



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

JANAÍNA LOPES MOREIRA

A large, light blue geometric graphic in the background, consisting of several triangles of varying sizes and shades of blue, arranged in a circular, fan-like pattern.

**O CLIMA URBANO EM PENÁPOLIS/SP: ANÁLISE DA
TEMPERATURA E UMIDADE INTRAURBANA**

Presidente Prudente – SP
2016



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

JANAÍNA LOPES MOREIRA

O CLIMA URBANO EM PENÁPOLIS/SP: ANÁLISE DA TEMPERATURA E UMIDADE INTRAURBANA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCT/UNESP, campus de Presidente Prudente, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Produção do espaço geográfico

Orientadora: Prof^a Dr^a Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Presidente Prudente – SP
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

M837c Moreira, Janaína Lopes.
O clima urbano em Penápolis/SP : análise da temperatura e umidade
intraurbana / Janaína Lopes Moreira. - Presidente Prudente : [s.n.], 2016
207 f.

Orientador: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências e Tecnologia
Inclui bibliografia

1. Geografia. 2. Climatologia geográfica. 3. Clima urbano. I. Amorim,
Margarete Cristiane de Costa Trindade. II. Universidade Estadual Paulista.
Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: O CLIMA URBANO EM PENÁPOLIS/SP: ANÁLISE DA
TEMPERATURA E UMIDADE INTRAURBANA**

AUTORA: JANAÍNA LOPES MOREIRA

ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em GEOGRAFIA, área:
PRODUÇÃO DO ESPAÇO GEOGRÁFICO pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM
Departamento de Geografia / FCT/UNESP/Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. JOSE TADEU GARCIA TOMMASELLI
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/UNESP

PROFESSOR DOUTOR MARIA ELISA ZANELLA
Departamento de Geografia / UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARA

Presidente Prudente, 07 de novembro de 2016

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Geraldo (*in memorian*), à minha mãe Nadir, à minha irmã Jaqueline e ao meu sobrinho Mateus.

AGRADECIMENTOS

Reconheço que este trabalho não foi feito sozinho, sua realização contou com a contribuição de muitas pessoas. Portanto, as palavras aqui escritas é um pequeno gesto, uma pequena tentativa de expressar o tamanho da minha gratidão a cada uma delas. Agradeço a todos que ajudaram de forma direta e indireta.

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por seu amor imensurável. “Porque o amor de Deus nos constrange” II Coríntios 5:11.

Sou muito grata a toda a minha família, especialmente minha mãe Nadir Moreira e irmã Jaqueline Moreira, que em todas as circunstâncias se fizeram presentes, apoiando-me, encorajando-me e fazendo-me acreditar na minha capacidade. O apoio e colo de vocês foram fundamentais para essa etapa. Obrigada por todo auxílio prestado nos trabalhos de campo, sem vocês esse trabalho não se tornaria realidade.

Agradeço a minha querida orientadora Profa. Dra. Margarete Amorim pelo seu auxílio e presença em todas as etapas dessa pesquisa. Sempre muito solícita compartilhou seu conhecimento comigo, me orientando a um amadurecimento pessoal e intelectual. Sou grata pela sua leitura atenta aos meus textos, sua crítica sempre educada e profissional. Enfim, agradeço pelo carinho e por acreditar nessa “pequena” pesquisadora.

Agradeço também ao Prof. Dr. Felipe Fernández García da Universidad Autónoma de Madrid, que me recebeu, orientou, trocou conhecimentos e sempre foi muito gentil e hospitaleiro durante meu estágio na Espanha.

Meus agradecimentos ao Prof. Dr. Tadeu Tommaselli pela leitura atenta e participação no exame de qualificação e na defesa. Agradeço também a Prof.^a Dra. Maria Elisa Zanella por suas importantes contribuições e participação na banca de defesa.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro concedido aos processos nº 2014/05824-4 e nº 2015/19319-2, o que possibilitou a minha completa dedicação na realização dessa pesquisa e a realização do Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE).

Ao grupo dos primos (Gustavo, Heloísa, Rachel, Kura, Hair e Alininha), os quais acompanharam minhas alegrias e decepções e me proporcionaram risadas e momentos inesquecíveis. O apoio e companhia de vocês tornaram essa etapa mais feliz e alegre.

Agradeço a minha querida e amada amiga, companheira de grupo de pesquisa e quase irmã Renata Cardoso, que em todos os anos de graduação e mestrado me apoiou e incentivou incansavelmente. Seu apoio e palavras foram fundamentais para que eu não desistisse desse sonho chamado “mestrado”. Um agradecimento especial a sua paciência ao me ensinar à utilizar o ArcGis e o Idrisi. Agradeço a suas traduções, a suas críticas

sempre educadas e seus conselhos de pesquisa e de vida. Enfim, obrigada pelo companheirismo e amizade sincera. Meu carinho e admiração por você são gigantes!

Agradeço também aos meus colegas de grupo de pesquisa Gaia, sobretudo a Gislene Porangaba e a Larissa Dorigon, que sempre foram muito solícitas, trocando experiências, esclarecendo-me dúvidas e direcionando-me a análises mais adequadas. Agradecimento especial a Gislene que me prestou grande ajuda nos procedimentos envolvendo os pontos fixos e que esteve presente na banca de exame de qualificação, proporcionando o enriquecimento desse trabalho por meio de seus apontamentos. Sou grata também ao Washington Gomes, também companheiro de Gaia, que me auxiliou com as análises rítmicas.

Agradecimento ao grupo Margo's Girls, formado por Mariana Souza e Gabriela Calderon, as quais sempre se mostram amigas e prontas a me ajudar no que fosse preciso. Obrigada pelas conversas e trocas de experiências meninas!

Agradeço ao meu amado amigo Alessandro Donaire que chegou discretamente em minha vida em 2014 e hoje se faz fundamental com seu apoio e torcida sinceros. Obrigada por me fazer sentir tão querida e amada! Perdoa-me pelos “maus tratos” e irritações. Você é meu número, minha proposta, qualquer coisa, assim, fora da realidade. Meu carinho, respeito e admiração por você são enormes!

Agradeço a Luisa Durán pelas suas aulas de espanhol, traduções e correções de texto. Sua vontade e ambição em sempre ajudar são admiráveis. Meus sinceros e eternos agradecimentos. ¡Gracias Chica!

Não poderia deixar de agradecer a Jéssica Baldassarini que me ajudou com os procedimentos burocráticos da BEPE e alegrou meus dias com sua companhia em Madrid.

Sou grata também a Meire Michelin que me ensinou os procedimentos de padronização de legenda no ArcGis. Valeu Meire!

Quero agradecer também as pessoas que permitiram a instalação dos abrigos meteorológicos em suas residências.

À Prefeitura Municipal de Penápolis pelo apoio dado durante a pesquisa.

À Biblioteca Municipal de Penápolis e ao Museu Histórico e Pedagógico Fernão Dias Paes de Penápolis/SP de por ceder registros fotográficos.

Ao DAEP (Departamento de Água e Esgoto de Penápolis), principalmente aos funcionários Silvia e Clodoaldo, os quais gentilmente pararam suas atividades diárias e me auxiliaram com o envio dos dados e fotos. Muito Obrigada!

Meus sinceros agradecimento também a Tamae por toda sua paciência e competência com os assuntos relacionadas à pesquisa e a prestação de contas. Agradeço aos funcionários da Seção de Pós-Graduação, que sempre me atenderam com gentileza.

À FCT UNESP pelo apoio institucional.

RESUMO

A cidade se consolidou como local de moradia de grande parte da população mundial no século XX. Segundo a ONU, desde 1990, o mundo tem visto um incremento na concentração da população nas áreas urbanas. Esse aumento pode ser associado aos processos de urbanização mais recentes ocorridos em alguns países, tais como os localizados na América Latina e Caribe, que entre 1950 e 1990 viram suas populações urbanas crescerem de 40% para 70%. No Brasil, esse fenômeno se manifestou principalmente através da apropriação do campo pela produção capitalista, que gerou grande êxodo rural e rápido crescimento populacional nos centros urbanos. Fato que foi determinante para o agravamento das mazelas urbanas, e consequentemente, para as condições de vida e a atual configuração das cidades brasileiras. Dentre os problemas ambientais urbanos provenientes desse processo, destacam-se os referentes à atmosfera urbana, tais como o acúmulo de calor, poluição e inundações, que têm causado desconfortos e prejuízos à qualidade de vida dos cidadãos. Nesta perspectiva, o objetivo desse estudo foi detectar o fenômeno de ilha de calor em Penápolis/SP e suas magnitudes, considerando-se seus atributos geoambientais e geourbanos. A pesquisa teve como referência a teoria do Sistema Clima Urbano proposta por Monteiro (1976), com ênfase no que o autor denominou de subsistema termodinâmico. Os procedimentos metodológicos realizados se basearam na realização de transectos móveis, na instalação de dois pontos fixos e na utilização de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto. As imagens de satélite foram utilizadas para o mapeamento dos condicionantes geoambientais e geourbanos, tais como vegetação, relevo, temperatura de superfície e densidade de edificações. A escolha dos dois pontos fixos foi pautada em referencial bibliográfico, sendo que um desses pontos ficou localizado na área central da cidade, caracterizado por um elevado grau de edificações, e o outro na área rural do município, ambos com altitudes semelhantes. O monitoramento das variáveis climáticas (temperatura e umidade) também se realizou através de transectos móveis, o que implicou na realização de dois percursos (norte-sul/leste-oeste). As coletas foram efetuadas em dias com condições atmosféricas que se caracterizaram pela estabilidade, sem chuva e sem vento, às 21h e em meses representativos do verão e inverno. Sendo assim, os registros foram realizados em dezesseis episódios distribuídos em oito transectos nos meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015 e outros oito nos meses de junho e julho de 2015. Os resultados apontaram, que sob condições de estabilidade atmosférica, a ilha de calor urbana em Penápolis/SP alcançou intensidade máxima de 3,5°C nas medidas fixas e 9,5°C nas medidas móveis. Para as medidas fixas foi observada uma ilha de calor praticamente constante entre 23h e 24h de duração em dezembro, enquanto que janeiro já apresentou menor duração, entre 21h e 24h. Julho e junho apresentaram similaridades com duração entre 15h e 16h. No que se refere à variabilidade estacional, as ilhas de calor e seca apresentaram maior expressividade no verão, com máxima em dezembro para as medidas fixas e em janeiro para as medidas móveis. As medidas móveis demonstraram a formação de ilha de calor urbana caracterizada pelo padrão de aquecimento centro-periferia, com temperaturas mais elevadas no centro da cidade e em áreas densamente ocupadas, próximas ao centro e queda da temperatura afastando-se do centro em direção a periferia. As áreas de fundo de vale e densamente vegetadas foram favoráveis às temperaturas mais baixas e a umidade mais elevada. Portanto, a intensidade da ilha de calor e seca esteve condicionada às características geoambientais e geourbanas da cidade, principalmente a cobertura arbórea e a densidade de edificação.

Palavras Chave: clima urbano; temperatura e umidade relativa do ar; ilha de calor urbana; Penápolis(SP).

ABSTRACT

The city has established itself as the main place where most of the world's population live in the twentieth century. According to ONU, since 1990, the world has seen an increasing concentration of population in urban areas. This increase can be associated with more recent urbanization processes that occurred in some countries, such as those located in Latin America and the Caribbean, which urban population grew from 40% to 70% between 1950 and 1990. In Brazil, this phenomenon manifests itself mainly through the appropriation of field sites by the capitalist production, which led to a large rural exodus and a rapid population growth in urban centers. That circumstance was crucial to worsen the urban issues, and consequently, the living conditions and the current configuration of Brazilian cities. Among the urban environmental problems arising from this process, we highlight those related to the urban atmosphere, such as heat storage, pollution and flooding, which have caused discomfort and damage to the quality of life of residents. Therefore, the objective of this study was to detect the generation of the heat island and its intensity in the city of Penápolis/SP, considering the land use, land cover and urban built form. The research was based on the Urban Climate System theory proposed by Monteiro (1976), focusing on what the author called "thermodynamic subsystem". The methodologies included mobile traverses, installation of two fixed stations, satellite images and remote sensing techniques. Satellite images were used to map the environmental and urban characteristics, such as vegetation, relief, surface temperature and building density. The selection of the two fixed points was based on bibliographical references, one located in downtown, a high-density area, and other situated in the rural area, both with similar altitudes. The measurements of climatological variables (temperature and humidity) was performed using mobile surveys along two traverses (north-south / east-west). The traverses were carried out during eight summer evenings (December 2014-January 2015) and eight winter evenings (June-July 2015), under calm conditions, with light winds and no precipitation. The results showed that under atmospheric stability, the urban heat island in Penápolis/SP reached a maximum intensity of 3.5°C at the fixed points and 9.5°C along the mobile traverses. During the fixed measures in December, the urban areas experienced up to 23h or 24h of heat island, while in January the duration was shorter, between 21h and 24h. Urban heat islands in June and July showed similar duration, about 15h and 16h. Analyzing the seasonal variability, the heat and dry islands were greater in the summer, with maximum in December (fixed points) and January (mobile survey). The results indicated the formation of an urban heat island characterized by higher temperatures in downtown and in densely built-up areas near the city center, and lower temperatures towards the periphery. Moreover, valley bottom areas with vegetation cover presented lower temperatures and higher humidity. Therefore, the intensity of the dry and heat islands related to the environmental characteristics and urban features, especially the tree cover and the building density.

Keywords: urban climate; temperature and relative air humidity; urban heat islands; Penápolis (SP).

RESUMEN

La ciudad se ha consolidado como local de la vivienda de gran parte de la población mundial en el siglo XX. Según la ONU desde 1990, el mundo ha visto un incremento en la concentración de la población en las zonas urbanas. Este aumento puede estar asociado con los procesos de urbanización más recientes ocurridos en algunos países, como los ubicados en América Latina y el Caribe, que entre 1950 y 1990 vieron sus poblaciones urbanas crecer del 40% para el 70%. En Brasil, este fenómeno se manifestó principalmente a través de la apropiación del campo por la producción capitalista, que generó gran éxodo rural y rápido crecimiento de la población en los centros urbanos. Este hecho fue crucial para el agravamiento de los males urbanos, y consecuentemente, para las condiciones de vida y la configuración actual de las ciudades brasileñas. Entre los problemas ambientales urbanos de este proceso, se destacan los relacionados con la atmósfera urbana como la acumulación de calor, la contaminación del aire y las inundaciones, que han causado incomodidad y daños a la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. En esta perspectiva, el objetivo de este estudio fue detectar el fenómeno de isla de calor en Penápolis/SP y sus magnitudes, considerando sus atributos geo-ambientales y geo-urbanos. La investigación tuvo como referencia la teoría del Sistema Clima Urbano propuesto por Monteiro (1976), con énfasis en lo que el autor denominó de subsistema termodinámico. Los procedimientos metodológicos adoptados se basaron en la realización de transectos móviles, en la instalación de dos puntos fijos y el uso de imágenes de satélite y técnicas de teledetección. Las imágenes de satélite fueron utilizadas para el mapeo de las características geo-ambientales y geo-urbanas, tales como la vegetación, relieve, temperatura de la superficie y la densidad de las construcciones. La elección de los dos puntos fijos se basó en las referencias bibliográficas, siendo que uno de esos puntos se ha localizado en la zona central de la ciudad que se caracteriza por un elevado grado de construcciones y el otro en la zona rural del municipio, ambos con altitudes similares. El monitoreo de las variables climáticas (temperatura y humedad) también se ha realizado a través de transectos móviles, lo que resultó en la realización de dos recorridos (norte-sur/este-oeste). Los registros se hicieron en días con condiciones climáticas que se caracterizaron por la estabilidad, sin lluvia y sin viento, a las 21h y en meses representativos de verano y de invierno. De esta manera, los registros fueron realizados en dieciséis episodios distribuidos en ocho transectos en los meses de Diciembre de 2014 y Enero de 2015 y otros ocho en los meses de Junio y Julio de 2015. Los resultados mostraron que en condiciones de estabilidad atmosférica, la isla de calor urbano en Penápolis/SP alcanzó intensidad máxima de 3,5°C en medidas fijas y 9,5°C en las medidas móviles. Para las mediciones fijas se ha observado una isla de calor casi constante entre 23h y 24h de duración en Diciembre, mientras que en Enero se ha presentado con menor duración, entre 21h y 24h. Los meses de Junio y Julio mostraron similitudes con duración entre las 15h y 16h. En lo que se refiere a la variación estacional, las islas de calor y sequedad mostraron una mayor expresión en el verano, con máxima en Diciembre para las medidas fijas y Enero para las medidas móviles. Las medidas móviles demostraron la formación de isla de calor urbano que se caracteriza por el patrón de calentamiento centro-periferia, con temperaturas más altas en el centro de la ciudad y en las zonas densamente ocupadas, cerca del centro y descenso de la temperatura alejándose desde el centro para la periferia. Las áreas de fondo del valle y con vegetación densa fueron favorables a las temperaturas más bajas y humedad más elevada. Por lo tanto, la intensidad de la isla de calor y sequedad estuvo condicionada a las características geo-ambientales y geo-urbanas de la ciudad, principalmente la cobertura arbórea y la densidad de edificación.

