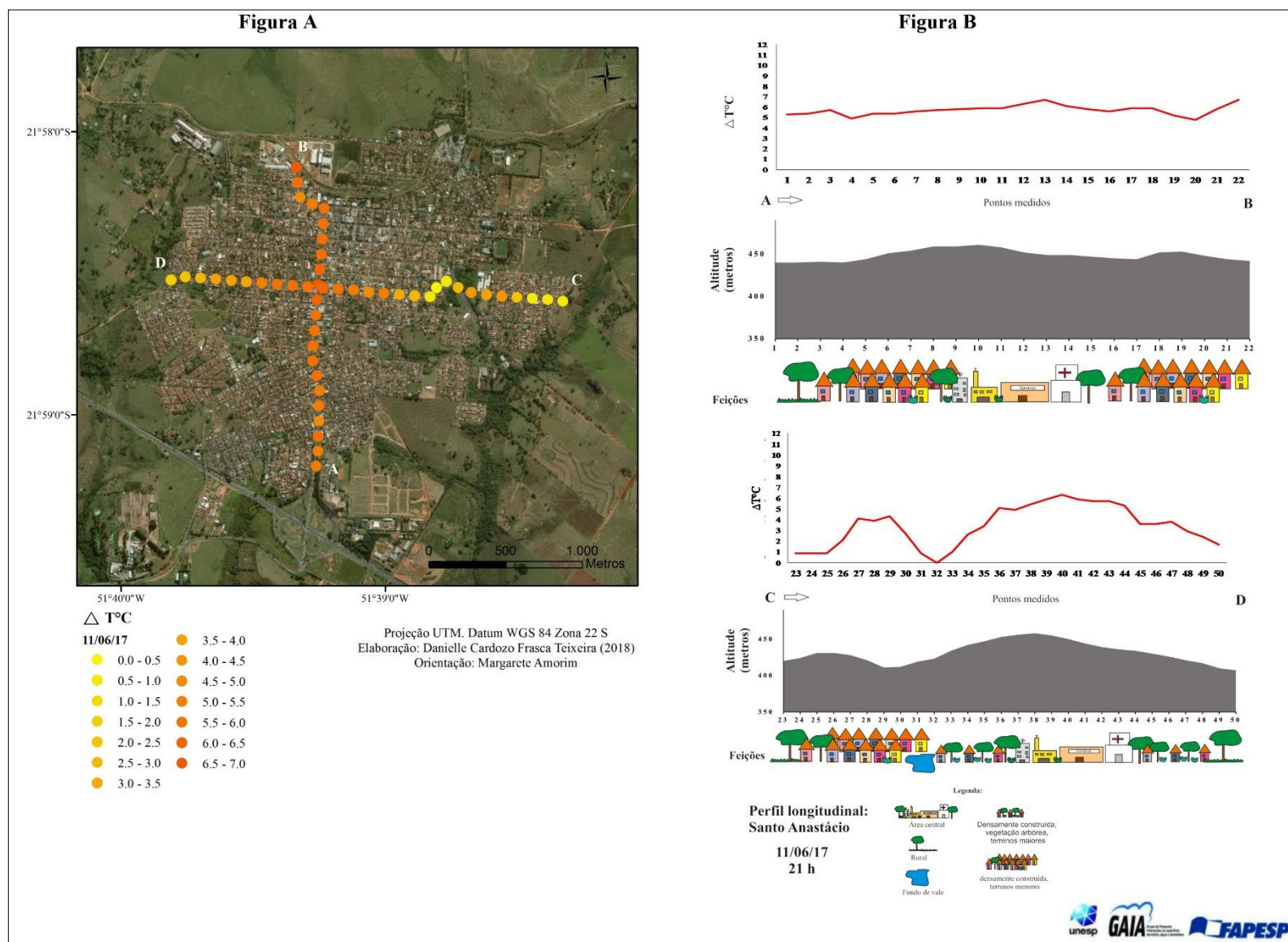
Santo Anastácio apresentou padrão semelhante nos fundos de vale, sendo que a diferença de intensidade entre estas feições e os topos atingiram 7,0°C (Prancha 42, Figura 42). Os contrastes de intensidade térmica foram mais evidentes no percurso C-D, tanto nos fundos de vale como também nos extremos que se caracterizam pela menor densidade construtiva, conforme exibido nos pontos 23, 24, 30, 31 e 32 do perfil longitudinal (Figura B).

A cidade de Álvares Machado manteve o padrão de homogeneização das intensidades térmicas nos dois percursos, sendo que a maior intensidade térmica foi de 3,0°C (Prancha 43, Figura A). As rupturas compareceram nos extremos Norte, Oeste e Sul, especificamente nos pontos 1, 25, 26, 55, 56 e 59 do perfil longitudinal (Figura B). Depreende-se que a atuação da mPa e que os ventos fracos condicionaram maior intensidade térmica em relação aos monitoramentos anteriores em Álvares Machado.

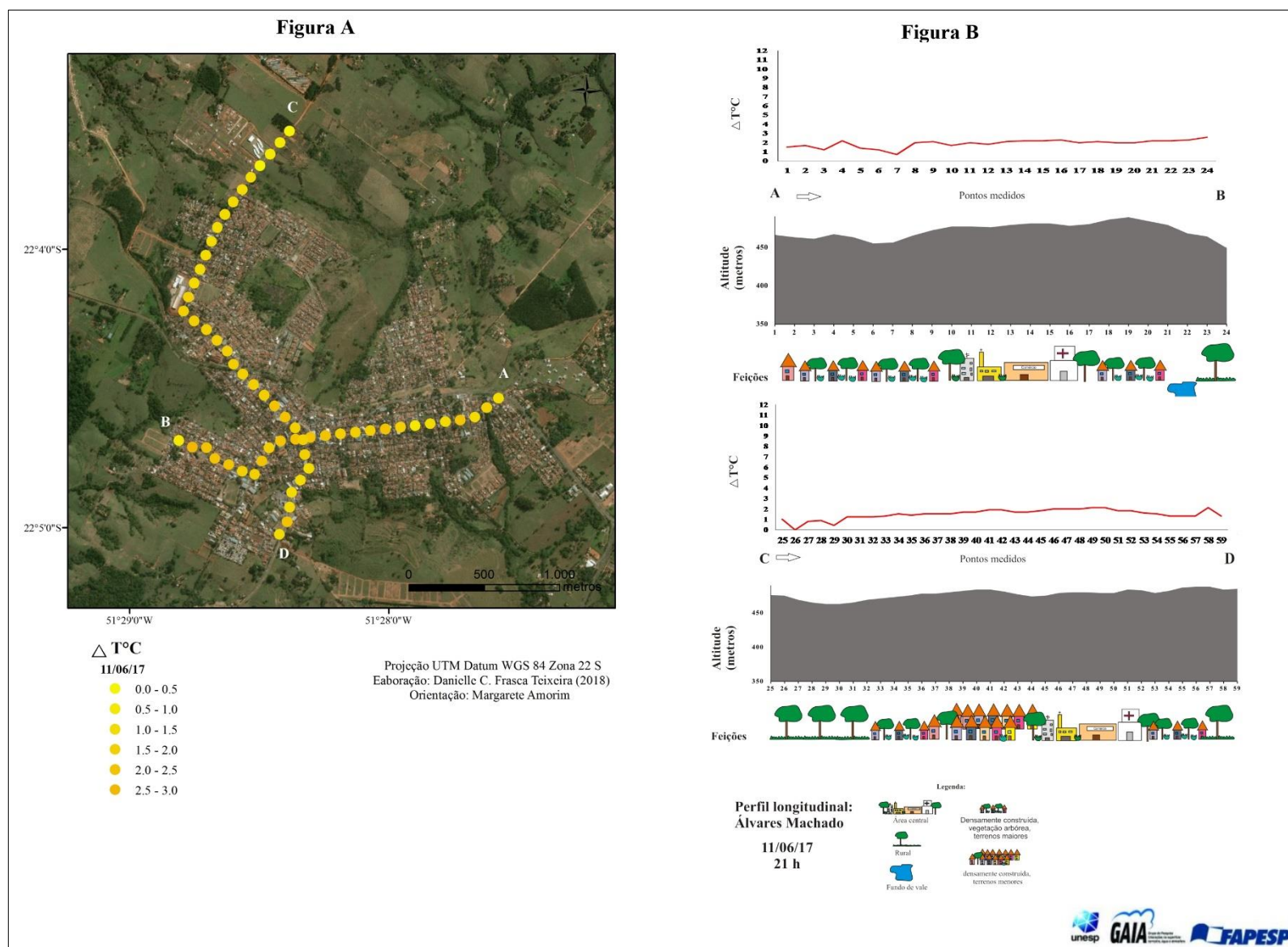
Prancha 41: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 11/06/17



Prancha 42: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 11/06/17



Prancha 43: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 11/06/17



9.3.5 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 19 de julho de 2017

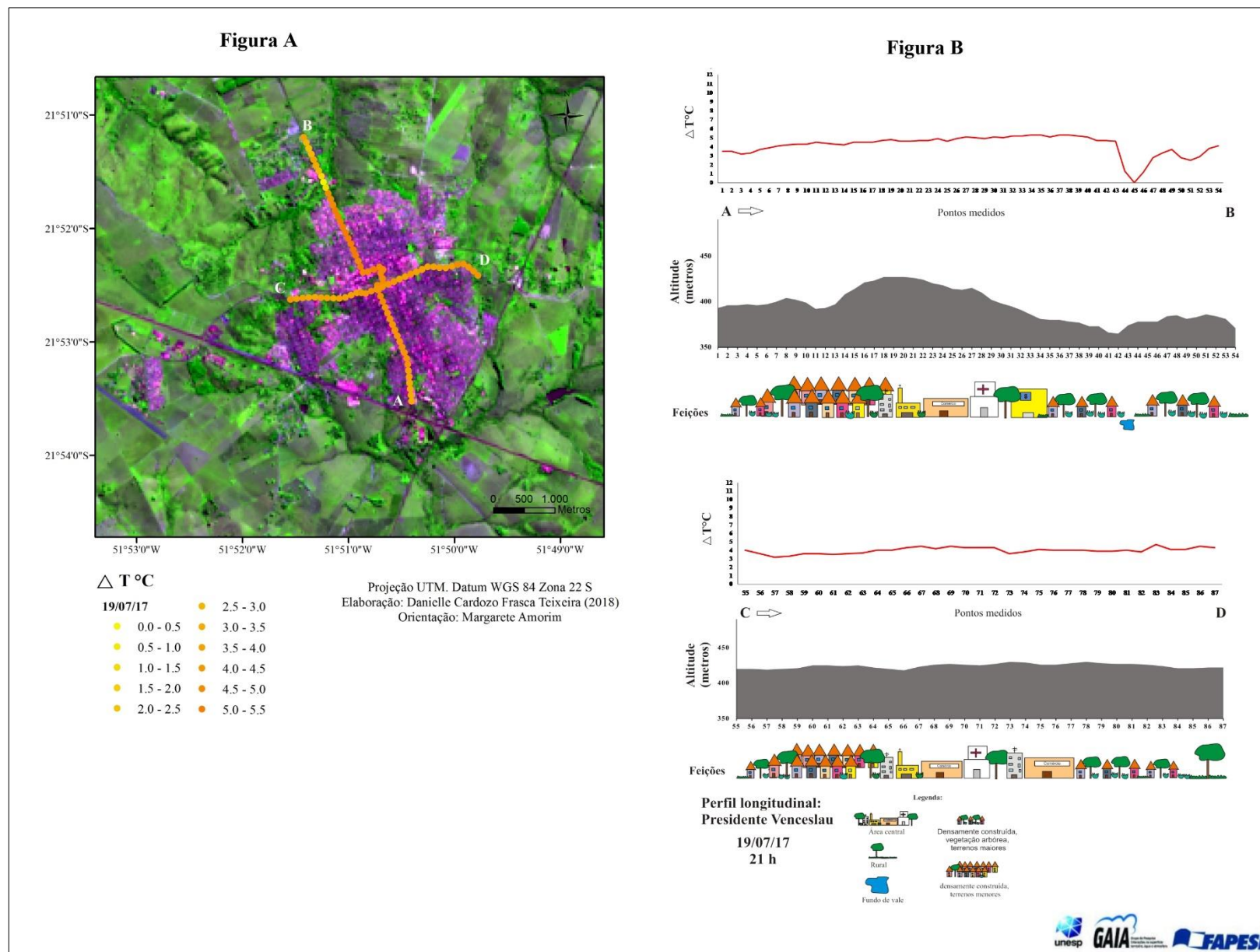
O monitoramento de 19 de julho de 2017 aconteceu em episódio de atuação da mPa que favoreceu o registro da temperatura mínima diária de 6,7°C e máxima de 20,7°C. Não ocorreu precipitação nos dias anteriores ao trabalho de campo e o ingresso da FPA levou ao aumento da umidade relativa do ar (73%). No horário da aquisição dos dados, os ventos apresentaram velocidade de 1,3 m/s de direção Sudeste e o céu estava claro. Nestas condições foram diagnosticadas menores diferenças térmicas nas cidades investigadas.

Em Presidente Venceslau as diferenças atingiram 5,5°C nas áreas densamente construídas localizadas nos topos (Prancha 44, Figura A), enquanto que o fundo de vale ao Norte da malha urbana permaneceu como o ponto “0”. Os locais dos registros da menor temperatura foram nos pontos 43, 44 e 45 do perfil longitudinal (Prancha 44, Figura B). Áreas de transição urbano-rural apresentaram diferenças menores em relação aos fundos de vale, quando comparadas com as áreas centrais densamente edificadas, que concentraram intensidades que atingiram 5,5°C.

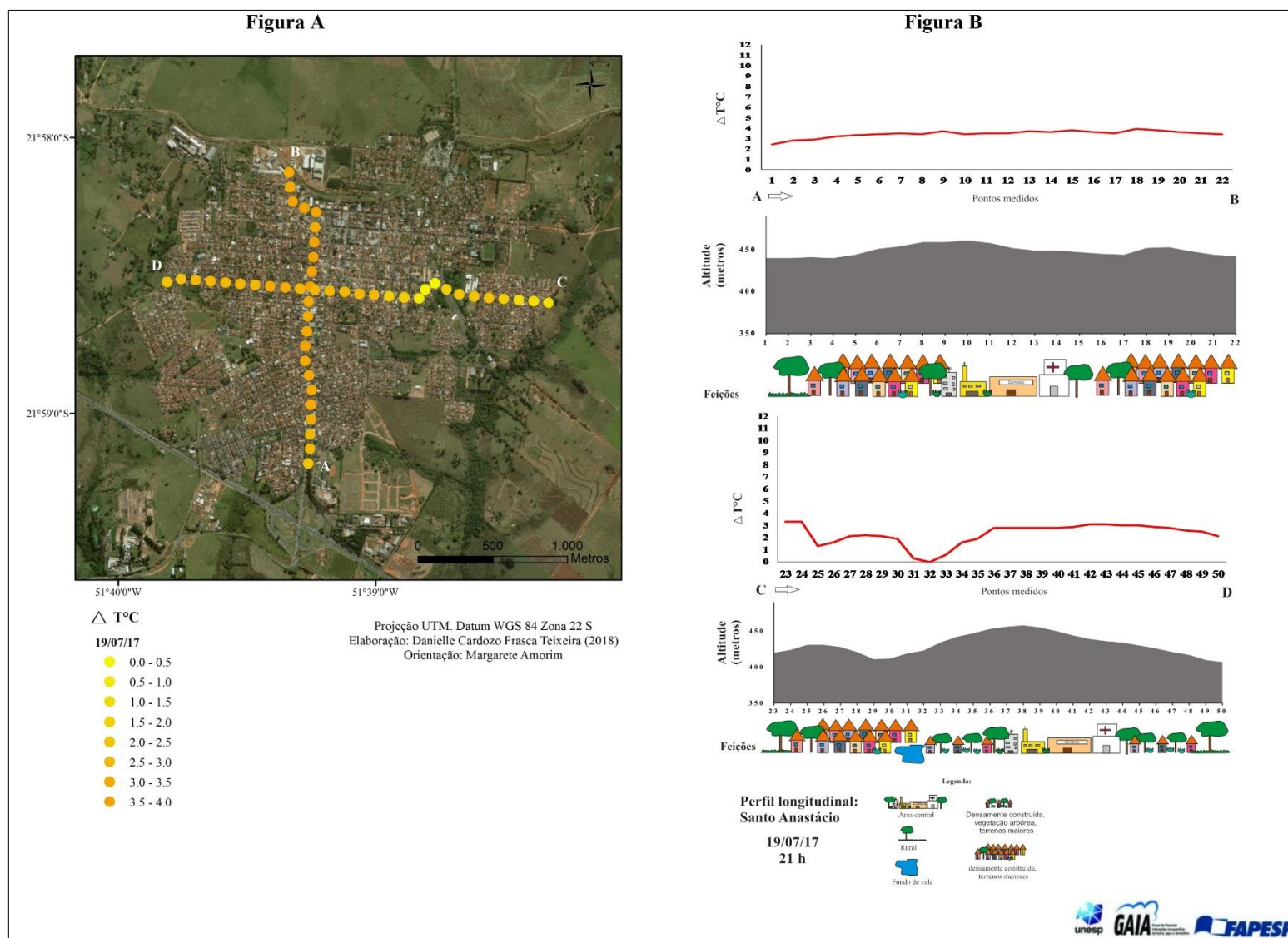
Na cidade de Santo Anastácio, estas condições meteorológicas proporcionaram diferenças que alcançaram 4,0°C de intensidade (Prancha 45, Figura A). O transecto C-D apresentou maiores contrastes térmicos nos fundos de vale e nas áreas onde a densidade construtiva é menor como nas áreas de transição urbano-rural.

Álvares Machado demonstrou a homogeneização da intensidade térmica nos dois trajetos (Prancha 46, Figura A). Neste episódio a intensidade máxima foi de 1,5°C nas áreas densamente construídas. As intensidades diminuíram nos extremos do transecto, onde a densidade construtiva reduziu e ocorreu maior influência do rural próximo, como se analisa nas feições do perfil longitudinal (Prancha 46, Figura B).

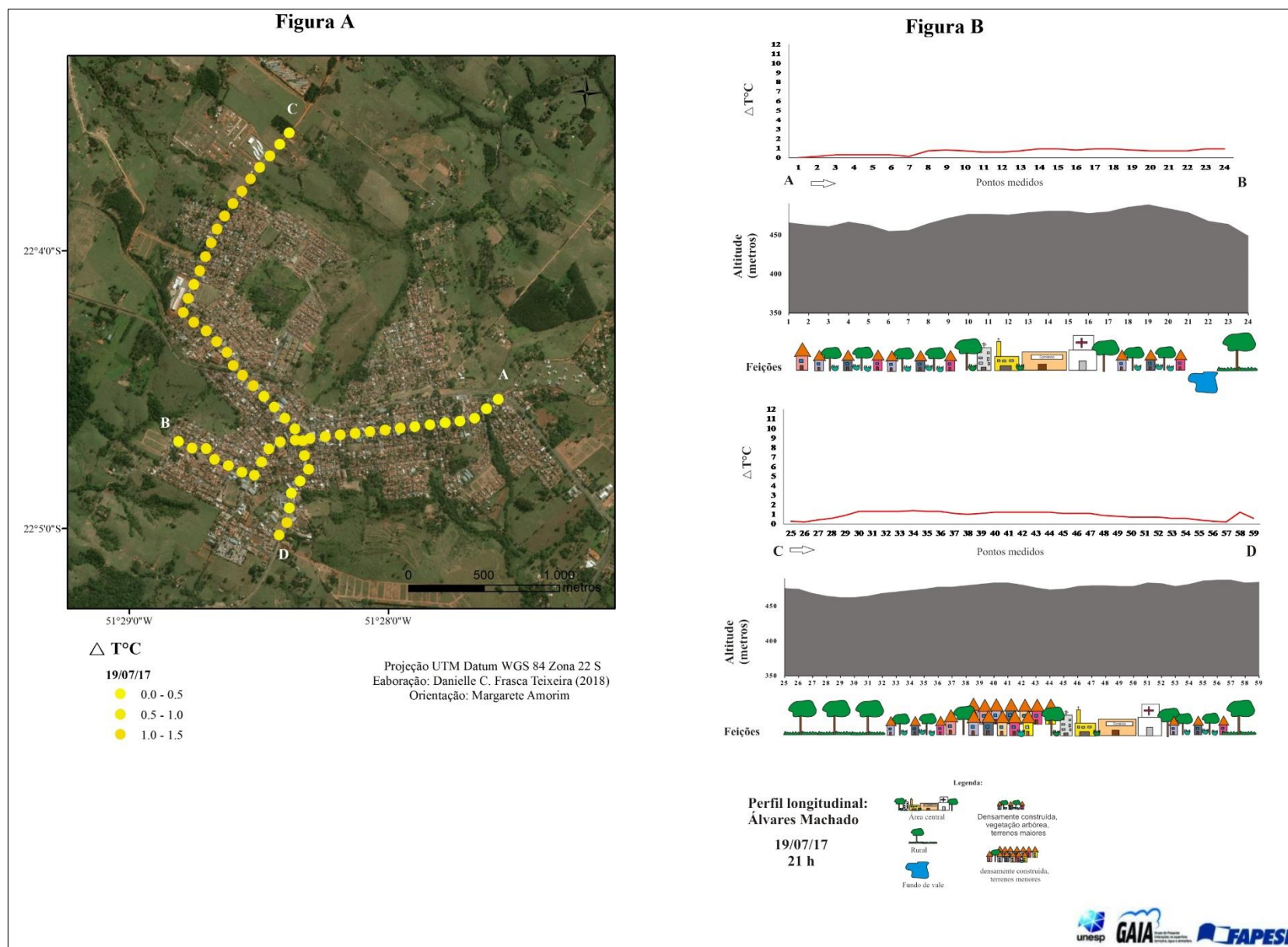
Prancha 44: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 19/07/17



Prancha 45: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 19/07/17



Prancha 46: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 19/07/17



9.3.6 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 03 de setembro de 2017

O episódio de 03 de setembro estava sob influência da massa Tac, que proporcionou condições de estabilidade atmosférica ao Oeste paulista. Às 21 horas o vento tinha direção Leste⁵⁵. Não ocorreu precipitação nos dez dias que antecederam o trabalho de campo.

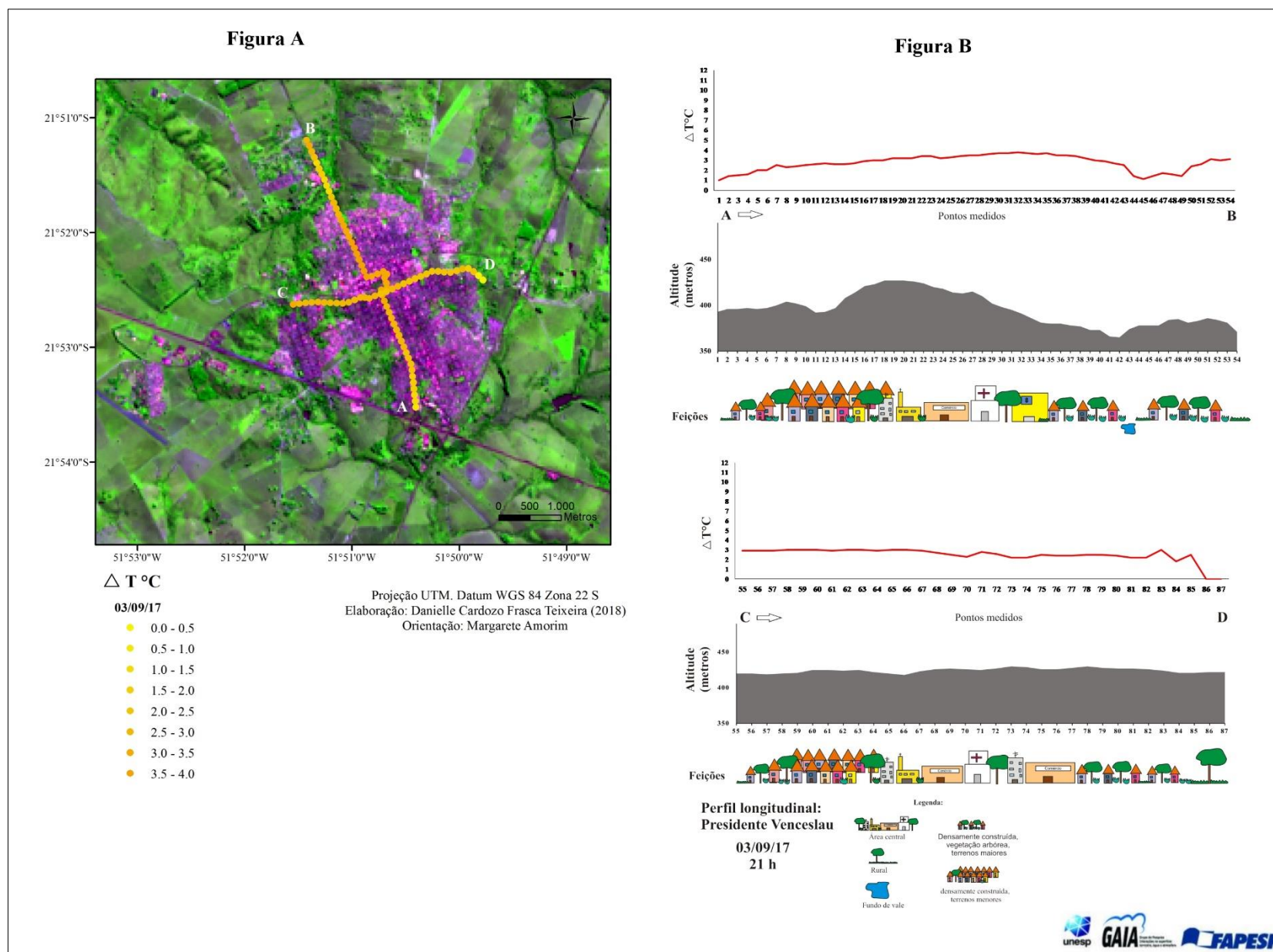
Essas condições meteorológicas favoreceram o registro da intensidade máxima de 4,0°C em Presidente Venceslau, cujo resultado pode ser visualizado na Prancha 47 (Figura A). O desenho da ilha de calor de magnitude moderada estabeleceu o padrão de aquecimento centro-periferia, sendo que o núcleo da ICU foi posicionado no centro comercial da malha urbana. As menores intensidades da temperatura do ar foram detectadas nas proximidades do fundo de vale no setor Norte e no extremo Leste (percurso C-D) nos pontos 86 e 87 do perfil longitudinal (Prancha 47, Figura B), área caracterizada pela baixa densidade construtiva e presença de cobertura vegetal.

Na cidade de Santo Anastácio, a intensidade máxima da ICU foi 3,0°C verificada nas áreas densamente construídas (Prancha 48, Figura A). Áreas de transição rural-urbana nos dois trajetos tiveram intensidades amenizadas neste episódio. O fundo de vale se caracterizou pelo mesmo modelo das observações anteriores, registrando a menor temperatura do intervalo e, desta forma, configurou-se como o “ponto 0”.

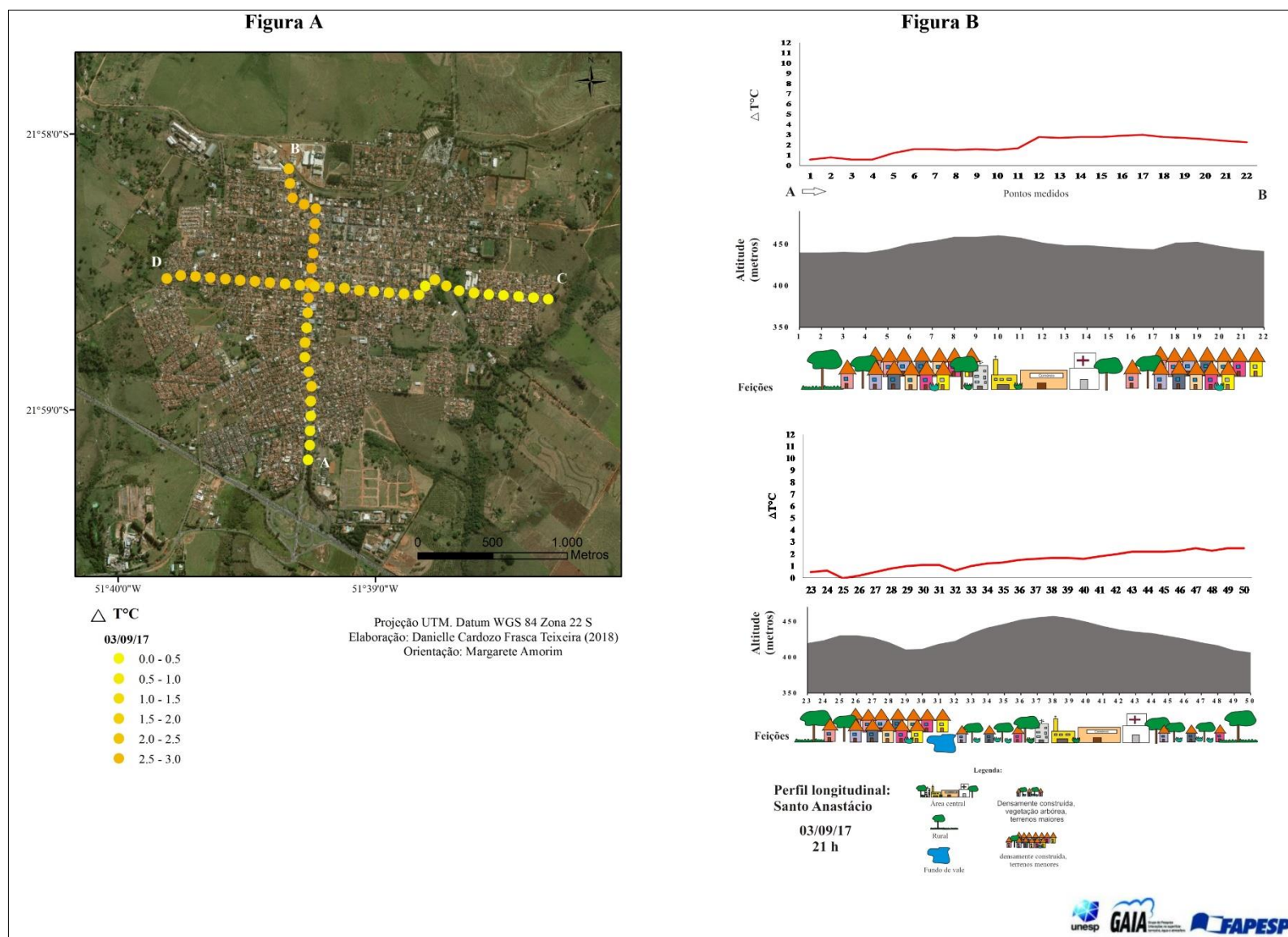
Álvares Machado sobressaiu em relação aos demais monitoramentos, apresentando a intensidade de 4,0°C (Prancha 49, Figura A). Percebeu-se maior diferenciação da intensidade da temperatura nos trajetos, especialmente nos pontos medidos ao longo da avenida das Américas nos pontos 12, 13, 14, 15 conforme ilustrado no perfil longitudinal (Prancha 49, Figura B). Os pontos de menor intensidade se posicionaram nas feições representativas do rural, incluindo o “ponto 0”.

⁵⁵ O mês de setembro não tem informação da velocidade do vento na estação do INMET de Presidente Prudente.

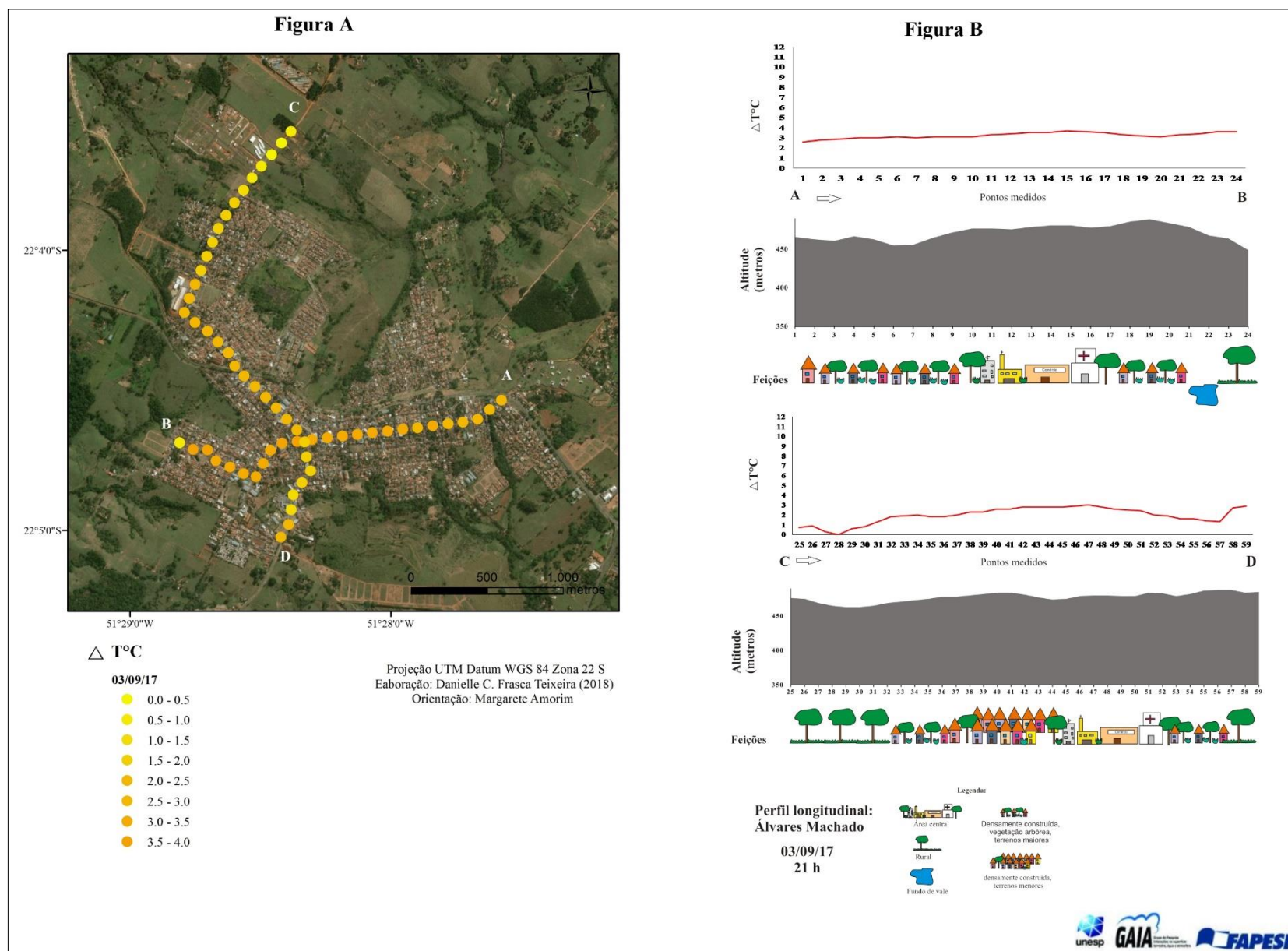
Prancha 47: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 03/09/17



Prancha 48: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 03/09/17



Prancha 49: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 03/09/17



9.3.7 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 15 de setembro de 2017

No episódio de 15 de setembro, as condições meteorológicas estavam regidas pela Tac, sistema que garantiu estabilidade atmosférica em virtude do céu claro e temperatura máxima diária elevada (36°C). No momento do registro dos dados, os ventos tinham direção Leste⁵⁶. Não ocorreu precipitação no período de 24 dias antecedentes ao trabalho de campo.

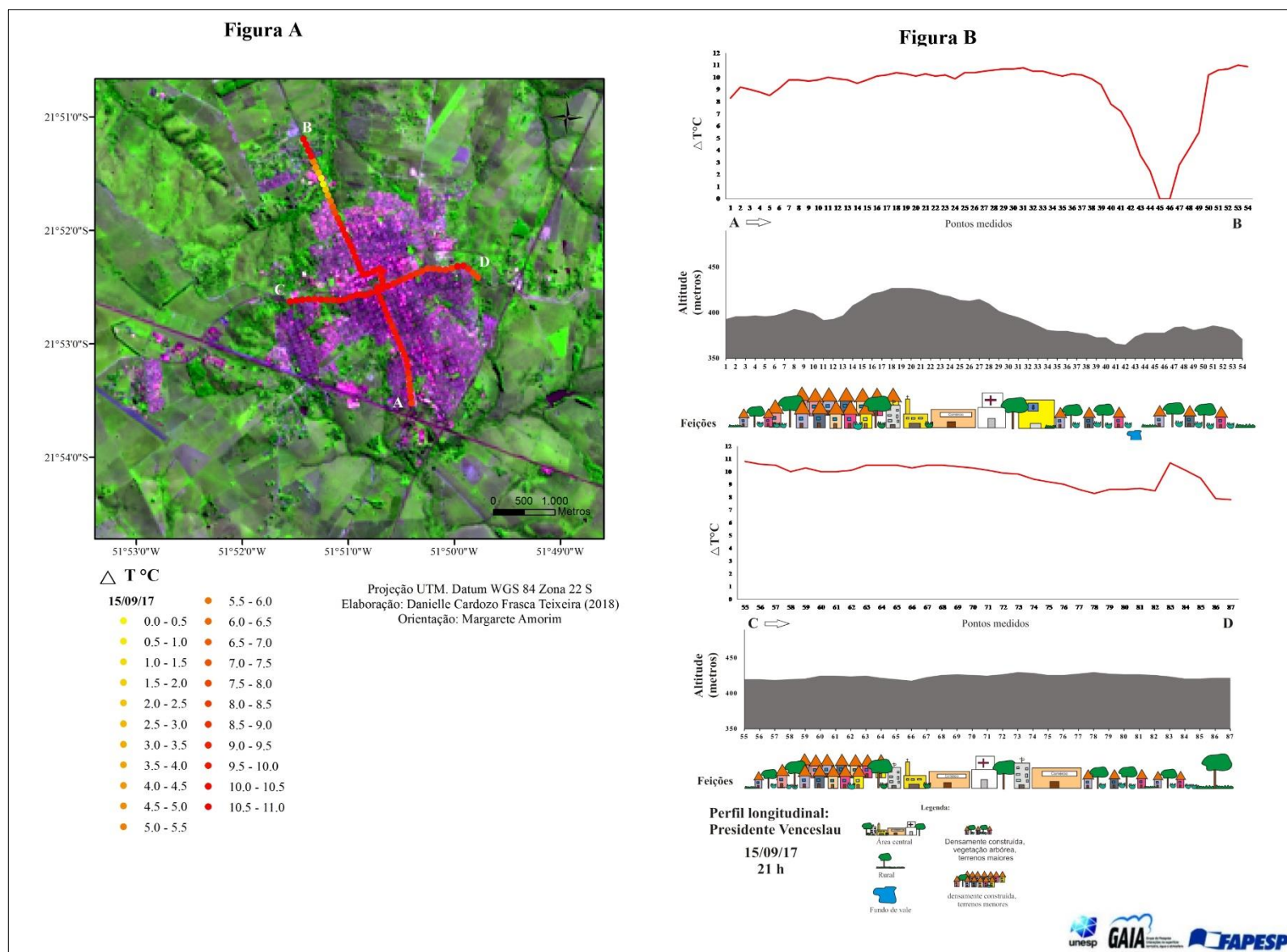
Neste episódio, Presidente Venceslau destacou-se pela maior intensidade térmica detectada em relação a todos os trabalhos de campo realizados. Sobressaíram diferenças térmicas de 11°C (Prancha 50, Figura A), com homogênea distribuição das intensidades térmicas em ambos percursos. A influência dos fundos de vale, portanto a condicionante geoambiental relevo, foi importante para o arrefecimento da temperatura do ar, se configurando como o “ponto 0”, como se identifica nos pontos 43, 44, 45 e 46 do perfil longitudinal (Prancha 50, Figura B).

A cidade de Santo Anastácio apresentou a intensidade máxima de 6°C no mesmo episódio (Prancha 51, Figura A). O núcleo da ICU posicionou-se na interseção dos trajetos, levemente deslocada para o Norte da malha urbana, onde se posiciona o centro comercial e as atividades industriais, visível a partir dos pontos 12 até o ponto 22 do perfil longitudinal (Prancha 51, Figura B). Fundos de vale posicionados ao Leste e no caminho C-D foram os pontos de menores diferenças térmicas e do estabelecimento dos “pontos 0”.

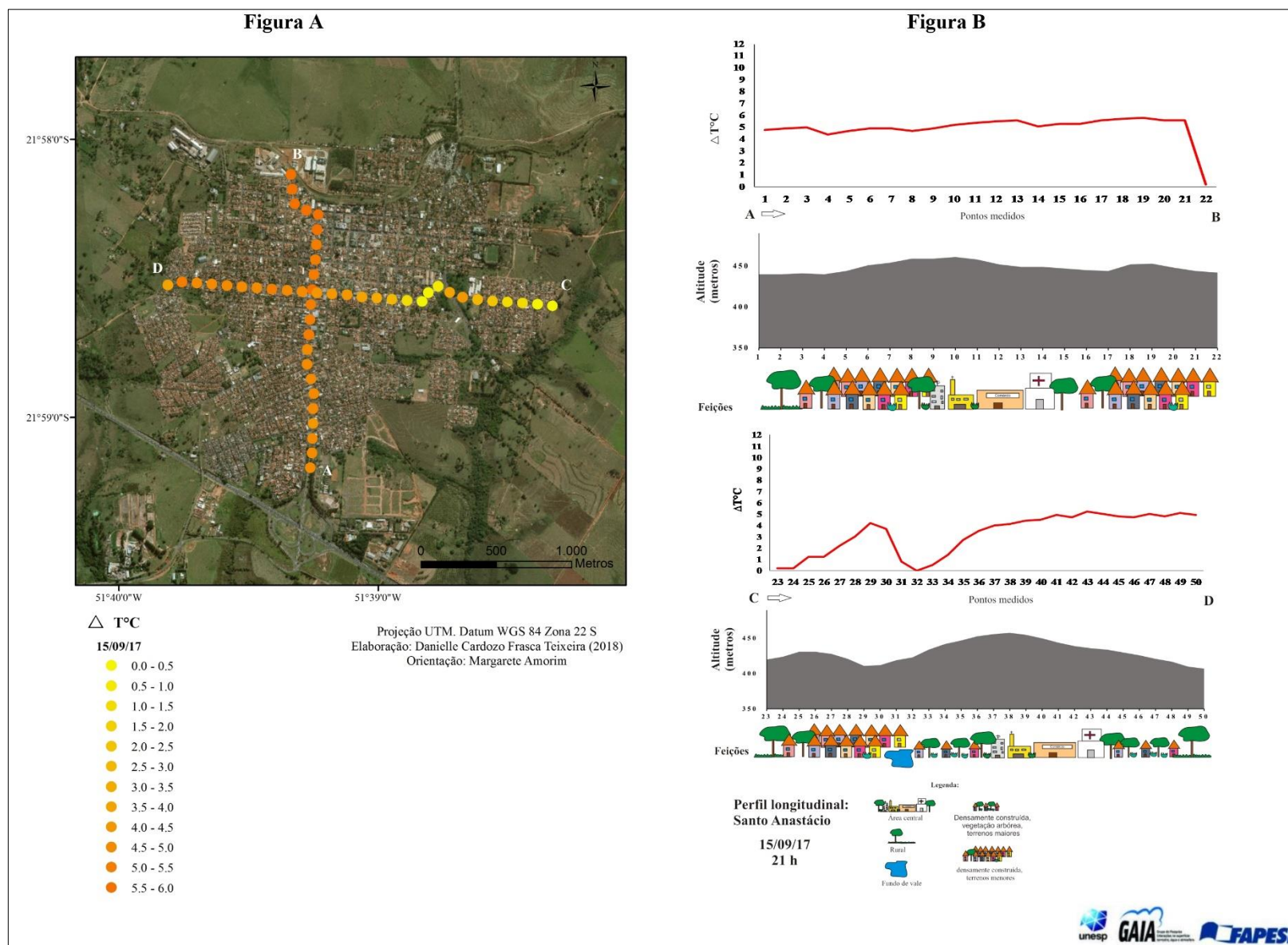
Nas condições atmosféricas descritas, Álvares Machado também apresentou o maior padrão de aquecimento de todo o período analisado. A intensidade máxima detectada no episódio foi de 6,0°C (Prancha 52, Figura A), que se distribuiu nos setores Leste e Sul da malha urbana como é possível analisar no perfil longitudinal (Prancha 52, Figura B). As áreas com intensidades amenizadas foram o setor de transição urbano-rural ao Norte e extremo Oeste. Supõe-se que nesse episódio existiam condições de calma atmosférica, mas também que o quadro de seca prolongada favoreceu a formação das ICUs de maior intensidade em todas as cidades desta investigação.

⁵⁶ Sem informação da velocidade do vento na estação do INMET.

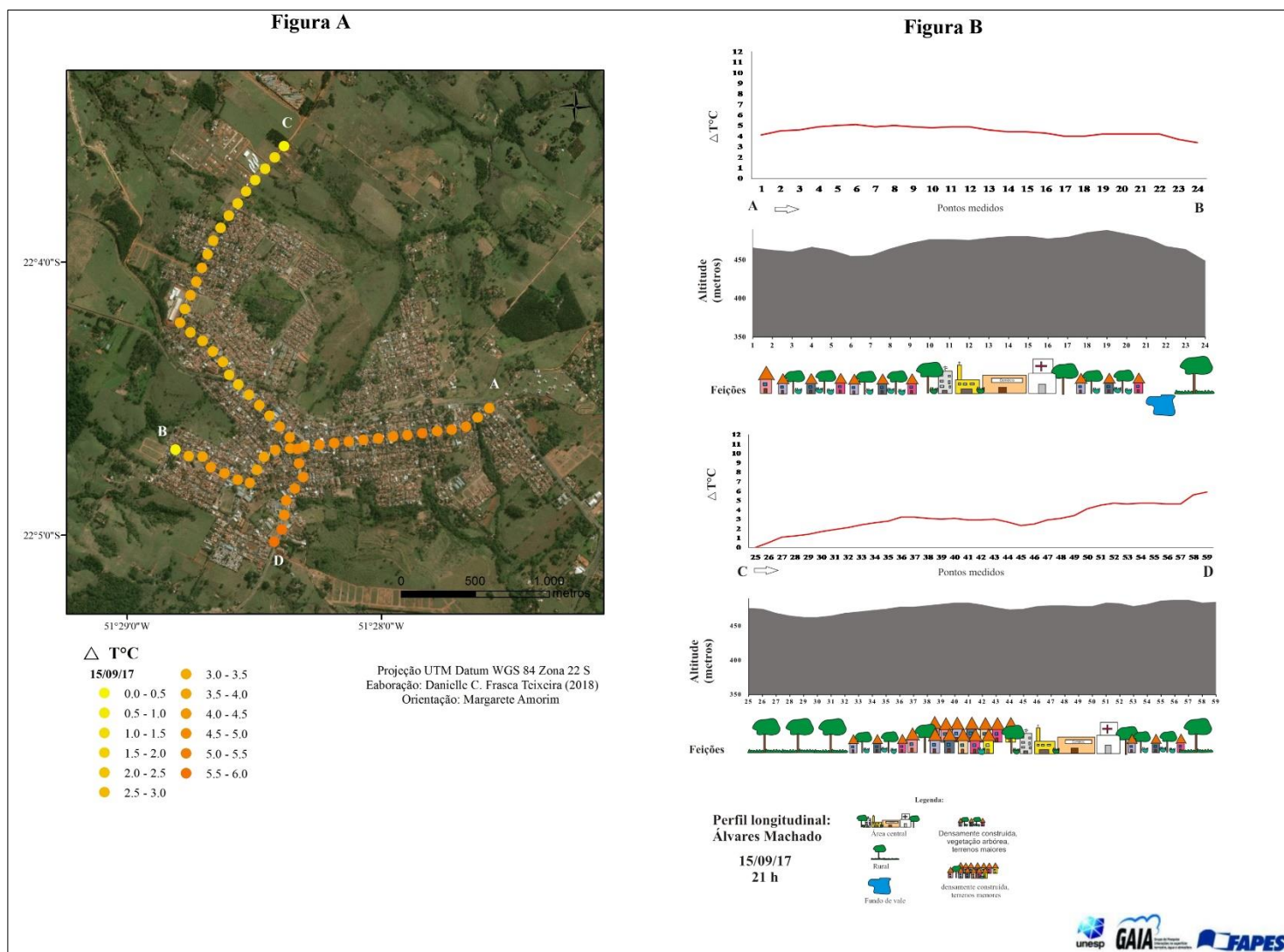
Prancha 50: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 15/09/17



Prancha 51: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 15/09/17



Prancha 52: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 15/09/17



9.3.8 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 29 de novembro de 2017

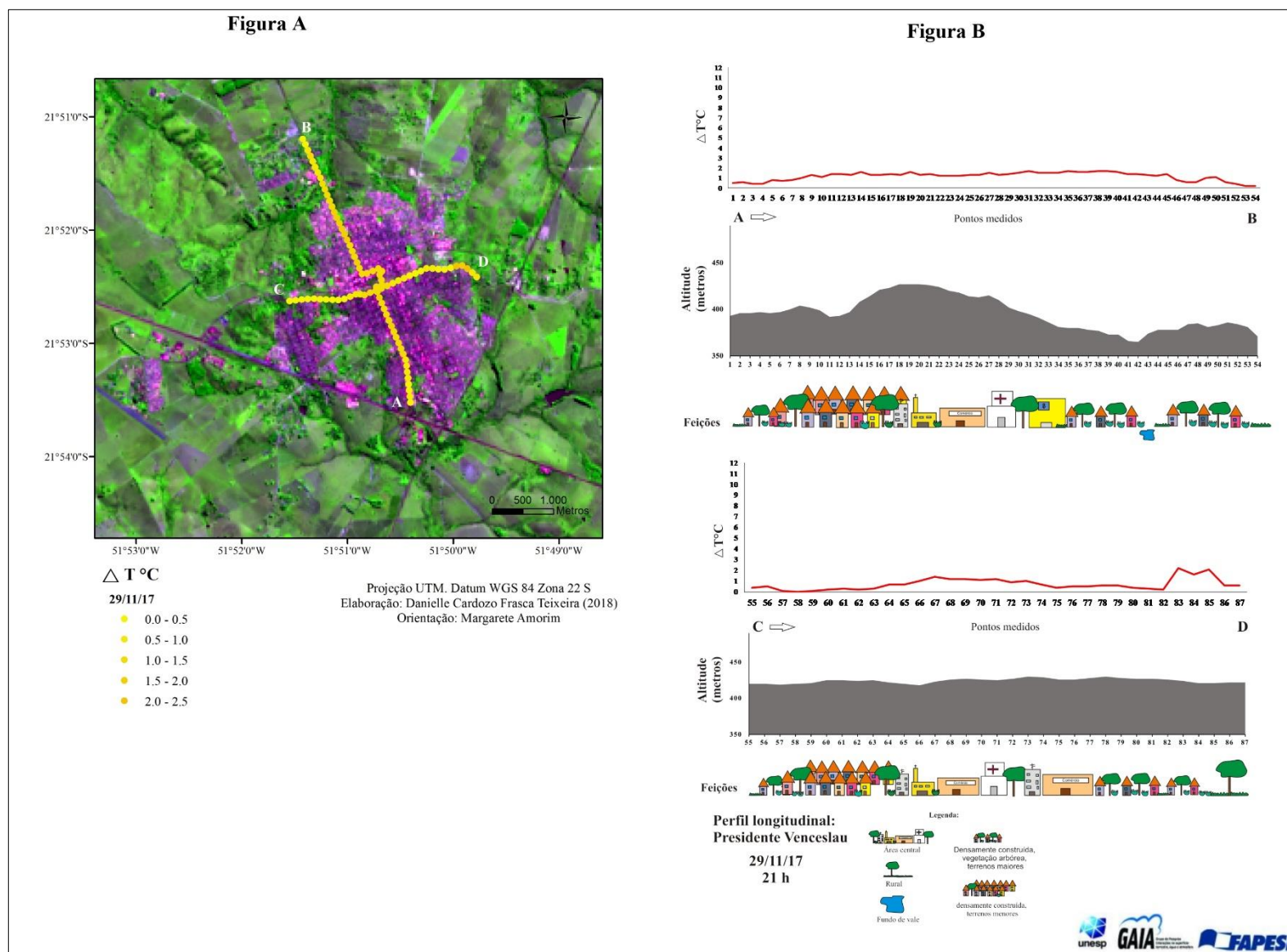
Em situações atmosféricas mediadas pela mPa, a coleta de dados do episódio de 29 de novembro às 21 horas ocorreu sob ventos de 1,7 m/s de direção Sudeste e céu com cobertura de nuvens. Nos três dias anteriores ocorreram precipitações em um total acumulado de 118,6 mm, atribuídas ao ingresso da FPA e, na sequência, pela atuação da ZCOU. Sob essa situação atmosférica, os gradientes térmicos não sobressaíram como nos demais episódios, o que foi um traço comum dos trabalhos de campo que aconteceram na primavera em virtude da maior umidade presente na atmosfera.

Em Presidente Venceslau, a diferença máxima entre os pontos foi de 2,5°C (Prancha 53, Figura A), confirmando a homogeneização dos gradientes térmicos nos percursos. No fundo de vale e nos extremos dos transectos, ao Sul (percurso A-B), a Oeste e Leste (percurso C-D) localizaram-se as menores intensidades térmicas, incluindo os “pontos 0” (Prancha 53, Figura B). Esses resultados sugerem que na atuação do sistema atmosférico úmido, as características urbanas relativas à densidade construtiva e ao uso da terra não sobressaem para estabelecer as diferenças térmicas. O sistema atmosférico minimizou também a influência do relevo.