Palabras clave: clima urbano; temperatura y humedad relativa del aire; isla de calor urbano; Penápolis (SP).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Termo-higrômetro utilizado e automóvel equipado para as coletas.....	26
Figura 2 - Registrador automático de temperatura e umidade relativa do ar do tipo Humidity-temperature logger instalado no ponto rural.....	28
Figura 3 - Estratificação vertical da atmosfera urbana e processos de formação das ilhas de calor proposta por Oke, 1978.....	39
Figura 4 - Tipos de ilha de calor urbana.....	42
Figura 5 - Perfil da ilha de calor urbana frequentemente encontrado	47
Figura 6 - Mapa de localização de Penápolis no Estado de São Paulo.....	50
Figura 7 - Vista aérea de Penápolis/SP em 1939.....	55
Figura 8 - Carta de evolução da área urbana de Penápolis/SP.....	57
Figura 9 - Carta de hipsometria de Penápolis/SP	62
Figura 10 - Carta de declividade de Penápolis/SP	63
Figura 11 - Carta de orientação das vertentes de Penápolis/SP	64
Figura 12 - Principais massas de ar que atingem a região de Penápolis/SP.....	67
Figura 13 - Carta de hidrografia de Penápolis/SP	71
Figura 14 - Carta de NDVI de Penápolis/SP representativa do verão	74
Figura 15 - Carta de NDVI de Penápolis/SP representativa do inverno.....	76
Figura 16 - Carta de uso e cobertura da terra de Penápolis/SP	79
Figura 17 - RGB e Banda 9 do satélite do Landsat 8 do dia 15/01/2015	81
Figura 18 - Carta de temperatura da superfície de Penápolis/SP - janeiro de 2015	83
Figura 19 - Áreas em destaque para análise da temperatura superficial em episódio de verão - janeiro de 2015.....	84
Figura 20 - Carta de temperatura da superfície de Penápolis/SP - julho de 2015	86
Figura 21 - Áreas em destaque para análise da temperatura superficial em episódio de verão - julho de 2015.....	87
Figura 22 - Ponto de monitoramento instalado na porção norte da área rural. Em (A) miniabrigo na parte frontal, em (B) miniabrigo na parte posterior, em (C) localização na imagem do Google Earth e em (D) fachada da propriedade rural	89
Figura 23 - Ponto urbano – estação meteorológica automática da DAEP. Em (A) tipo de sensor utilizado, em (B) display do sensor, em (C) localização na imagem do Google Earth e em (D) fachada do DAEP	90
Figura 24 - Percursos dos transectos realizados na malha urbana de Penápolis/SP	91
Figura 25 - Vista parcial do bairro Leste	131
Figura 26 - Vista parcial da Rodovia Assis Chateaubriand (SP-425).....	133
Figura 27 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 17/12/2014	134
Figura 28 - Vista parcial dos conjuntos habitacionais Gimenez e Benone.....	135
Figura 29 - Vista parcial e hipsometria do fundo de vale do córrego Maria Chica	136
Figura 30 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 26/12/2014	138
Figura 31 - Vista parcial das vias Rui Barbosa, Av. Luís Osório e Av. Manoel Bento da Cruz, pertencentes ao bairro Centro	139
Figura 32 - Vista parcial do fundo de vale do Ribeirão Lajeado a leste da malha urbana... ..	140
Figura 33 - Vista parcial do fundo de vale com curso d'água a sul da malha urbana	140
Figura 34 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 27/12/2014	142

Figura 35 - Vista parcial da Av. Olsen.....	143
Figura 36 - Vegetação arbórea significativa presente no início do percurso Norte-Sul.....	144
Figura 37 - Vista parcial da Rua Augusto Pereira de Moraes.....	145
Figura 38 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 28/12/2014	146
Figura 39 - Vista parcial dos vazios urbanos a leste entre os residenciais Benone e Gimenez e o tecido urbano consolidado	148
Figura 40 - Vista parcial do condomínio fechado (final do percurso N-S)	149
Figura 41 - Vista Parcial do córrego da Estiva	149
Figura 42 - Temperatura de superfície às 10h24min e a temperatura do ar às 21h no dia 15/01/2015 em Penápolis/SP.....	150
Figura 43 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 15/01/2015	151
Figura 44 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 16/01/2015	154
Figura 45 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 17/01/2015	157
Figura 46 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 19/01/2015	160
Figura 47 - Vista parcial e hispometria do final do percurso N-S, onde se localiza o ponto 58	161
Figura 48 - Vista parcial da Av. Sergio Moura, onde se localizam os pontos 41 ao 44.....	162
Figura 49 - Vista área dos pontos 17 (córrego da Estiva) e 18 (vegetação arbórea densa) do percurso N-S	163
Figura 50 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 11/06/2015	164
Figura 51 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 13/06/2015	167
Figura 52 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 30/06/2015	170
Figura 53 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 10/07/2015	173
Figura 54 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 12/07/2015	176
Figura 55 - Vista parcial do final do percurso L-O, onde se localiza os pontos 45, 46, 49 e 50	179
Figura 56 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 13/07/2015	180
Figura 57 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 14/07/2015	183
Figura 58 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 15/07/2015	186

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos e valores da fórmula de conversão para radiância dos metadados da imagem do Landsat-8, banda10.	23
Tabela 2 - Elementos e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsar-8, banda 10	24
Tabela 3 - Fonte dos dados utilizados nos gráficos de análise rítmica	30
Tabela 4 - Propriedades radiativas de materiais tipicamente urbanos	33
Tabela 5 - Propriedades radiativas de materiais tipicamente rurais	34
Tabela 6 - Propriedades termofísicas dos materiais mais usualmente encontrados em coberturas no Brasil.....	35
Tabela 7 - Processos que ocorrem nas camadas atmosféricas urbanas.....	40
Tabela 8 - Principais características que contribuem para a formação da Ilha de Calor Urbana.....	43
Tabela 9 - Intensidades e magnitudes das ilhas de calor urbanas	44
Tabela 10 – Intensidade média, hora de máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP.	109
Tabela 11 – Intensidade média, hora máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP dias com chuva.....	113
Tabela 12 – Intensidade média, hora máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP sem chuva.	117
Tabela 13 – Intensidade média, hora máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP com vento.	121
Tabela 14 – Intensidade média, hora máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP sem vento.	125
Tabela 15- Temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) máxima, mínima, diferença térmico-higrométrica, ventos e sistemas atmosféricos atuantes nos dias das medidas móveis em Penápolis/SP.	130

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Modificações climáticas locais produzidas pelas cidades.....	37
Quadro 2 - Exemplos de alterações no uso e cobertura da terra em Penápolis/SP	58
Quadro 3 - Classes definidas em função das variáveis densidade de edificação e densidade de arborização da área urbana de Penápolis/SP	78
Quadro 4 - Caracterização do percurso Leste-Oeste	96
Quadro 5 - Caracterização do percurso Norte-Sul	97
Quadro 6 - Intensidades médias máximas horárias das ilhas de calor e frescor em Penápolis.....	190
Quadro 7 – Intensidades médias máximas horárias das ilhas secas e úmidas em Penápolis.	191

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção de cana-de-açúcar (em toneladas) no município de Penápolis/SP	52
Gráfico 2 - Participação dos empregos formais nos setores da economia em 2013	52
Gráfico 3 - População de Penápolis (período de 1970 a 2010)	53
Gráfico 4 - Temperatura do ar e precipitação de Penápolis (2007-2015): médias mensais..	66
Gráfico 5 - Análise rítmica de Penápolis/SP – dezembro de 2014	100
Gráfico 6 - Análise rítmica de Penápolis/SP – janeiro de 2015	103
Gráfico 7 - Análise rítmica de Penápolis/SP – junho 2015	105
Gráfico 8 - Análise rítmica de Penápolis/SP – julho 2015	107
Gráfico 9 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em Penápolis/SP.....	110
Gráfico 10 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em Penápolis/SP	111
Gráfico 11 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em Penápolis/SP.....	112
Gráfico 12 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em dias chuvosos em Penápolis/SP	114
Gráfico 13 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em dias chuvosos em Penápolis/SP	115
Gráfico 14 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em dias chuvosos em Penápolis/SP	116
Gráfico 15 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em dias sem chuva em Penápolis/SP	118
Gráfico 16 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em dias sem chuva em Penápolis/SP.....	119
Gráfico 17 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em dias sem chuva em Penápolis/SP	120
Gráfico 18 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em dias com vento em Penápolis/SP	122
Gráfico 19 - Intensidade e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em dias com vento em Penápolis/SP	123
Gráfico 20 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em dias com vento em Penápolis/SP	124
Gráfico 21 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em dias sem vento em Penápolis/SP	127
Gráfico 22 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em dias sem vento em Penápolis/SP	128
Gráfico 23 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em dias sem vento em Penápolis/SP	129

LISTAS DE SIGLAS

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DAEP - Departamento de Água e Esgoto de Penápolis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
ICU - Ilha de Calor Urbana
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NC - Níveis de Cinza
OLI - Operational Land Imager
ONU - Organização das Nações Unidas
SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática
S. C. U. - Sistema Clima Urbano
SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission
TIRS - Thermal Infrared Sensor
UCL - Urban Canopy Layer
UBL - Urban Boundary Layer
USGS - United States Geological Survey
UTM - Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator
WGS - World Geodetic System

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
3 O CLIMA DAS CIDADES	31
3.1 ILHA DE CALOR ATMOSFÉRICA	43
4 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	50
4.1 ASPECTOS GERAIS	50
4.2 ASPECTOS HISTÓRICOS	53
4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL	60
4.3.1 Relevô	60
4.3.2 Clima	65
4.3.3 Hidrografia	69
4.3.4 Vegetação.....	72
4.4 CARACTERIZAÇÃO GEOURBANA.....	77
4.4.1 Uso e cobertura da terra	77
4.4.2 Temperatura da superfície	80
5 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS	88
5.1 PONTOS FIXOS	88
5.2 APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS PERCURSOS DOS TRANSECTOS MÓVEIS EM PENÁPOLIS	91
6 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DURANTE A PESQUISA DE CAMPO	98
7 CARACTERÍSTICAS DAS ILHAS DE CALOR E DE UMIDADE EM PENÁPOLIS POR MEIO DE MEDIDAS FIXAS	108
7.1 INTENSIDADE MÉDIA E EVOLUÇÃO HORÁRIA DAS ILHAS TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS COM BASE NOS DADOS GERAIS	108
7.2 INTENSIDADE MÉDIA E EVOLUÇÃO HORÁRIA DAS ILHAS TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS EM DIAS CHUVOSOS	112
7.3 INTENSIDADE MÉDIA E EVOLUÇÃO HORÁRIA DAS ILHAS TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS EM DIAS SEM CHUVA.....	117
7.4 INTENSIDADE MÉDIA E EVOLUÇÃO HORÁRIA DAS ILHAS TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS EM DIAS COM VENTO	120
7.5 INTENSIDADE MÉDIA E EVOLUÇÃO HORÁRIA DAS ILHAS TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS EM DIAS SEM VENTO.....	125
8 CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS DE PENÁPOLIS POR MEIO DAS MEDIDAS MÓVEIS	130
8.1 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 17 DE DEZEMBRO DE 2014.....	131
8.2 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 26 DE DEZEMBRO DE 2014.....	135
8.3 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 27 DE DEZEMBRO DE 2014.....	139
8.4 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 28 DE DEZEMBRO DE 2014.....	143
8.5 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 15 DE JANEIRO DE 2015	147

8.6 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 16 DE JANEIRO DE 2015	152
8.7 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 17 DE JANEIRO DE 2015	155
8.8 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 19 DE JANEIRO DE 2015	158
8.9 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 11 DE JUNHO DE 2015	161
8.10 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 13 DE JUNHO DE 2015	165
8.11 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 30 DE JUNHO DE 2015	168
8.12 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 10 DE JULHO DE 2015.....	171
8.13 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 12 DE JULHO DE 2015.....	174
8.14 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 13 DE JULHO DE 2015.....	177
8.15 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 14 DE JULHO DE 2015.....	181
8.16 CONDIÇÕES TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS NO DIA 15 DE JULHO DE 2015.....	184
9 SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS POR MEIO DE MEDIDAS FIXAS E MEDIDAS MÓVEIS	187
9.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ILHAS TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS EM PENÁPOLIS.....	187
9.2 SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS POR MEIO DAS MEDIDAS FIXAS.....	187
9.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS POR MEIO DAS MEDIDAS MÓVEIS.....	192
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	196
REFERÊNCIAS	199

1 INTRODUÇÃO

A cidade se consolidou como local de morada de grande parte da população mundial no século XX. Segundo a ONU, desde 1990, o mundo tem visto um incremento na concentração da população nas áreas urbanas. Esta tendência não é nova e tem sido marcada por um notável crescimento médio anual nos números absolutos de moradores urbanos, de 57 milhões entre 1990-2000 para 77 milhões entre 2010-2015. Em 1990, 43% (2,3 bilhões) da população mundial vivia em cidades, em 2015, este valor cresceu para 54% (4 bilhões)¹ e estima-se que até 2030 cerca de 60% da população mundial viverá em áreas urbanas².

Esse aumento pode ser associado aos processos de urbanização mais recentes ocorridos em alguns países, tais como os localizados na América Latina e Caribe, que entre 1950 e 1990 viram suas populações urbanas crescerem de 40% para 70%. Atualmente, esta região possui uma taxa de urbanização de quase 80%, a mais elevada do planeta, ficando superior a do grupo de países chamados de desenvolvidos. Esse “boom” urbano em 40 anos teve um ritmo tão acelerado que pode ser qualificado como período de “explosão urbana” (ONU-Hábitat, 2012)³.

No entanto, diferente do ocorrido na Europa, onde houve uma intrínseca e estreita relação entre os processos de industrialização e urbanização, a urbanização da América Latina é resultado das formas tomadas pela expansão e desenvolvimento do capitalismo através da articulação das relações econômicas, sociais e políticas existentes entre os países “desenvolvidos” e “subdesenvolvidos”. Em outras palavras, pode-se dizer que a urbanização destes países advém do processo de internacionalização da indústria ocidental, que abarcando os espaços periféricos se apropria das formas de produção tradicionais destes países (SPOSITO, 1991).

No Brasil, esse fenômeno se manifesta principalmente através da chegada de grandes empresas multinacionais, sobretudo industriais, e da apropriação do campo à produção capitalista. O que, de fato, gerou um crescimento urbano acelerado, porém mais associado à migração rural-urbana ocorrida pelas questões estruturais vividas no campo, como a concentração fundiária, a monocultura, a mecanização da agricultura e a ausência de políticas públicas de incentivo a permanência no campo.

¹ Relatório “World cities 2016”. Produzido pelo Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-HABITAT). Disponível em: <<http://wcr.unhabitat.org/wp-content/uploads/sites/16/2016/05/Chapter-1-WCR-2016.pdf>>. Acesso em 26 de set. 2016.

² Relatório ‘Fato sobre as cidades’. Produzido pelo Departamento de Informação Pública das Nações Unidas, junho de 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/temas-cidades/>>. Acesso em: 06 fev. 2016.

³ Relatório “Estado das Cidades da América Latina e Caribe”. Produzido pelo Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-HABITAT). Disponível em: <http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=362&Itemid=18>. Acesso em: 06 fev. 2016.

Encarando-se a mobilidade espacial da população sob a ótica da localização rural e urbana, entre os anos 60 e 2000 houve uma verdadeira inversão das duas. A ampliação das relações capitalistas do campo, desestruturando as antigas relações tradicionais (a parceria, o arrendamento etc.), a mecanização da agricultura, a substituição da lavoura por pastos e a grande especulação imobiliária foram causas que estimularam a fuga da população do campo para as cidades. (SCARLATO, 2009, p. 391-392)

Nesse contexto, ocorre a expulsão dos trabalhadores rurais do campo, os quais, cada vez mais, se sentem obrigados a migrar para a cidade em busca de “novas oportunidades” de trabalho e melhores condições de vida. Portanto, a expansão das áreas urbanas brasileiras foi motivada, sobretudo, pelo êxodo rural, que acelerou o crescimento populacional nos centros urbanos e o aparecimento de novas cidades. Este rápido aumento da quantidade de população urbana foi determinante para o agravamento das mazelas urbanas, e conseqüentemente, para as condições de vida e a atual configuração das cidades.

A cidade não dispunha de equipamentos suficientes para abastecer esse incremento populacional, o que tornava difícil o suprimento das necessidades básicas da população, tais como moradia, saneamento básico e alimentação. Conseqüentemente, a população era obrigada a ocupar faixas territoriais não adequadas à habitação e se submeter às condições precárias de sobrevivência (CASTELLS, 1983)⁴.

Sobre esse fato Sposito (1991, p. 69) salienta que

Os ritmos acentuados de crescimento populacional urbano e a superconcentração de capital nacional e internacional nas metrópoles para a criação da infra-estrutura necessária à reprodução capitalista, promoveram um aumento crescente de população não empregada que se “aloja”, e não “habita” nos maiores centros urbanos. Este processo de “inchaço”, manifesta-se numa série de “problemas” urbanos.

Os problemas ambientais urbanos, aqui entendidos “*como àqueles que afetam negativamente a qualidade de vida dos indivíduos no contexto da sua interação com o espaço, seja o espaço natural (estrato natural originário, fatores geoecológicos), seja, diretamente, o espaço social*” (SOUZA, 2000, p. 117) se originam deste processo de urbanização acelerado e inadequado que privilegia os interesses do modo de produção capitalista e desconsidera as propostas de planejamento urbano apropriadas.

Portanto, com a constante degradação do ambiente urbano e seus respectivos efeitos sobre a vida cidadina, a comunidade acadêmica e científica, comprometida com preservação dos recursos naturais e a qualidade de vida da população, tem realizado muitos

⁴ Apesar do autor se referir às cidades europeias, esse processo também esteve presente no Brasil, porém de maneira mais intensa e rápida.

esforços na busca de encontrar e oferecer alternativas de planejamento para o crescimento urbano e ações mitigadoras para amenizar as áreas já afetadas. Nessa perspectiva, nas últimas décadas têm se multiplicado estudos voltados aos problemas ambientais urbanos, entre estes, os referentes ao clima urbano.

Os estudos da atmosfera urbana se intensificam notadamente a partir da Segunda Guerra Mundial, em razão da aceleração no processo de urbanização, associada principalmente à industrialização. Foi neste contexto, que em 1965 o geógrafo Chandler publicou o livro “O clima de Londres”, no qual concluiu que a cidade modifica o clima através das alterações em superfície. Esta foi a primeira obra completa sobre o assunto, ou seja, um marco conceitual para a época.

Outros importantes autores que estudaram o clima urbano foram Tim Oke e Hemult Landsberg, que nos anos 1970 e 1980, abordaram o clima urbano através de uma perspectiva focada no balanço de energia e na modelagem, tendo como base a perspectiva meteorológica. Dentre as muitas contribuições de Oke para investigação do assunto está à importância de se considerar a localização geográfica, da topografia, do solo, da vegetação e do uso do solo que se mostram presentes em seus trabalhos.

No Brasil, o principal estudo sobre o clima urbano é o livro de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, intitulado de *Teoria e Clima Urbano* (1976). Esta obra apresenta uma proposição teórico-metodológica, fundamentada na perspectiva sistêmica, que mostra a importância dos estudos sobre o clima das cidades para o planejamento urbano.

Essa abordagem vem embasando e estimulando vários estudos climáticos em cidades brasileiras. Segundo Vicente; Tommaselli e Amorim (2002) os estudos direcionados ao clima urbano têm sido justificados pela expressão que as cidades têm atualmente, principalmente no diz respeito à densidade demográfica, e ao grande número de pessoas que são afetadas por essas características climáticas.

Por essa razão, as pesquisas científicas contemplaram inicialmente as cidades de grande porte populacional, dentre estas, destaca-se o trabalho de Lombardo (1985) sobre a cidade de São Paulo. Este estudo levou em consideração, sobretudo, a qualidade ambiental urbana, com enfoque para a qualidade de vida das pessoas, sendo que esta se apresentou muito prejudicada, principalmente, pela manifestação da ilha de calor, que trouxe transtornos ao estado de bem estar da população paulista.

Entretanto, diferentemente do que se imaginava quando os primeiros estudos de clima urbano foram realizados, a atmosfera urbana de cidades médias e pequenas também está comprometida pela superfície urbana. Tais estudos têm diagnosticado modificações tão fortes e prejudiciais quanto àquelas identificadas nos grandes espaços urbanos (AMORIM, 2010). Estudos recentes, em cidades de menos de 30 mil habitantes (RAMPAZZO (2012), ORTIZ (2012), TEIXEIRA (2015)), têm sido detectadas significativas diferenças de

temperatura, muitas vezes, configurando a formação de ilhas de calor de magnitude moderada e forte.

É nesse sentido que se justifica a importância do estudo do clima urbano em Penápolis/SP, uma vez que em estudo realizado por Silva; Tommaselli; Amorim, (2002), o município já apresentava diferenças significativas na distribuição de temperatura entre a área urbana e rural, o que configurava a formação de uma ilha de calor.

Nos últimos anos, em Penápolis ocorreu o aumento da população urbana, e este crescimento se deu principalmente para atender de imediato as necessidades socioeconômicas do município. Esse imediatismo faz com que a cidade cresça sem o respaldo de um planejamento adequado, o que pode estar agravando os problemas de ordem ambiental.

Diante desses fatores, observou-se a necessidade de prosseguir o estudo nesta cidade, visto que no Brasil, a degradação ambiental e a queda de qualidade de vida se agravam à proporção que a urbanização se intensifica (MENDONÇA, 2009). Assim, a partir do embasamento cartográfico, do conhecimento geográfico da cidade e com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto, pretendeu-se analisar o processo de produção do clima urbano em Penápolis, a partir da investigação da relação entre as características térmicas e higrométricas e os elementos do sítio urbano.