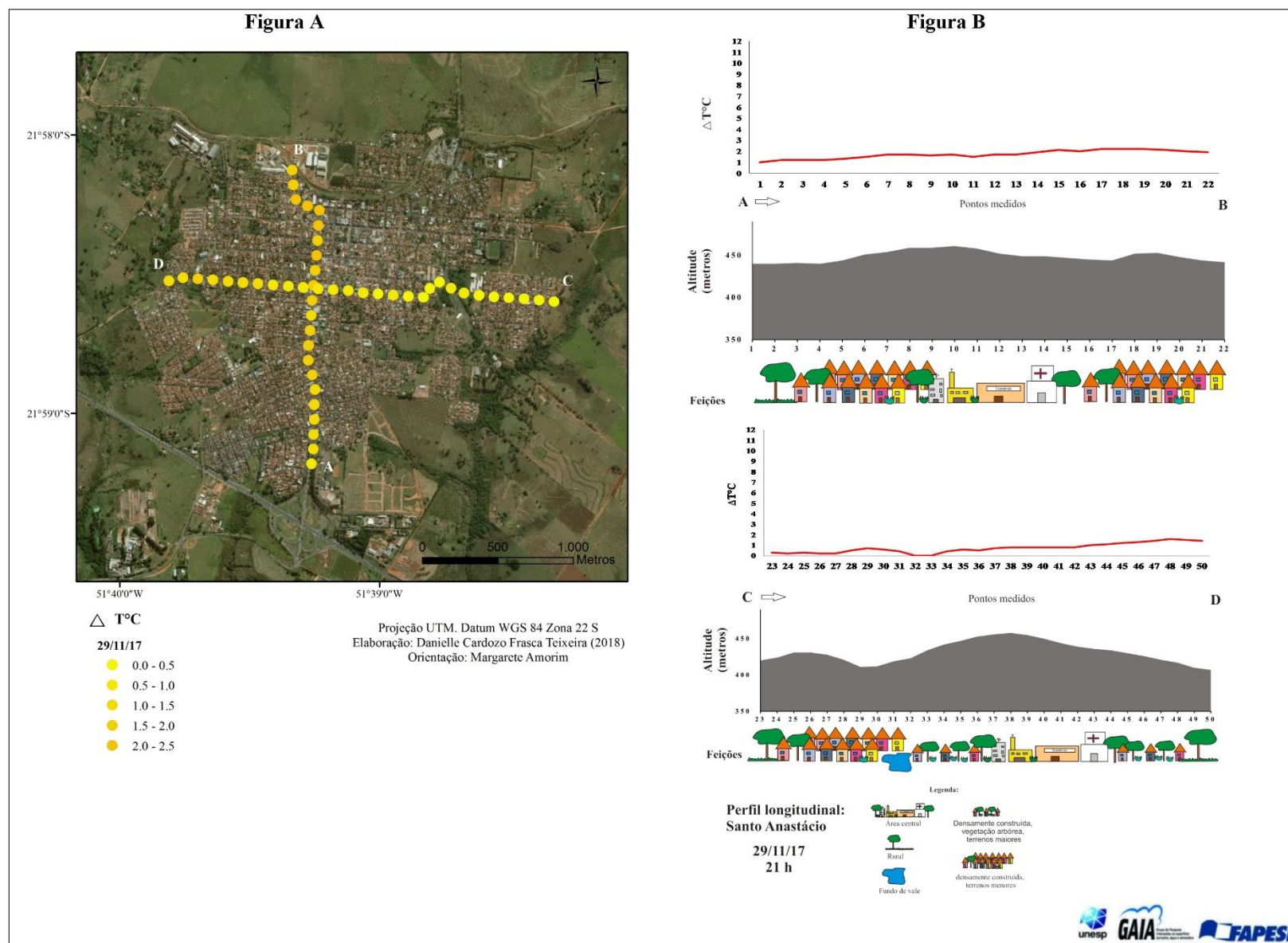
Santo Anastácio também apresentou gradiente térmico máximo de 2,5°C (Prancha 54, Figura A), mas as diferenças nos percursos foram atribuídas aos fundos de vale do percurso C-D, sendo neles ou nas suas proximidades os pontos de menor diferença de temperatura (ponto 0), como demonstrado nos pontos 32 e 33 do perfil longitudinal (Prancha 54, Figura B). Também no sistema úmido houve discreta variação da temperatura nos caminhos. O núcleo da ICU permaneceu localizado nos setores centro Norte da malha urbana.

A cidade de Álvares Machado manteve o perfil térmico previamente percebido, mesmo nas condições atmosféricas descritas, quando a intensidade máxima verificada foi de 2°C (Prancha 55, Figura A). Como na maioria das observações, a malha urbana apresentou suave variação dos gradientes térmicos, sendo os extremos Norte e Sul (trajeto C-D) e extremo Oeste (B) pontos de amenização da temperatura do ar caracterizados por menor adensamento urbano, conforme ilustrado no perfil longitudinal (Prancha 55, Figura B).

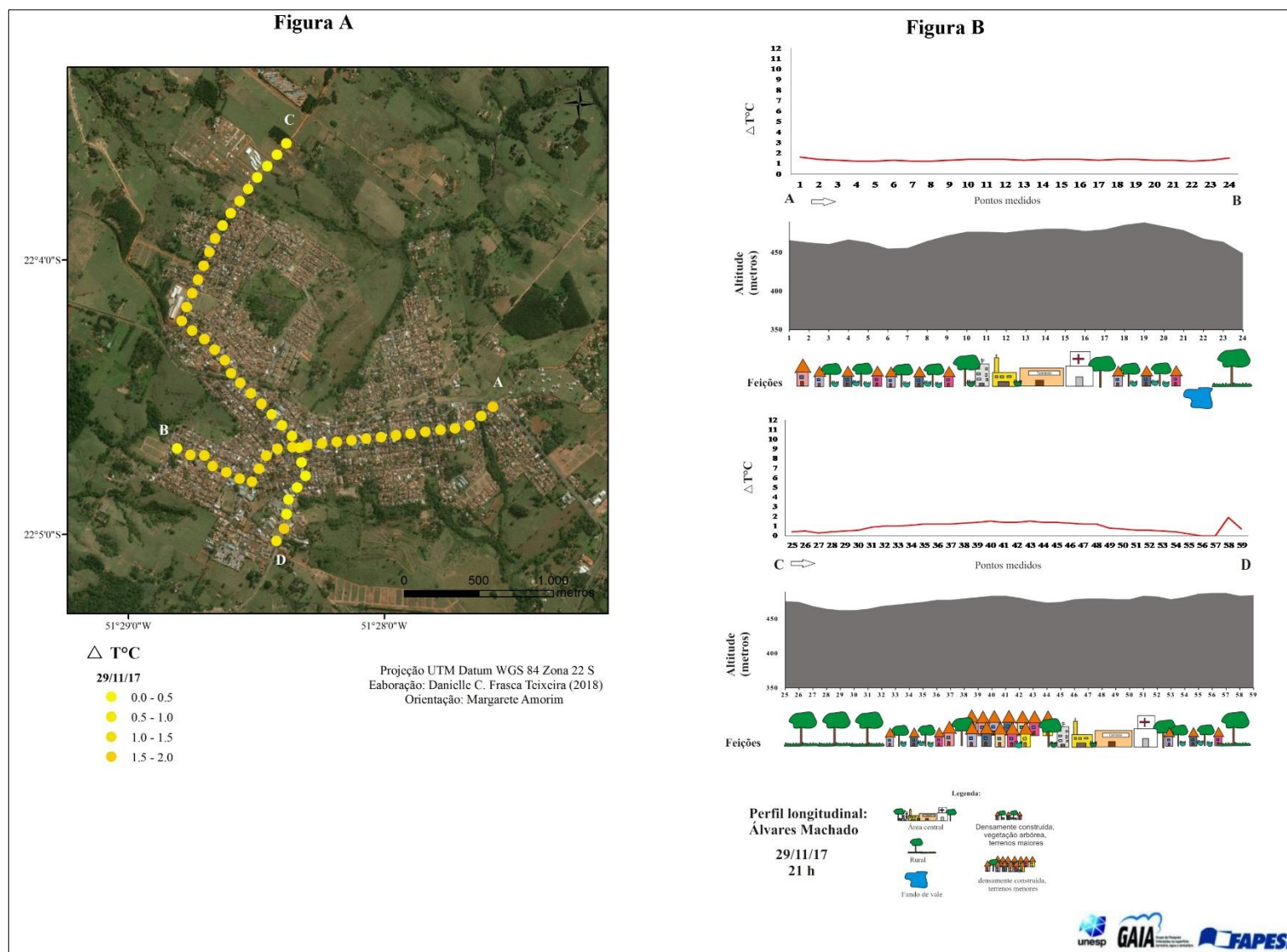
Prancha 53: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 29/11/17



Prancha 54: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 29/11/17



Prancha 55: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 29/11/17



9.3.9 Intensidades da temperatura do ar diagnosticadas em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado no dia 04 de dezembro de 2017

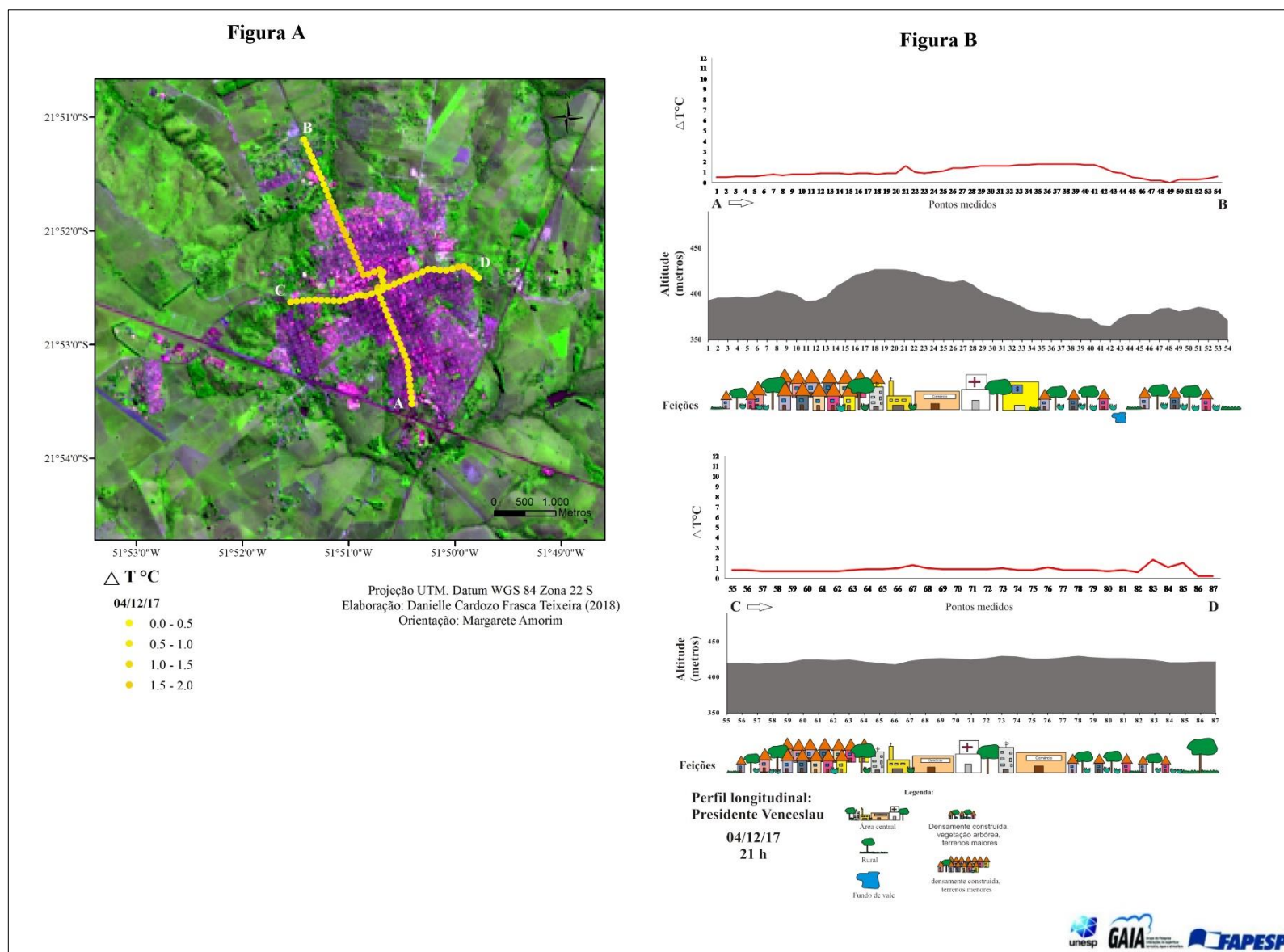
No dia 04 de dezembro de 2017 houve a atuação da massa Tac, mas no dia 1º de dezembro configurou a ZCAS, sistema que proporcionou precipitação. Na ocasião das coletas, o vento apresentava velocidade de 1,3 m/s, de direção Sudoeste e o céu caracterizava-se pela cobertura de nuvens (3-5 décimos). Não houve precipitação no dia do trabalho de campo. Sob essas condições meteorológicas foram verificados padrões semelhantes de distribuição das intensidades térmicas do trabalho de campo anterior (29/11/17) que não favoreceram a distinção entre as áreas rurais e urbanas.

Na malha urbana de Presidente Venceslau constatou-se diferença térmica máxima de 2,0°C (Prancha 56, Figura A), permanecendo os “pontos 0” no fundo de vale ao Norte e nas áreas de transição urbano-rural com menor densidade construtiva conforme ilustrado no perfil longitudinal (Prancha 56, Figura B). Áreas centrais configuraram-se como o núcleo da ICU de fraca magnitude.

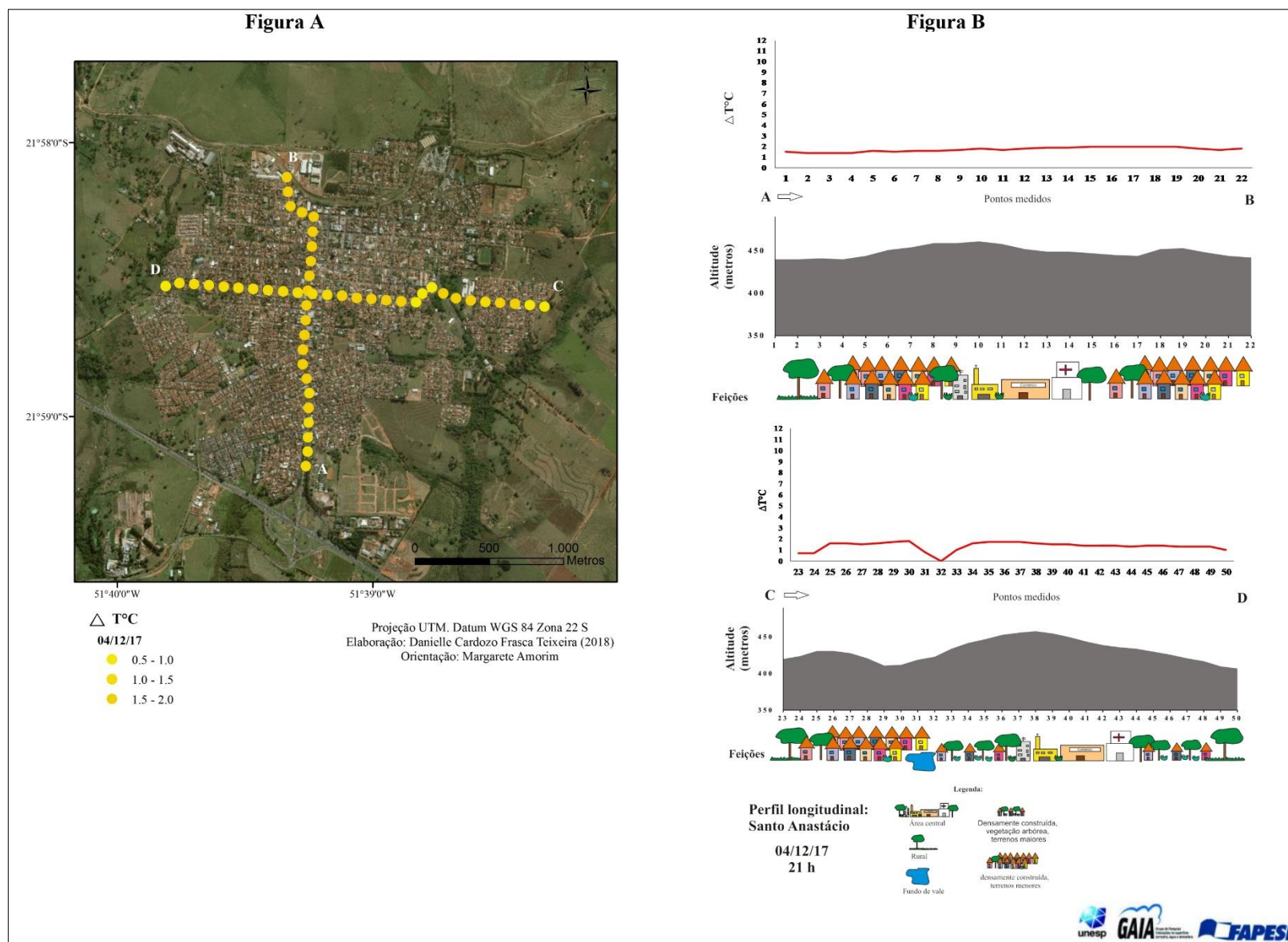
Santo Anastácio também apresentou intensidade térmica máxima de 2,0°C (Prancha 57, Figura A). Os fundos de vale do percurso C-D permaneceram como áreas de menor intensidade térmica, como o ponto 32 do perfil longitudinal (Figura B). De forma geral, a variação do gradiente térmico foi pequena nas feições urbanas percorridas pelo transecto.

Em Álvares Machado as diferenças foram ainda menores, atingindo o valor máximo de 1,5°C (Prancha 58, Figura A), registrados na sequência dos pontos 1 ao 11 na avenida das Américas como demonstrado no perfil longitudinal (Figura B). A homogeneização dos percursos prevaleceu, sendo que os pontos registrados próximos ao fundo de vale no Oeste, ao Norte e Sul da malha urbana apresentaram as menores intensidades térmicas.

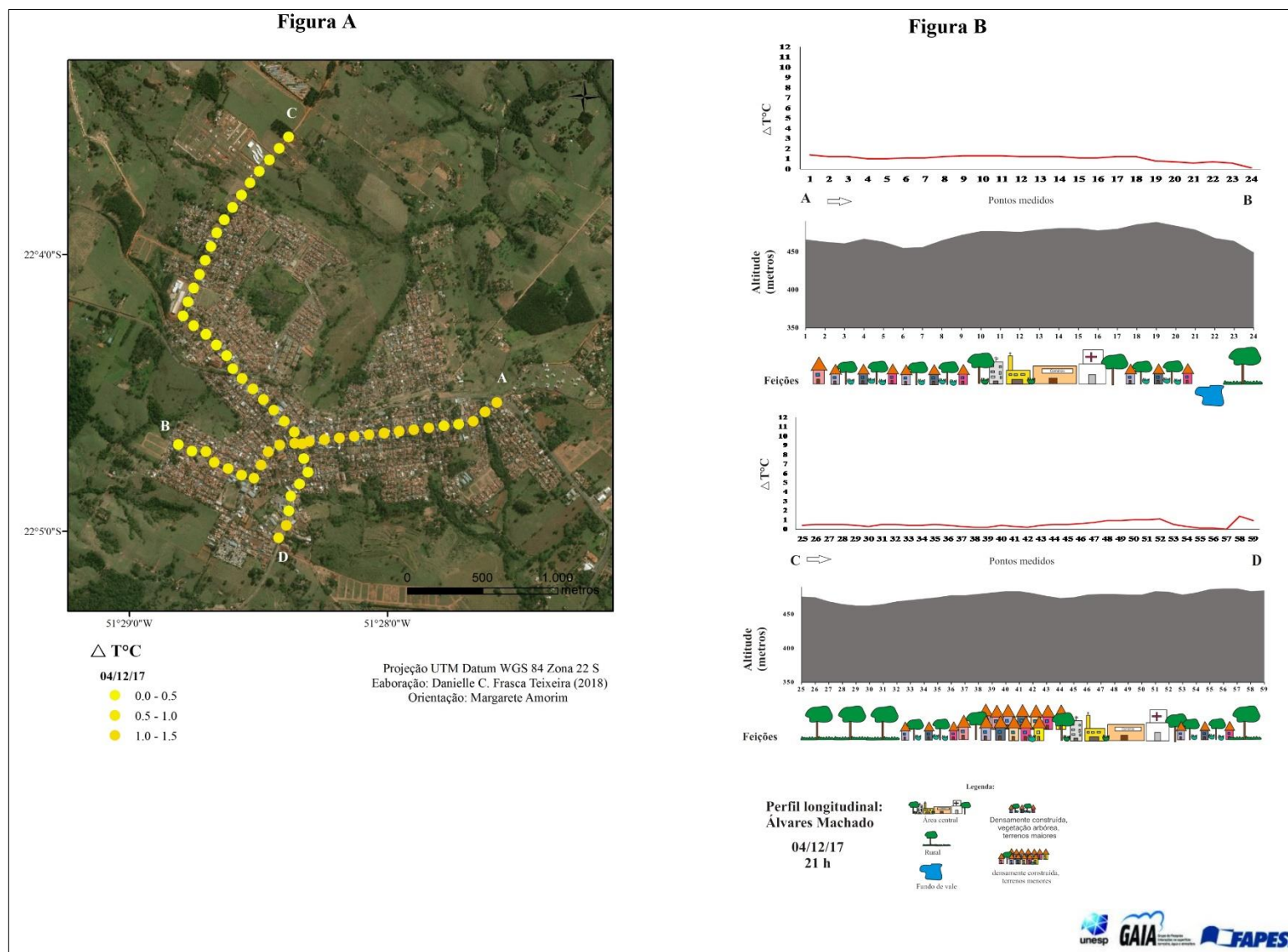
Prancha 56: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Presidente Venceslau, 04/11/17



Prancha 57: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Santo Anastácio, 04/11/17



Prancha 58: Intensidades da temperatura do ar e perfil térmico noturno de Álvares Machado, 04/11/17



9.3.10 Síntese dos resultados alcançados pelos transectos móveis em Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado

Constatou-se pelo procedimento do transecto móvel que cada cidade investigada apresentou um perfil térmico noturno específico nos diversos sistemas atmosféricos presenciados. As diferenças entre as cidades se manifestaram tanto através das intensidades verificadas como também na distribuição espacial das ICUs, que foram condicionadas em favor das características geoambientais, urbanas e das condições meteorológicas. A velocidade dos ventos foi determinante para a intensidade e magnitude das ilhas de calor, considerando que prevaleceram os ventos do quadrante Leste nos trabalhos de campo.

Verificou-se em Presidente Venceslau e em Santo Anastácio a influência maior do relevo, sobretudo no posicionamento dos fundos de vale para a amenização da temperatura do ar, que favoreceram maiores intensidades em episódios controlados pela mPa. Áreas densamente construídas contribuíram para o aumento da temperatura do ar e para a formação das ICUs que sobressaíram pela magnitude, especialmente nos episódios sem chuva e com ventos fracos, como é possível associar no Quadro 9.

Álvares Machado apresentou regularidade do padrão térmico, com poucas diferenciações intraurbanas. Supõe-se que essa característica se explica pela homogeneidade das feições urbanas, pela presença restrita de cobertura vegetal e pelas características do relevo com variações mais suaves. Em virtude desses elementos, as condicionantes urbanas (uso e ocupação da terra) sugerem maior interferência para o perfil térmico desta cidade.

Quadro 9: Intensidades da ilha de calor atmosférica, sistemas atmosféricos, velocidade e direção dos ventos durante as mensurações por transectos móveis às 21h.

Transecto	Sistema	Ventos: Vel. (m/s) direção*	P. Venceslau $\Delta T^{\circ}\text{C}$	S. Anastácio $\Delta T^{\circ}\text{C}$	A. Machado $\Delta T^{\circ}\text{C}$
02/04/17	mTa	1,0 Leste	7,0	4,0	2,5
23/04/17	mPa	1,9 Leste	7,0	3,0	2,5
28/05/17	Rep	1,5 Sudeste	5,0	3,5	3,5
11/06/17	mPa	0,6 Sudeste	9,0	7,0	3,0
19/07/17	mPa	1,3 Sudeste	5,5	4,0	1,5
03/09/17	Tac	Sem informação (velocidade) Leste	4,0	3,0	4,0
15/09/17	mTa	Sem informação (velocidade) Leste	11,0	6,0	6,0
29/11/17	mPa	1,7 Sudeste	2,5	2,5	2,0
04/12/17	mTa	1,3 Sudoeste	2,0	2,0	1,5

*Velocidade e direção dos ventos no momento da realização dos transectos. Fonte dos dados: INMET, estação Presidente Prudente. Elaboração: Danielle C. Frasca Teixeira (2019).

9.4 Modelagem multicriterial da intensidade da ilha de calor atmosférica nas cidades do universo de análise

A modelagem multicriterial aplicada às cidades investigadas teve como objetivo detalhar a espacialização da ICU atmosférica a partir da integração das informações de superfície e a temperatura do ar. O procedimento permitiu a generalização por pixel entre o uso da terra e a temperatura do ar, interpolando os dados em áreas onde não houve registro de temperaturas com maior confiabilidade devido à correlação estatística entre as variáveis, sendo a temperatura considerada uma variável dependente, enquanto que as classes de uso da terra são tomadas como variáveis independentes (AMORIM; DUBREUIL; CARDOSO, 2015; GOMES, 2017; TEIXEIRA; AMORIM, 2018).

A modelagem multicriterial combinou os dados primários registrados em campo por transectos móveis e os secundários referentes às informações espaciais baseadas nas imagens de satélite *Landsat* 8, especificamente das bandas multiespectrais (banda 3 - verde, banda 5 - infravermelho próximo, e banda 4 - vermelho)⁵⁷, com resolução espacial de 30 metros. Foi selecionada uma imagem⁵⁸ de satélite representativa de cada recorte territorial, com interesse na *clusterização* para a diferenciação da vegetação e das construções, na informação da distância geométrica dos pontos em relação ao centro, e no relevo a partir de imagens SRTM *topodata* que constituem os mapas de entrada no modelo, detalhados na sequência.

9.4.1 Os mapas de entrada na modelagem da ilha de calor atmosférica

Os mapas de entrada foram incorporados nos modelos através dos seus atributos de valor correspondendo as variáveis independentes (classes de uso da terra, distância geométrica do centro e relevo), detalhados na sequência.