Nesse sentido, essa pesquisa teve como objetivo geral detectar o fenômeno de ilha de calor em Penápolis/SP e suas magnitudes, considerando-se seus atributos geoambientais e geourbanos. Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Verificar as temperaturas dos alvos do intraurbano e rural próximo em relação ao índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index);
- Caracterizar os diferentes tipos de usos e cobertura da terra;
- Analisar a distribuição espacial da temperatura e umidade do ar comparando-se os tipos de usos e cobertura da terra no intraurbano e rural próximo;
- Relacionar a estruturação do espaço e a produção do clima urbano em Penápolis/SP.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa teve como aporte teórico-metodológico as concepções elaboradas por Monteiro (1976; 1990b) que se utilizando da Teoria Geral dos Sistemas, aborda o clima urbano como um sistema adaptativo, o Sistema Clima Urbano de Monteiro (1976), sugerindo assim, uma análise dinâmica baseada nas inter-relações espaço e tempo, sendo o espaço urbano o núcleo do sistema, onde ocorrem constantes trocas de energia com o meio em que está inserido.

O Sistema Clima Urbano (S.C.U.) adquire energia do ambiente em que está inserido (atmosfera urbana), e é o local onde ocorre uma sucessão de eventos que causam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, as quais resultam em um produto que se adere ao núcleo, sendo emitido ao ambiente, constituindo assim um sistema aberto de arranjo complexo (MONTEIRO, 1976).

Essa energia retirada do ambiente é originada diretamente da atmosfera, a qual é denominada como a operadora, sendo das atividades humanas e suas derivações o encargo de transformação da energia penetrada na estrutura interna do sistema.

O artefato físico criado pela urbanização, integrado ao suporte geoecológico em que se insere, dinamizado pelos fluxos urbanos, é que constitui o operando do sistema cuja estrutura é penetrada e percorrida por fluxos energéticos do operador: a atmosfera (MONTEIRO, 1976. p.123).

Entretanto, vale ressaltar que a estrutura interna do S. C. U. não é apenas uma simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas também a conexão entre elas (MONTEIRO, 1976). Portanto, deve-se entender o funcionamento do sistema, ou seja, a transformação dos insumos de energia penetrados no S. C. U. em produção do clima urbano e suas repercussões no ambiente.

A teoria do Sistema Clima Urbano (S.C.U.) é um nível de resolução geral, entretanto, possui também níveis de resolução intermediários, que se constituem em três subsistemas (hidro-meteorológico, físico-químico e termodinâmico) no qual estão contidos os canais de percepção humana.

O enfoque da presente pesquisa é o subsistema termodinâmico que está relacionado ao conforto térmico, no qual são tratados os estudos de ilhas de calor e de frescor, de inversões térmicas e do conforto térmico. Segundo o autor é o canal que mais necessita de pesquisas científicas, não só pelo conforto térmico ser uma variável a considerar na qualidade ambiental, mas também porque as implicações termodinâmicas repercutem decisivamente nos demais canais (MONTEIRO, 1990a).

Portanto, inicialmente para a compreensão de como se processa o clima urbano de Penápolis, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as principais obras que abordam o tema clima urbano, em especial, a ilha de calor urbana. Porém, esse procedimento foi realizado em praticamente todas as etapas da pesquisa, visto que o conhecimento bibliográfico é imprescindível para realizar e aperfeiçoar as análises.

Do mesmo modo, foram realizadas leituras sobre o município buscando-se caracteriza-lo através dos aspectos econômicos, demográficos, históricos e físicos. Através das obras, adquiriu-se conhecimento sobre a área de estudo, sobretudo, a respeito de sua gênese e desenvolvimento urbano. Somado a isso, foram feitas visitas ao museu histórico municipal, a fim de se obter conhecimento da história local por meio de registros fotográficos.

No que tange ao material cartográfico elaborado, contou-se com a colaboração do setor de engenharia da prefeitura do Penápolis que disponibilizou o material existente e várias informações que foram utilizadas nesse trabalho.

A carta de uso e cobertura da terra foi elaborada tendo como critérios principais as características físicas e urbanas. Foram escolhidos os principais elementos que interferem na formação do clima urbano: a vegetação e a densidade de construções. O mapeamento foi realizado no software ArcGIS 10.1⁵ através de interpretação visual por quadra com a utilização da malha urbana da cidade e da imagem composta/fusionada da DigitalGlobe/ArcGIS online, com resolução de 0,5 metros para a delimitação das classes identificadas. A escolha dessa metodologia se deve ao fato de não dispormos de uma imagem de satélite de alta resolução espacial da área de estudo que pudesse ser utilizada em classificações automáticas.

Além disso, apesar de Penápolis ser uma cidade de pequeno porte, os usos e coberturas estão distribuídos de forma heterogênea, ou seja, em apenas um bairro pode-se encontrar distintos padrões de densidade de edificações e de vegetação. Dessa forma, a opção por uma classificação não automática garante maior correspondência do mapa com a realidade. A verificação em campo também foi realizada para evitar possíveis erros de interpretação. A cidade foi dividida em setores, que podem corresponder a um ou mais bairros e os usos e coberturas estão organizados em catorze categorias, sendo elas:

- Densamente edificado/Arborização ausente;
- Densamente edificado/Baixa densidade de arborização;
- Densamente edificado/Média densidade de arborização;
- Média densidade de edificação/Arborização ausente;
- Média densidade de edificação/Baixa densidade de arborização;

⁵ ArcGis 10.1 é marca registrada pela Esri (*Environmental Systems Research Institute*).

- Média densidade de edificação/Média densidade de arborização;
- Média densidade de edificação/Alta densidade de arborização;
- Baixa densidade de edificação/Arborização ausente;
- Baixa densidade de edificação/Baixa densidade de arborização;
- Baixa densidade de edificação/Média densidade de arborização;
- Baixa densidade de edificação/Alta densidade de arborização;
- Lotes vazios/ Área Rural;
- Praças/Parques/Bosques/Canteiros/App's
- Corpos d'água.

A temperatura superficial de Penápolis foi verificada através das imagens do canal infravermelho termal do satélite Landsat 8, banda 10 do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), com resolução espectral de 10,6 – 11,19µm e resolução espacial de 100 metros, mas tratadas e disponibilizadas com pixel de 30 metros.

A imagem adquirida foi tratada no Software ArcGIS 10.1, utilizando-se das constantes de calibração do sensor do satélite, obtidas no site do USGS⁶, para a conversão dos números digitais em energia radiante. Em seguida, a partir da energia radiante foi possível obter a temperatura Kelvin dos alvos, que posteriormente foi convertida para graus Celsius, juntamente com a atribuição de falsa cor para a obtenção da imagem colorida.

Depois da importação da imagem da banda termal para o ArcGIS 10.1, foi realizada a conversão dos números digitais para informações de radiância através da aplicação da equação 1, cujos significados e valores de seus elementos estão contidos na Tabela 1.

$$L_{\lambda} = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Tabela 1 - Elementos e valores da fórmula de conversão para radiância dos metadados da imagem do Landsat-8, banda10.

L_{λ}	Radiância espectral do sensor de abertura em Watts/(m ² sr µm)
ML	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3,3420E-04
AL	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0,10000
Q_{cal}	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

Fonte: USGS, 2013.

Em seguida, para converter os valores de radiância, obtidos através da equação 1, em temperatura em valor de Kelvin, aplicou-se a equação 2, tendo seus significados e valores expostos na Tabela 2

⁶ Disponível em: < <http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

Tabela 2 - Elementos e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsar-8, banda 10

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
$K2$	Constante de calibração 2 = 1 321,08 (K)
$K1$	Constante de calibração 1= 774,89 (K)
L_{λ}	Radiância espectral em Watts/(m ² sr μm)

Fonte: USGS, 2013.

Após esse procedimento, foram subtraídos 273,15 dos valores de temperatura em Kelvin, para a obtenção dos valores em graus Celsius (°C). Por fim, para a localização da área que corresponde a cidade na imagem, foi importado o setor censitário georreferenciado, que possibilitou a análise da distribuição da temperatura de superfície em Penápolis.

Para o mapeamento do índice de vegetação foi realizado primeiramente o cálculo da reflectância de cada banda visando minimizar os efeitos da atmosfera. Nesse sentido, as imagens adquiridas foram pré-processadas, de acordo com a equação 3, que converte os níveis de cinza da imagem, também conhecidos como números digitais (DN), em reflectância a partir das informações fornecidas pelo arquivo metadados. Este procedimento foi realizado no software ArcGIS 10.2⁷ através da ferramenta Geobia.

$$\rho_{\lambda} = \frac{MpQcal}{Ap} \quad (3)$$

Sendo:

ρ_{λ} = reflectância planetária no topo da atmosfera, sem correção para o ângulo solar

Mp = fator de reescalonamento multiplicativo da banda específica a partir dos metadados (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, onde x é o número da banda);

Ap = fator de reescalonamento aditivo da banda específica a partir dos metadados (REFLECTANCE_ADD_BAND_, onde x é o número da banda);

$Qcal$ = valores de pixel do produto padrão quantizados e calibrados (DN).

⁷ ArcGis 10.2 é marca registrada da Esri (Environmental Systems Research Institute).

Posteriormente, a vegetação do município foi mapeada através do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Esta carta foi gerada a partir do uso das bandas 4, que corresponde à faixa do vermelho (0,64 – 0,67µm - micrômetro), e 5, que se refere à faixa do infravermelho próximo (0,85 – 0,88µm - micrômetro) do satélite Landsat 8, do sensor OLI, capturadas no dia 15 de janeiro de 2015 e 19 de julho de 2015 e disponibilizadas gratuitamente no site do Serviço de levantamento Geológico Americano (USGS⁸).

As bandas foram tratadas através do software ArcGis 10.1, utilizando a ferramenta Raster Calculator, localizada no menu Arctoolbox, por meio do cálculo da diferença entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, representada na equação 4.

$$NDVI = (P_{IVP} - P_V) / (P_{IVP} + P_V) \quad (4)$$

Onde: P_{IVP} é a reflectância do infravermelho próximo, e P_V é a reflectância no vermelho.

Os mapas topográficos do município, que permitiram a observação e identificação do modelado através da representação das faixas de altitude, da declividade e da orientação das vertentes, foram elaborados a partir das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) disponíveis no site do INPE⁹ no banco de dados Geomorfométricos do Brasil-TOPODATA. O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores.

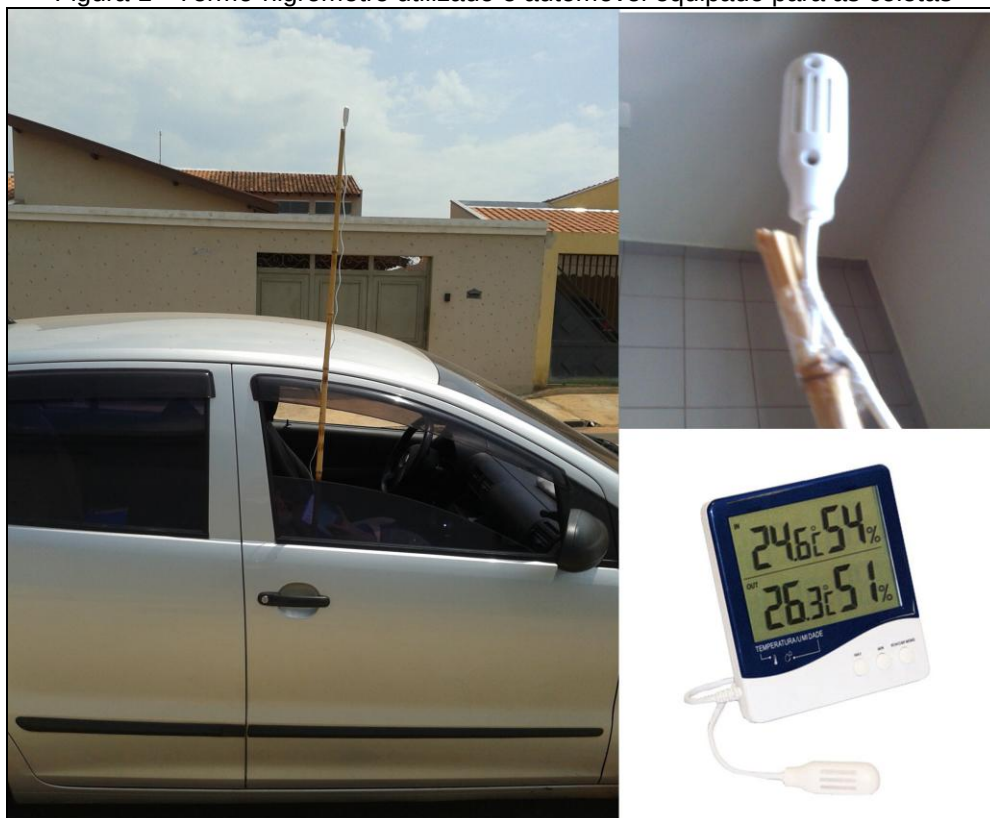
Com base nas recomendações de Monteiro (1990b), que afirma que a investigações do campo térmico devem adentrar a cidade e sondar-lhe a temperatura avaliando as propriedades e alterações que o ar sofre dentro do ambiente urbano, nesta pesquisa o monitoramento das variáveis climáticas (temperatura e umidade) se realizou através de transectos móveis.

Essa metodologia se baseia na utilização de sensores digitais presos a uma haste de bambu com 1,5m de altura, acoplado na lateral de um veículo. Esse procedimento implicou na realização dois percursos (norte-sul/leste-oeste), que saíram da periferia (rural), passaram pelo centro e chegaram no extremo oposto da cidade, com velocidade oscilante entre 20 e 30 Km/h. Como recomendado para se evitar o registro de oscilações naturais de temperatura, o tempo gasto entre o ponto inicial e final não ultrapassou uma hora (AMORIM, 2005). O registro foi realizado manualmente a cada 200m com o auxílio do hodômetro do veículo (Figura 1).

⁸ Disponível em: < <http://earthexplorer.usgs.gov/> >.

⁹ Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>.

Figura 1 - Termo-higrômetro utilizado e automóvel equipado para as coletas



Fonte: elaborado pela autora.

As coletas foram efetuadas em dias com condições atmosféricas que se caracterizem pela estabilidade, sem chuva e sem vento, às 21h e em meses representativos do verão e inverno. Sendo assim, os registros foram realizados em dezesseis episódios distribuídos em oito transectos nos meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015 e outros oito nos meses de junho e julho de 2015. Por estarem condicionados às condições meteorológicas para sua realização, alguns transectos não foram consecutivos, sendo realizados em dias da semana e finais de semana com o intuito de verificar as influências das diferentes dinâmicas urbanas no campo térmico e higrométrico de Penápolis.

A escolha do horário, sempre às 21h, se baseia nos estudos realizados, que indicam que a intensidade máxima da ilha de calor se registra até três horas após o pôr do sol. No entanto, como cada cidade possui condicionantes diferentes, e assim, consequentemente, atmosferas urbanas distintas, foram feitos testes¹⁰ em campo para a definição do horário. Esses apontaram o horário das 21h como sendo o período de maior magnitude da ilha de calor encontrada. No que se refere ao período de coleta, as estações de verão e inverno, a escolha se justifica pelos direcionamentos de Monteiro (1990b) que afirma que experimentos sazonalmente contrastantes possibilitam uma melhor análise.

¹⁰ Nos dias 17, 26 e 27 de dezembro de 2014 foram realizados transectos às 20h, 21h e 22h. Em dois episódios (26 e 27) o horário das 21h registrou a maior intensidade da ilha de calor urbana.

Os registros da temperatura e da umidade relativa do ar foram organizados em planilhas do aplicativo Excel¹¹, no qual, através de fórmulas do próprio aplicativo, foi extraído menor valor registrado de cada episódio. Esses valores foram utilizados para a obtenção da intensidade da ilha de calor, cujo cálculo se baseou na subtração do valor medido em cada ponto pelo menor valor registrado no episódio. Do mesmo modo, para a obtenção da intensidade da ilha de umidade, foi subtraído do valor medido de cada ponto a menor umidade registrada no episódio, o que permitiu que não se gerasse valores negativos.

Da mesma maneira, os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram utilizados para calcular os valores de umidade específica¹², os quais passaram pelo mesmo tratamento descrito anteriormente para a extração de suas intensidades.

Posteriormente, as intensidades da ilha de calor e de umidade (relativa e específica) foram especializadas em cartas através do uso do programa Surfer¹³ e em gráficos elaborados através do aplicativo Excel. Aos gráficos foram adicionadas as representações das características de uso e ocupação do solo presentes nos dois percursos selecionados, o que deu origem aos perfis latitudinal e longitudinal.

Além disso, para a interpretação e espacialização dos dados obtidos em campo através dos transectos móveis, foram elaboradas através do software ArcGis 10.1, cartas com os valores de temperatura absolutos para cada dia de coleta. Vale ressaltar que, foram aplicadas dois tipos de legenda, de verão e inverno, para a padronização dos episódios de cada estação. Através dessas formas de representação dos dados móveis, conseguiu-se, de forma ampla, observar e identificar as variações termo-higrométricas intraurbanas e a configuração espacial das ilhas detectadas.

Além disso, a mensuração meteorológica também foi realizada através de pontos fixos. Um desses pontos ficou localizado na área central da cidade caracterizado por um elevado grau de edificações e o outro na área rural do município, ambos com altitudes semelhantes.

A escolha dos dois pontos fixos também foi pautada em referencial bibliográfico, uma vez que vários estudos, tais como Viana (2006), Minaki (2006), Lima (2011), Moreira, (2012) entre outros, mostraram significativas diferenças térmicas e higrométricas entre a área rural e urbana com predomínio de temperaturas amenas em áreas periféricas e rurais, isto é, as cidades tem se apresentado mais quente que seu entorno. Esta metodologia isoladamente não abarcaria os objetivos desse trabalho, porém aplicada concomitantemente aos transectos, complementa as análises desenvolvidas, pois possibilita, o monitoramento

¹¹ Excel é marca da Microsoft Corporation.

¹² A umidade específica (g/kg) é a relação entre a massa de vapor d'água por quilograma de ar úmido, já a umidade relativa (%) é a razão entre a massa de vapor d'água contida em metro cúbico de ar e a capacidade deste mesmo ar em se saturar à mesma temperatura.

¹³ Surfer é marca da Golden Software.

da variabilidade diária e sazonal das diferenças termo-higrométricas entre o campo e a cidade, e consequentemente, da intensidade da ilha de calor.

Para o ponto rural a metodologia para a coleta da temperatura e umidade do ar nos pontos fixos consistiu na utilização de um registrador automático de temperatura e umidade relativa do ar do tipo *Humidity-temperature logger*, da marca *ThermaData™* e do modelo *HTD*. Tal registrador foi colocado em um miniabrigo meteorológico de madeira, com paredes duplas e perfuradas (Figura 2). O sensor foi programado para registros horários e os dados foram tabulados no aplicativo Excel. Para o ponto urbano, contou-se com a colaboração do DAEP (Departamento de Água e Esgoto de Penápolis) que cedeu os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, registrados em sua estação central de tratamento, localizada em um bairro adjacente ao centro, caracterizado pelo uso e ocupação da terra similar ao encontrado no centro.

Figura 2 - Registrador automático de temperatura e umidade relativa do ar do tipo *Humidity-temperature logger* instalado no ponto rural



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a tabulação dos dados e ainda por meio do uso do aplicativo Excel, foram elaborados gráficos da intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica da cidade de Penápolis. Primeiramente, o tratamento foi realizado nos dados gerais, ou seja, sem nenhum tipo de filtragem. Posteriormente, com o uso da ferramenta filtro foram tratados separadamente dias com e sem chuva, e também dias com e sem vento¹⁴.

¹⁴ Para os dias sem vento se considerou as velocidades entre 0 e 2,9 m/s e para os dias com vento se considerou velocidades superiores a 3,0 m/s.