⁵⁷ A banda 3, no intervalo espectral 0,53-0,59 μm enfatiza o vigor da vegetação. A banda 4 (0,64-0,67 μm) diferencia vegetação das encostas. Finalmente, a banda 5 (0,85-0,88 μm) é utilizada para mapeamento da biomassa e linhas costeiras. Fonte das informações: http://landsat.usgs.gov/best_spectral_bands_to_use.php Acesso em: 08 maio. 2019.

⁵⁸ Considerando a baixa resolução temporal do satélite que é de 16 dias, que restringe a coincidência da passagem do satélite e o registro dos dados primários (transectos), e que a modelagem exige informações das feições de superfície, entende-se que as classes de uso da terra, especialmente os tipos de vegetação (arbórea e rasteira), não apresentaram mudanças consideráveis no período do monitoramento climático realizado, uma vez que se trata da análise da temperatura do ar e não da temperatura de superfície. Portanto, uma imagem para caracterizar todo o período de monitoramento atende aos objetivos da representação da intensidade da ilha de calor por modelagem.

9.4.1.1 Composição colorida

A carta de composição colorida não constitui um mapa de entrada, mas compõe a modelagem enquanto fonte de informação para a geração das classes de uso da terra. Consiste no mapa de reconhecimento da área de estudo, feito a partir da combinação das bandas multiespectrais 3, 5 e 4 do satélite *Landsat* 8, com potencial para distinção de feições da vegetação e áreas construídas (urbanas). Quanto à vegetação, foi essencial a diferenciação entre a vegetação baixa (rasteira) e vegetação alta, neste caso de porte arbóreo. Os mapas A das Pranchas 59, 60 e 61 constituem as composições coloridas das cidades investigadas.

9.4.1.2 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Através do processamento das imagens das bandas 4 e 5 fez-se o NDVI da área de interesse, visualizados nos mapas B (Pranchas 59, 60 e 61).

Conceito já discorrido, o NDVI mapeado informa a distribuição da densidade de cobertura vegetal, parametrizado entre o valor +1 e -1. Os valores positivos demonstraram maior densidade e vigor da vegetação e valores próximos do negativo representaram baixa densidade de vegetação. O NDVI foi importante na fase de *clusterização* pois, além de compor as classes de uso da terra, os valores favoreceram a distinção entre áreas urbanas e de cobertura vegetal, pois valores negativos se referem às áreas construídas e valores positivos identificaram áreas dotadas de vegetação. A critério do pesquisador, pode ser adicionada à fórmula do modelo para melhorar o efeito visual na espacialização.

9.4.1.3 Classificação não-supervisionada: análise de *cluster*

Cluster consiste em mapeamento automático que agrupa em intervalos de classe elementos do mesmo tipo e em proximidade (SAMPAIO, 2019). Resulta da combinação das imagens multiespectrais e o NDVI na função *cluster* para a elaboração da classificação não-supervisionada de uso da terra, demonstrada nos mapas C das Pranchas 59, 60 e 61. A reclassificação dessas cartas individualizou as classes de uso da terra. Para as áreas de interesse, foram identificadas as áreas de vegetação alta, notadamente nos fragmentos de mata e nos fundos de vale; as áreas de vegetação baixa, caracterizando as pastagens com grande

predomínio no entorno rural das urbes; e a delimitação da área urbana, visualizadas nos mapas D das mesmas pranchas.

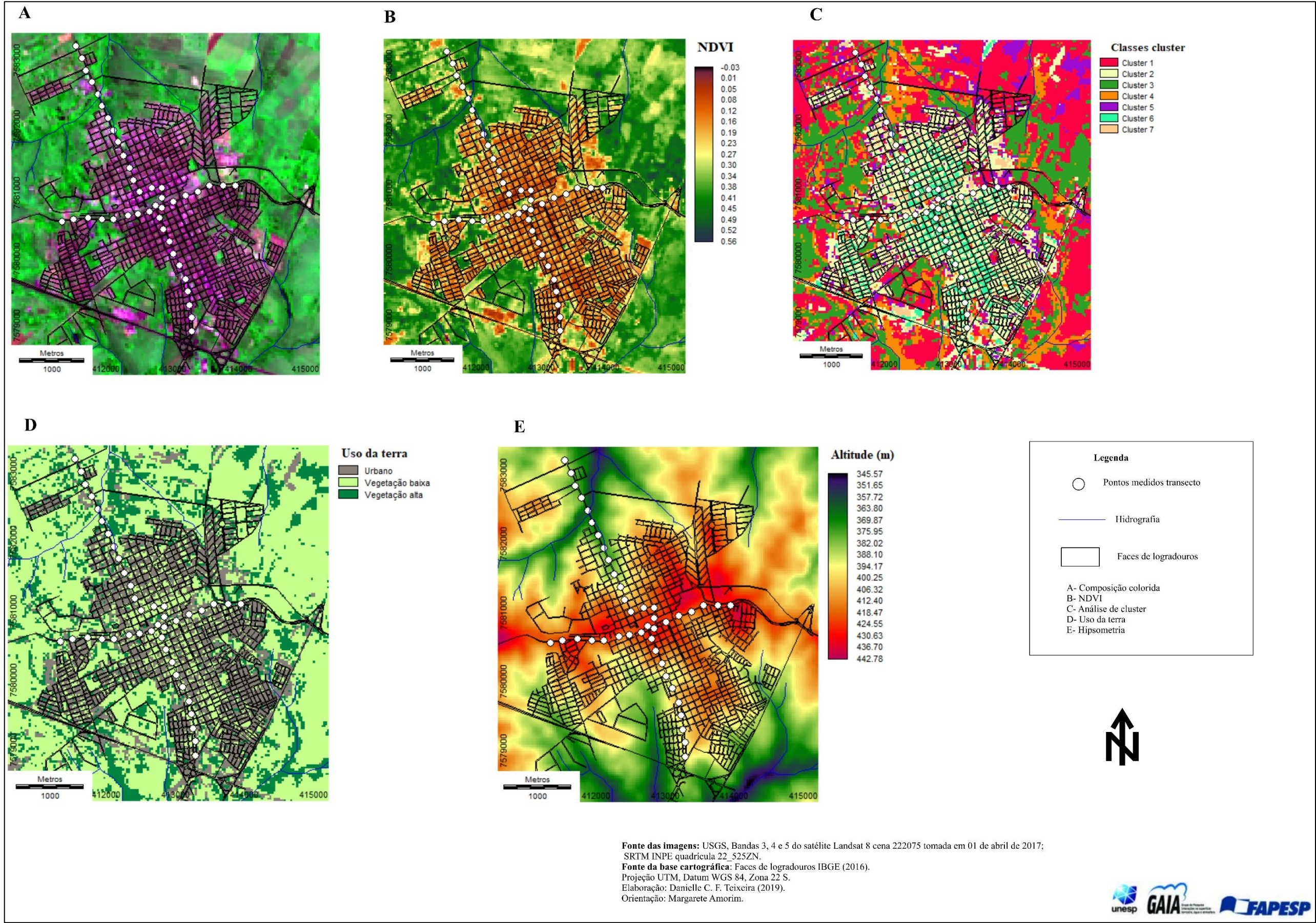
9.4.1.4 Relevo

Tendo em vista que o relevo é uma das variáveis explicativas da variação da temperatura do ar, as cartas de hipsometria das áreas geradas a partir de imagem SRTM *Topodata* foram georreferenciadas na mesma resolução espacial da imagem de satélite (30 metros), para a incorporação no modelo. Correspondem aos mapas E das Pranchas 59, 60 e 61.

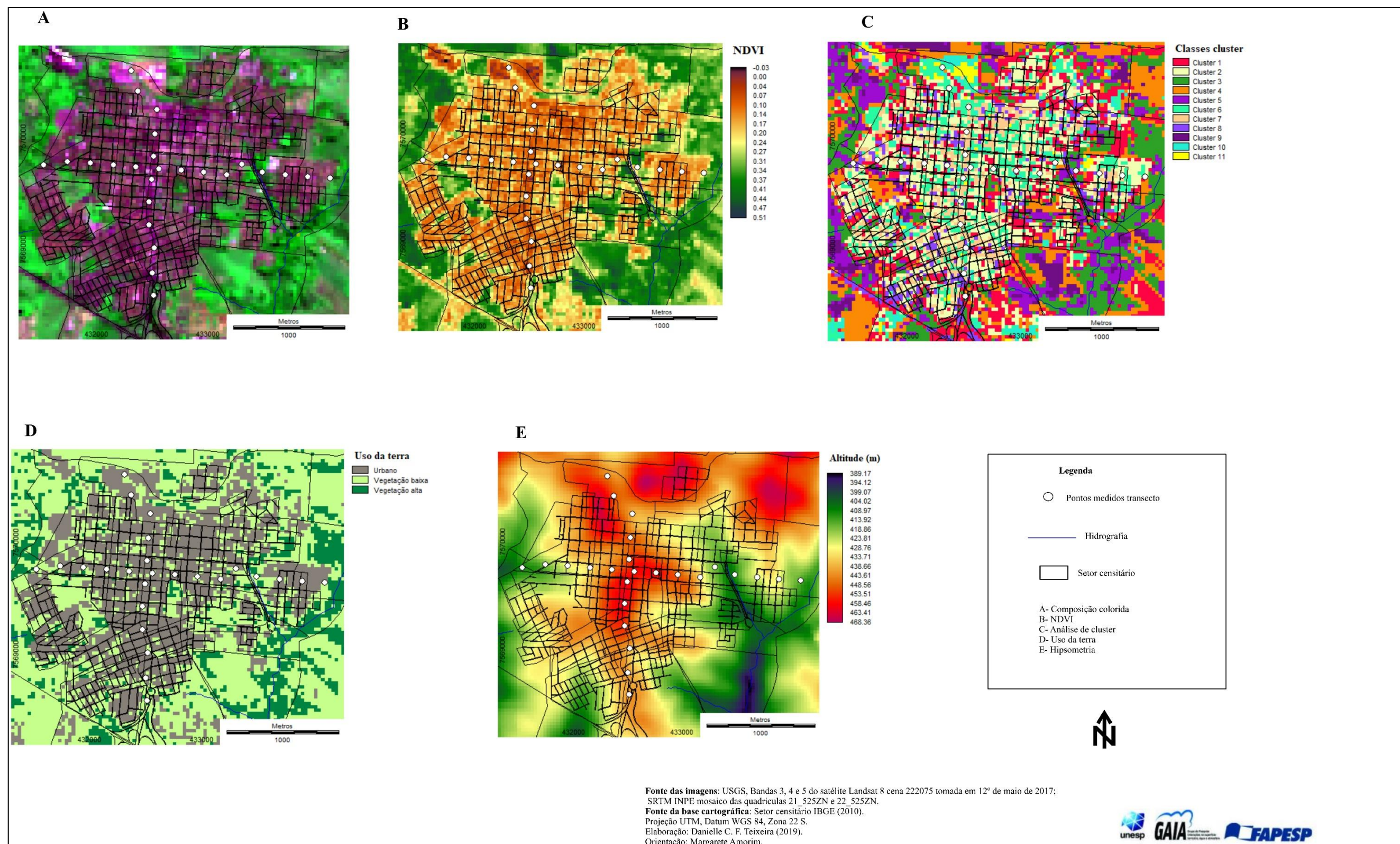
9.4.1.5 Distância geométrica do centro

Outra variável independente, a distância geométrica do centro, pressupõe que a temperatura tende a aumentar nas proximidades do centro e diminuir distante do mesmo. Considera-se para isso, a critério do pesquisador, o estabelecimento de um ponto central na malha urbana, podendo coincidir com a interseção dos transectos. Foi adotada exclusivamente para o recorte de Álvares Machado, onde se verificou associação estatística e qualidade de espacialização (Prancha 61, mapa F).

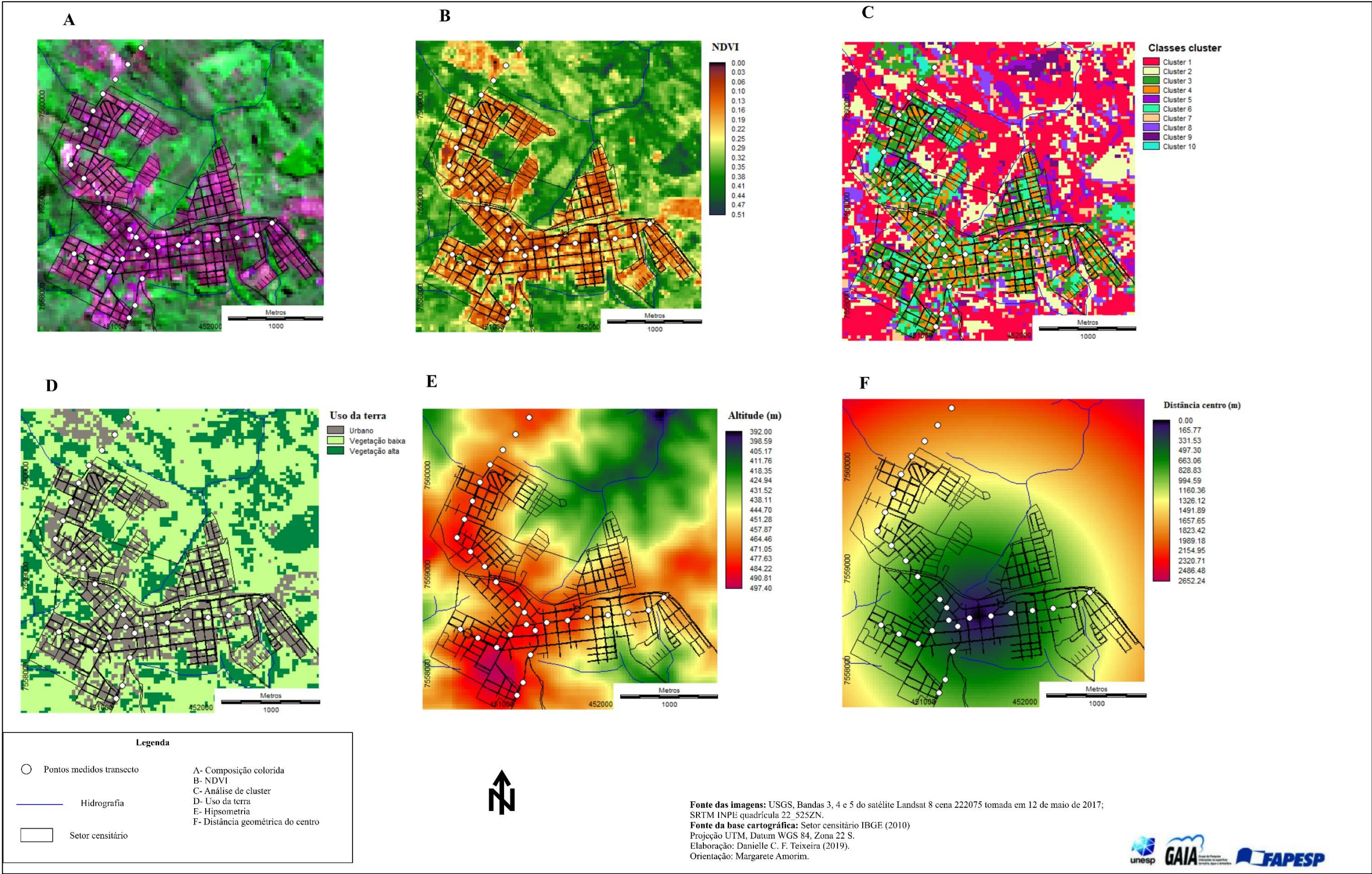
Prancha 59: Síntese da cartografia do sítio urbano de Presidente Venceslau (SP) com os mapas de entrada para a elaboração da modelagem espacial



Prancha 60: Síntese da cartografia do sítio urbano de Santo Anastácio (SP) com os mapas de entrada para a elaboração da modelagem espacial



Prancha 61: Síntese da cartografia do sítio urbano de Álvares Machado (SP) com os mapas de entrada para a elaboração da modelagem espacial



9.4.2 A escolha das variáveis independentes explicativas da temperatura do ar

A obtenção dos coeficientes parciais de correlação se fez a partir da função de regressão simples, combinando individualmente as classes explicativas com a temperatura observada em janelas atmosféricas de generalização por pixel. Desse processo resultaram os coeficientes numéricos de correlação que indicaram se houve relação entre as variáveis, bem como a força e a intensidade de associação. O conhecimento dos coeficientes levou à tomada de decisão das classes preditoras do modelo.

9.4.2.1 Correlações estatísticas parciais obtidas para a representação da ilha de calor de Presidente Venceslau

Para o recorte territorial de Presidente Venceslau se verificou na janela de observação 41 por 41 pixels (1.230 por 1.230 metros) a melhor relação estatística entre os dados (Prancha 62). Foram escolhidas para a composição do modelo as variáveis independentes classe urbana, vegetação alta e o relevo.

Quanto às variáveis adotadas, a classe 1 (urbana) demonstrou correlação linear positiva em relação à variação de y (temperatura). Os coeficientes de determinação obtidos nos dias analisados foram 19%, 20%, 24% e 15%, nos dias 02/04/17, 11/06/17, 15/09/17 e 04/12/17, respectivamente. Essas porcentagens demonstraram quanto explicativa foi esta classe para a variação da temperatura do ar. Embora os coeficientes tenham “baixos” valores, observa-se nos gráficos pela disposição dos pontos que ocorreu o aumento significativo da temperatura do ar nesta classe, comprovando o efeito do ambiente construído na modificação da temperatura. Na análise diária, observa-se que as demais variáveis (vegetação e relevo) apresentaram valores mais importantes e que sobressaíram às características urbanas para explicar a variação da temperatura.

Entendendo que a vegetação alta é uma característica da área urbana presenciada nos transectos e no entorno rural de Presidente Venceslau, bem como pelos coeficientes de correlação individuais apresentados, esta foi a classe de vegetação incorporada no modelo de regressão multicritérios. A vegetação alta apresentou correlação negativa, observada pela disposição da reta e coeficientes multiplicadores obtidos. Assim, a vegetação alta colaborou significativamente para a diminuição da temperatura do ar. Individualmente, a vegetação alta

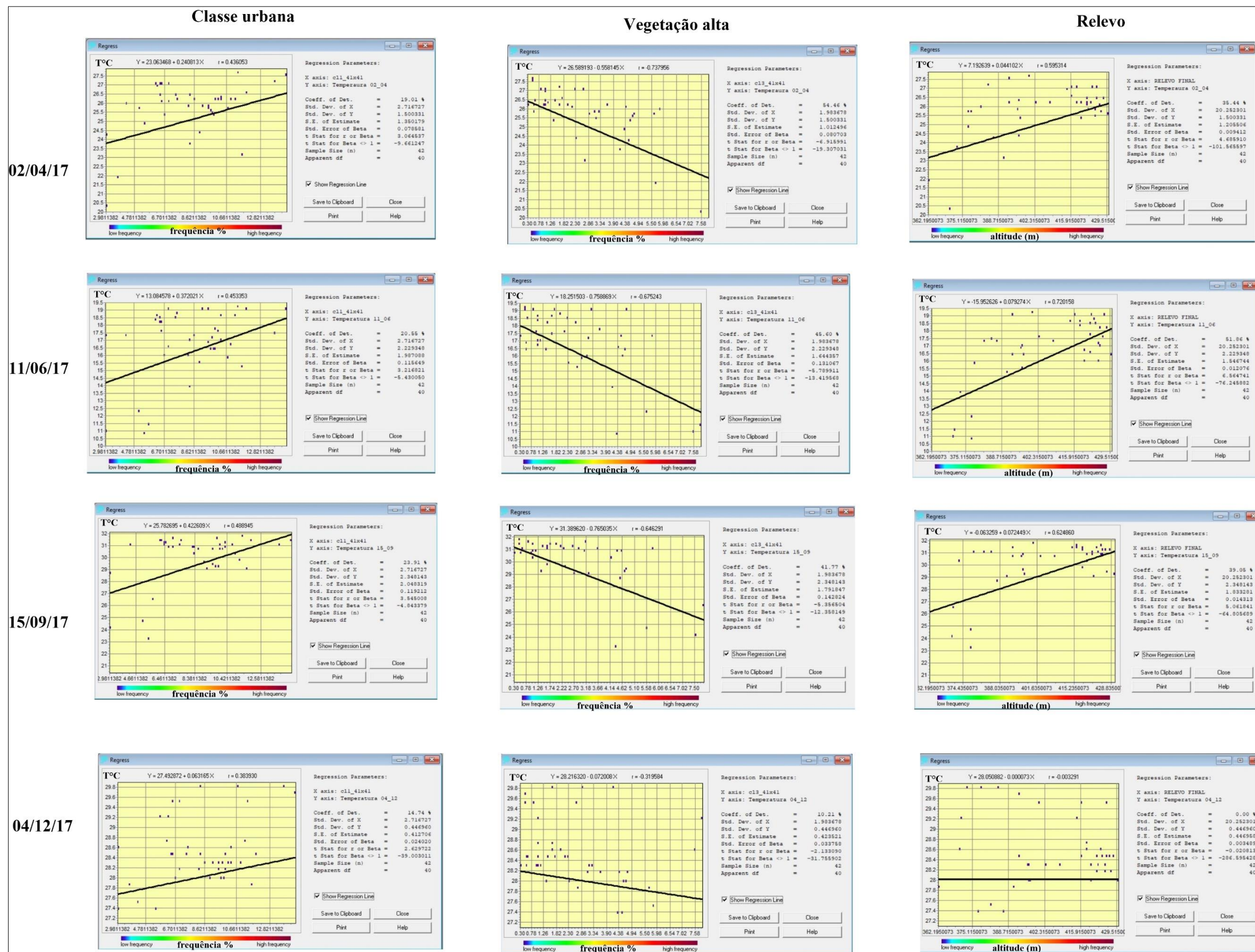
atingiu os coeficientes de determinação de 54%, 46% e 42% nos dias 02/04/17, 11/06/17 e 15/09/17, respectivamente. O dia 04 de dezembro distinguiu-se pois apresentou os mais baixos valores dos coeficientes de correlação nas classes urbana e de vegetação alta.

O relevo foi uma componente geoambiental fundamental para a explicação da variação da temperatura do ar em Presidente Venceslau visto que os transectos percorreram áreas de fundos de vale e de topos, atravessando por variações de altimetria. De fato, existe uma correlação linear positiva entre o relevo (x) e a predição de y , pois na análise dos gráficos de dispersão observa-se que a temperatura aumentou nas áreas mais elevadas e diminuiu nas áreas de fundos de vale. A análise ganha maior refinamento pela identificação dos sistemas atmosféricos atuantes. Os resultados sugerem que o relevo apresentou uma importância maior para a explicação da variação da temperatura do ar no dia 11/06/17, dado o coeficiente de determinação de 51%, em um episódio influenciado pela mPa, quando o relevo potencializou a intensidade térmica.

Constatou-se nos sistemas estáveis como a mTa (02/04/17) e Tac (15/09/17) que o relevo contribuiu significativamente para o aumento da temperatura do ar nos topos, demonstrado pela disposição dos dados no sentido do aumento da temperatura. Depreende-se que no dia 04/12/17 as condições atmosféricas explicadas pela nebulosidade e a ocorrência de precipitação próxima ao trabalho de campo anularam os efeitos das classes preditoras (classes de uso urbana e vegetação alta) e do relevo para a variação da temperatura do ar.

De maneira geral, pela quantificação das variáveis explicativas, observou-se que as características geoambientais como a vegetação alta e o relevo participam mais do que a variável urbana para a estimação da temperatura do ar neste recorte territorial.

Prancha 62: Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada nos transectos (y) e as variáveis independentes (x), Presidente Venceslau (SP)



9.4.2.2 Correlações estatísticas parciais obtidas para a representação da ilha de calor de Santo Anastácio

Na janela de observação 29 por 29 pixels (870 por 870 metros) foram verificados os melhores coeficientes de correlação (r) e determinação (r^2) para a cidade de Santo Anastácio (Prancha 63). As classes adotadas para a regressão múltipla foram a urbana, a vegetação baixa e o relevo.

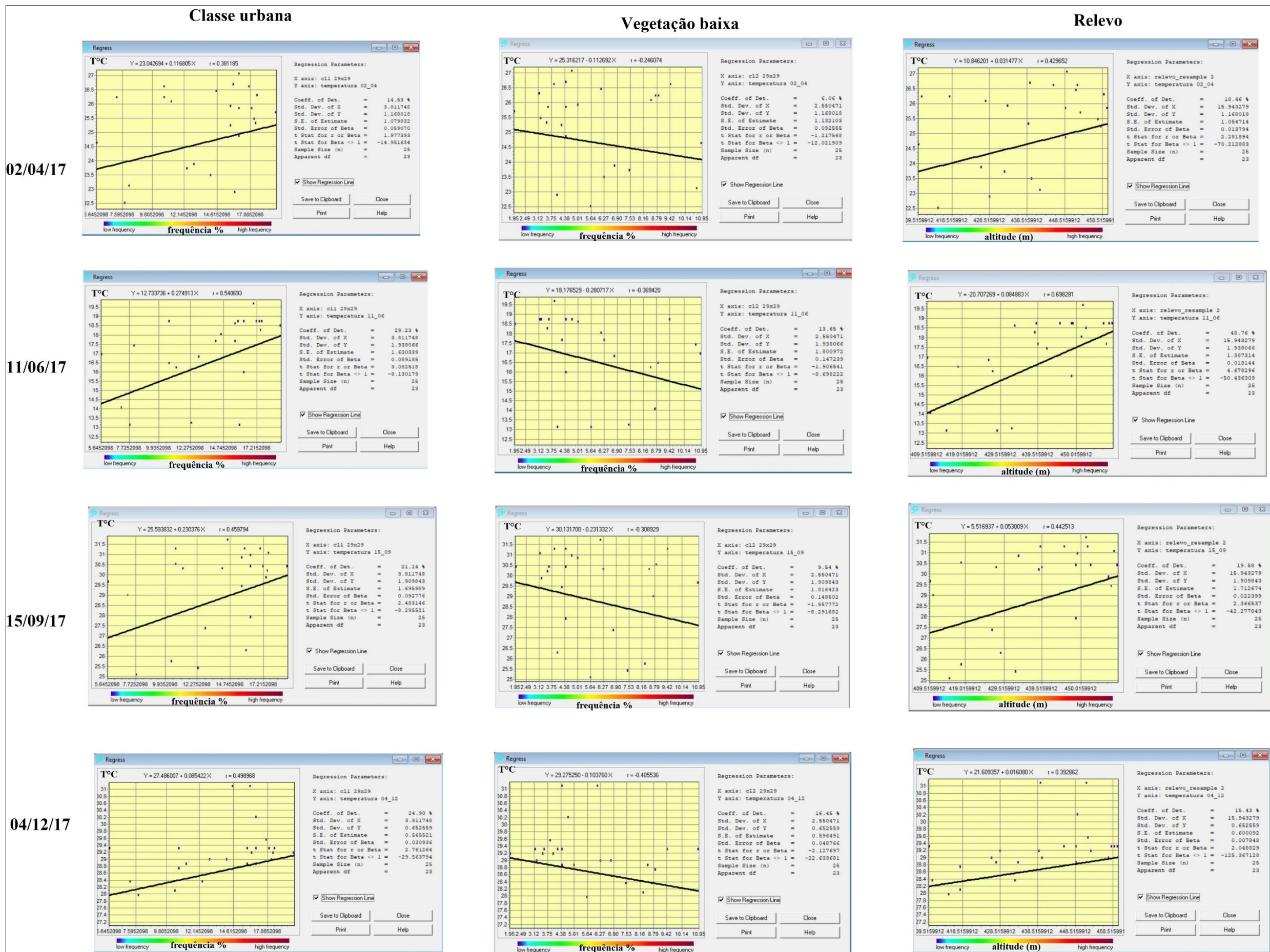
A classe urbana apresentou em todos os episódios correlação linear positiva, existindo uma tendência no sentido de aumento da temperatura do ar, percebida pelo aumento da frequência dos pixels nesta classe. Pelos coeficientes individuais, a classe urbana explicou a variabilidade de y em x nos valores de 15% no dia 02/04/17, 30% no dia 11/06/17, 21% no dia 15/09/17 e 25% no dia 04/12/17.