Para tanto, utilizou-se as ferramentas ordenar e subtotal, selecionando como opção de cálculo a média, para a extração das médias horárias da temperatura e umidade relativa do ar. Os resultados foram colocados em novas planilhas para o cálculo das diferenças entre os pontos urbanos e rurais (Equação 5), e também para a identificação da duração e hora da máxima intensidade da ilha de calor. Vale ressaltar que, o tratamento da ilha higrométrica seguiu o mesmo cálculo, ou seja, a umidade relativa do ar da área rural foi subtraída da urbana. Estas informações foram organizadas em tabelas para comparar as diferenças existentes entre os tipos de tempo e verificar a influência destes na intensidade da ilha de calor.

A intensidade da ilha de calor foi determinada a partir da fórmula (SOBRINO E OLTRA-CARRIÓ, 2012):

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r \quad (5)$$

Sendo que:

ΔT_{u-r} = intensidade da ilha de calor.

T_u = se refere à temperatura do ar na área urbana.

T_r = é referente a temperatura do ar no ambiente rural.

Em uma nova planilha, após os cálculos das intensidades de cada mês, foram elaborados os gráficos finais que apresentam a intensidade, evolução e duração da ilha de calor/fresca e ilha úmida/seca de todos os meses analisados. Além disso, para a observação das variações estacionais foi realizado o cálculo da média entre os meses de dezembro e janeiro, e dos meses de junho e julho, para se identificar as características térmicas e higrométricas do verão e inverno, respectivamente.

Utilizando-se do conceito de ritmo climático de Monteiro (1971) foram elaborados gráficos de análise rítmica para cada mês de coleta em campo. A partir desta abordagem conseguiu-se tratar os tipos de tempo associando-os a análise quantitativa dos diferentes elementos do clima. O uso dessa metodologia justifica-se pelo fato de que, somente a análise rítmica detalhada revela a gênese dos fenômenos climáticos pela interação dos elementos e fatores climáticos dentro de uma determinada região (MONTEIRO, 1971).

Além disso, segundo Monteiro (1971, p. 9)

Apenas escala diária é possível associar à variação dos elementos do clima os tipos de tempo que se sucedem segundo os mecanismos da circulação regional. Associando-se, nesta escala, a variação de todos os elementos, concomitantemente, a interpretação é sobremodo enriquecida pelo dinamismo que se reveste.

A identificação dos sistemas atmosféricos atuantes foi realizada por meio dos registros de superfície das 9h, imagens do satélite GOES¹⁵ e cartas sinóticas disponibilizadas pela Marinha¹⁶. Os registros atmosféricos foram adquiridos através duas estações meteorológicas, uma situa-se na área urbana do município, próxima ao centro e de controle do DAEP, e a outra é uma Estação Meteorológica Automática, mantida pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada na cidade de Lins/SP¹⁷ (Tabela 3).

Tabela 3 - Fonte dos dados utilizados nos gráficos de análise rítmica

Temperatura do ar média em graus Celsius	DAEP
Temperatura máxima do ar diária em graus Celsius	
Temperatura mínima do ar diária em graus Celsius	
Precipitação diária acumulada em milímetros	
Umidade Relativa às 9h em percentagem	INMET/Lins
Pressão atmosférica às 9h em hectoPascal	
Velocidade do Vento às 9h em metros por segundo	
Direção do vento às 9h em graus (azimute)	

Fonte: Elaborado pela autora.

¹⁵ Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes/formulario.logic>>.

¹⁶ Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>>

¹⁷ Lins dista 45Km de Penápolis.

3 O CLIMA DAS CIDADES

Embora as cidades ocupem pequenas parcelas do território, cerca de 2% da superfície mundial, elas se caracterizam como o maior impacto nos ambientes naturais. Nelas se desenvolvem atividades extremamente poluidoras e degradantes, que consomem mais de 75% dos recursos naturais e provêm 80% dos gases emitidos para atmosfera. Logo, a cidade não se limita a modificar o terreno, mas também transforma as condições ambientais e climáticas (FERNÁNDEZ GARCIA, 2013).

O espaço urbano, construído e antropizado, possui características que agem no sentido de alterar a atmosfera na escala local, criando uma situação climática distinta, peculiar às cidades, o que se denomina de clima urbano. Muitas são as suas definições, mas para Monteiro (1976, p.95) “o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização, sendo o clima local o fato natural e a cidade o fato social”.

Nesse sentido, o clima urbano é entendido como resultado da produção da ação humana sobre a natureza, que se relaciona às condições diferenciadas de conforto/desconforto térmico, à poluição do ar, às chuvas intensas, às inundações e aos desmoronamentos das vertentes dos morros – eventos de grande custo social (LOMBARDO, 1985).

Essa ação se manifesta de duas maneiras: por um lado, as modificações introduzidas direta e conscientemente, que têm sua manifestação no terreno e na morfologia urbana; e por outro, as modificações que decorrem deste mesmo espaço construído e das atividades que o homem desenvolve, cujas manifestações mais significativas é a aparição de um clima específico na cidade (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996).

Segundo Monteiro (2009) o clima urbano tem que ser apreendido a partir das características geoambientais e geourbanas tais como, o relevo, a densidade de ocupação, o uso da terra, a presença ou ausência de vegetação, as características dos materiais construtivos entre outros, e o clima local em que a cidade se insere, os quais estão em contínua interação formando uma atmosfera local diferenciada.

Portanto, a formação de um clima especificamente urbano está atrelada às características do uso da terra, e estas variam de acordo com a organização espacial, baseada nas dinâmicas urbanas, econômicas e sociais de cada núcleo. Dessa forma, pode-se supor uma infinidade de condições climáticas urbanas diferenciadas, que consequentemente, repercutem de forma distinta na sociedade.

No entanto, é válido ressaltar que o clima local, da cidade, também é submetido aos controles climáticos presentes em níveis superiores, que impõem o ritmo e a distribuição

temporal dos principais elementos climáticos, que associados às configurações do sítio e a ação antropogênica dão a gênese do fenômeno clima urbano (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996). Um importante controle climático, que aliás é, em grande parte, o responsável pela vida na terra, é o balanço de energia ou balanço de radiação.

O balanço de energia, de forma simplificada, representa a diferença entre as radiações recebidas pela superfície terrestre e aquelas devolvidas ao espaço após as interações entre a superfície e o ar. Nessa interação ocorre o seccionamento da energia em fluxos de calor, que são absorvidos e refletidos pelos vários componentes desde a atmosfera até a superfície, que atenuam sua intensidade e controlam o clima em superfície (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Esses fluxos interagem através de processos como radiação, evaporação (calor latente), convecção e de condução, que são utilizados para o funcionamento dos sistemas-Terra. Assim, partindo do pressuposto que, o balanço de energia se baseia na primeira lei da termodinâmica, que diz que a energia nunca é perdida, essas interações zeram o balanço final.

Nos espaços urbanos esses fluxos são alterados pela estrutura urbana, que modifica o ritmo natural de ganho e perda de energia, tendo, de maneira geral, a diminuição da dissipação do calor e o maior armazenamento da energia térmica. Assim, a compreensão do modo de transmissão, entrada e fluxo de energia é fundamental, pois eles explicam a geração dos estados iniciais e a sequência de processos de mudanças e transformação no interior do sistema (MONTEIRO, 2009. p. 23). Em geral, a energia adicional que gera aquecimento surge por causa dos fatores físicos e químicos presentes na superfície, podendo ser determinado e compreendido pelas variáveis de albedo (reflectância) e emissividade.

O albedo ou reflectância é a relação entre a radiação solar refletida e a incidente, expressa em porcentagem. Portanto, o albedo determina a quantidade de energia absorvida, quanto maior o albedo menor é a energia absorvida e disponível para gerar o calor. Já a emissividade é a capacidade de um objeto e/ou superfície em emitir radiação infravermelha, portanto, quanto maior a emissividade, maior é capacidade de emitir radiação térmica para o entorno (DUMKE, 2007; FERREIRA; PRADO, 2003).

Assim, superfícies com elevado albedo e emissividade tendem a permanecerem mais frias quando expostas à radiação solar, pois absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço, transmitindo menos calor para seu entorno. Ao contrário, quanto menor for o albedo e a emissividade maior será a absorção de calor e sua permanência no ambiente de entorno (AMORIM; SANT'ANNA NETO; DUBREUIL, 2009, p.69).

O albedo em média é menor na cidade, pois as superfícies urbanas favorecem uma maior absorção de calor devido, principalmente, as propriedades termofísicas dos materiais urbanos. A capacidade de reflexão e absorção dos revestimentos urbanos em relação à luz depende de suas propriedades físicas (albedo e emissividade), que influenciam consideravelmente, na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada, contribuindo para o aumento da temperatura do ar (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Oke (1978) aponta as propriedades termofísicas de alguns materiais urbanos e rurais que justificam as significativas modificações nos fluxos normais de reflexão, absorção e armazenamento de energia (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 - Propriedades radiativas de materiais tipicamente urbanos

Superfície	Albedo	Emissividade
Ruas com asfalto	0,05 – 0,20	0,95
Concreto	0,10 – 0,35	0,71 – 0,90
Tijolos	0,20 – 0,40	0,90 – 0,92
Pedras	0,20 – 0,35	0,85 – 0,95
Madeiras		0,90
Telhados		
Piche e Cascalho	0,08 – 0,18	0,92
Telhas	0,10 – 0,35	0,90
Ardósia	0,10	0,90
Sapé – Folhagem	0,15 – 0,20	
Chapa ondulada	0,10 – 0,16	0,13 – 0,28
Janelas		
Vidros Claros: Zênite		
Ângulo menor 40°	0,8	0,87 – 0,94
Ângulo menor 80°	0,09 – 0,52	0,87 – 0,92
Pinturas		
Branças, Caiadas	0,50 – 0,90	0,85 – 0,95
Vermelha, Marrom, Verde	0,20 – 0,35	0,85 – 0,95
Preta	0,02 – 0,15	0,90 – 0,98
Áreas urbanas		
Variações	0,10 – 0,27	0,85 – 0,96
Médias	0,15	0,95

Fonte: Oke, (1978; p, 281) Org. Moreira (2015).

Tabela 5 - Propriedades radiativas de materiais tipicamente rurais

Superfície	Albedo	Emissividade
Solos		
Escuro Úmido	0,05	0,90
Claro, Seco	0,04	0,90
Desertos	0,20 – 0,25	0,84 – 0,9
Gramas		
Alta (1m)	0,16	0,90
Baixa (0,02m)	0,26	0,95
Cultivos, Trundra	0,18 – 0,25	0,90 – 0,99
Pomares	0,15 – 0,20	
Florestas Decíduas		
Solo nu	0,15	0,97
Abandonadas	0,20	0,98
Coníferas	0,05 – 0,15	0,97 – 0,99
Água		
Pequeno ângulo	0,03 – 0,10	0,92 – 0,97
Zênite		
Grande ângulo	0,10 – 1,00	0,92 – 0,97
Zênite		

Fonte: Oke, (1978; p.15) Org.: Moreira (2015).

As tabelas 4 e 5 mostram que os valores de albedo são variáveis também em função da textura, da cor, e da disposição em relação ao sol, o que interfere na quantidade de radiação incidente e absorvida por cada material. Também mostram que os materiais urbanos refletem menores quantidades de energia solar incidente do que aqueles encontrados nas áreas rurais. Isso se deve, aos materiais urbanos que apresentam valores menores de albedo e emissividade e da geometria desses materiais, que causam sucessivas reflexões da parcela de radiação que foi refletida. Portanto, a reflexão de radiação de onda longa da cidade para o ar depende tanto do albedo das superfícies refletoras quanto do seu arranjo geométrico (OKE, 1978).

Tendo em vista que os materiais mais expostos à radiação solar são as coberturas das edificações, e que estas são os principais responsáveis pelo calor tanto no interior quanto no entorno das construções, Ferreira; Prado (2003) analisaram o desempenho espectral dos principais materiais utilizados em edifícios no Brasil. Com base nos valores de emissividade e do albedo, as autoras apresentaram os resultados das temperaturas que cada material pode atingir sob condições climáticas específicas.

O albedo ou refletância dos materiais utilizados em coberturas de edifícios é uma das variáveis responsáveis por seu ganho de calor, pois representa a porção da radiação solar incidente, que é refletida pelo material, porém o desempenho térmico dos materiais, caracterizado pela temperatura superficial que os mesmos podem atingir, está vinculado à emissividade dos materiais, que é responsável pelo seu resfriamento radioativo, e determina a quantidade de radiação térmica que é irradiada para o entorno. Superfícies com elevado albedo e emissividade permanecem mais frias quando expostas a radiação solar, pois absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço. Conseqüentemente transmitem menos calor para seu entorno (FERREIRA; PRADO, 2003, p. 10-11).

Na Tabela 6 a temperatura superficial é estimada para cada tipo de material, seguindo os parâmetros determinados pela Norma ASTM E 1980-98 (Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces). As autoras ressaltam que “quanto mais próxima à temperatura superficial de determinado material em relação à temperatura do ar menor será a transmissão de calor para o ar por convecção e para o entorno por radiação” (FERREIRA; PRADO, 2003, p. 09).

Tabela 6 - Propriedades termofísicas dos materiais mais usualmente encontrados em coberturas no Brasil

Material	Albedo (α)	Emissividade (ϵ)	Temperatura Superficial ($^{\circ}\text{C}$)	Diferença de temperatura entre o ar e o material (K) ou ($^{\circ}\text{C}$)
Cerâmica Vermelha	0,53	0,9	36,8	-0,1
Cerâmica Branca	0,54	0,9	36,2	-0,6
Fibrocimento	0,34	0,9	47,1	10,3
Alumínio Sem Pintura	0,57	0,05	69,4	32,6

Fonte: Adaptado de Ferreira; Prado (2003, p. 10). Org.: Moreira (2015).

A cerâmica vermelha e a branca foram os materiais que atingiram as temperaturas superficiais mais baixas que as temperaturas do ar, o que pode ser justificado pelos seus elevados valores de albedo e emissividade. Em contrapartida, os materiais metálicos apesar de terem albedos similares (aproximadamente 55%), atingiram temperaturas superficiais muito mais elevadas. Este fato ocorre em função da baixa emissividade dos materiais metálicos, os quais emitem pouca radiação térmica, não sendo as perdas de calor por convecção suficiente para resfriá-los (FERREIRA; PRADO, 2003).

Considerando que é a energia emitida pela superfície (radiação de ondas longas) que aquece o ar, a atmosfera urbana está sujeita a todas as interferências térmicas e higrométricas destes materiais e superfícies, em geral bons armazenadores de calor, que alteram o balanço energético e hídrico urbano e corroboram para a formação de uma atmosfera citadina mais quente e menos úmida (UGEDA, 2012).

Para Oke (1978) nos ambientes urbanos os efeitos radiativos mais importantes são a diminuição no recebimento de radiação solar em áreas de sombra, o aumento da recepção solar através da reflexão das paredes iluminadas pelo sol e a redução de arrefecimento de onda longa próximo das superfícies das construções. Em decorrência disso, nas imediações das edificações, muitas vezes, as temperaturas do solo e do ar são mais quentes que a céu aberto devido a perdas de calor do edifício e da interceptação do vento.

No entanto, ainda segundo autor, não é apenas o balanço térmico que é alterado, o balanço hídrico em torno de um edifício também é comprometido por causa da variabilidade espacial da precipitação (causada pela interceptação e abrigo do vento), da drenagem do solo e da evaporação. O mais importante, porém, são as mudanças de fluxo de ar produzidas pelo edifício atuando como obstáculo ao vento (OKE, 1978).

Também fazendo referência aos fatores que comprometem o balanço energético e hídrico e contribuem para a formação do clima urbano, Fernández García (1996, p. 256-257) aponta: a composição do ar urbano, com diversos poluentes que diminuem a radiação direta, devido à absorção e difusão da luz solar das partículas em suspensão, as quais também absorvem a radiação vermelha emitida pela superfície; o espaço construído, que atua sobre a temperatura e a umidade devido aos vários elementos inseridos no sítio, dentro os quais o autor destaca: a rugosidade, que causa a redução da velocidade do vento e o aumento de sua turbulência, a impermeabilização do solo que reduz a evaporação e favorece o rápido escoamento artificial e a produção de calor antropogênico, decorrentes das indústrias, das atividades domésticas e do tráfego.

Além desses fatores, Oliveira (1988) *apud* (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007, p. 44-45), indica como condicionantes do clima urbano a porosidade, que corresponde ao espaçamento, a dimensão e a distribuição das edificações e/ou arranjos morfológicos; o tamanho da cidade (horizontal e vertical) que influi na quantidade de fontes produtoras de calor e de poluentes; e a orientação do núcleo urbano que interfere na insolação e na incidência dos ventos.

As consequências de todos esses processos (de modificação na atmosfera urbana) são as alterações nas variáveis climáticas no espaço urbano, que se evidenciam claramente quando comparadas ao ambiente rural (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996). No quadro 1 pode-se identificar as principais modificações climáticas locais produzidas pelas cidades.

Quadro 1 - Modificações climáticas locais produzidas pelas cidades

Elementos	Observação	Comparação com o ambiente rural
Radiação	Total Sup.Horizontal	10-20% menos
	Ultravioleta inverno	30% menos
	Ultravioleta verão	5% menos
	Duração insolação	5-15% menos
Temperatura	Média anual	0.5 a 3°C mais
	Mínima de inverno (média)	1 a 2°C mais
	Máxima de verão (média)	1 a 3°C mais
	Dias uso aquecimento	10% menos
Umidade Relativa	Média anual	6% menos
	Inverno	2% menos
	Verão	8% menos
Velocidade ventos	Média anual	20 a 30% menos
	Rajadas máximas	10 a 20% menos
	Calmarias	5 a 20% mais

Fonte: Landsberg (1981, p. 25).

Essa abordagem urbano-rural já foi muito utilizada em vários estudos urbanos, principalmente aqueles que abordam as diferenças térmicas e higrométricas, os quais constataram predomínio de temperaturas amenas e umidade mais elevada em áreas distantes do centro, nos limites urbanos e/ou na área rural. Essa escolha metodológica se justifica pelo fato de os espaços urbanos tenderem a ser menos naturais enquanto os rurais menos transformados (MINAKI, 2014).

A grande propagação da classificação convencional urbano-rural deve-se principalmente as diferenças de balanço de energia urbano-rural, resultantes da diferença entre as superfícies e objetos presentes nessas paisagens. Portanto, para detectar a geração do clima urbano uma primeira análise pode ser realizada a partir da comparação entre cidade e o campo circundante. Contudo, a cidade não é um todo homogêneo e possui especificidades intraurbanas, seja do ponto dos fatores físicos, mas especialmente das diferenças existentes nas características do uso e da ocupação da terra no interior da cidade (AMORIM, 2010).

Nessa perspectiva, Stewart e Oke (2009) destacam que o urbano e o rural são conceitos que necessitam de revisão, pois muitas paisagens pesquisadas não se adequam a essas duas condições, sobretudo o rural, que possui muitas particularidades sejam naturais seja no tocante ao seu uso econômico como fornecedor de matéria prima.

Diante desses fatos Stewart e Oke (2009) propuseram uma classificação da paisagem em “*local climate zones*”, que baseia-se no detalhamento minucioso das propriedades locais, especialmente a partir de duas características principais que influenciam o clima em superfície: a morfologia da superfície (altura do objeto e densidade)

e cobertura da terra (permeáveis ou impermeáveis). A aplicação dessa proposta metodológica nos estudos climáticos urbanos causaria a padronização, e consequentemente, a possibilidade de melhor comparação e divulgação dos resultados.