A outra classe componente da regressão multicriterial foi a vegetação baixa. Considerando as características do recorte espacial, a vegetação baixa foi mais representativa da realidade de Santo Anastácio e, por isso, foi a classe de vegetação definida para compor o modelo. Esta variável independente apresentou correlação linear negativa, alcançando coeficientes de determinação de 6%, 14%, e 10% nos dias 02/04/17, 11/06/17 e 15/09/17, respectivamente. Em relação às outras variáveis (urbana e relevo), a vegetação baixa contribuiu parcialmente para a explicação da variabilidade de y . A análise da linha de tendência é indicativa de que a temperatura decline na área de vegetação baixa.

A terceira variável independente incorporada foi o relevo, que estabelece com a temperatura do ar correlação linear positiva. Pelo exame da linha de tendência ocorre uma discreta concentração dos dados nas áreas de maiores altitudes, refletindo o aumento da temperatura do ar. O dia em que o relevo apresentou um peso maior para a variabilidade de y foi 11/06/17 (49%), episódio influenciado pela mPa, como constatado em Presidente Venceslau.

No caso do dia 04/12/17, diferente dos resultados de Presidente Venceslau, as classes de uso, especialmente a classe urbana e a vegetação baixa, sobressaíram diante do sistema atmosférico atuante e explicam parte da variabilidade da temperatura do ar.

Prancha 63: Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada nos transectos (y) e as variáveis independentes (x), Santo Anastácio (SP)



9.4.2.3 Correlações estatísticas parciais obtidas para a representação da ilha de calor de Álvares Machado

Para os dados de Álvares Machado, os melhores ajustes do modelo de regressão linear por classe explicativa foram verificados na janela de abrangência 29 por 29 (870 por 870 metros), cujos resultados são demonstrados na Prancha 64.

A particularidade climática de Álvares Machado foi constatada pelas variáveis explicativas adotadas para a estimação da temperatura, sendo que neste recorte foram consideradas as classes urbana, vegetação baixa, relevo e a distância geométrica do centro.

O relevo pouco contribuiu para a variação da temperatura do ar, mas optou-se pela adoção desta informação espacial, pois diante dos testes realizados, percebeu-se um enriquecimento da espacialização. A única exceção em que o relevo apresentou coeficiente de determinação maior (10%) foi no evento de 11/06/17 de atuação da mPa, quando a temperatura foi maior nas áreas do topo em relação aos fundos de vale do rural próximo. Nos demais dias o relevo não teve relação significativa com a variação da temperatura. Esse resultado corrobora que o relevo não interfere na distribuição espacial da temperatura do ar de Álvares Machado.

A adoção da distância geométrica do centro foi necessária, pois diferentemente das outras cidades, a variável contribuiu para a espacialização da ICU, além de ter apresentado coeficientes de correlação significativos. A correlação estabelecida entre distância do centro e a temperatura foi negativa, comprovando que nas proximidades do centro a temperatura foi maior do que nas áreas periféricas.

Com relação às classes de uso da terra, nesta cidade, a classe urbana apresentou correlação linear positiva, explicando com maior importância a variabilidade de y através dos coeficientes de determinação. Portanto, em Álvares Machado, a variação da temperatura do ar ocorreu frequentemente explicada pela classe urbana, existindo uma estreita relação entre as construções e o aumento da temperatura do ar. Sozinha, esta classe explicou 74% da variabilidade dos dados no dia 02/04/17.

A vegetação baixa estabeleceu com a temperatura do ar correlação linear negativa cujo ajuste dos pontos na reta permite associar que houve redução da temperatura do ar nesta classe. Pelos coeficientes individuais obtidos, a vegetação baixa contribuiu parcialmente para a explicação de y .

A menor participação da classe urbana e das outras classes “x” foi verificada no dia 04/12/17, quando, de fato, as condições atmosféricas condicionaram a resposta térmica da cidade.



9.4.3 Os testes de significância dos modelos e análise dos resíduos

Conhecendo-se as quantificações individuais da variabilidade de y em relação a x , as classes e a temperatura do ar foram combinadas na função de regressão linear múltipla para obtenção da fórmula de predição de y . Executada a fórmula, os modelos foram então submetidos ao tratamento final de reclassificação da legenda, possibilitando o agrupamento dos valores em classes de intensidade. Segundo Ferreira (2014, p. 307-308):

A reclassificação é talvez a mais simples das funções, mas a que possui maior espectro de opções dentre todas as funções de modelagem de mapas para SIG. Sua principal propriedade está no fato de ela gerar, como resposta espacial, mapas binários úteis na construção de modelos de alocação espacial. Podemos afirmar que a função de reclassificação permite ao pesquisador modificar os valores originais dos atributos das classes, ou dos *pixels*, de acordo com os objetivos previamente definidos na lógica de consulta espacial das áreas de um mapa.

A estatística contida na etapa de processamento da fórmula realizada no aplicativo *Idrisi*, foi melhor detalhada no programa *Excel* a partir das ferramentas de análise de dados e da Análise de variância (ANOVA), apresentada nesta seção.

No que concerne ao coeficiente de correlação global dos modelos multicriteriais, nomeadamente o valor de R^2 ajustado (Prancha 65), tem-se que pelas variáveis adotadas particularmente às cidades, em Presidente Venceslau e Álvares Machado os modelos foram mais explicativos da variabilidade da temperatura do que se verificou em Santo Anastácio.

O r^2 , conforme Ferreira (2014, p. 99), é um importante indicativo da proporção da associação entre as variáveis, mas o conhecimento se as variáveis são correlacionadas dependem do nível de *significância*, que é identificado por testes estatísticos como a *Anova* (Análise de variância) e o Teste *F*. Um dos caminhos para determinar o nível de significância entre a variável resposta e cada termo (variável independente) ocorre pela observação do *valor-p* (LONG; GARDES; HIDALGO; MASSON; SCHOETTER, 2018). Para tanto, adotou-se α ou nível de significância de 0,05, que estabelece o intervalo de confiança de 95% e assume a probabilidade de 5% da associação não ser real e de que a correlação ocorreu por acaso.

Conforme informações obtidas no suporte do aplicativo *Minitab* 18⁵⁹, se:

$$\text{valor } p \leq \alpha \quad (3)$$

diz-se que a associação é estatisticamente significativa, enquanto que para:

$$\text{valor } p > \alpha \quad (4)$$

tem-se que a associação não é significativa.

Outro teste realizado, o valor de *F de significação* consiste na estatística para determinar a significância dos termos em conjunto e do modelo, a partir do intervalo de confiança assumido de 95%. Analisando-se os resultados do *valor-p* obtidos pela *Anova* (Prancha 65), nota-se que para a amostragem de Presidente Venceslau, a classe urbana não atingiu o nível de significância e somente as classes vegetação alta e o relevo são significativas no intervalo de confiança de 95%. Os termos que não atingiram o nível de significância têm menor confiabilidade na associação.

Quanto ao valor de *F de significação*, considerando o nível de significância adotado ($\alpha = 0,05$), pode-se afirmar que a regressão dos modelos dos dias 02/04/17, 11/06/17, 15/09/17 é significativa, atestando a validade dos modelos de Presidente Venceslau. Observa-se que o *valor F* do modelo de regressão do dia 04/12/17 ficou no limite do nível de significância, quando nenhum dos termos (variáveis independentes) esteve dentro do intervalo de confiança, portanto não possuem significância estatística.

No caso de Santo Anastácio, as classes não apresentaram significância estatística. O único coeficiente que apresentou significância foi o relevo no dia 11/06/17 (com *valor-p* de 0,017768598), sugerindo a influência desse fator na distribuição das intensidades térmicas em atuação da mPa. Todos os outros termos apresentaram coeficientes fora do intervalo de confiança, mas, mesmo assim, a partir da observação do *valor F*, no conjunto dos termos os modelos alcançaram significância estatística no dia 11/06/17 e esteve muito próximo do intervalo de confiança no dia 15/09/17.

Quanto a Álvares Machado, os modelos de regressão tiveram significância estatística pelos valores de *F* inferiores $\alpha = 0,05$, quando pelo menos um dos termos apresentou associação com a variável resposta. Isoladamente, o termo distância geométrica do centro apresentou mais

⁵⁹ Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fitted-line-plot/interpret-the-results/key-results/>. Acesso em: 16 maio. 2019.

significância na associação da variável resposta. A classe urbana e o relevo atingiram o nível de confiança em dois episódios.

Mesmo que os parâmetros quantitativos demonstrem pouca confiabilidade na associação dos termos com a temperatura do ar para alguns episódios, no caso específico de Santo Anastácio, entende-se que na análise geográfica os modelos gerados são representações convincentes da realidade, dotados de informação geográfica visto que “pode-se definir um mapa como um desenho seletivo, convencionado e generalizado de alguma região de uma grande área” (ROSA, 2004, p. 6). Amparados pelos demais tratamentos adotados na presente tese, os modelos detalharam a ICU, permitindo a associação inequívoca da temperatura do ar com os fatores de uso da terra e o relevo.

Segundo Ferreira (2014, p. 99) a “significância do valor de r depende do tamanho da amostra”. No caso de Santo Anastácio, onde os termos não atingiram o valor de significância em nenhum dos episódios, a amostra com 25 observações pode não ser suficiente para medir a associação entre os termos e a variável resposta. Nesse aspecto, uma amostragem maior poderia beneficiar os resultados. Além disso, outras propriedades refletiriam esses resultados como as influências não conhecidas, como, por exemplo, a velocidade de vento, que não foi parametrizada, mas que poderia ser explicativa da associação com a temperatura. Os sistemas atmosféricos atuantes poderiam também influenciar estes resultados, ora potencializando os efeitos das classes preditoras nas respostas térmicas, ora minimizando.

Prancha 65: Resultados da Regressão linear múltipla e dos testes de significância, com destaque para os valores de r² ajustado, valor-p e f de significância

	Presidente Venceslau	Santo Anastácio	Álvares Machado																																																																																																											
02/04/17	RESUMO DOS RESULTADOS Estadística de regressão R múltiplo0.804386248R-Quadrado0.647037236R-quadrado ajustado0.619171755Erro padrão0.925873493Observações42 ANOVA <table><tr><th></th><th>gl</th><th>SQ</th><th>MQ</th><th>F</th><th>F de significação</th></tr><tr><td>Regressão</td><td>3</td><td>59.7155287</td><td>19.90517623</td><td>23.22</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Resíduo</td><td>38</td><td>32.57518559</td><td>0.857241726</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Total</td><td>41</td><td>92.29071429</td><td></td><td></td><td></td></tr></table> Coefficientes Erro padrão Stat t valor-P 95% inferiores 95% superiores Inferior 95.0% Superior 95.0% Interseção 15.43357738		gl	SQ	MQ	F	F de significação	Regressão	3	59.7155287	19.90517623	23.22	0.00	Resíduo	38	32.57518559	0.857241726			Total	41	92.29071429				3.408341915	4.528177563	0.00	8.533749904	22.33340487	8.533749904	22.33340487	0.064960251	0.407287909	0.68608	-0.105047628	0.157962677	-0.105047628	0.157962677	0.096722302	-4.436392321	0.000076	-0.624902144	-0.233294015	-0.624902144	-0.233294015	0.007896877	3.302483669	0.00209	0.010092916	0.042065701	0.010092916	0.042065701		gl	SQ	MQ	F	F de significação	Regressão	3	7.45204355	2.484014517	2.062616435	0.13551346	Resíduo	21	25.29035645	1.204302688			Total	24	32.7424				9.092307868	1.314324813	0.2028794	-6.957333977	30.85964167	-6.957333977	30.85964167	0.178654761	0.97634307	0.340008341	-0.197104577	0.545961253	-0.197104577	0.545961253	0.215897636	0.965517938	0.345271668	-0.240530673	0.657436754	-0.240530673	0.657436754	0.023738963	0.873828127	0.392201829	-0.02862885	0.070106902	-0.02862885	0.070106902	0.345271668	-0.240530673	0.657436754	-0.240530673	0.657436754
	gl	SQ	MQ	F	F de significação																																																																																																									
Regressão	3	59.7155287	19.90517623	23.22	0.00																																																																																																									
Resíduo	38	32.57518559	0.857241726																																																																																																											
Total	41	92.29071429																																																																																																												
	gl	SQ	MQ	F	F de significação																																																																																																									
Regressão	3	7.45204355	2.484014517	2.062616435	0.13551346																																																																																																									
Resíduo	21	25.29035645	1.204302688																																																																																																											
Total	24	32.7424																																																																																																												

 02/04/17 | || 11/06/17 | RESUMO DOS RESULTADOS Estadística de regressão R múltiplo0.63619984R-Quadrado0.699230173R-quadrado ajustado0.675485187Erro padrão1.269975093Observações42 ANOVA | | gl | SQ | MQ | F | F de tsignificação | |-----------|----|------------|-------------|---------|--------------------| | Regressão | 3 | 142.481966 | 47.49398863 | 29.4475 | 0.00 | | Resíduo | 38 | 61.287796 | 1.612836737 | | | | Total | 41 | 203.769762 | | | | Coefficientes Erro padrão Stat t valor-P 95% inferiores 95% superiores Inferior 95.0% Superior 95.0% Interseção -7.65019176 | 4.87505482 | -1.636385893 | 0.11002 | -17.11434746 | 1.813959939 | -17.11434746 | 1.813959939 |

URBANO

0.011591286 0.08910278 | 1.292791191 | 0.20309 | -0.005187857 | 0.29557043 | -0.005187857 | 0.29557043 |

VEG ALTA

-0.418193476 0.13269922 | -3.152151445 | 0.00316 | -0.686768273 | -0.14961868 | -0.686768273 | -0.14961868 |

RELEVO

0.059247479 0.00183176 | 5.469793401 | 0.00 | 0.037319731 | 0.081175227 | 0.037319731 | 0.081175227 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.63619984R-Quadrado0.699230173R-quadrado ajustado0.675485187Erro padrão1.269975093Observações42

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	142.481966	47.49398863	29.4475	0.00
Resíduo	38	61.287796	1.612836737		
Total	41	203.769762			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

-7.65019176 4.87505482 | -1.636385893 | 0.11002 | -17.11434746 | 1.813959939 | -17.11434746 | 1.813959939 |

URBANO

0.011591286 0.08910278 | 1.292791191 | 0.20309 | -0.005187857 | 0.29557043 | -0.005187857 | 0.29557043 |

VEG ALTA

-0.418193476 0.13269922 | -3.152151445 | 0.00316 | -0.686768273 | -0.14961868 | -0.686768273 | -0.14961868 |

RELEVO

0.059247479 0.00183176 | 5.469793401 | 0.00 | 0.037319731 | 0.081175227 | 0.037319731 | 0.081175227 |

 11/06/17 | |

| 15/09/17 | RESUMO DOS RESULTADOS Estadística de regressão R múltiplo0.773473713R-Quadrado0.598261585R-quadrado ajustado0.556849394Erro padrão1.545955113Observações42 ANOVA | | gl | SQ | MQ | F | F de significação | |-----------|----|------------|-------------|-----------|-------------------| | Regressão | 3 | 135.245863 | 45.08195427 | 18.862971 | 0.00 | | Resíduo | 38 | 90.8188991 | 2.389971929 | | | | Total | 41 | 226.064762 | | | | Coefficientes Erro padrão Stat t valor-P 95% inferiores 95% superiores Inferior 95.0% Superior 95.0% Interseção 8.031649681 | 5.69099 | 1.411292179 | 0.16629407 | -3.489157267 | 19.55245663 | -3.489157267 | 19.55245663 |

URBANO

0.0183811978 0.10846568 | 1.694665591 | 0.09832229 | -0.03576832 | 0.403189275 | -0.03576832 | 0.403189275 |

VEG ALTA

-0.402191287 0.16140954 | -2.490355599 | 0.01756016 | -0.729130016 | -0.075252558 | -0.729130016 | -0.075252558 |

RELEVO

0.051412023 0.01318561 | 3.899102318 | 0.00038049 | 0.024719161 | 0.078104886 | 0.024719161 | 0.078104886 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.530983853R-Quadrado0.281943852R-quadrado ajustado0.179064402Erro padrão1.736016454Observações25

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	24.8613648	8.227121599	2.748541279	0.068376053
Resíduo	21	62.8586352	2.993268343		
Total	24	87.54			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

13.65214879 14.33438719 | 0.952405471 | 0.35172587 | -16.15784126 | 43.46213884 | -16.15784126 | 43.46213884 |

URBANO

0.434768632 0.28165638 | 1.543613648 | 0.137618344 | -0.150967875 | 1.020505139 | -0.150967875 | 1.020505139 |

VEG BAIXA

0.426811522 0.340971263 | 1.253449455 | 0.230366644 | -0.287329269 | 1.128352312 | -0.287329269 | 1.128352312 |

RELEVO

0.012555547 0.037425425 | 0.407625227 | 0.687674488 | -0.062574885 | 0.093085979 | -0.062574885 | 0.093085979 |

 15/09/17 | |

| 04/12/17 | RESUMO DOS RESULTADOS Estadística de regressão R múltiplo0.425299132R-Quadrado0.180879352R-quadrado ajustado0.116831892Erro padrão0.420187402Observações42 ANOVA | | gl | SQ | MQ | F | F de significação | |-----------|----|------------|-------------|------------|-------------------| | Regressão | 3 | 1.48153109 | 0.493843696 | 2.79707081 | 0.05313482 | | Resíduo | 38 | 6.7091832 | 0.176557453 | | | | Total | 41 | 8.19071429 | | | | Coefficientes Erro padrão Stat t valor-P 95% inferiores 95% superiores Inferior 95.0% Superior 95.0% Interseção 29.07111553 | 1.54680131 | 18.79434374 | 0.00 | 25.93977998 | 32.20245108 | 25.93977998 | 32.20245108 |

URBANO

0.004763668 0.02948079 | 1.606594441 | 0.1164224 | -0.012317064 | 0.1070444 | -0.012317064 | 0.1070444 |

VEG ALTA

-0.049314844 0.0438953 | -1.123465306 | 0.26828764 | -0.13817623 | 0.039546541 | -0.13817623 | 0.039546541 |

RELEVO

-0.00324116 0.00358382 | -0.90438562 | 0.37148914 | -0.010496234 | 0.004013914 | -0.010496234 | 0.004013914 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.425299132R-Quadrado0.180879352R-quadrado ajustado0.116831892Erro padrão0.420187402Observações42

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	1.48153109	0.493843696	2.79707081	0.05313482
Resíduo	38	6.7091832	0.176557453		
Total	41	8.19071429			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

29.07111553 1.54680131 | 18.79434374 | 0.00 | 25.93977998 | 32.20245108 | 25.93977998 | 32.20245108 |

URBANO

0.004763668 0.02948079 | 1.606594441 | 0.1164224 | -0.012317064 | 0.1070444 | -0.012317064 | 0.1070444 |

VEG ALTA

-0.049314844 0.0438953 | -1.123465306 | 0.26828764 | -0.13817623 | 0.039546541 | -0.13817623 | 0.039546541 |

RELEVO

-0.00324116 0.00358382 | -0.90438562 | 0.37148914 | -0.010496234 | 0.004013914 | -0.010496234 | 0.004013914 |

 04/12/17 | |

RELEVO

0.020739026

0.0237338963 0.873628127 | 0.392201829 | -0.02862385 | 0.070106902 | -0.02862385 | 0.070106902 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.910191706R-Quadrado0.828448942R-quadrado ajustado0.7998571Erro padrão0.26591462Observações29

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	4	8.19535975	2.048839936	28.9750103	0.00
Resíduo	24	1.69705405	0.070710585		
Total	28	9.89241379			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

27.73941628 2.89055589 | 10.3092164 | 0.00 | 22.18638267 | 33.29241989 | 22.18638267 | 33.29241989 |

URBANO

0.125262024 0.03664072 | 3.418655772 | 0.00225186 | 0.049639286 | 0.200884763 | 0.049639286 | 0.200884763 |

VEG BAIXA

0.04744832 0.05564568 | 0.852686476 | 0.40226281 | -0.067398722 | 0.162293362 | -0.067398722 | 0.162293362 |

RELEVO

-0.008736341 0.00513492 | -1.701358811 | 0.10179786 | -0.019334295 | 0.001861613 | -0.019334295 | 0.001861613 |

CENTRO

-0.000433597 0.0001447 | -2.996428698 | 0.00625861 | -0.000732252 | -0.000134941 | -0.000732252 | -0.000134941 |

 11/06/17 | RESUMO DOS RESULTADOS Estadística de regressão R múltiplo0.83619984R-Quadrado0.699230173R-quadrado ajustado0.6785485187Erro padrão1.269975093Observações42 ANOVA | | gl | SQ | MQ | F | F de significação | |-----------|----|------------|-------------|---------|-------------------| | Regressão | 3 | 142.481966 | 47.49398863 | 29.4475 | 0.00 | | Resíduo | 38 | 61.287796 | 1.612836737 | | | | Total | 41 | 203.769762 | | | | Coefficientes Erro padrão Stat t valor-P 95% inferiores 95% superiores Inferior 95.0% Superior 95.0% Interseção -7.65019376 | 4.67505482 | -1.636385893 | 0.11002 | -17.11434746 | 1.813959939 | -17.11434746 | 1.813959939 |

URBANO

0.115191286 0.08910278 | 1.292791191 | 0.20389 | -0.065187857 | 0.29557043 | -0.065187857 | 0.29557043 |

VEG ALTA

-0.418193476 0.13266922 | -3.152151445 | 0.00316 | -0.686768273 | -0.14961868 | -0.686768273 | -0.14961868 |

RELEVO

0.059247479 0.01083176 | 5.469793401 | 0.00 | 0.037319731 | 0.081175227 | 0.037319731 | 0.081175227 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.725105843R-Quadrado0.525777934R-quadrado ajustado0.458031401Erro padrão1.426771776Observações25

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	47.39716827	15.79965609	7.761079311	0.001128343
Resíduo	21	42.74923173	2.035677701		
Total	24	90.1464			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

-23.25703411 11.82117957 | -1.967403843 | 0.062485814 | -47.8405228 | 1.326454578 | -47.8405228 | 1.326454578 |

URBANO

0.219483205 0.232274362 | 0.944930825 | 0.35544033 | -0.263557775 | 0.702524185 | -0.263557775 | 0.702524185 |

VEG BAIXA

0.339945511 0.280694931 | 1.211085325 | 0.239116195 | -0.243791553 | 0.923682575 | -0.243791553 | 0.923682575 |

RELEVO

0.079383519 0.030863731 | 2.572064899 | 0.017768598 | 0.015198877 | 0.143568161 | 0.015198877 | 0.143568161 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.821414556R-Quadrado0.674721872R-quadrado ajustado0.620508851Erro padrão0.357873706Observações29

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	4	6.375889028	1.593972257	12.44575299	0.00
Resíduo	24	3.073766144	0.128073589		
Total	28	9.449655172			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

8.318964035 3.621008365 | 2.297416409 | 0.036019172 | 0.84557008 | 15.79235799 | 0.84557008 | 15.79235799 |

URBANO

0.137735969 0.049311888 | 2.793159532 | 0.010088127 | 0.035961235 | 0.239510703 | 0.035961235 | 0.239510703 |

VEG BAIXA

0.094663602 0.074889174 | 1.263648631 | 0.218493273 | -0.059030056 | 0.24919726 | -0.059030056 | 0.24919726 |

RELEVO

0.012211384 0.006910687 | 1.767028847 | 0.08939356 | -0.002051574 | 0.026474342 | -0.002051574 | 0.026474342 |

CENTRO

-0.0002903 0.000194746 | -1.49065813 | 0.14907819 | -0.000692237 | 0.000111637 | -0.000692237 | 0.000111637 |

 15/09/17 | RESUMO DOS RESULTADOS Estadística de regressão R múltiplo0.773477313R-Quadrado0.596261585R-quadrado ajustado0.566545394Erro padrão1.545953113Observações42 ANOVA | | gl | SQ | MQ | F | F de significação | |-----------|----|------------|-------------|-----------|-------------------| | Regressão | 3 | 135.245863 | 45.08194427 | 18.862971 | 0.00 | | Resíduo | 38 | 90.8188991 | 2.389971029 | | | | Total | 41 | 226.064762 | | | | Coefficientes Erro padrão Stat t valor-P 95% inferiores 95% superiores Inferior 95.0% Superior 95.0% Interseção 8.031649681 | 5.69099 | 1.411292179 | 0.16629407 | -3.489157267 | 19.55245663 | -3.489157267 | 19.55245663 |

URBANO

0.183811978 0.10846568 | 1.694655591 | 0.09832229 | -0.03576532 | 0.403389275 | -0.03576532 | 0.403389275 |

VEG ALTA

-0.402191287 0.16140954 | -2.490355599 | 0.017294016 | -0.729130016 | -0.075252558 | -0.729130016 | -0.075252558 |

RELEVO

0.051412023 0.01318561 | 3.899102318 | 0.00038049 | 0.024719161 | 0.076104886 | 0.024719161 | 0.076104886 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.530983853R-Quadrado0.281931852R-quadrado ajustado0.179364402Erro padrão1.780106454Observações25

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	24.6813648	8.227121599	2.748541279	0.068376053
Resíduo	21	62.8586352	2.993268343		
Total	24	87.54			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

13.65214879 14.33438719 | 0.952405471 | 0.35172487 | -16.15784126 | 43.46213884 | -16.15784126 | 43.46213884 |

URBANO

0.434788652 0.28165638 | 1.543613648 | 0.137618344 | -0.150967875 | 1.020505139 | -0.150967875 | 1.020505139 |

VEG BAIXA

0.420511522 0.3400711263 | 1.235449545 | 0.23036644 | -0.287339269 | 1.128352312 | -0.287339269 | 1.128352312 |

RELEVO

0.015255547 0.037425425 | 0.407625227 | 0.687674488 | -0.062574885 | 0.093085979 | -0.062574885 | 0.093085979 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.838169933R-Quadrado0.702523837R-quadrado ajustado0.652850311Erro padrão0.788006318Observações29

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	4	35.19572573	8.798931432	14.17002233	0.00
Resíduo	24	14.90289496	0.620953957		
Total	28	50.09862069			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

32.89249217 7.975140862 | 4.125412148 | 0.000483618 | 16.43673821 | 49.34824613 | 16.43673821 | 49.34824613 |

URBANO

0.095699879 0.108580425 | 0.881375226 | 0.386857698 | -0.128399103 | 0.319798861 | -0.128399103 | 0.319798861 |

VEG BAIXA

0.194717586 0.164899352 | 1.180826874 | 0.249242003 | -0.145617949 | 0.535053121 | -0.145617949 | 0.535053121 |

RELEVO

-0.012277255 0.015216724 | -0.806826458 | 0.427690081 | -0.043683029 | 0.019128519 | -0.043683029 | 0.019128519 |

CENTRO

-0.002036468 0.000428814 | -4.749066199 | 0.00 | -0.002921497 | -0.001151439 | -0.002921497 | -0.001151439 |

 04/12/17 | RESUMO DOS RESULTADOS Estadística de regressão R múltiplo0.425299132R-Quadrado0.180879352R-quadrado ajustado0.116211952Erro padrão0.220187402Observações42 ANOVA | | gl | SQ | MQ | F | F de significação | |-----------|----|------------|-------------|------------|-------------------| | Regressão | 3 | 1.48153109 | 0.493843696 | 2.79707081 | 0.05313482 | | Resíduo | 38 | 6.7091832 | 0.176557453 | | | | Total | 41 | 8.19071429 | | | | Coefficientes Erro padrão Stat t valor-P 95% inferiores 95% superiores Inferior 95.0% Superior 95.0% Interseção 29.07111553 | 1.54680131 | 18.79434374 | 0.00 | 25.93977998 | 32.20245108 | 25.93977998 | 32.20245108 |

URBANO

0.047363668 0.02948079 | 1.606594441 | 0.1164224 | -0.012317064 | 0.1070444 | -0.012317064 | 0.1070444 |

VEG ALTA

-0.049314844 0.0438953 | -1.123465306 | 0.26828764 | -0.13817623 | 0.039546541 | -0.13817623 | 0.039546541 |

RELEVO

-0.00324116 0.00358382 | -0.90438562 | 0.37148914 | -0.010496234 | 0.004013914 | -0.010496234 | 0.004013914 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.512584377R-Quadrado0.262742743R-quadrado ajustado0.157430278Erro padrão0.598997994Observações25

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	2.685230834	0.895077	2.494651	0.087835723
Resíduo	21	7.534769166	0.358799		
Total	24	10.22			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

27.13873548 4.962855534 | 5.468371 | 0.00 | 16.8179124 | 37.45955856 | 16.8179124 | 37.45955856 |

URBANO

0.135280613 0.097515151 | 1.387278 | 0.179905 | -0.067513244 | 0.33807447 | -0.067513244 | 0.33807447 |

VEG BAIXA

0.0728378 0.117843434 | 0.61809 | 0.543162 | -0.172231036 | 0.317906636 | -0.172231036 | 0.317906636 |

RELEVO

-0.001734507 0.012957441 | -0.13386 | 0.894786 | -0.028680981 | 0.025211967 | -0.028680981 | 0.025211967 |

RESUMO DOS RESULTADOS

Estadística de regressão

R múltiplo0.425299132R-Quadrado0.180879352R-quadrado ajustado0.116211952Erro padrão0.220187402Observações42

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	1.48153109	0.493843696	2.79707081	0.05313482
Resíduo	38	6.7091832	0.176557453		
Total	41	8.19071429			

Coefficientes

Erro padrão

Stat t

valor-P

95% inferiores

95% superiores

Inferior 95.0%

Superior 95.0%

Interseção

29.07111553 1.54680131 | 18.79434374 | 0.00 | 25.93977998 | 32.20245108 | 25.93977998 | 32.20245108 |

URBANO

0.047363668 0.02948079 | 1.606594441 | 0.1164224 | -0.012317064 | 0.1070444 | -0.012317064 | 0.1070444 |

VEG ALTA

-0.049314844 0.0438953 | -1.123465306 | 0.26828764 | -0.13817623 | 0.039546541 | -0.13817623 | 0.039546541 |

RELEVO

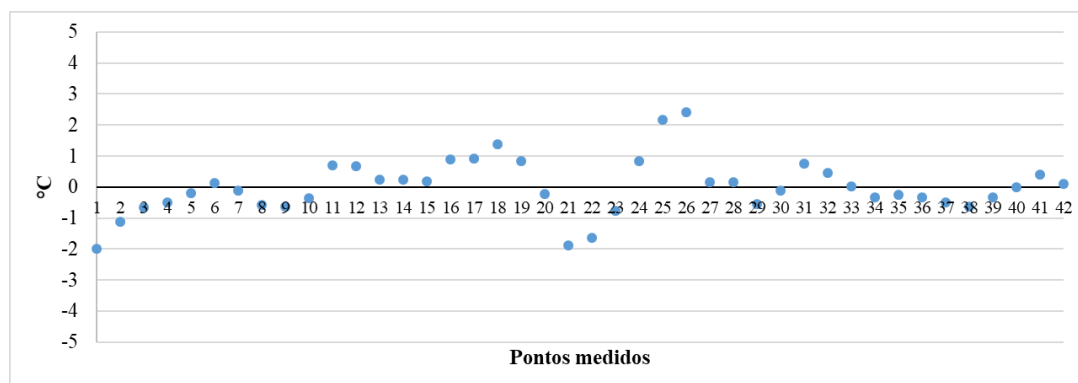
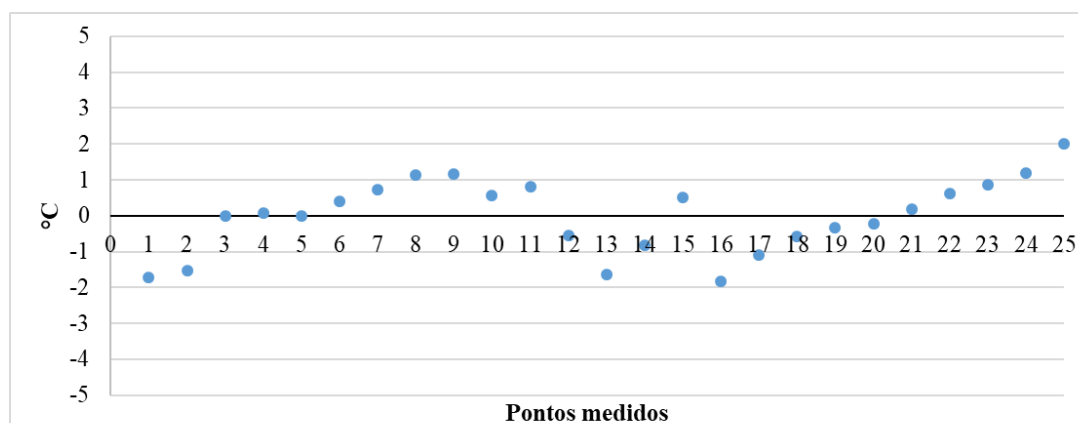
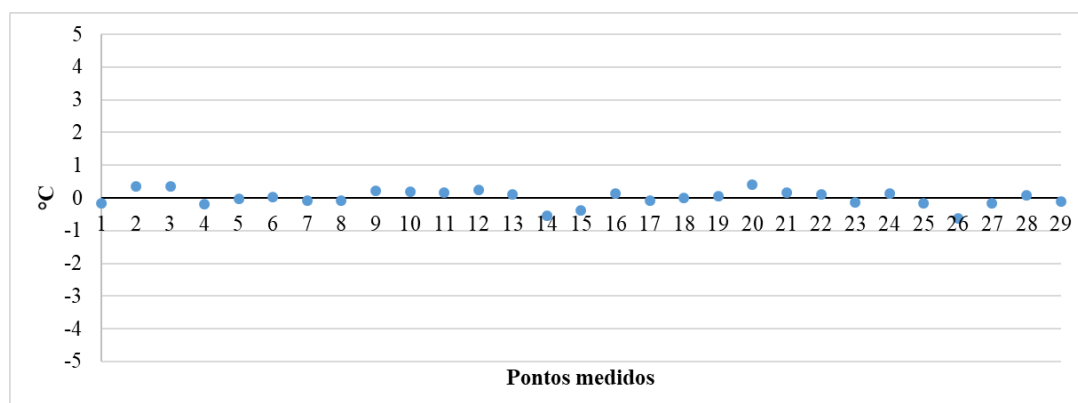
-0.00324116 0.00358382 | -0.90438562 | 0.37148914 | -0.010496234 | 0.004013914 | -0.010496234 | 0.004013914 |

A confirmação da validade dos modelos para a representação do fenômeno observado também se fez a partir da análise dos resíduos, pois como a função de regressão múltipla pressupõe o ajuste dos dados em uma reta de regressão, nota-se que alguns pontos coincidiram e outros assumiram o *desvio* e se distanciaram da reta. O resíduo expressa o que não pode ser explicado pela variável dependente relacionada às variáveis explicativas (QUININO; REIS; BESSEGATO., 2011).

Os resíduos do modelo de estimação da temperatura foram obtidos através da subtração entre o valor observado e o valor estimado (FERREIRA, 2014), resultados que são exibidos na forma de gráficos de dispersão (A, B e C) agrupados por dia nas Pranchas 66 a 69. Quanto menor a diferença entre a temperatura medida e a temperatura estimada, mais próximo à realidade e confiável foi a representação do modelo. Resíduos coincidentes com a reta (valor 0) informaram a proximidade entre a temperatura observada e a temperatura estimada pelo modelo. Os desvios positivos se apresentaram nos pontos onde a temperatura estimada foi maior que a temperatura medida. De forma oposta, os desvios negativos referiram-se à subestimação da temperatura modelizada (GOMES, 2017).

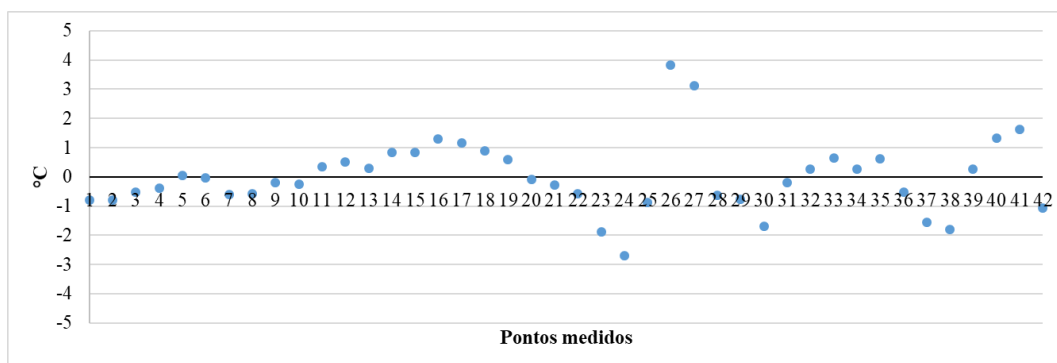
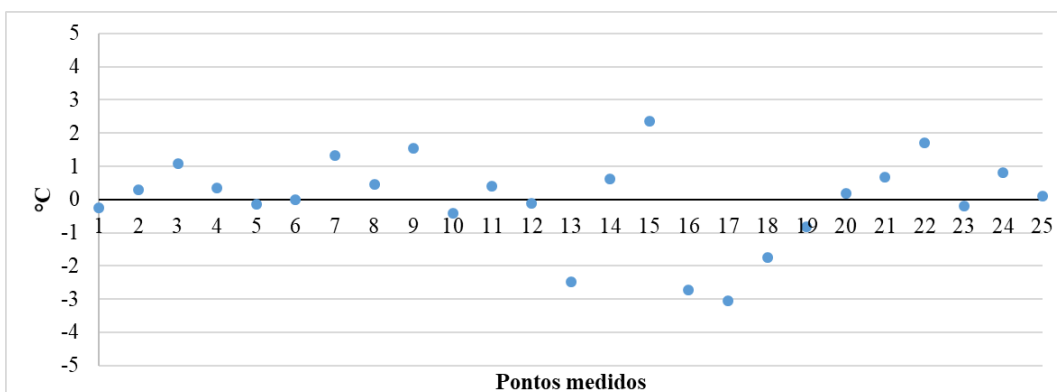
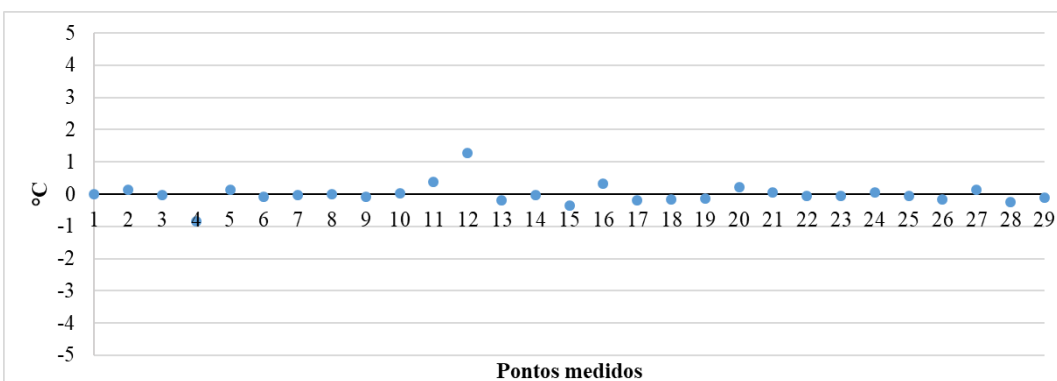
Observa-se que os modelos de Presidente Venceslau e Santo Anastácio assumiram desvios negativos e positivos, com diferenças oscilando no intervalo entre +5 e -5°C. No caso de Álvares Machado, a temperatura modelizada foi próxima à temperatura observada, com desvios que oscilaram até -1,5°C. De acordo com Ferreira (2014, p. 96), “o resíduo é útil como indicador de identidade de um ou mais lugares que não se ajustam ao modelo regional proposto pela reta de regressão. Se para a estatística o resíduo é ruído, para a análise geoespacial, ele é informação”. Essa ideia se confirma pelo fato de que alguns resíduos se repetem nos mesmos pontos, distanciando-se da reta em todos os monitoramentos, expressando uma singularidade frente ao conjunto dos dados. As variações de desvios puderam ser suavizadas por meio da reclassificação da legenda.

Prancha 66: Análise dos resíduos do modelo gerado para o dia 02/04/17

Gráfico A - Presidente Venceslau**Gráfico B - Santo Anastácio****Gráfico C - Álvares Machado**

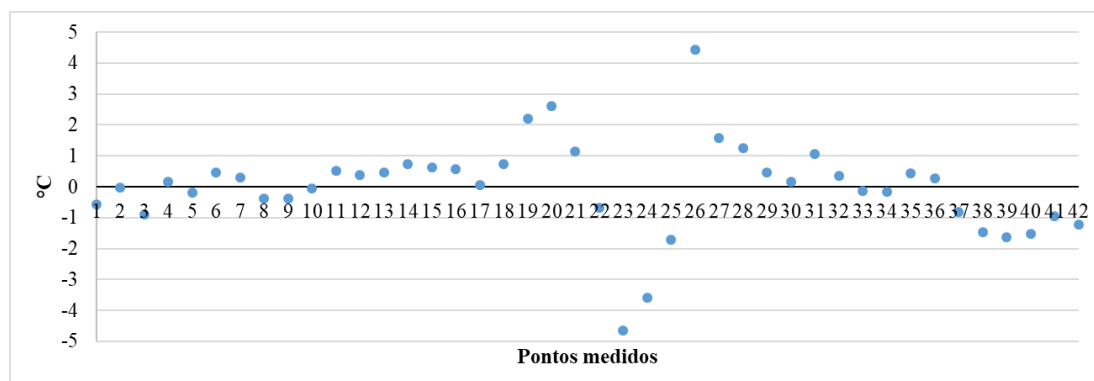
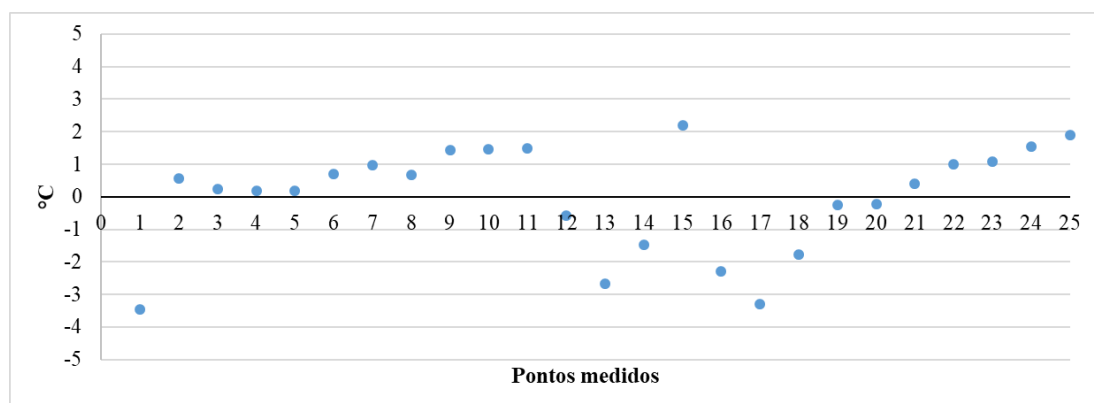
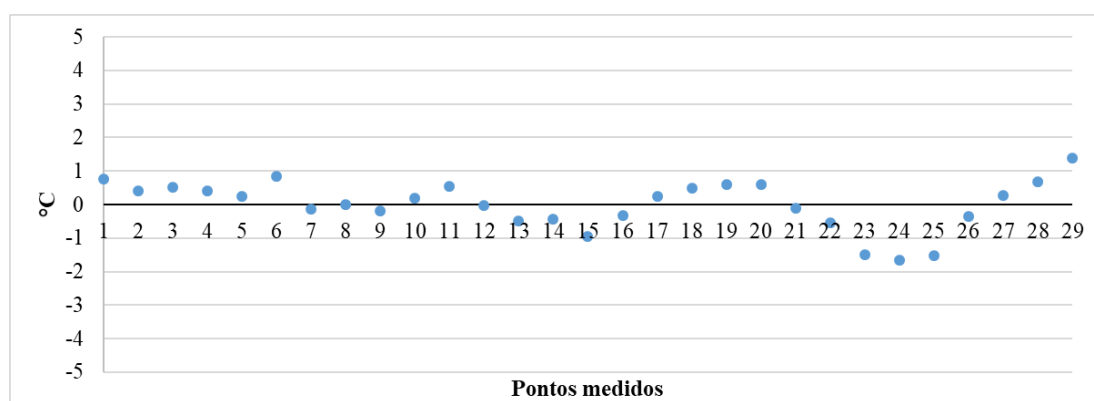
Fonte dos dados: Trabalho de campo (2017). Organização: Danielle F. Teixeira (2019).

Prancha 67: Análise dos resíduos do modelo gerado para o dia 11/06/17

Gráfico A - Presidente Venceslau**Gráfico B - Santo Anastácio****Gráfico C - Álvares Machado**

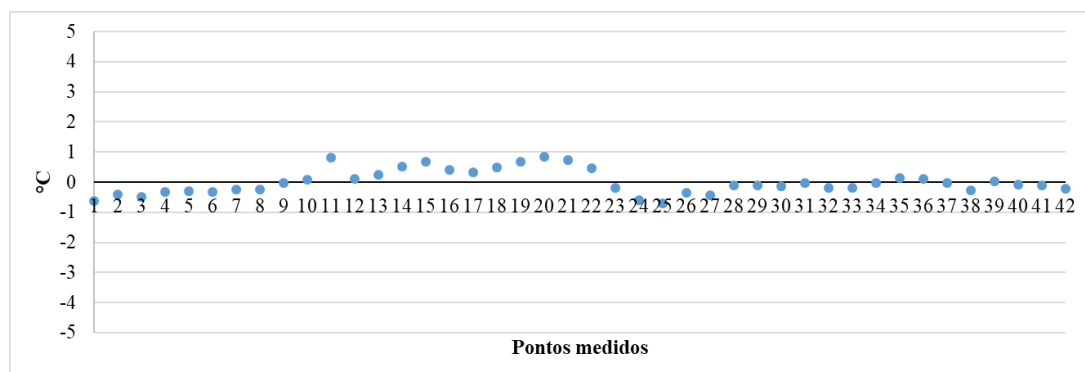
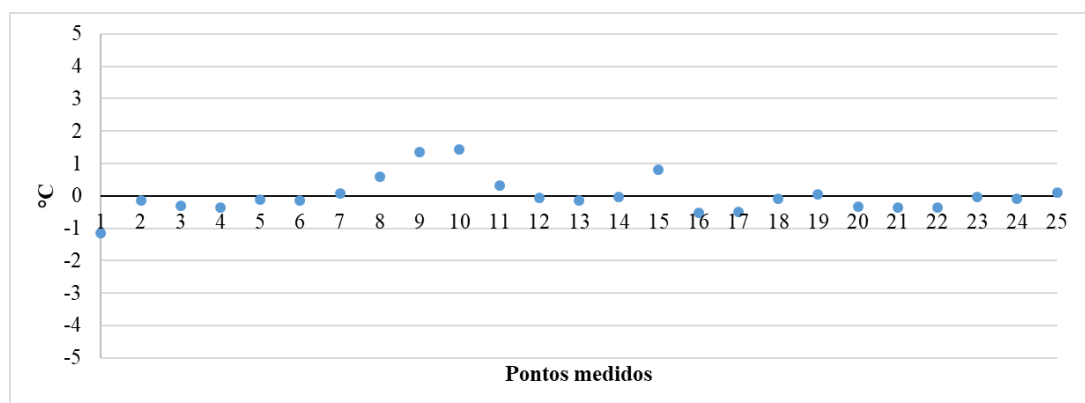
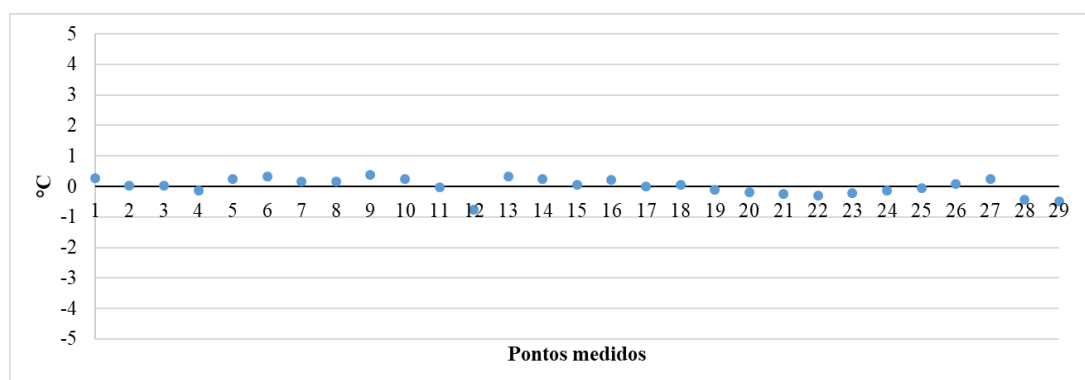
Fonte dos dados: Trabalho de campo (2017). Organização: Danielle F. Teixeira (2019).

Prancha 68: Análise dos resíduos do modelo gerado para o dia 15/09/17

Gráfico A - Presidente Venceslau**Gráfico B - Santo Anastácio****Gráfico C - Álvares Machado**

Fonte dos dados: Trabalho de campo (2017). Organização: Danielle F. Teixeira (2019).

Prancha 69: Análise dos resíduos do modelo gerado para o dia 04/12/17

Gráfico A - Presidente Venceslau**Gráfico B - Santo Anastácio****Gráfico C - Álvares Machado**

Fonte dos dados: Trabalho de campo (2017). Organização: Danielle F. Teixeira (2019).

9.4.4 Os modelos da intensidade da ilha de calor atmosférica: resultados

Adentrando ao refinamento episódico verificou-se que os sistemas atmosféricos e a precipitação influenciaram na determinação das características térmicas das três cidades. A distribuição da precipitação nos dias próximos à coleta dos dados foi um elemento importante para a análise, pois no período seco foram presenciadas as maiores intensidades da ilha de calor atmosférica. Neste cenário, as características urbanas sobressaíram, e determinaram maior intensidade da ICU às 21 horas. De forma oposta, os registros de precipitação próximos ao trabalho de campo produziram menores diferenças térmicas.

Tabela 2: Distribuição da precipitação nos 30 dias antecedentes à coleta dos dados

Transecto Precipitação (mm)	05 dias Antes	10 dias Antes	20 dias Antes	30 dias Antes
02/04/17	0	11,2	26,2	30
11/06/17	0	0,2	3,4	137
15/09/17	0	0	0	54,6
04/12/17	29,8	148,4	162,6	211,2

Fonte dos dados: INMET, estação automática Presidente Prudente (A 707).
Organização: Danielle C. Frasca Teixeira (2019).

Na Prancha 70 encontram-se os mapas gerados por modelagem para o dia 02 de abril. Neste dia, atuou a mTa que favoreceu ventos de até 3 m/s e direção predominante Leste, sem registro de precipitação nos 5 dias anteriores ao trabalho de campo. Às 21 horas a velocidade do vento era de 1,0 m/s, de orientação Leste. A intensidade da ICU atingiu 7°C, formando um único núcleo na área urbana de Presidente Venceslau. A temperatura diminuiu discretamente nas áreas periféricas e nos fundos de vale deste recorte. No extremo Norte a temperatura arrefeceu no percurso, informação que o modelo estimou com confiabilidade nos demais fundos de vale situados a Sudoeste e Sudeste da malha urbana. Portanto, comprovou-se o efeito do relevo na determinação dos padrões térmicos de Presidente Venceslau.

No caso dos modelos de estimação de Santo Anastácio, a densidade construtiva e o relevo demonstraram importância em modular os picos da ICU. Os fundos de vale foram áreas com temperaturas amenizadas, identificadas tanto no percurso do transecto como nas áreas descontínuas, informação que o modelo estimou com similaridade nos fundos de vale distantes das medições. Em 02 de abril, a intensidade presenciada em Santo Anastácio foi de 4°C, com três núcleos de distribuição da ICU sendo um no centro e outros dois a Norte e Nordeste da

malha urbana. As áreas periurbanas e rural limítrofes registraram menores diferenças térmicas, enquanto que as áreas mais frias foram os fundos de vale.

Os modelos de Álvares Machado confirmaram que não houve grande diferenciação intraurbana. No dia 02/04/17 predominou a intensidade de 2°C em toda a extensão da malha urbana que acompanha a extensão do topo.