Além disso, a proposta foi desenvolvida, pois segundo os autores as modificações nas variáveis meteorológicas devem ser abordadas além da comparação rural e urbana, pois são fenômenos muito mais complexos do que esse tipo de análise. Para tanto, é de fundamental importância tanto no processo de classificação quanto na escolha dos pontos para a observação meteorológica, a compreensão dos conceitos de escalas, visto que os dados de campo são, essencialmente, definidos por um "círculo de influência" (STEWART; OKE, 2009).

As modificações provocadas pela urbanização no clima, segundo Oke (1978), são percebidas através de camadas atmosféricas sobre a cidade, sendo suas extensões variáveis no tempo e no espaço. Elas são distintas e classificadas em Urban Canopy Layer (UCL) ou Camada do Dossel Urbano e Urban Boundary Layer (UBL) ou Camada Limite Urbana.

A "Urban Canopy Layer" situa-se a nível microclimático, se estende do solo até aproximadamente o nível médio dos telhados e engloba processos de microescala, presentes na superfície urbana, na camada intraurbana das ruas, tais como os tipos de materiais, a forma e a função urbana.

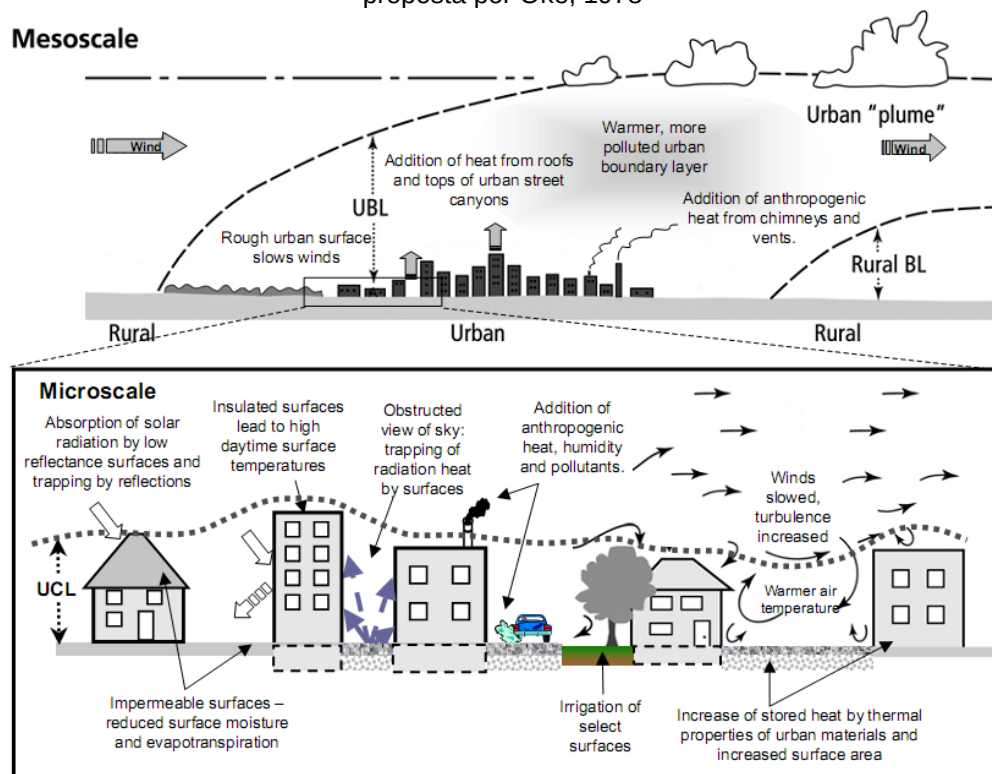
Por isso, de acordo com Monteiro (1990c, p. 87), essa camada representa os variadíssimos aspectos de arranjos e combinações entre variáveis topográficas, geológicas, de edificação e funções urbanas com alguma consideração sobre o caráter social e nível econômico desse conjunto heterogêneo.

A altura dessa camada pode atingir entre 1 e 3 vezes a altura do topo dos elementos existentes à superfície, e pode apresentar uma turbulência forte de pequena escala, dependendo da rugosidade da superfície. Assim, em virtude da proximidade da superfície é nesta camada que estão presentes mais diretamente os efeitos causados pelo processo de urbanização que afetam o conforto da população (OKE, 1978).

A segunda camada, a "Urban Boundary Layer", se localiza sobre a Urban Canopy Layer, portanto, é superior ao dossel urbano, ou seja, acima dos tetos das edificações. Suas características também são influenciadas pelo ambiente citadino, porém ocorre maior influência dos ventos regionais. Com altura variável, pode se estender a 2000m durante o dia, quando as correntes convectivas são mais intensas, e menos de 100m durante a noite, quando a superfície esfria mais depressa do que a atmosfera, sendo que, sua espessura depende da capacidade da superfície em provocar a movimentação do ar (AMORIM, 2000). Ambas são fenômenos locais e suas dinâmicas são permeadas por processos que levam a formação da ilha de calor urbano, fenômeno que será abordado mais a diante.

Ocorre ainda a “Urban Plume” (Figura 3), camada sobre a Rural Boundary Layer que sofre influência da atmosfera urbana, a sotavento da área urbanizada (HENDERSONSELLERS; ROBINSON, 1989 apud DUMKE, 2007 p. 122).

Figura 3 - Estratificação vertical da atmosfera urbana e processos de formação das ilhas de calor proposta por Oke, 1978



Fonte: http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/EPA_How_to_measure_a_UHI.pdf.

A estratificação da atmosfera urbana em camadas também já foi abordada por outros autores, como Rudolf Geiger, na metade do século XX, mais especificamente em 1961 (primeira publicação). O autor escreve no contexto das cidades europeias, onde predominava edificações baixas e ar bastante poluído, decorrente do uso das chaminés.

A poluição da atmosfera da cidade é sobretudo perceptível quando nos aproximamos de uma grande cidade num dia claro de inverno e a podemos ver no seu conjunto, de preferência de um ponto alto. Uma nuvem cinzento-escura, ou por vezes colorida, paira sobre a cidade parecendo formar sobre ela um capacete que altera todo o balanço da radiação na sua área. Medições realizadas no interior dessa nuvem permitem com frequência distinguir três camadas: a primeira sobre o pavimento das ruas, entre as casas, contém sobretudo poeira levantada pelos veículos e os seus gases de escape; a segunda camada a cerca de 20 m de altura é alimentada pelos gases das chaminés das casas, e a terceira, entre 50 a 60 m de altura, corresponde às chaminés das fábricas (GEIGER, 1990, p. 503).

Nessas camadas ocorrem mecanismos e processos que se inter-relacionam e agem no sentido de alterar as variáveis climáticas, sendo a temperatura do ar a principal

variável transformada (Tabela 7). Suas repercussões se processam no espaço urbano provocando prejuízos na qualidade ambiente, causando, sobretudo, desconfortos térmicos a partir da formação das ilhas de calor.

Tabela 7 - Processos que ocorrem nas camadas atmosféricas urbanas

Camada do Dossel Urbano	Camada Limite Urbana
1. Elevação do afluxo de radiação devido à absorção da radiação de ondas longas e reemissão pela atmosfera urbana poluída.	Entrada de ar quente resultante da ilha de calor na camada de cobertura urbana.
2. Redução da perda de radiação de ondas longas canyons devido à redução do sky view factor.	Calor Antropogênico dos telhados e das aglomerações.
3. Maior absorção da radiação de ondas curtas devido ao efeito da geometria do canyon no albedo.	Convergência do fluxo radiativo de ondas longas no ar poluído.
4. Maior estocagem de calor diurno devido às propriedades térmicas dos materiais urbanos e sua liberação noturna.	Queda do fluxo de calor sensível da camada estável de cobertura pela convecção de penetração.
5. Calor antropogênico proveniente dos edifícios.	
6. Redução da evaporação devido a remoção e à impermeabilização da superfície da cidade.	
7. Redução da perda de calor sensível devido à queda da velocidade do vento na camada urbana.	

Fonte: Oke (1978) *apud* Ugeda Júnior (2012, p.80).

Assim, através desses processos ocorre a formação de um balanço hídrico e energético diferenciado, caracterizado pelo acúmulo de radiação em áreas urbanas do que em áreas rurais. As ilhas de calor surgem através dessa diferença térmica entre o balanço energético urbano e rural e das diferenças existentes no interior da própria cidade de acordo com os elementos em superfície. Tal fenômeno pode ser definido como uma anomalia térmica positiva com dimensões horizontais, verticais e temporais, cujas características se relacionam intimamente com os condicionantes geoambientais e geourbanos de cada cidade. Dentre todas as modificações climáticas produzidas pela cidade a ilha de calor tem sido a mais evidente, estudada e diagnosticada (OKE, 1982).

Os diversos processos de formação e/ou diferentes métodos e instrumentos de investigação das ilhas de calor definem seus tipos. Embora estejam conectadas através de trocas de massa e energia, cada tipo de ilha de calor urbana envolve processos, sistemas de tempo e escalas espaciais diferentes (STEWART, 2011). Sendo assim, segundo Stewart (2011) as ilhas de calor urbanas podem ser diferenciadas/classificadas em: ilha de calor de superfície, ilha de calor de subsuperfície e ilha de calor atmosférica. Assim, para o autor os

tipos de ilha de calor existentes dependem, portanto, de qual destes meios o calor é detectado, ou seja, considera-se a maneira como o calor se propaga, podendo ser em superfície, subsuperfície e atmosfera.

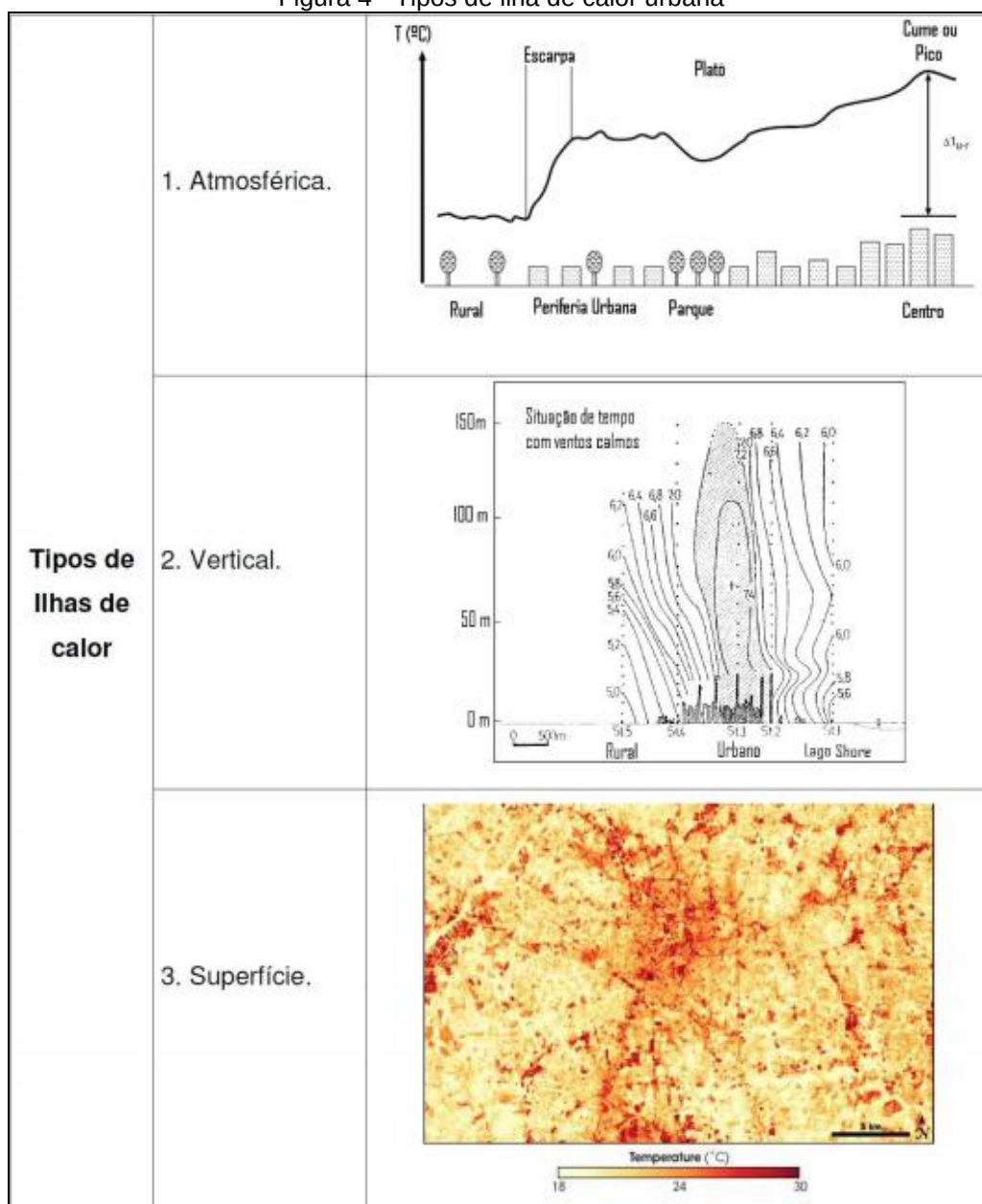
Fialho (2009) apresenta a distinção entre os tipos de ilha de calor e reconhece três: ilha de calor atmosférica, ilha de calor vertical e ilha de superfície, as quais podem ser observadas na figura 4. O referido autor afirma que, a adoção desses três tipos de ilhas de calor, justifica-se porque este reconhece que os métodos de observação e a estrutura espacial dos fenômenos são distintos. Entretanto, admite que nem todos os autores aceitam a existência desses três tipos, e ressalta que Oke (1978), apresenta em sua proposta apenas as ilhas do tipo atmosférico e de superfície.

A ilha de calor do tipo vertical pode ser observada através do aumento de temperatura do ar na camada limite urbana (UBL) em decorrência da influência dos processos que ocorrem na camada do dossel urbano (UCL), tais como a adição de calor de cobertura dos telhados e adição de calor antropogênico. Estes intensificarão as células convectivas, que por sua vez, tendem a transportar o ar mais aquecido para o nível da UBL. Ou seja, a intensificação dos processos convectivos (inversões térmicas) nas cidades tem a capacidade de gerar o aumento da temperatura no nível mesoclimático (UBL). Vale ressaltar que esse tipo de ilha de calor não foi identificado por Oke (1978).

As ilhas de calor de superfície são aquelas observadas e identificadas a partir do sensoriamento remoto, através da detecção da temperatura dos alvos em superfície. Esse procedimento pode ser feito em diversos softwares através da transformação da energia radiante das imagens presentes nas bandas do infravermelho termal dos sensores em temperatura da superfície. Sendo assim, esta técnica permite, além das visões em diferentes escalas, extrair informação de temperatura da superfície de distintos materiais, o que possibilita conhecer a temperatura qualitativa da cidade, ou seja, o desenho da temperatura local (AMORIM, MONTEIRO, 2011).

Deste modo, sabendo que a superfície e o ar estão em constantes trocas e que o aquecimento da atmosfera local é proveniente da radiação de ondas longas, ou seja, da energia emitida pela superfície, conhecer o comportamento térmico de certos tipos de superfície, é de fundamental importância para a compreensão das relações existentes entre as anomalias térmicas e as características urbanas (BARBIRATO, SOUZA; TORRES, 2007; JENSEN, 2009).

Figura 4 - Tipos de ilha de calor urbana



Fonte: Fialho, 2009, p. 49.

A ilha de calor atmosférica é identificada na camada basal da atmosfera, pode ser caracterizada como uma situação momentânea ou horária, em que ocorre a formação de uma cúpula de ar quente sobre a cidade. Sua formação está atrelada aos diversos processos e trocas de energia que ocorrem entre a UCL (nível microclimático) e os elementos em superfície. A partir dessa interação ocorre o aumento das temperaturas, causado, principalmente, pelas características físicas da superfície (alta densidade de edificação, concentração de materiais construtivos de grande potencial energético de emissividade e reflectância) e as atividades urbanas (AMORIM et al., 2009).

3.1 Ilha de calor atmosférica

As ilhas de calor atmosféricas, portanto, são bolsões de ar com temperaturas mais elevadas que as de seu entorno e sua origem deve ser interpretada a partir das particularidades locais e de áreas vizinhas. Esta se relaciona diretamente com as diferenças no uso e ocupação da terra da área central da cidade e do ambiente rural próximo (AMORIM et al., 2009). Esse aquecimento se dá pelas diferentes taxas de aquecimento ou resfriamento próximo à superfície, que criam distintos regimes de temperaturas, cujas diferenças definem a morfologia espacial e a intensidade da ilha de calor urbana (OKE, 1982).

A manifestação da ilha de calor não pode ser atribuída a uma única causa, pelo contrário, é resultado de muitos fatores decorrentes das alterações do uso e cobertura da terra devido à urbanização, que atuando concomitantemente, contribuem para o aquecimento da cidade. Segundo Gartland (2010, p. 26), as principais características urbanas que contribuem para a formação da ilha de calor na cidade estão listadas na tabela 8.

Tabela 8 - Principais características que contribuem para a formação da Ilha de Calor Urbana

Características que contribuem para a formação de ilhas de calor	Efeitos sobre o balanço de energia
Falta de vegetação	Reduz a evapotranspiração, aumenta o calor sensível e diminui o calor latente
Utilização difundida de superfícies permeáveis	Reduz a evapotranspiração, aumenta o calor sensível e diminui o calor latente
Maior difusividade térmica de materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa reflectância solar dos materiais urbanos	Aumenta o saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta o saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção e aumenta a turbulência
Aumento de níveis de poluição	Aumenta o saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumento de calor antropogênico

Fonte: Adaptado de Gartland (2010, p. 26). Org. Moreira (2015).

No tocante aos aspectos principais da ICU¹⁸, Fernández García (1996, p. 263) aponta: **a intensidade** que indica a magnitude do fenômeno, que sofre grande influência do tamanho do espaço urbano e das condições meteorológicas dominantes; **as variações**

¹⁸ Ilha de calor urbana.

espaciais quase todas relacionadas com as diferentes estruturas urbanas e **o ritmo diário e estacional** que depende dos ciclos diários e estacionais da radiação.

Deste modo, a ICU caracteriza-se como um objeto de estudo de natureza complexa devido aos seus fatores de influência e formação, especialmente àqueles que se referem à morfologia urbana e as condições meteorológicas, que se alteram no tempo e no espaço de acordo com cada núcleo urbano. Apesar disso, com o aumento das pesquisas de clima urbano, diversos autores têm apresentado resultados semelhantes, o que possibilita que alguns padrões sejam encontrados.

Oke (1978) define que a intensidade da ICU é resultado da diferença entre a temperatura do ar urbano e rural ($T_{\Delta u-r}$), esse valor depende da quantidade da energia disponível na atmosfera e produzida pelos objetos em superfície, por isso está relacionada à localização da cidade, a morfologia urbana (forma e densidade das construções), do tipo de materiais construtivos, das atividades industriais, das condições climáticas e da sucessão das situações sinóticas e tipos de tempo (AMORIM et al., 2009, p. 2).