Em 11 de junho (Prancha 71), no horário dos registros de temperatura os ventos estavam fracos, com velocidade de 0,6 m/s oriundos do Sudeste e não ocorreu precipitação nos dias antecedentes. O relevo potencializou os efeitos da mPa atuando como uma forçante para a diferenciação da temperatura intraurbana na relação esperada nos fundos de vale. Nessas condições de estabilidade atmosférica, nas áreas construídas, as maiores temperaturas foram observadas e o pico da ICU atingiu 8,5°C. Na coleta simultânea em Santo Anastácio, foi registrada a intensidade de 6,7°C distribuída uniformemente nos percursos. Os fundos de vale foram áreas de rompimento desse padrão, configurando como o “ponto 0” com a menor temperatura, comprovando o efeito do relevo na diminuição da temperatura. As áreas periurbanas foram áreas de transição, diminuindo a temperatura no sentido da periferia urbana. Simultaneamente, a área urbana de Álvares Machado caracterizou-se pelas diferenças térmicas de 3°C em relação ao rural e aos fundos de vale.

Caracterizando o período seco, em 15 de setembro⁶⁰ foram registradas as maiores magnitudes da ilha de calor nas cidades envolvidas neste estudo (Prancha 72). Neste episódio a região estava influenciada pela Tac, a umidade relativa do ar era de 35%, não houve precipitação nos 30 dias antecedentes à coleta dos dados. Os ventos tinham direção Nordeste. A ausência de precipitação e a baixa umidade relativa do ar influenciaram na maior intensidade térmica nos recortes, quando as áreas urbanas concentraram os bolsões mais aquecidos. A comparação desse resultado com os outros monitoramentos corrobora a relação do balanço de energia das superfícies urbanas e a influência da atmosfera, sobretudo da disponibilidade hídrica em modular o teor de aquecimento e resfriamento da superfície contribuindo para a alternância de regimes de temperaturas expressos pela intensidade das ilhas de calor (AMORIM, 2017).

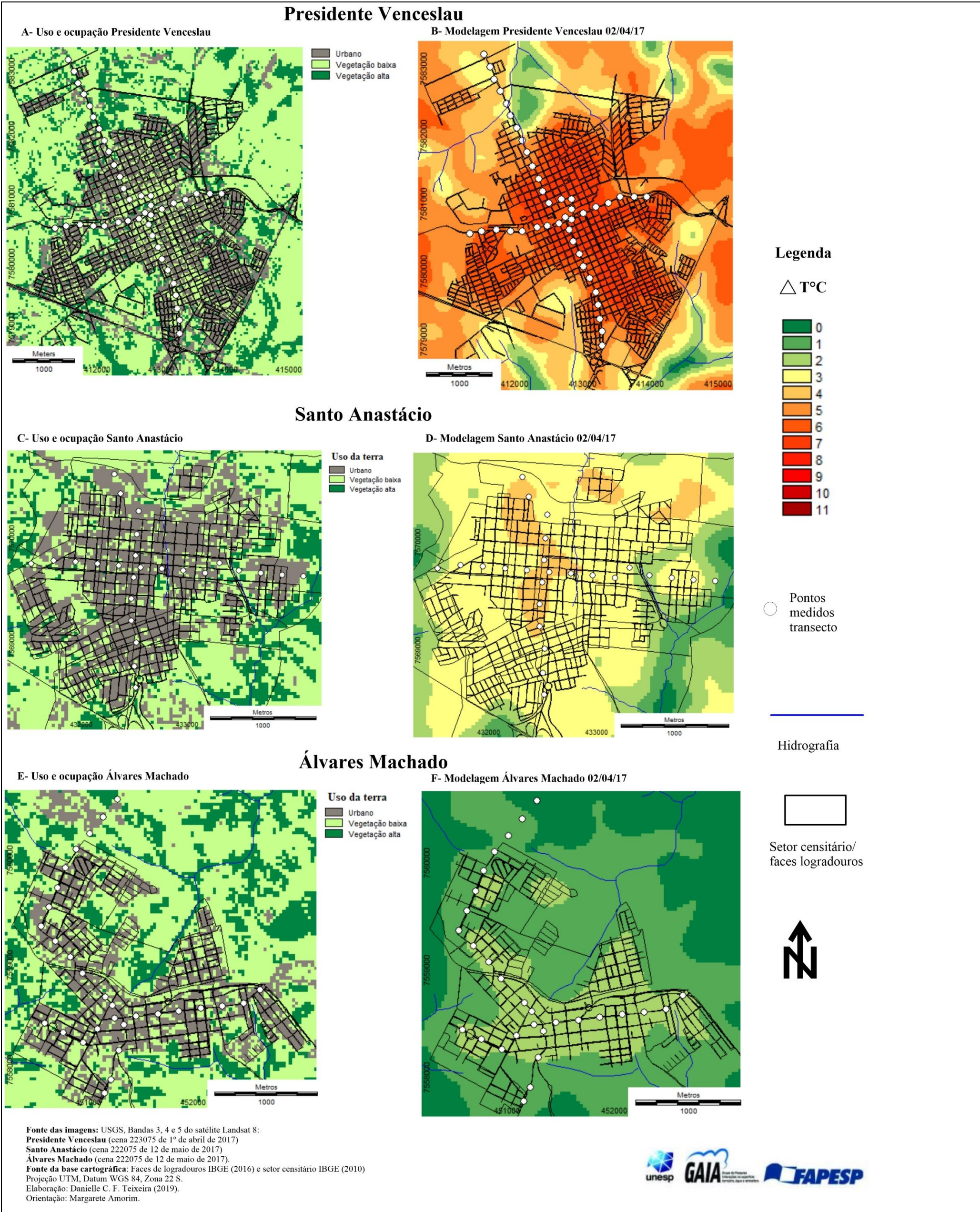
Representando o período chuvoso, os cinco dias antecedentes a 04 de dezembro (Prancha 73) registraram 29,8 mm de precipitação. No dia da coleta de dados a região Oeste paulista estava sob influência da massa Tac e caracterizava-se pela presença de nebulosidade no momento da aquisição dos dados primários, condições que extinguiram as influências das

⁶⁰ O mês de setembro não tem informação da velocidade do vento na estação do INMET, Presidente Prudente.

condicionantes geoambientais e urbana sobre a variação da temperatura do ar. As respostas térmicas das cidades foram de menores intensidades térmicas, compatível com a homogeneização entre áreas urbana e rural.

No caso da espacialização da intensidade média dos modelos multicriteriais (Prancha 74), observou-se a associação do uso da terra e das feições de relevo com a distribuição das intensidades térmicas. De fato, ocorreu um aquecimento favorável às áreas densamente construídas, enquanto que nas áreas de predomínio de vegetação e fundos de vale as temperaturas foram amenizadas. De modo geral, em Presidente Venceslau a intensidade média foi de 6°C, classificando-se como ilhas de magnitude forte. Em Santo Anastácio a magnitude foi moderada (3°C) e em Álvares Machado as ICUs caracterizaram-se pela fraca magnitude (2°C).

Prancha 70: Modelagem da intensidade da ilha de calor nas cidades do universo de análise, às 21 horas, 02/04/17



Álvares Machado

E- Uso e ocupação Álvares Machado

Uso da terra
Urbano
Vegetação baixa
Vegetação alta

F- Modelagem Álvares Machado 02/04/17

Legenda

$\Delta T^{\circ}\text{C}$

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

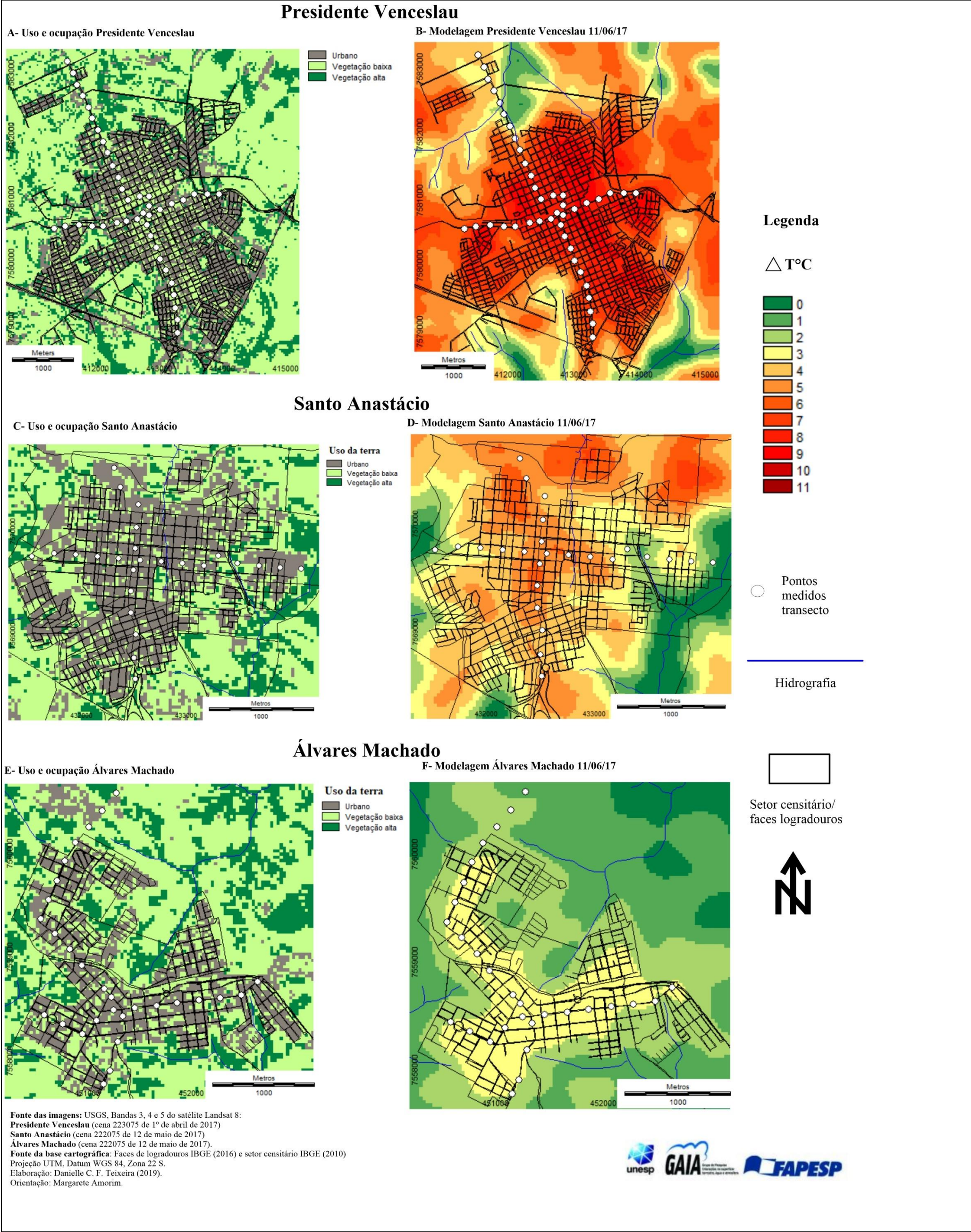
Pontos medidos transecto

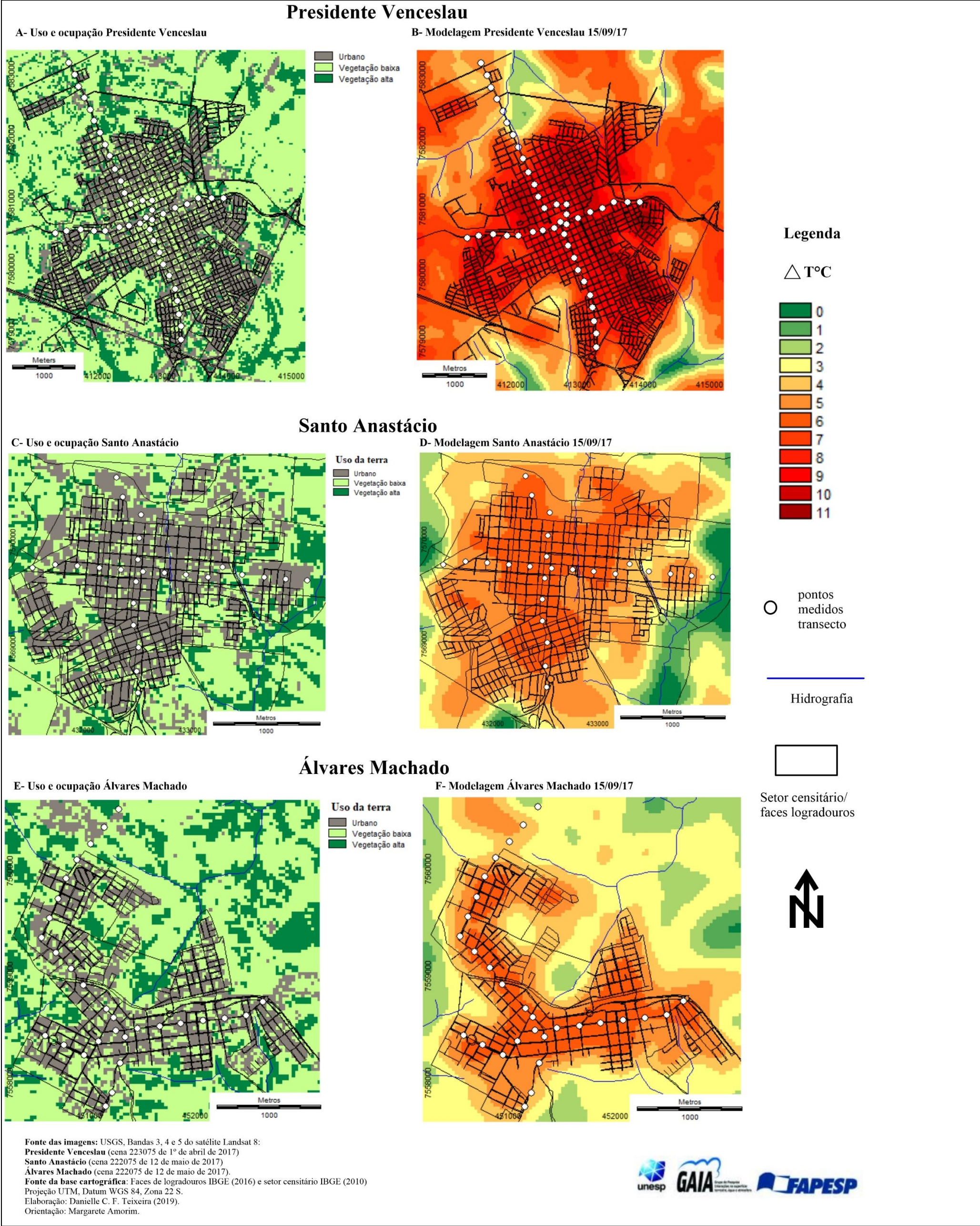
Hidrografia

Sector censitário/
faces logradouros

↑
N

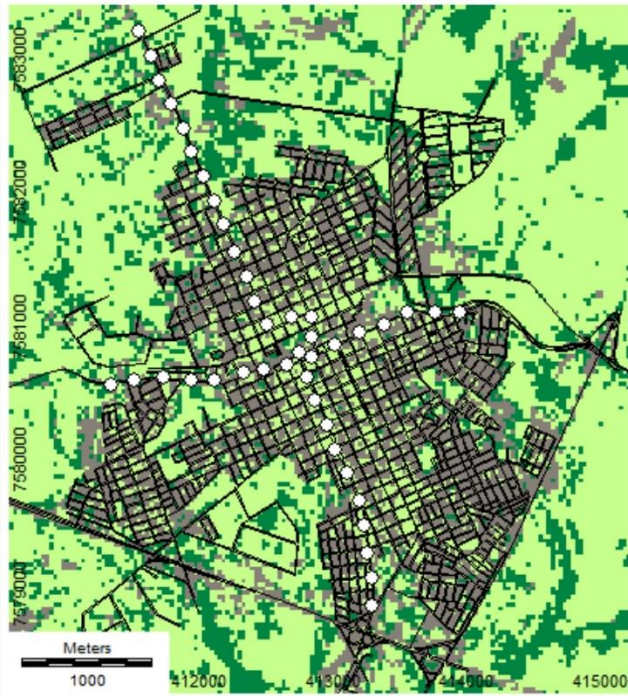
Fonte das imagens: USGS, Bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat 8:
Presidente Venceslau (cena 223075 de 1º de abril de 2017)
Santo Anastácio (cena 222075 de 12 de maio de 2017)
Álvares Machado (cena 222075 de 12 de maio de 2017).
Fonte da base cartográfica: Faces de logradouros IBGE (2016) e sector censitário IBGE (2010)
Projeção UTM, Datum WGS 84, Zona 22 S.
Elaboração: Danielle C. F. Teixeira (2019).
Orientação: Margarete Amorim.



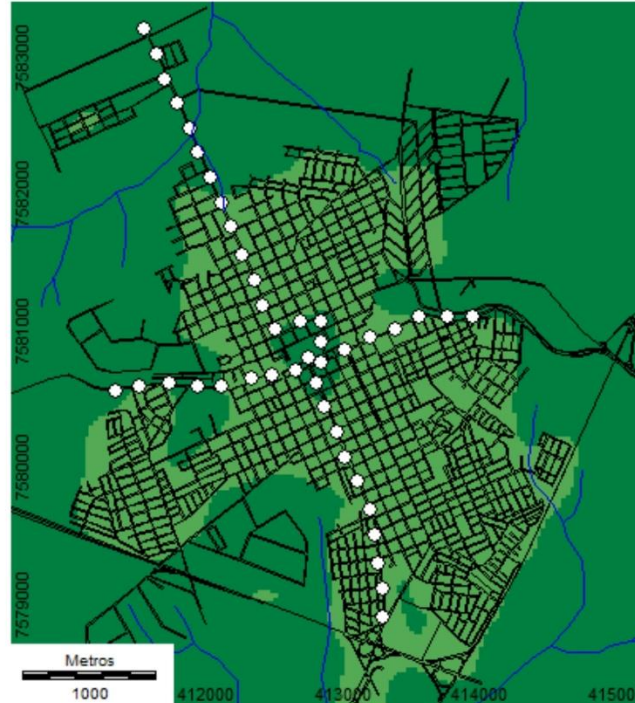


Presidente Venceslau

A- Uso e ocupação Presidente Venceslau

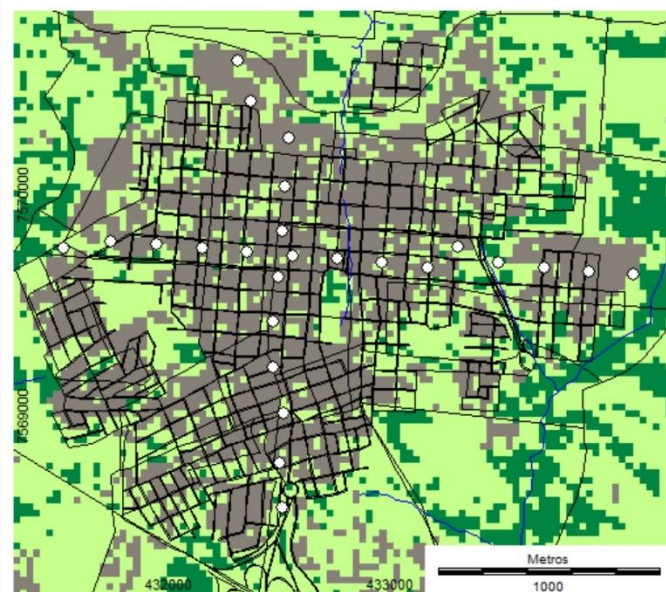


B- Modelagem Presidente Venceslau 04/12/17

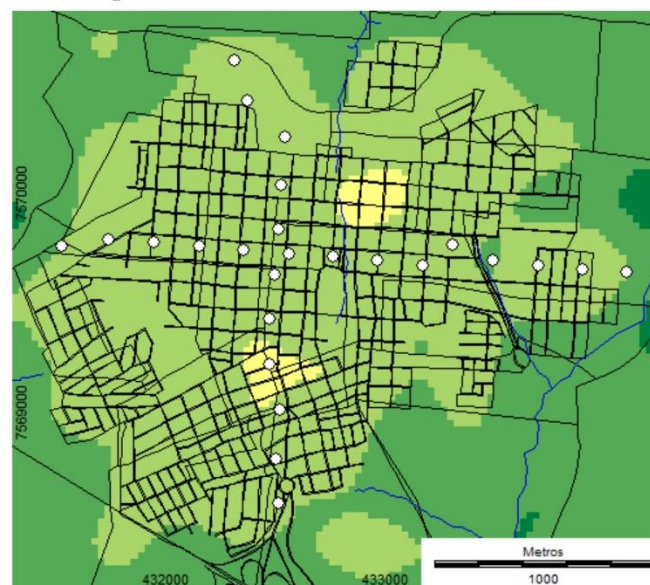


Santo Anastácio

C- Uso e ocupação Santo Anastácio

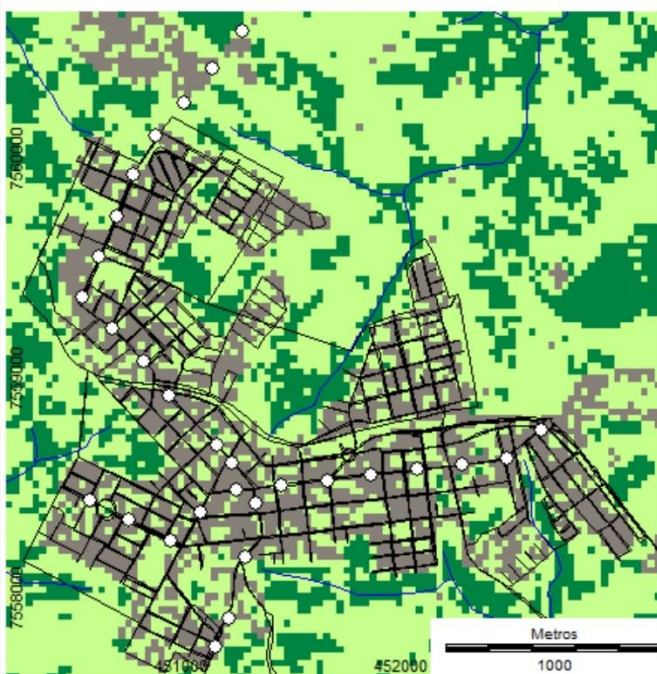


D- Modelagem Santo Anastácio 04/12/17

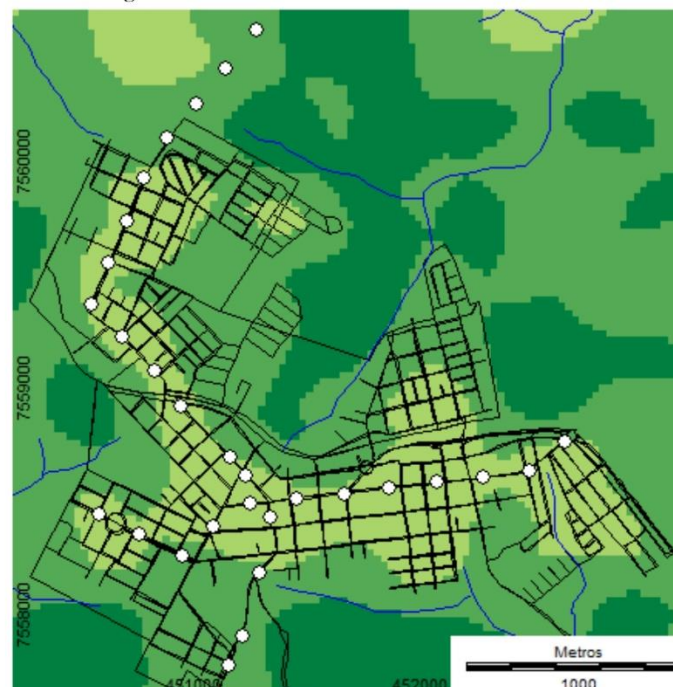


Álvares Machado

E- Uso e ocupação **Álvares Machado**



F- Modelagem Álvares Machado 04/12/17



Fonte das imagens: USGS, Bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat 8:

Fonte das imagens: USGS, Bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat
Presidente Venceslau (cena 223075 de 1º de abril de 2017)

Santo Anastácio (cena 222075 de 12 de maio de 2017)

Álvares Machado (cena 222075 de 12 de maio de 2017).

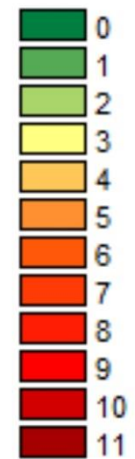
Fonte da base cartográfica: Faces de logradouros IBGE (2016) e setor censitário IBGE (2010)

Projeção UTM, Datum WGS 84, Zona 22 S.

Elaboração: Danielle C. F. Teixeira (2019).

Elaboração: Danielle C. F. Teixeira
Orientação: Margarete Amorim.

Legenda

 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 

○ Pontos medidos transecto

Hidrografia

Setor censitário/
faces logradouros





10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises da presente pesquisa, fundamentadas pelo conjunto de dados tratados no escopo teórico e metodológico do S. C. U, comprovaram a hipótese de que sob influência dos sistemas atmosféricos, as cidades apresentam respostas térmicas particulares explicadas por suas características geoambientais e urbanas que lhes conferem um clima específico.

Os resultados corroboram a existência de ilhas de calor (atmosférica e superficial), cuja forma, intensidade e magnitude dependem de vários fatores de derivações naturais e antropogênicas.

Assinala-se que as características urbanas expressas pelo uso da terra confirmam que as áreas densamente construídas e desprovidas de vegetação são mais aquecidas do que o seu entorno. Diferenças térmicas intraurbanas determinaram-se em função do tamanho dos terrenos, da maior ou menor impermeabilização da superfície, da presença da vegetação, entre outras questões vinculadas à estruturação do espaço urbano.

A prevalência e potencialização das ICU se deram em conformidade com os sistemas atmosféricos atuantes, bem como pelo caráter transicional da intensidade térmica regulada pela disponibilidade hídrica no ambiente tropical continental.

A maior intensidade da ICU atmosférica nas três cidades foi diurna e no período seco (inverno) na análise dos pontos fixos, registrando 6,8°C em Santo Anastácio (ponto 3, mês julho, 16h) e 6,9°C em Álvares Machado (ponto 3, mês junho, 09h). Presidente Venceslau teve a maior intensidade em dezembro (9,5°C, ponto 2, 15h), e, nesse caso, relaciona-se à capacidade de absorção de energia diurna pelo ponto representativo em comparação com o rural (AMORIM, 2013).

A influência geoambiental no esquema de distribuição das intensidades térmicas ocorreu pela orientação das vertentes nos pontos fixos, pois aqueles localizados no quadrante Norte foram mais aquecidos do que os voltados ao Sul, que se aqueceram no período da tarde. Aqueles voltados para o Leste se aqueceram mais no período da manhã e os direcionados para Oeste permaneceram mais aquecidos no período próximo ao pôr do sol.

Abordando ainda os resultados atingidos pelos pontos fixos, em Presidente Venceslau houve um padrão da ICU de fraca magnitude, permanecendo ativa em todos os períodos do dia nos meses de março, abril e maio. As ICUs noturnas passaram a apresentar maior intensidade, atingindo a magnitude moderada nos meses de junho, julho, agosto, setembro, período marcado pela diminuição na precipitação. Os meses de outubro, novembro e dezembro registraram ICU

de duração noturna, classificadas como moderada a forte magnitude nos dias sem precipitação. Ilhas de frescor durante as manhãs, decorrentes do efeito sombra dos ambientes construídos, mas também noturnas, foram frequentes nos meses de novembro e dezembro. Infere-se a influência da sazonalidade para a manifestação das maiores magnitudes no período noturno nos meses de estiagem do inverno.