Com relação à intensidade da ICU, Fernández García (1996, p. 264) estabeleceu uma classificação a partir de estudos em cidades espanholas (Tabela 9):

Tabela 9 - Intensidades e magnitudes das ilhas de calor urbanas

Intensidade em °C	Magnitude
0°C a 2°C	Fraca
2°C a 4°C	Média
4°C a 6°C	Forte
Acima de 6°C	Muito Forte

Fonte: Fernández García (1996, p. 264). Org. Moreira (2015)

Vários estudos tem demonstrado que a máxima intensidade de ilha de calor ocorre em áreas urbanas densamente edificadas, com pouca vegetação, pois os materiais urbanos absorvem e retém mais calor do sol do que os materiais naturais, os quais durante a noite continuam a liberar calor (radiação de onda longa), diminuindo o arrefecimento durante o período noturno (GARTLAND, 2010). Assim, as maiores alterações ocorrem em espaços em que a diferenças entre os elementos naturais e artificiais são expressivas, o que se associa, na maioria dos casos, ao tamanho do espaço urbano. Logo, as grandes cidades estão sujeitas as maiores modificações e desconfortos decorrentes desse fenômeno.

Bello Fuentes (1994) avaliou a influência das diversas características do uso da terra urbana na intensidade da ilha de calor urbana noturna no estudo da cidade de Guadalajara, com aproximadamente 66.000 habitantes. Os resultados revelaram uma ilha de calor com intensidade média de 2,5°C e elevada correlação direta com as diferentes

situações atmosféricas e as densidades de edificação (entre 0,7 e 0,8), o que permite afirmar que os setores urbanos de Guadalajara com máximas densidades de edificação (entre 70 e 80%), situados, sobretudo, no centro antigo foram as áreas que apresentaram maiores valores em ilha de calor. Em contrapartida, houve também elevada correlação inversa entre os valores de ilha de calor e as porcentagens de espaços verdes (entre -0,8 e -0,9), que apareceram em toda a periferia da cidade, demonstraram os mínimos valores do fenômeno estudado.

Bello Fuentes (1995) também estudou a ilha de calor noturna de Alcalá de Henares, uma cidade localizada a 30 km ao nordeste de Madrid, na margem do rio Henares. O objetivo foi relacionar os valores de ilha de calor com os distintos usos da terra encontrados na cidade. Através dos valores mensurados e das porcentagens dos diversos usos do solo, verificou-se as correlações existem entre a temperatura e as características da superfície. Logo, foi verificado grande correlação (0,85) entre a ilha de calor e a densidade de edificação, assim como também alta correlação, porém inversa, com as áreas verdes (-0,87). Desta maneira, foi possível concluir que os espaços densamente edificados favorecem a gênese da ilha de calor, enquanto que as áreas verdes se caracterizam em espaços mais frescos, e por tanto, perturbadores do referido fenômeno.

No entanto, vale ressaltar que a intensidade da ICU oscila ao longo do dia e da noite conforme a radiação disponível e os ritmos de aquecimento e resfriamentos das superfícies. Pela manhã, a diferença entre as áreas urbanas e rurais é geralmente menor, devido ao arrefecimento noturno que proporciona superfícies mais frias ao amanhecer. Ao longo do dia essa diferença aumenta conforme as superfícies urbanas se aquecem e esquentam o ar. Geralmente, a intensidade da ICU é mais forte à noite, cerca de 3 ou 4 horas após do pôr sol, isso porque a perda de calor pelas superfícies rurais é mais rápida enquanto que as superfícies urbanas por perdem calor mais lentamente, apresentam-se ainda bem aquecidas nesse período (GARTLAND, 2010).

Sobre a variabilidade diária Amorim (2000, p. 30) ressalta que:

Assim, a radiação ao amanhecer e pôr-do-sol nas áreas urbanas depende de processos intrínsecos à cidade. No tecido urbano existe um fluxo de calor que durante o dia fica armazenado como resultado da alta condutibilidade térmica dos materiais que são emitidos para atmosfera nestes horários, apresentando temperaturas mais altas. À medida que os raios solares vão incidindo na superfície, o seu fluxo é reduzido devido à geometria da superfície urbana, que proporciona reflexões múltiplas diminuindo as ondas curtas incidentes, que variam de acordo com a altura das construções, orientação e ângulo do sol.

Essa variação também ocorre em ritmo estacional, porém as opiniões são conflitantes entre os diferentes estudos. O que está, em parte, relacionado a fatores como

localização latitudinal, a orientação das vertentes e a trajetória da radiação solar que criam diferentes ambientes atmosféricos urbanos em cidades tropicais e de latitudes médias.

De modo geral, de acordo com Amorim (2000, p. 31), a justificativa para a maior magnitude da ilha de calor no inverno está associada à maior frequência de inversões térmicas e à maior liberação de calor antropogênico. Já no verão a maior magnitude da ilha de calor é atribuída à maior quantidade de energia absorvida durante o dia e sua absorção durante a noite ou em função do papel de mistura dos solos rurais, que no verão apresentam elevada inércia térmica.

A intensidade e a manifestação da ilha de calor também se relacionam as condições atmosféricas dominantes, e por sua vez, ao clima regional. Sob condições atmosféricas estáveis, em dias calmos e claros o efeito da ilha de calor é mais intenso, já que a insolação é elevada e os ventos brandos removem o calor de maneira vagarosa. Em contrapartida, em dias nublados e com vento, a diferença entre o urbano e rural é minimizada e/ou anulada, devido aos ventos fortes que proporcionam turbulência e a dissipação do calor, e a menor quantidade radiação, já que as nuvens atuam interceptando a luz solar (GARTLAND, 2010).

No que se referem aos sistemas atmosféricos, GOMÉZ et. al. (1993) ao estudarem a cidade de Madrid, apontam que a simples diferenciação entre sistemas de baixa e alta pressão já permite verificar diferenças na intensidade do fenômeno. As ilhas de calor mais intensas estão associadas a situações anticiclônicas de alta pressão, as quais, predominantemente, proporcionam estabilidade de tempo e ausência de nebulosidade, o que favorece o aquecimento durante o dia e o rápido resfriamento noturno, e consequentemente, acentua os contrastes entre a cidade e o campo.

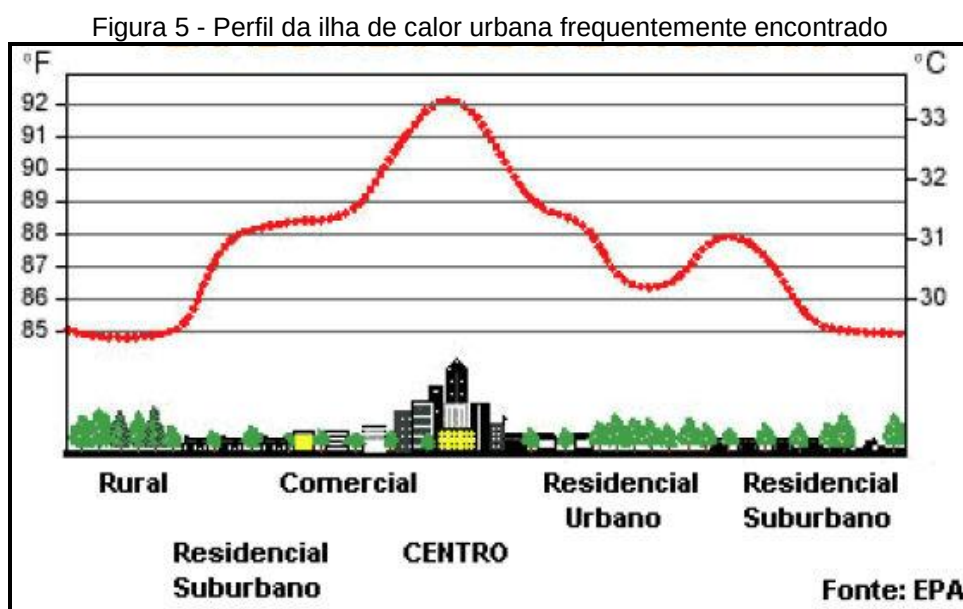
Para Madrid os autores concluíram que a ilha de calor urbana identificada possui variabilidade espacial intimamente associada às estruturas urbanas de menor escala, com destaque para os espaços verdes urbanos, como o Parque do Retiro que atua como amortizador do aquecimento urbano. De acordo com a intensidade, as ilhas fracas foram as mais frequentes, ocorreram em todas as estações e em todos horários, as moderadas e fortes ocorreram às 0h e 07h, com maior frequência no outono e inverno, já as muito fortes são raras e ocorreram predominantemente no inverno e somente nos horários da 0h e às 7h. De maneira geral, estes resultados apontam a interferência dos aparelhos de aquecimento no aumento da frequência e intensidades das ilhas de calor urbanas (GOMÉZ et. al., 1993).

Estudos mais recentes confirmam que a ilha de calor urbana em Madrid é um fenômeno presente durante todo o ano, cuja frequência e intensidade experimentam oscilações estacionais vinculadas a aparição de condições atmosféricas favoráveis, como céu limpo, ventos calmos e insolação abundante. Sendo assim, apesar de ocorrer no

inverno os episódios de ilhas de calor mais intensos é no verão que a frequência é mais elevada (FERNÁNDEZ GARCIA; RASILLAS; ALLENDE, 2013).

Oke (1978, p. 288-289) ao estudar as cidades norte americanas percebe variações espaciais de temperatura do ar ao transcorrer um percurso do campo em direção ao centro de uma zona urbana. O autor representa essas variações através de um esquema, no qual o calor da cidade se evidencia claramente em comparação a paisagem circundante. No perfil encontrado, a ICU apresenta um pico (peak) na área mais urbanizada e o gradiente de temperatura é decrescente em direção ao limite urbano/rural. A maior parte da área urbana, no setor que o autor denomina de suburbano, caracteriza-se como um "plateau" de ar quente com um gradiente horizontal constante, porém com temperatura menor se comparada com o centro da cidade. A uniformidade do "plateau" é interrompida pela influência de distintos usos intraurbanos como parques, lagos e áreas abertas (mais frios), e áreas comerciais, industriais e densamente edificadas (mais quentes). No limite entre o urbano e o rural, a temperatura sofre uma queda muito significativa, fenômeno que o autor denominou de "Cliff".

Assim, no que se refere às variações espaciais, com frequência, estudos demonstram que o local de maior desenvolvimento da ICU é o centro da cidade (Figura 5), onde normalmente a ocupação é densa, enquanto que o ambiente rural, ocupado por baixa densidade de construções e vegetação esparsa e gramados, as temperaturas são amenas (AMORIM et al., 2009).



Fonte: Site da EPA

Fernández García (1996, p. 267) também reconhece esse perfil, porém com algumas singularidades. Segundo o autor, em Madrid, as isotermas seguem uma disposição

concêntrica desde o centro até a periferia e em ocasiões se destacam ilhas secundárias que coincidem com os núcleos suburbanos.

Claro que essa configuração não corresponde de maneira geral a todas as ICU já detectadas, pois a configuração espacial da ilha de calor não é uma estrutura única, mas sim um conjunto de microclimas dinâmicos, que podem ter vários núcleos (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007). Isso porque a densidade de edificações e os diferentes usos da terra condicionam a distribuição das temperaturas, sendo estas características bem peculiares e diferentes de cidade para cidade. Além disso, deve-se considerar a atuação do vento, que pode fazer com que esse padrão clássico desapareça ou até mesmo não se forme.

Além do aumento da temperatura, as ilhas de calor proporcionam uma circulação de ar que favorece a concentração de poluentes. As diferentes temperaturas provocam diferenças nas pressões, visto que na escala local do clima, temperaturas maiores resultam em menores pressões, e conseqüentemente, o ar do entorno rural mais frio desloca-se para os lugares mais quentes. Nesse percurso, os poluentes são carregados para os lugares mais quentes, que aliado à atmosfera urbana mais seca, pode acarretar em problemas de saúde, principalmente respiratórios (AMORIM, 2010).

Assim, as “ilhas de calor afetam diretamente o conforto e a saúde dos indivíduos, seja por problemas relacionados diretamente ao calor, como o estresse térmico ou por problemas de doenças relacionados à qualidade do ar”. (AMORIM, 2010, p. 74).

Sobre como os desconfortos térmicos afetam a saúde das pessoas Amorim (2010, p. 74) ressalta que

O organismo humano perde calor por meio da pele, do suor e da transpiração. Sob condições atmosféricas consideradas confortáveis, que segundo a Organização Mundial de Saúde (1990) está entre 17°C e 31°C de temperatura, e com baixos níveis de atividade física, a maior parte do calor é perdida por meio da pele. Quando a temperatura do ar está muito elevada ou o nível de atividade física aumenta, o corpo aciona os mecanismos de termorregulação na busca de manter o equilíbrio e começa a suar. Quando o ar se torna mais quente do que a pele, ou a temperatura fica próxima à temperatura do organismo (34°C), ao invés do ar “esfriar” o corpo, ele aquece-o e a transpiração se torna o único meio para o corpo se refrescar. Essa situação de estresse térmico ocorre facilmente nos ambientes tropicais e se intensificam com as ilhas de calor. Pessoas submetidas a essa situação por longos períodos, especialmente as que fazem parte do grupo de risco, como os idosos, as crianças, as mulheres grávidas, os cardíacos, os asmáticos etc., podem ter problemas dos mais simples aos mais graves, como, por exemplo, irritabilidade, desconcentração, inapetência, desidratação, câibras, desmaios, exaustão pelo calor e até a morte.

Gartland (2010, p. 179) lembra que óbitos relacionados ao calor aumentam durante nas ondas de calor, como um evento de 5 dias de calor em Chicago, em julho de 1995, que

foi responsável por pelo menos 700 mortes. Embora seja raro um número tão grande de mortes associadas a esse tipo de evento, elas não são incomuns.

Portanto, o estudo de clima urbano deve, além de quantificar as alterações detectadas, realizar uma análise geográfica do fenômeno, estabelecendo relações entre os dados mensurados e os elementos componentes da cidade. Dessa maneira, estes estudos podem contribuir para a melhoria da qualidade ambiental urbana, amenizando situações de desconforto e prejudiciais a saúde da população (AMORIM, 2010).

Para tanto, mudanças no planejamento das cidades são necessárias, pois para romper com o modelo de desenvolvimento urbano vigente é preciso que os planejadores atuem na tentativa de evitar ou ao menos minimizar os males causados pelo processo de urbanização. O que pode ser alcançado por meio de medidas que visem à preservação ambiental, com tomadas de decisões pensadas e planejadas tendo como base o conhecimento detalhado do clima e dos elementos físicos do meio (UGEDA JÚNIOR, 2012).

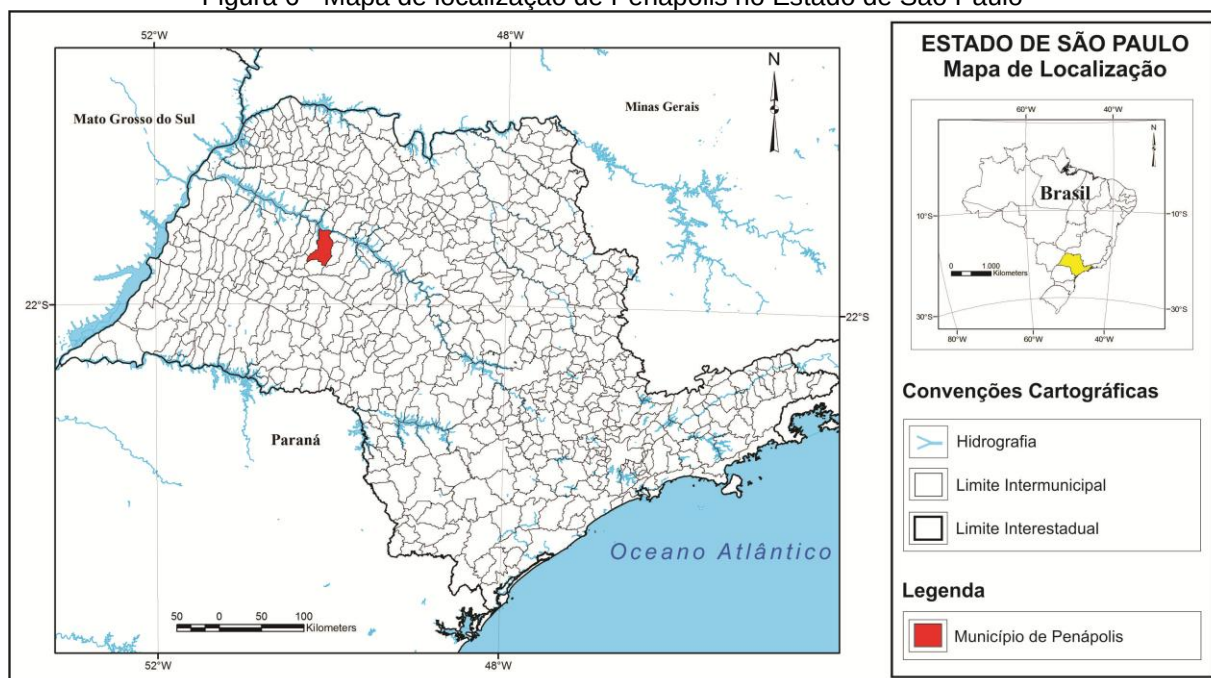
Nesse sentido, para a construção de um novo paradigma de desenvolvimento urbano, que vise à qualidade ambiental e a qualidade de vida da população é preciso que os estudos sobre os problemas ambientais urbanos sejam utilizados. Dentre estes, os que abordam a temática clima urbano são de fundamental importância, pois acredita-se que a utilização dessas pesquisas aliado a capacitação técnica dos gestores poderia amenizar o quadro de desconforto térmico frequentemente encontrado nas cidades brasileiras.

4 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Aspectos gerais

Penápolis é um município localizado no noroeste paulista, no quadrante 21°26' de latitude sul e 50° 19' de longitude oeste (Figura 6), distante 487 km da capital. O município possui área de aproximadamente 711 Km², com altitude média de 416 metros e aproximadamente 58.510 habitantes, sendo que 55.882, ou seja, 95% da população são residentes na área urbana, resultando em uma densidade demográfica de 83,69 hab/Km² (CENSO, 2010).

Figura 6 - Mapa de localização de Penápolis no Estado de São Paulo



Fonte: IBGE. Organização: Moreira (2013).

Apesar de ser considerada cidade de pequeno porte, Penápolis desempenha função de cidade pólo para alguns pequenos municípios do seu entorno, que demandam de infraestruturas ali contidas, sobretudo de comércio e serviços, o que lhe rendeu o título de Comarca de 7 municípios – Alto Alegre, Avanhandava, Barbosa, Glicério, Braúna e Luiziana – exercendo assim influência sobre esse universo de quase 100 mil habitantes¹⁹

A cidade dispõe de boa infraestrutura de acesso, destacam-se duas rodovias principais do estado, que são a Marechal Rodom (SP-300), que liga a capital, São Paulo, a Mato Grosso do Sul, e Assis Chateaubriand (SP-425), que tem seu trajeto iniciado no Paraná, passa por São Paulo, Minas Gerais e Goiás, e termina em Brasília-DF. Além disso,

¹⁹ Disponível em: <<http://www.camaradenapolis.com.br/portal/sobre>>.

conta-se com transporte ferroviário, através da Ferrovia Noroeste do Brasil, que sai de Bauru, centro do estado de São Paulo e vai até a Bolívia, passando pelo interior de Mato Grosso do Sul.

A ferrovia exerceu papel fundamental na consolidação do núcleo urbano, representando por muitos anos, um dos poucos meios de ligação à região, tanto de carga, principalmente de café, como de passageiros. Atualmente, vê-se um descuido e abandono da linha férrea, que é utilizada apenas para o transporte de algumas cargas, como por exemplo, combustível.

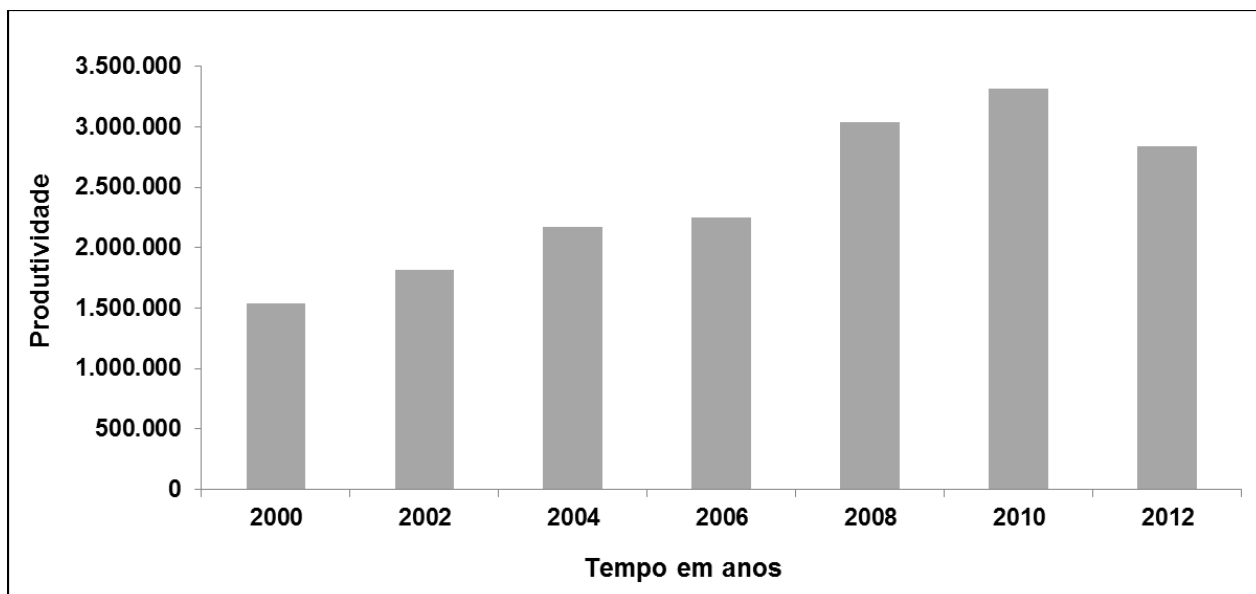
O desenvolvimento econômico de Penápolis é similar à maioria dos municípios da região noroeste do Estado que, historicamente, teve início com a cultura do café nas primeiras décadas do século XX. Com a decadência da economia cafeeira, o município abriu espaço para as atividades de pecuária, de corte e de leite, e o cultivo de milho e arroz, que ainda estão presentes no município, porém com pouca expressividade. Sendo assim, apesar de possuir boa infraestrutura de transportes, o município ainda não encontrou um eixo de desenvolvimento capaz de suprir suas necessidades econômicas, em especial, emprego e renda (PREFEITURA DE PENÁPOLIS, 2014).

A indústria se desenvolveu a partir do capital local, com predomínio de empresas familiares e por isso apresenta pouca expressividade. Em geral, as atividades industriais estão relacionadas à produção de açúcar e álcool, calçados, couros, laticínios, embalagens, implementos agrícolas e irrigação.

Na última década, como consequência das políticas públicas federais de apoio, a atividade emergente tem sido o setor sucroalcooleiro, que através da plantação de cana-de-açúcar e da agroindústria derivada dessa planta, voltada, principalmente, a produção do biodiesel (Gráfico 1), tem gerado o aumento do produto interno bruto do município em detrimento de sua qualidade ambiental (PREFEITURA DE PENÁPOLIS; FRAGA et al., 2014).

A concentração da economia do município na atividade sucroalcooleira causa desemprego sazonal na entressafra, que tem sido potencializado recentemente pela atual crise do setor. Sabendo disso, o município tenta diversificar e expandir seu campo de atuação econômico e nos últimos anos vem desenvolvendo projetos que beneficiam as microempresas, como incubadoras instaladas próximo ao parque industrial da cidade (ANDRADE et al., 2008).

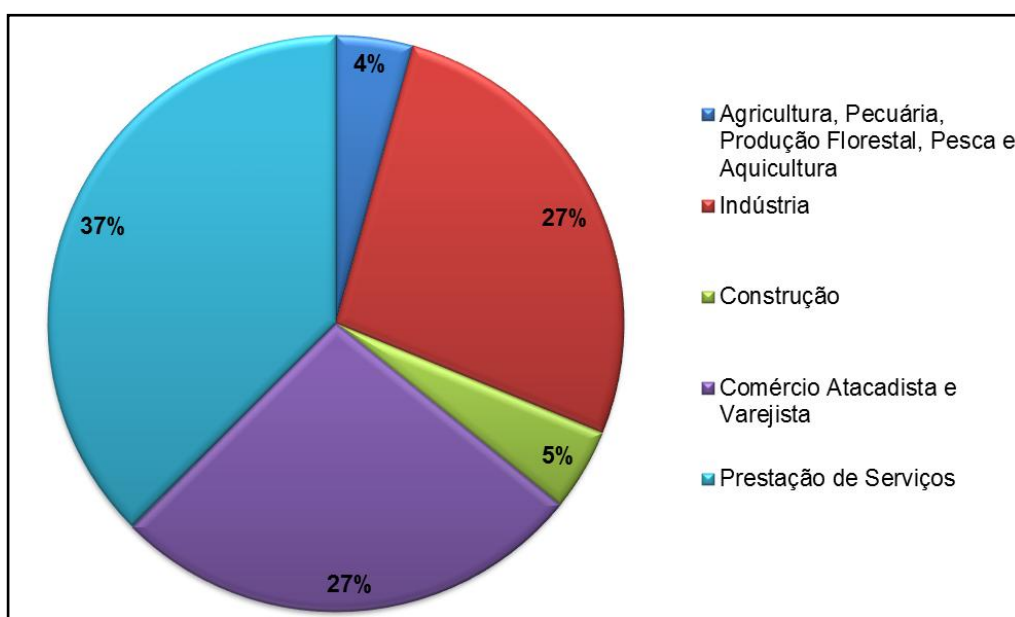
Gráfico 1 - Produção de cana-de-açúcar (em toneladas) no município de Penápolis/SP



Fonte: IBGE – SIDRA. Org. Moreira (2015).

O setor que sempre foi destaque e nos últimos anos tem se ampliado é o de comércio e serviços. Fato esse que pode ser observado na análise da porcentagem de participação dos empregos formais em cada atividade (Gráfico 2), visto que esses dois setores são os responsáveis pelo emprego de 64% da população do município. Esse percentual pode ter se elevado com a vinda de grandes empreendimentos comerciais, como o Hipermercado Extra e o Garden Shopping, que se instalaram no município em 2014 e tem causado grandes mudanças na economia local.

Gráfico 2 - Participação dos empregos formais nos setores da economia em 2013



Fonte: SEADE. Org. Moreira (2015).

De acordo com os Censos de 1970 ao de 2010 a população total e urbana aumentou (Gráfico 3), porém o percentual de crescimento diminuiu nas duas últimas estimativas. Isso se deve a diminuição do crescimento populacional no país, causado pela queda de taxa de fecundidade. Percebe-se também, a redução no contingente rural, sobretudo a partir de 1980, momento este marcado pelo êxodo rural e crescimento das cidades.

Segundo estimativas do IBGE o ritmo de crescimento de Penápolis reduziu ainda mais, já que em 2014 a taxa de crescimento populacional foi 0,43%, ficando abaixo da taxa do estado de São Paulo de 0,63% (IBGE CIDADES, 2014).

Os serviços públicos apresentam significativa qualidade e o município possui o IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) alto, de 0,759 (CENSO, 2010). Isso não quer dizer que as ações do poder do público sejam adequadas, principalmente no tocante a temática ambiental, uma vez que Penápolis apresenta vários problemas de degradação, como erosões e assoreamentos de rios, decorrentes do uso e manejo inadequado do solo e da retirada de vegetação nativa.

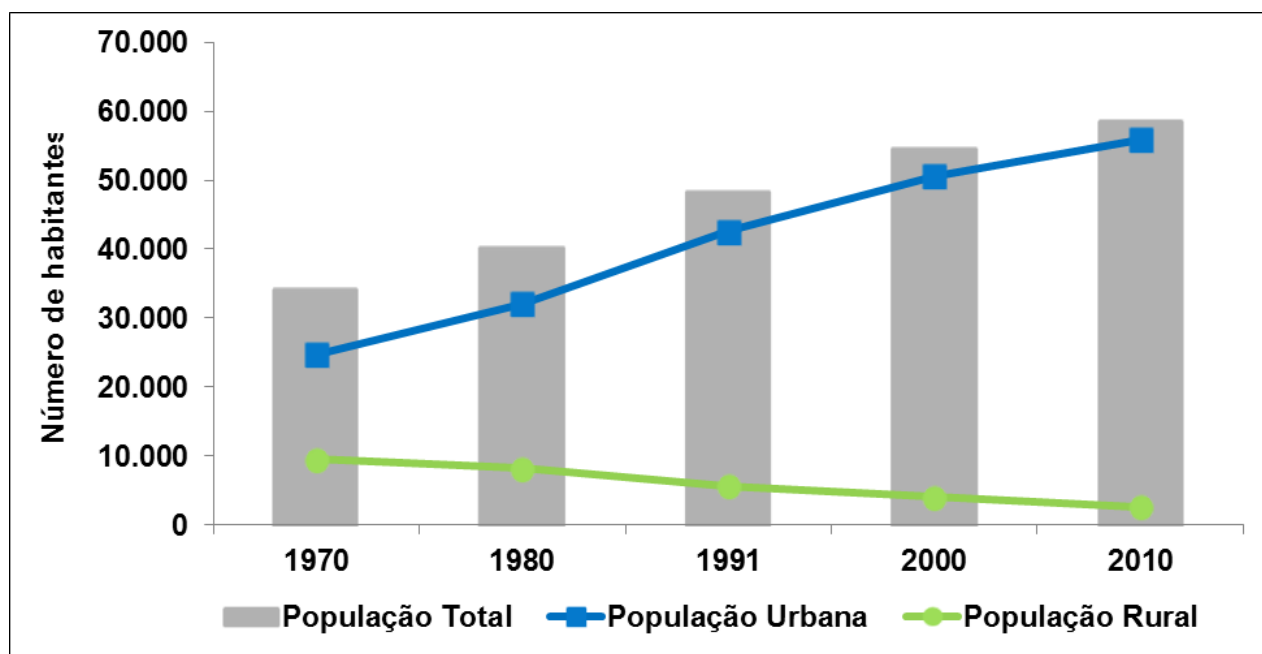


Gráfico 3 - População de Penápolis (período de 1970 a 2010)
Fonte: IBGE – SIDRA. Organização: Moreira (2015).

4.2 Aspectos históricos

A ocupação do que corresponde à atual região noroeste do Estado de São Paulo, se iniciou no ano de 1842, com a vinda de famílias provenientes do sul de Minas Gerais para os Campos do Salto do Avanhandava, impulsionados pelo descontentamento das

medidas tomadas pelo Governo Imperial que resultaram na Revolução Liberal (1842). Esta região até então retratada pelos mapas como “sertão desconhecido” caracterizava-se por extensas e férteis glebas de terras, passando a ser denominada como nova “fronteira agrícola e pecuária” (HECHT, 2008).

A marcha para o oeste e a expansão da cultura cafeeira incentivou novas correntes migratórias que alcançaram a região a partir de 1880. Na procura por novas terras agricultáveis devido ao aumento do preço e do comércio do café tanto pelo mercado interno quanto externo, frentes populacionais acabaram ocupando a região, incorporando-a ao ciclo do café (PREFEITURA DE PENÁPOLIS, 2014).

No entanto, o povoamento foi intensificado com a notícia da instalação da estrada de ferro Noroeste do Brasil em 1907. Com a chegada dos trilhos da ferrovia na nova localidade, em março de 1908, novos moradores foram atraídos e em 25 de outubro de 1908 foi criado o Patrimônio de Santa Cruz do Avanhandava, data em que se comemora o aniversário da cidade. Em novembro de 1909, o Patrimônio foi elevado a Distrito de Paz de Penápolis (Vila), em homenagem ao Ex-Presidente da República, Afonso Augusto Moreira Penna (IBGE CIDADES, 2015).

Posteriormente, em 22 de dezembro de 1913, o Distrito de Paz de Penápolis foi elevado à categoria de município com a denominação de Penápolis pelo decreto lei 1.397. Deste modo, percebe-se um rápido processo de ocupação e expansão de Penápolis após a instalação da ferrovia, visto que em menos de uma década conseguiu se emancipar, elevando-se a Comarca em outubro de 1917 (PREFEITURA DE PENÁPOLIS, 2014).

A rápida ocupação da área ocorreu em virtude da junção dos interesses entre os coronéis latifundiários interessados pelas terras indígenas e os objetivos da Companhia Estrada de Ferro Noroeste do Brasil (CEFNOB), a qual almejava penetrar no interior do Estado de São Paulo, gerar a ocupação das terras consideradas devolutas pelo governo e promover assim a união das diversas províncias.

Entretanto, para atrair o imigrante comprador de terra era necessário afastar a ameaça indígena e fomentar a criação de povoados, o que foi conseguido em 1912, através da atuação de bugreiros, que acabaram exterminando os moradores originais, os índios cainguanges; e da ação da empresa “The San Paulo Land, Lumber & Colonization Company” cujo sócio e braço político era o Coronel Manoel Bento da Cruz, que por meio de ações coronelistas ampliou suas posses, influenciando diretamente na formação de núcleos urbanos (GHIRARDELLO, 2002).

A partir disso, com base no autor supracitado, o parcelamento da terra nos espaços urbanos ocorreu privadamente, seguindo a lógica capitalista, com a compra e venda livre de terrenos. Portanto, pode-se dizer que a implantação da cidade objetivou a especulação

imobiliária, com a obtenção de lucro pelos coronéis, que repartiam as terras e vendiam aos imigrantes atraídos pelas oportunidades oferecidas pelas terras férteis servidas de ferrovia.

A ferrovia foi um fator essencial à formação das cidades do noroeste paulista, pois o transporte ferroviário assegurava acesso ao novo núcleo urbano, garantindo acessibilidade, escoamento da futura produção, e consequentemente o desenvolvimento da vida econômica. A importância da ferrovia à região influencia o próprio desenho urbano, visto que para o arruamento desses povoados foi tomada como base, em todos os casos, a longa reta originada pela linha da ferrovia, ou mesmo os limites de divisa da esplanada (GHIRARDELLO, 2002).

Diferentemente da cidade colonial e mesmo da cidade cafeeira do século XIX, nascidas em solo sacro, ao redor de uma capela, as cidades ferroviárias da Zona Nordeste surgirão sobre solos laicos e ao redor da estação, ou fronteiriças a ela. [...] Esta cidade, ainda, diferentemente daquela, terá ocupação de seus lotes de forma linear, paralelamente aos trilhos e daí para as vias subsequentes, sempre paralelamente, em direção aos limites da cidade (GHIRARDELLO, 2002, p 172-173).

É nessa perspectiva que em 1909, com Penápolis ainda Vila, que a demarcação e o alinhamento das vias públicas foram realizados. Seus executores foram dois agrimensores: Christiano Olsen (Vias transversais – as atuais ruas) e Adolf Hecht (Vias longitudinais – as atuais avenidas) (HECHT, 2008).

Seguindo a lógica das cidades ferroviárias do noroeste paulista, o traçado urbano de Penápolis seguiu a orientação da ferrovia, constituindo-se por um modelo de “tabuleiro de xadrez”, com quadras com dimensões de 88m x 88m, sendo as ruas perpendiculares aos trilhos e as avenidas paralelas a estes (GHIRARDELLO, 2002) (Figura 7). A quadrícula ainda é perceptível no miolo da mancha urbana atual, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 7 - Vista aérea de Penápolis/SP em 1939

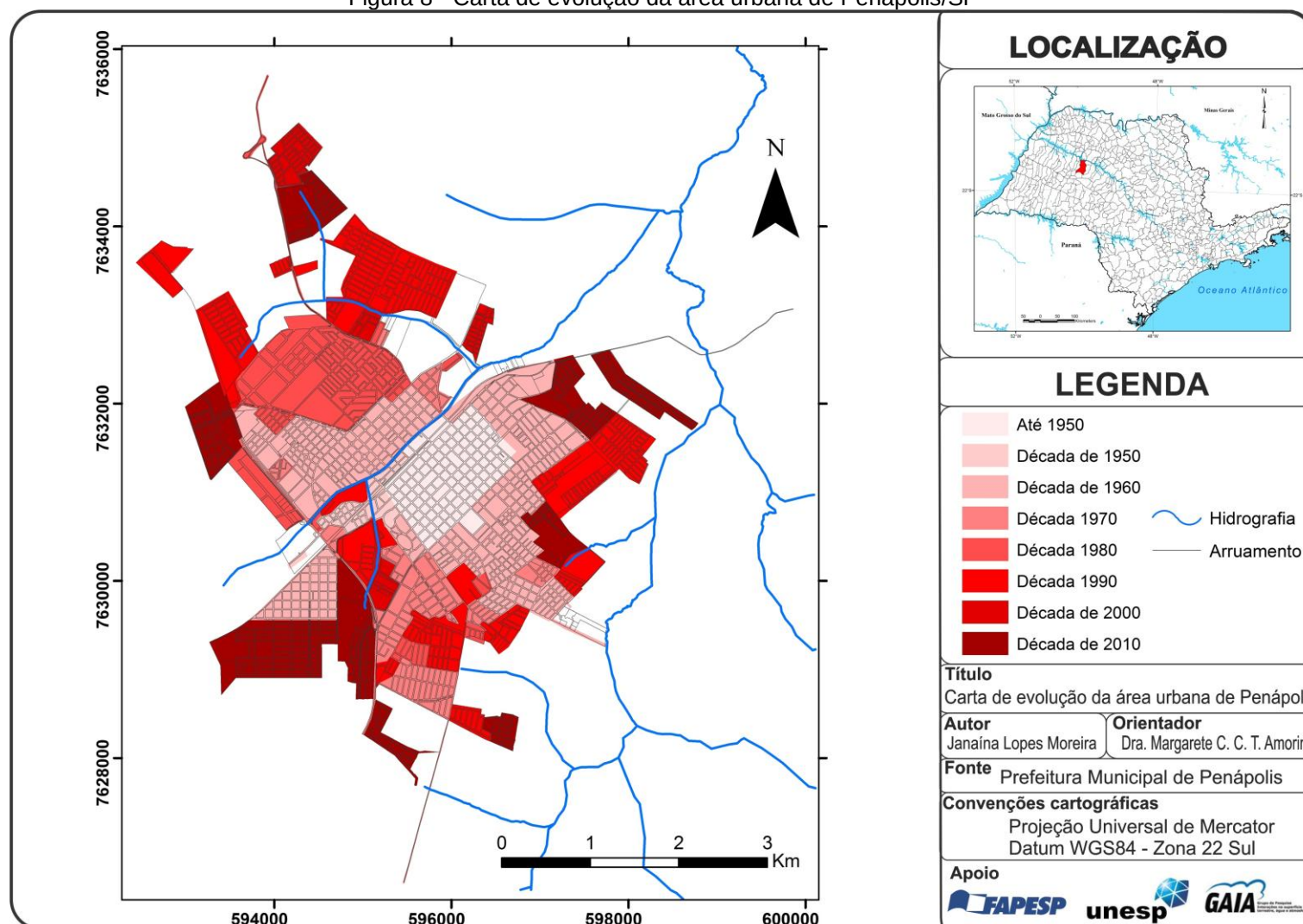


Fonte: Acervo Fotográfico do Museu Histórico e Pedagógico Fernão Dias Paes de Penápolis/SP.