Em Santo Anastácio identificou-se a ICU no período noturno com maior duração e magnitude variando entre moderada, forte e muito forte. De fato, o pico da ICU foi diurno (período da tarde) e a intensidade teve relação com a ocorrência da precipitação, que, dependendo do sistema atmosférico, atenuou a força da ICU, mas não extinguiu a ocorrência. Ilhas de frescor foram frequentes no período da manhã, sugestivas da relação com o efeito sombra, diminuindo sua frequência em outubro, novembro e dezembro, o que indica o caráter transicional da estação do ano (primavera).

No caso de Álvares Machado, nos meses de março, abril e maio a ICU de fraca magnitude persistiu nos períodos da manhã e da noite. O pico foi registrado no período da tarde atingindo magnitudes forte e muito forte. Esses meses foram marcados pela inexistência das ilhas de frescor. Em junho, julho, agosto e setembro, que não registraram precipitação, foram constatadas ilhas de frescor noturnas e matutinas, sendo essas últimas em associação com o efeito sombra. Às 15 horas, o pico das ICUs foi verificado com magnitudes moderadas e alguns episódios de muito forte magnitude.

Em outubro e novembro a ICU de fraca magnitude permaneceu ativa tanto no período noturno como no diurno. As ICUs moderadas manifestaram-se durante as tardes e estenderam-se pelas noites. As ilhas frias foram mais frequentes nos meses sem precipitação (junho, julho, agosto e setembro) ou constatadas nos episódios regidos pelos sistemas úmidos associados a maiores volumes de precipitação.

Referindo-se aos transectos móveis, o perfil clássico da ilha de calor noturna revelou-se pelo aquecimento em favor das áreas densamente construídas e no centro das urbes Presidente Venceslau e Santo Anastácio, onde se presenciaram inversões térmicas de fundo de vale. Nestas, as intensidades térmicas foram maiores (forte e muito forte magnitude) pela influência do relevo, sobretudo, no episódio de atuação da mPa, em concordância com os resultados encontrados no estudo de Ortiz-Porangaba (2015) através dos transectos móveis.

Álvares Machado apresentou as menores intensidades da ICU nas mensurações móveis. Maiores diferenciações entre a área urbana e rural contígua ocorreram em dias representativos

do período seco. Neste recorte o relevo não interferiu na resposta térmica, mas a força dos ventos exerceu influência nos padrões térmicos.

Por meio da modelagem multicritérios demonstrou-se estatisticamente que os modelos de regressão atingiram a significância para a associação das classes de uso da terra e do relevo com a temperatura do ar. Pelo procedimento foi possível mensurar a influência das variáveis explicativas nos diferentes tipos de tempo baseando-se nos coeficientes de determinação (r^2) global e nos testes de significância.

Para os recortes de Presidente Venceslau e Álvares Machado houve maior intensidade de associação pelos coeficientes globais de correlação e de determinação alcançados que foram próximos a 1. Nos testes de significância aplicados a esses recortes, o modelo linear explica a dependência de y (*variável resposta*) em relação às variáveis x (*explicativas ou preditoras*) adotadas.

Os modelos confirmaram que as maiores intensidades da ICU foram encontradas em Presidente Venceslau tanto nas áreas periféricas como centrais da malha urbana, distribuindo-se uniformemente nos topos, áreas que coincidem com grande densidade construtiva, onde os efeitos da urbanização favoreceram as maiores temperaturas, mas o relevo interfere na resposta térmica em função dos fundos de vale.

Em Santo Anastácio, os modelos foram pouco explicativos da variabilidade da temperatura do ar em virtude dos baixos coeficientes de correlação e determinação (próximos a zero). A significância entre os termos e a temperatura também não atingiu o intervalo de confiança em alguns casos. Esses resultados sugerem que, para este recorte territorial, a dependência entre as variáveis (x e y) pode não ser linear ou que as variáveis adotadas podem não se aproximar da realidade. Apesar disso, existe uma confiança na espacialização dos modelos que é sustentada pelos outros tratamentos executados na tese, como na interpolação. Em Santo Anastácio existiu um aquecimento favorável ao centro da malha urbana, enquanto as áreas da periferia registraram menores intensidades térmicas. A distribuição da temperatura foi também regulada pelas feições do relevo.

Com relação à cidade de Álvares Machado, observou-se pelos coeficientes de correlação e determinação que o modelo de regressão linear explica a previsão da temperatura do ar com significância, que não foi verificada em todos os episódios, mas os resíduos demonstram desvios com poucas diferenças (negativa ou positiva) entre as temperaturas observadas e as temperaturas estimadas, confirmando a adequação do modelo.

Neste recorte, o relevo não explica a variabilidade da temperatura pela discreta variação altimétrica no transecto e por isso não se percebeu a associação da temperatura do ar com o relevo. Contrariamente ao observado nas demais cidades, a informação da distância geométrica do centro agregou qualidade à espacialização. Supõe-se que neste recorte, o desenho urbano favoreceu a adoção da variável, pois os pontos da amostragem distanciaram-se suficientemente do centro.

Para a cidade de Álvares Machado o modelo relacionou as áreas de maior intensidade térmica com as áreas construídas e as áreas providas de vegetação e de fundos de vale como áreas de menores temperaturas. As intensidades verificadas classificam as ilhas de calor como fraca magnitude. A exceção ocorreu no dia 15/09/17, quando foi detectada a ICU de magnitude forte em período seco.

No caso da intensidade da temperatura dos alvos, a função moduladora das chuvas nas diferenças térmicas superficiais atesta que a ocorrência da precipitação no período próximo à captura da imagem pelo sensor favorece a diferenciação entre as áreas comparadas, urbana e rural. As maiores diferenças térmicas foram presenciadas no período seco tanto na área rural adjacente como na área urbana das localidades. Nesse sentido, esta pesquisa apresentou padrões semelhantes aos exibidos nas cidades de pequeno e médio porte do Estado paulista (AMORIM, 2017; MOREIRA, 2016; UGEDA JUNIOR, 2011; ORTIZ-PORANGABA, 2015), porém as intensidades da temperatura dos alvos foram peculiares em cada cidade.

Conhecendo-se que a relação entre a cidade e clima produz anomalias térmicas também em cidades de pequeno porte, e tendo em vista que o clima é indicador de qualidade do ambiente com reflexos direto na qualidade de vida das pessoas (ANDRADE, 2005), medidas de planejamento e intervenção no espaço urbano podem contribuir para a amenização das implicações da ICU que influenciam no conforto térmico.

Monteiro (2018) destaca que a incorporação do conhecimento em climatologia, através das variáveis climáticas locais e ações concretas, tem sido retomada em várias regiões do mundo para a incrementar o planejamento resiliente ao desconforto térmico. Envolvem estratégias de ação em curto, médio e longo prazo e que implicam na alteração de um paradigma vigente. Essas práticas envolvem complexidades que contestam a lógica de produção do espaço urbano e o desconhecimento individual/coletivo na compreensão de que na escala local o clima é alterado e isso pode afetar a vida das pessoas pois existem enfermidades desencadeadas ou agravadas pela exposição ao desconforto térmico (AMORIM, 2010; 2012).

Desse modo, é possível apreender que tais práticas culminam no ordenamento territorial, sendo de competência do poder público o controle no uso da terra pela regulação dos gabaritos construtivos, a exigência pela manutenção das áreas permeáveis nos lotes residenciais e, sobretudo, consiste em evitar a densificação das construções especialmente nos novos loteamentos (UGEDA JÚNIOR, 2012).

É preciso pensar a harmonização entre as características geoambientais (relevo, declive, orientação) e os projetos arquitetônicos de forma que as edificações sejam construídas com vistas ao conforto térmico.

Em nível do microclima, os materiais construtivos convencionalmente empregados no ambiente tropical armazenam o calor, exigindo adaptação climática dos ambientes internos e, conseqüentemente, conduzem ao maior consumo energético. Salienta-se que o acesso a essas tecnologias de climatização interna não é amplo à população e que, portanto, constitui uma forma de adaptação seletiva.

Gartland (2010) destaca algumas medidas para mitigação das ilhas de calor. Apesar do trabalho ser voltado para o ambiente temperado, para a autora algumas medidas podem ser adaptadas ao clima mais quente. Como exemplos, os pavimentos asfálticos podem ser resfriados pela agregação de pigmentos claros e aumentando-se a porosidade do material por onde a água possa infiltrar e esfriar a superfície. Quanto às coberturas, as telhas cerâmicas se mostram mais frescas do que as telhas de cimento e as coberturas metálicas, vastamente empregadas no setor comercial e industrial.

Outro elemento omitido na estruturação dos espaços urbanos, a vegetação nas cidades do estudo está restrita a poucas áreas e o seu incremento é estratégico porque a vegetação transforma o calor em vapor d'água sem transferência para o ambiente. Para além do conforto térmico, os benefícios da vegetação associam-se a elementos subjetivos ligados à satisfação dos indivíduos (NUCCI, 2008).

Considera-se, por fim, que esta tese respondeu ao questionamento inicial comprovando a estreita relação entre a urbanização e a formação do clima urbano expresso por anomalias térmicas que se manifestam desigualmente nos seus respectivos espaços intraurbanos e entre urbes. A apropriação e aplicação desse diagnóstico por parte do poder público é elementar para a estruturação de cidades mais resistentes ao desconforto térmico.

REFERÊNCIAS

- ABREU, D. S. **Formação histórica de uma cidade pioneira paulista**: Presidente Prudente. Presidente Prudente: Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 1972.
- ALCOFORADO, M. J.; LOPES, A.; ALVES, E. D.; CANÁRIO, P. Lisbon heat island. Estatistical study. **Finisterra**, Lisboa, n. 98, p. 61-80, 2014.
- ALMUTAIRI, M. K. Derivation of urban heat island for Landsat 8 TIRS Riyadh City (KSA). **Journal of Geoscience and Environment Protection**, n. 3, p. 18-23, 2015.
- AMORIM, M. C. de C. T. A produção do clima urbano em ambiente tropical: o exemplo de Presidente Prudente (SP). **Revista GeoNorte**, v. 2, p. 52-64, 2012a.
- AMORIM, M. C. de C. T. Aspectos conceituais e práticos da pesquisa em clima urbano. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (org.). **Concepções e ensaios da climatologia geográfica**. Dourados: UFGD, 2012b. *E-book*. p. 61-82.
- AMORIM, M. C. de C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, p. 71-90, dez. 2010. Número especial.
- AMORIM, M. C. de C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP): episódios de inverno. **Geosul**, Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.
- AMORIM, M. C. de C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- AMORIM, M. C. de C. T. O sensoriamento remoto no diagnóstico das ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical/Brasil. **Finisterra**, Lisboa, v. 52, p. 111-133, 2017b.
- AMORIM, M. C. de C. T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, n. 9, p. 10-16, 2018.
- AMORIM, M. C. de C. T. **Teoria e método para estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 2017. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017a.
- AMORIM, M. C. de C. T.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. **Climate**, v. 5, p. 91-104, 2017.
- AMORIM, M. C. de C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, 2015.

AMORIM, M. C. de C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT'ANNA NETO, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, Paris, v. 7, p. 1-16, 2009.

AMORIM, M. C. de C. T.; MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins**, Paris, v. 13, p. 1-18, 2011.

ANDERSON, P. S. (coord.). **Princípios de cartografia básica**. [S. l.: s. n.], 1982. (Princípios de cartografia, v. 1). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3344668/mod_resource/content/1/ANDERSON%20P.%20Princ%C3%ADpios%20de%20Cartografia%20B%C3%A1sica.pdf. Acesso em: 02 nov. 2018.

ANDRADE, H. O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, Lisboa, v. 40, n. 80, p. 67-91, 2005.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, n. 23, p. 1-26, 2003.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

BRANDÃO, A. M. de P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. 1996. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BRANDÃO, A. M. de P. M. O clima urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2009. p. 121-153.

CARRERAS, C.; MARIN, M.; MARTIN VIDE, J. MORENO, M. del C.; SABÍ, J. Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la *isla de calor* en Barcelona. **Documents d'Anàlisi Geogràfica**, Barcelona, n. 17, p. 51-77, 1990.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de convergência do atlântico sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 6, p. 95-109.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 9, p. 135-146.

CHANDLER, T. **The climate of London**. London: Hutchison of London, 1965.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P. X.; YIN, Z. Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, n. 106, p. 133-146, 2006.

CHUDNOVSKY, A.; BEN-DOR, E.; SAARONI, H. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 11, p. 1063-1074, 2004.

CORREA, R. L. Sobre agentes sociais, escala e produção do espaço: um texto para discussão. *In*: CARLOS, A. F. A.; SOUZA, M. L.; SPOSITO, M. E. B. **A produção do espaço urbano: agentes e processos, escalas e desafios**. São Paulo: Contexto, 2011. p. 41-51.

CRUZ, G. C. F. **Clima urbano de Ponta Grossa – PR**: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira. 2009. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Banco de dados hidrológicos**. São Paulo: Portal do Departamento de Águas e Energia Elétrica, [2018]. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/> Acesso em: 16 out. 2018.

DIAS, M. A. S.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos convectivos de Mesoescala na América do Sul. *In*: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 181-194.

DORIGON, L. P. **Clima urbano em Paranavaí/PR**: análise do espaço intraurbano. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

DOYLE, D.; HAWKINS, T. Assessing a Small Summer Urban Heat Island in Rural South Central Pennsylvania. **The Geographical Bulletin**, v. 50, p. 1-10, 2008.

DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU_RMC)**. 2007. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). Centro Nacional de Pesquisa de solos, **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. La influencia de la ciudad sobre las precipitaciones: el caso de Madrid. **Estudios Geográficos**, Madrid, 1990.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada**: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Síntesis, 1996.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. São Paulo: Ed. UNESP, 2014.

FIALHO, E. S. Estudos climáticos em sítios urbanos e rurais. *In*: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (org.). **Concepções e ensaios da climatologia geográfica**. Dourados: UFGD, 2012. *E-book*. p. 83-114.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte**: caso de Viçosa, na zona da mata mineira. 2009. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique**: application à l'agglomération rennaise. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Université Rennes 2 Haute-Bretagne, Rennes, 2015.

FOISSARD, X.; QUENOL, H.; DUBREUIL, V. Analyse et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération rennaise. In: COLLOQUE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE, 26., 2013, Bénin. **Actes [...]**. Cotonou: [s. n.], 2013. p. 242-247.

FUNDAÇÃO SEADE. **[Regiões administrativas do Estado de São Paulo]**. São Paulo: SEADE, 2017. Portal de estatísticas do estado de São Paulo. Disponível em: <http://produtos.seade.gov.br/produtos/divpolitica/index.php?page=tabela&action=load&nivel=10>. Acesso em: 04 maio 2017.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficinas de Textos, 2010.

GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira**: análise do clima urbano em Ubatuba-SP. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

HUANG, F.; ZHAN, W.; VOOGT, J.; HU, L.; WANG, Z.; QUAN, J.; JU, W.; GUO, Z. Temporal upscaling of surface urban heat island by incorporating an annual temperature cycle model: a tale of two cities. **Remote Sensing of Environment**, v. 186, p. 1-12, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **[Malha de setores censitários e faces de logradouros]**. [2017]. Bases cartográficas das cidades do estudo. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: 19 jul. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Álvares Machado**. [2017]. Censo demográfico 2010. Sinopse. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/alvares-machado/panorama>. Acesso em: 27 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Presidente Venceslau**. [2017]. Censo demográfico 2010. Sinopse. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-venceslau/panorama>. Acesso em: 27 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Santo Anastácio**. [2017]. Censo demográfico 2010. Sinopse. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santo-anastacio/panorama>. Acesso em: 27 abr. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). [Rede de estações automáticas]. [2018]. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTcwNw==. Acesso em: 09 jun. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Álvares Machado, São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 2017. Banco de dados geomorfométricos. Imagem SRTM Topodata. Quadrícula 22S525. Lat. -22°07'82"S, Long. -51°47'41"W. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 15 maio 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Presidente Venceslau, São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 2017. Banco de dados geomorfométricos. Imagem SRTM Topodata. Quadrícula 21S525. Lat. -21°87'44"S, Long. -51°84'83.17"W. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 15 maio 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Santo Anastácio, São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 2017. Banco de dados geomorfométricos. Imagem SRTM Topodata. Quadrículas 21S525, 22S525. Lat. -21°97'50"S, Long. -51°65'31"W. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 15 maio 2017.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo. *et al.* São José dos Campos: Parênteses, 2009.

KIMUKU, C. W.; NGIGI, M. Study of Urban Heat Island Trends to Aid in Urban Planning in Nakuru County-Kenya. **Journal of Geographic Information System**, v. 9, p. 309-325, 2017.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Ed. UNESP, 1998.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academics, 1981.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LEIVA, S. R. Islas frías urbanas en la ciudad de Santiago. **Boletín Electrónico de Geografía**, Santiago, n. 2, p. 32-44, 2014.

LIRA, S. A. **Análise de correlação**: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

LONG, N.; GARDES, T.; HIDALGO, J.; MASSON, V.; SCHOETTER, R. Influence of the urban morphology on the urban heat island intensity: an approach based on the Local Climate

Zone classification. **PeerJ Preprints**, v. 6, e27208v1, 2018. Disponível em: <https://peerj.com/preprints/27208/>. Acesso em: 03 jun. 2019.

LÓPEZ GÓMEZ, A. L.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; ARROYO ILERA, F. **Teledetección y clima urbano**: variaciones nocturnas y diurnas de la isla de calor en Madrid. Madrid: Instituto de Economía y Geografía, 1995.

LUCENA, A. J. de. Notas conceituais e metodológicas em clima urbano e ilhas de calor. **Revista Continentes**, Rio de Janeiro, ano 2, n. 2, p. 28-59, 2013.

MAIS uma vez. Intérprete: Renato Russo. Compositores: Flávio Venturini e Renato Russo. In: PRESENTE. Intérprete: Renato Russo. [S.l]: EMI, 2003. 1 CD, faixa 1 (3 min 58 seg).

MARTONNE, E. de. **Traité de géographie physique**. 2. éd. Paris: Armand Colin, 1951.

MELAZZO, E. S.; CASTRO, C. A. A escala geográfica: noção, conceito ou teoria? **Revista Terra Livre**, ano 23, v. 2, n. 29, p. 133-144, ago./dez. 2007.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno**: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/ PR. 1994. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. A. O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo-higrométrico. In: MENDONÇA, F. A.; MONTEIRO, C. A. de F. (org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 93-119.

MENDONÇA, F. A. O estudo do SCU - Sistema Clima Urbano - no Brasil: aplicações e avanços. In: MONTEIRO, C. A. de F. (org.). **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015. p. 155-165.

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. 67. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, F. A.; MONTEIRO, C. A. de F. (org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MENDONÇA, M. **A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis/SC**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MINAKI, C. **O clima urbano como indicador de qualidade ambiental**: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

MONTEIRO, A. **O clima urbano do Porto**: contribuição para a definição das estratégias de planejamento e ordenamento do território. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian: Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, 1997.

- MONTEIRO, C. A. de F. **A frente polar Atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil**: contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil. São Paulo: USP/IG, 1969.
- MONTEIRO, C. A. de F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, Florianópolis, ano 5, n. 9, p. 80-114, 1990.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: IGEOG/USP, 1971.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.
- MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e Clima Urbano: um projeto e seus caminhos. In: MENDONÇA, F. A.; MONTEIRO, C. A. de F. (org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-67.
- MOREIRA, J. L. **O clima urbano em Penápolis (SP)**: análise da temperatura e umidade intraurbana. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.
- MORIZE, H. **Contribuição ao estudo do clima no Brasil**. Rio de Janeiro: Typographia do Serviço de Informações do Ministério da Agricultura, 1927.
- MOSER, A.; UHL, E.; ROTZER, T.; BIBER, P.; DAHLHAUSEN, J.; LEFER, B.; PRETZSCH, H. Effects of Climate and the Urban Heat Island Effect on Urban Tree Growth in Houston. **Open Journal of Forestry**, v. 7, p. 428-445, 2017.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.
- NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). 2. ed. Curitiba: Ed. do Autor, 2008. Disponível em: <https://tgpusp.files.wordpress.com/2018/05/qualidade-ambiental-e-adensamento-urbano-nucci-2008.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2019.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2nd ed. London: Methuen; New York: John Wiley & Sons, 1987.
- OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. Geneva: World Meteorological Organization, 2006. (Instruments and Observing Methods. Report n. 81). Disponível em: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1250.pdf. Acesso em: 12 fev. 2017.
- OKE, T. R. Siting and exposure of meteorological Instruments at urban sites. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING ON AIR POLLUTION MODELLING AND ITS APPLICATION, 27., 2004, Banff. **Proceedings [...]**. [Banff]: NATO/CCMS, 2004. p. 1-14. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225881560_Siting_and_Exposure_of_Meteorological_Instruments_at_Urban_Sites Acesso em: 10 mar. 2016.

ORTIZ-PORANGABA, G. F. **O clima urbano das cidades do interior do estado de São Paulo**: uma análise do campo térmico de Assis, Cândido Mota, Maracá e Tarumã. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

ORTIZ-PORANGABA, G. F.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. de C. T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 225-247, jul./dez. 2017.

PEIXOTO, A. **Clima e saúde**: introdução bio-geográfica à civilização brasileira. São Paulo: Cia. Ed. Nacional, 1938.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas**. 1997. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

QUININO, R. C.; REIS, E. A.; BESSEGATO, L. F. Coeficiente de determinação R^2 como instrumento didático para avaliar a utilidade de um modelo de regressão linear múltipla. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Estatística, 2011. Relatório técnico. Disponível em: http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/PD_28102011_Final.pdf. Acesso em: 16 out. 2018.

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y. C. L.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, n. 20, p. 120-128, 2008.

SACRAMENTO NETO, O. B. do; ESCOBAR, G. C. J.; SILVA, P. E. D. Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. In: CONGRESSO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais eletrônicos** [...]. Belém: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010. Disponível em: http://www.sbmec.org.br/cbmec2010/artigos/695_86757.pdf. Acesso em: 18 jul. 2018.

SAMPAIO, T. V. M. **Cartografia temática**. Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFPR, 2018. Disponível em: <http://www.prppg.ufpr.br/site/ppggeografia/wp-content/uploads/sites/71/2018/03/cartografia-temtica.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2019.

SANT'ANNA NETO, J.L. **Escalas geográficas do clima**: Mudança, variabilidade e Ritmo. In: AMORIM, M.C.C.T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A (orgs). Climatologia urbana e regional: Questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 75-91.

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima como risco, as cidades como sistemas vulneráveis, a saúde como promoção da vida. **Cadernos de Geografia**, Coimbra, n. 30/31, p. 215-228, 2012.

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8, n. 7, p. 45-60, jan./jun. 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L. Medir o tempo, ler, interpretar e sentir o clima: uma climatologia a serviço do entendimento das relações entre os homens e seus lugares, entre as sociedades e seus territórios. *In*: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S.; STEINKE, E. T. (org.). **Experimentos em climatologia geográfica**. Dourados: UFGD, 2014. p. 23-32.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na Zona Costeira Paulista**. 1990. (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2009.

SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (org). **Variabilidade e Mudanças Climáticas; implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: Eduem, 2000.

SANTOS, M. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. 3. ed. São Paulo: EDUSP, 2002.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. 12. ed. São Paulo: EDUSP, 2005.

SANTOS, M. **Espaço e sociedade**: ensaios. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1982.

SANTOS, M.; ELIAS, D. **Metamorfoses do espaço habitado**: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia. São Paulo: Hucitec, 1996.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas**: conceitos e fundamentos. Campinas: Ed. UNICAMP, 1999.

SORRE, M. **Les fondements biologiques de la Géographie Humaine**: essai d'une écologie de l'homme. Paris: Armand Colin, 1951.

SPOSITO, M. E. B. **O chão em Presidente Prudente**: a lógica da expansão territorial urbana. 1983. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1983.

STATHOPOULOU, M.; CARTALIS, C. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. **Solar Energy**, n. 81, p. 358-368, 2006.

STEINKE, E. T. **Climatologia fácil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

STEWART, I.; OKE, T. Classifying climate field sites by “local climate zones”: the case of Nagano, Japan. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 7., 2009, Yokohama. **Proceedings** [...]. [S. l.]: IAUC, 2009. Disponível em: http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1-090515165722-002.pdf. Acesso em: 19 jul. 2019.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de Rancharia (SP)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. de C. T. Modelagem espacial da temperatura do ar em cidade de pequeno porte: o exemplo de Presidente Venceslau - SP. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA*, 13., 2018, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018. p. 2158-2167.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. de C. T.; DUBREUIL, V. Modelagem da ilha de calor para cidade pequena (Rancharia-SP) a partir de imagens do satélite Landsat 7 e de medidas de temperatura do ar. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: INPE, 2015. p. 1-8.

UGEDA JUNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales/SP**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

UGEDA JUNIOR, J. C. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP. *In: AMORIM, M. C. de C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (org.). Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso*. São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 291-316.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. **World Urbanization Prospectus 2018**. [2019]. Population division. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Maps/>. Acesso em: 19 jul. 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Álvares Machado, São Paulo**. [Reston]: USGS, 2017. 1 imagem de satélite. Satélite Landsat 8, instrumento OLI TIRS. Ponto 222, órbita 075. Intervalo de tempo: de 12 maio 2017 a 19 out. 2017. Lat. -22°07'82"S, Long. -51°47'41"W. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 25 mar. 2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Presidente Venceslau, São Paulo**. [Reston]: USGS, 2017. 1 imagem de satélite. Satélite Landsat 8, instrumento OLI TIRS. Ponto 223, órbita 075. Intervalo de tempo: de 01 abr. 2017 a 10 out. 2017. Lat. -21°87'44"S, Long. -51°84'83.17"W. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 22 mar. 2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Santo Anastácio, São Paulo**. [Reston]: USGS, 2017. 1 imagem de satélite. Satélite Landsat 8, instrumento OLI TIRS. Ponto 222, órbita 075. Intervalo de tempo: de 12 maio 2017 a 19 out. 2017. Lat. -21°97'50"S, Long. -51°65'31"W. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 25 mar. 2018.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2. Recife: [s. n.], 2006.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003.

WALKER, J. J.; BEURS, K. M. de; HENEBRY, G. M. Land surface phenology along urban to rural gradients in the U.S. Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 165, p. 42-52, 2015.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, p. 1-10, 2009.

WETHERLEY, E. B.; McFADDEN, J. P.; ROBERTS, D. A. Megacity-scale analysis of urban vegetation temperatures. **Remote Sensing of Environment**, n. 213, p. 18-33, 2018.

ZAVATTINI, J. A. **Estudos do clima no Brasil**. Campinas: Alínea, 2004.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013.