Outra condição para a formação do núcleo foi a proximidade de água, que corria junto às instalações da ferrovia e acabava por servir a futura povoação, característica que pode ser observada em Penápolis, onde a esplanada situa-se a 120 metros do Córrego Maria Chica (GHIRARDELLO, 2002).

Observando a evolução da área urbana ao longo das décadas em Penápolis (Figura 8), é possível perceber que o desenvolvimento foi mais pronunciado no sentido norte-sul, tendo, como mencionado anteriormente, sua ocupação iniciada perpendicularmente a ferrovia. A expansão da malha urbana foi lenta, com poucos bairros novos até 1960. A partir dessa década, a mancha urbana cresceu consideravelmente, com destaque para os setores ao norte da linha férrea e do córrego Maria Chica, e ao sul dos bairros já consolidados. Durante as décadas subsequentes o crescimento desacelerou, com exceção para o distrito industrial, construído na década de 1980. O ritmo de crescimento urbano foi retomado a partir de 1990, quando vários conjuntos habitacionais populares foram construídos.

Figura 8 - Carta de evolução da área urbana de Penápolis/SP

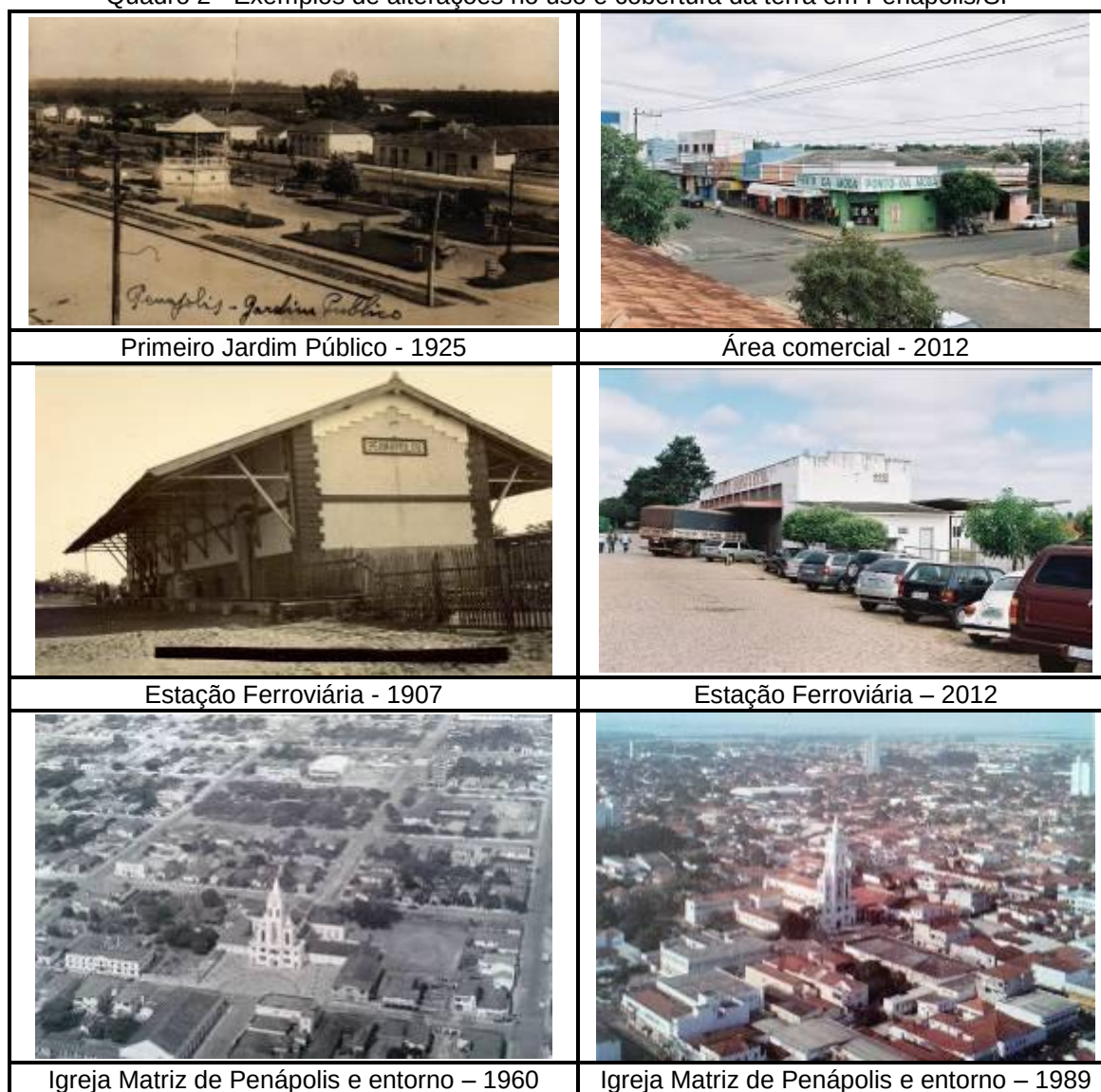


Fonte: Elaborado pela autora.

A implantação da ferrovia, a ocupação de novas terras para a cultura cafeeira e a expansão da malha urbana resultou em grande desmatamento da vegetação nativa. Portanto, o crescimento urbano de Penápolis, foi similar ao de muitas cidades brasileiras, em que não houve o respeito pelas características físicas naturais, o que gerou o surgimento de uma série de problemas de ordem ambiental, especialmente no tocante a cobertura vegetal e aos cursos d'água.

Somado a isso, tem-se um planejamento urbano inadequado que não privilegia a manutenção da vegetação urbana, o que tem originado um perfil urbano marcado, predominantemente pelo baixo índice de cobertura arbórea e pela alta densidade de edificações. O quadro 2 ilustra algumas dessas modificações nos usos e coberturas da terra.

Quadro 2 - Exemplos de alterações no uso e cobertura da terra em Penápolis/SP



Fonte: Acervo Fotográfico do Museu Histórico e Pedagógico Fernão Dias Paes de Penápolis/SP
Organização: Moreira (2015).

O quadro 2 contém dois símbolos da cultura e da história local, a Estação Ferroviária, atualmente desativada, mas que serviu por muitos anos para o depósito de cimento, e a Igreja Matriz, construída no início da instalação do município e que ainda apresenta traços arquitetônicos originais. Em todas as comparações pode se perceber a alteração no uso e cobertura da terra, entretanto, a primeira e a terceira se destacam em decorrência do aumento da densidade de edificações e da redução da vegetação.

Essas modificações isoladamente não explicam a formação dos problemas ambientais urbanos, porém quando analisadas em conjunto com outras características do uso e cobertura da terra e as dinâmicas que permeiam a estruturação do espaço urbano, tem-se uma melhor compreensão da origem de alguns desconfortos presentes nas cidades, entre estes, o clima urbano.

4.3 Caracterização geoambiental

4.3.1 Relevô

No que diz respeito aos aspectos geomorfológicos gerais do município, Penápolis encontra-se localizado na Bacia Sedimentar do Paraná (morfoestrutura) e no Planalto Ocidental Paulista (morfoescultura), mais especificamente no Planalto Centro Ocidental (ROSS; MOROZ, 1997²⁰). Como já mencionado anteriormente, a cidade surgiu principalmente a partir da especulação imobiliária fomentada a partir da implantação da ferrovia. Cidades que foram fundadas nessa lógica tem a linha férrea como local de início da ocupação e adensamento urbano. Diferentemente do que é encontrado em outras cidades paulistas, a linha férrea em Penápolis não foi instalada seguindo as maiores cotas altimétricas, pelo contrário, os trilhos se localizam a cerca de 120 metros do fundo de vale do córrego Maria Chica. Tal característica fez com que o tecido urbano, desde o início da ocupação, apresentasse uma variação altimétrica significativa.

A cidade se localiza sobre algumas nascentes que têm como jusante a calha do rio Tietê, por isso o subnívelamento do relevo mostra um caimento para o norte (ANDRADE et. al., 2008). Consequentemente, em relação à hipsometria, as maiores cotas altimétricas se localizam a sudeste da malha urbana (Figura 9), cujo ponto de maior valor é de 448 metros de altitude, local onde se encontra o bairro Jardim do Lago. Altitudes elevadas, entre 439 e 444 metros, também podem ser observadas em alguns pontos no setor sul, onde estão localizados os bairros Jardim Del Rey, Jardim Alto das Brisas e Residencial Flávia.

As áreas mais baixas estão associadas aos cursos d'água, os quais ganham um volume um pouco maior em direção ao nordeste, onde se situa o rio Tietê. Logo, o setor nordeste se caracteriza por cotas de menor valor, onde se nota o menor ponto altimétrico, com 370 metros. Dentro do perímetro o menor valor encontrado é o de 387 metros, localizado no início da parte urbanizada do córrego Maria Chica, tendo assim, a variação máxima na malha urbana de 61 metros.

Estes valores estão em conformidade com o mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, que descreve a topografia da região de Penápolis através da presença de colinas amplas e baixas, com altitudes que variam de 300 a 600 metros e declividades entre 10 a 30% (ROSS; MOROZ, 1997). Portanto, apesar da presença e proximidade dos cursos d'água, a malha urbana de Penápolis não apresenta fundos de vale acentuados, o que proporciona vertentes mais aplainadas com variações altimétricas suaves.

²⁰ ROSS, Jurandir; MOROZ, Isabel C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo** - Universidade de São Paulo - Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FFLCH/USP-IPT/FAPESP, 1997.

Por conseguinte, a percentagem de declividade do terreno é baixa, atingindo a máxima de 26,36% no recorte escolhido (Figura 10). Grande parte da malha urbana está localizada em áreas com declives até 8,27%. Os maiores percentuais podem ser notados no entorno dos córregos, com destaque para o setor nordeste, mais especificamente onde está a confluência do Ribeirão Lajeado com o córrego Maria Chica. No interior do tecido urbano consolidado os maiores percentuais são encontrados a norte, nos bairros Jardim Tropical e Jardim Alphaville, onde está localizado o córrego do Curtume.

No tocante a orientação das vertentes, através do mapeamento, foram identificadas oito exposições de vertentes, sendo elas, norte, nordeste, noroeste, leste, sul, sudeste, sudoeste e oeste (Figura 11). A maior parte da área mapeada apresenta vertentes voltadas a norte, nordeste e noroeste, seguidas pelas vertentes direcionadas a sul, sudeste e sudoeste que também possuem grande ocorrência.

Também se observa que nas áreas a norte do córrego Maria Chica ocorre o predomínio de vertentes voltadas ao quadrante sul, representadas em tons amarelos. Já a sul desse curso d'água, ocorre a inversão, com predomínio de vertentes voltadas para norte, representadas por tons avermelhados.

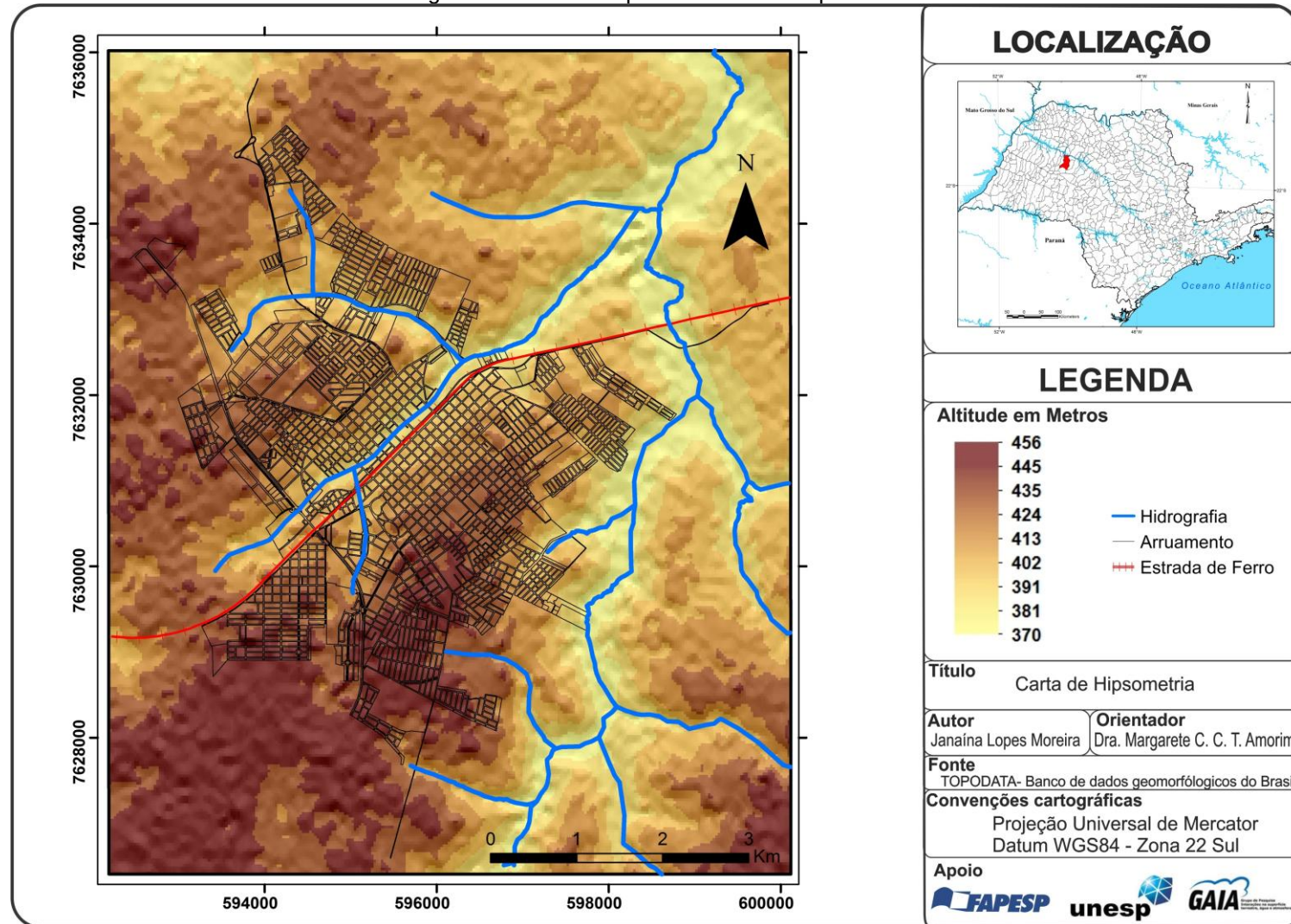
Ocorre ainda, porém com menor frequência, vertentes voltadas para leste, representadas em azul, e oeste, representadas em verde. Essas vertentes podem ser observadas principalmente a sudeste e leste do município, onde está localizado o Ribeirão Lajeado.

Vale ressaltar que esse mapa apresenta a inexistência de áreas planas, pois mesmo em declives pouco acentuados, inferiores a 5%, como é caso de grande parte da malha urbana, tem-se o declive do relevo para uma direção (UGEDA JÚNIOR, 2012).

O mapeamento dessa componente topográfica é de grande relevância para se compreender a variação da temperatura e umidade no ambiente intraurbano, pois a “orientação e inclinação das vertentes e a posição geográfica, conjugados com a trajetória aparente do sol podem gerar uma diferenciação no balanço de energia, por meio do sombreamento das encostas, modificando os padrões espaciais e temporais dos elementos do clima [...]” (FIALHO, 2009, p. 54).

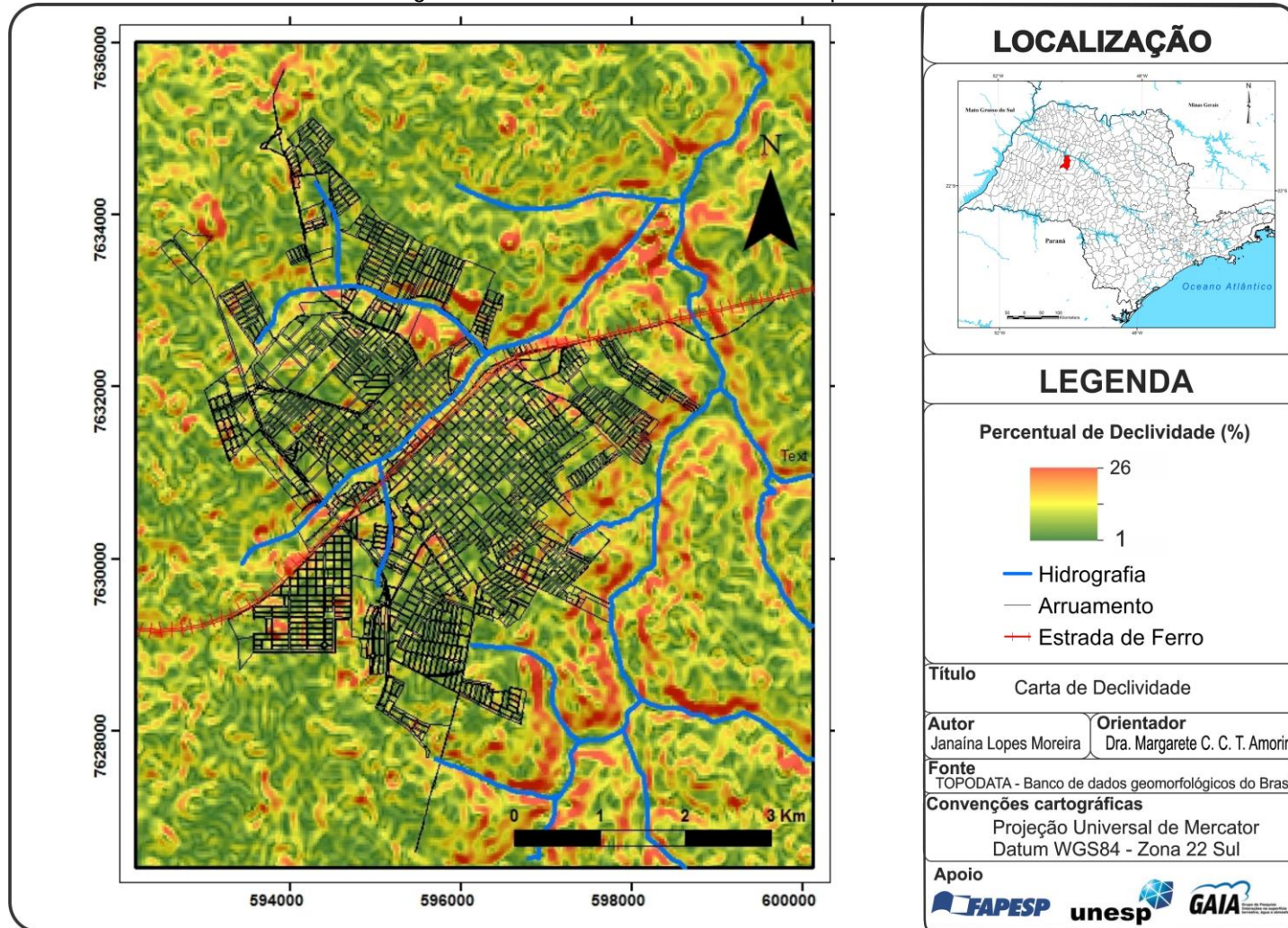
Portanto, o conhecimento das feições topográficas é imprescindível nos estudos de clima urbano, já que estas interferem na dinâmica do balanço de energia, causando assim, mesmo que em pequenas distâncias, variações climáticas significativas. No hemisfério sul, especialmente no inverno, vertentes voltadas para norte recebem maior incidência de radiação solar, e por isso, se apresentam potencialmente mais aquecidas. Esta característica foi levada em consideração nas análises dos dados climáticos, visto que grande parte dos setores abarcados pelos pontos de coleta situam-se sobre vertentes voltadas para norte.

Figura 9 - Carta de hipsometria de Penápolis/SP



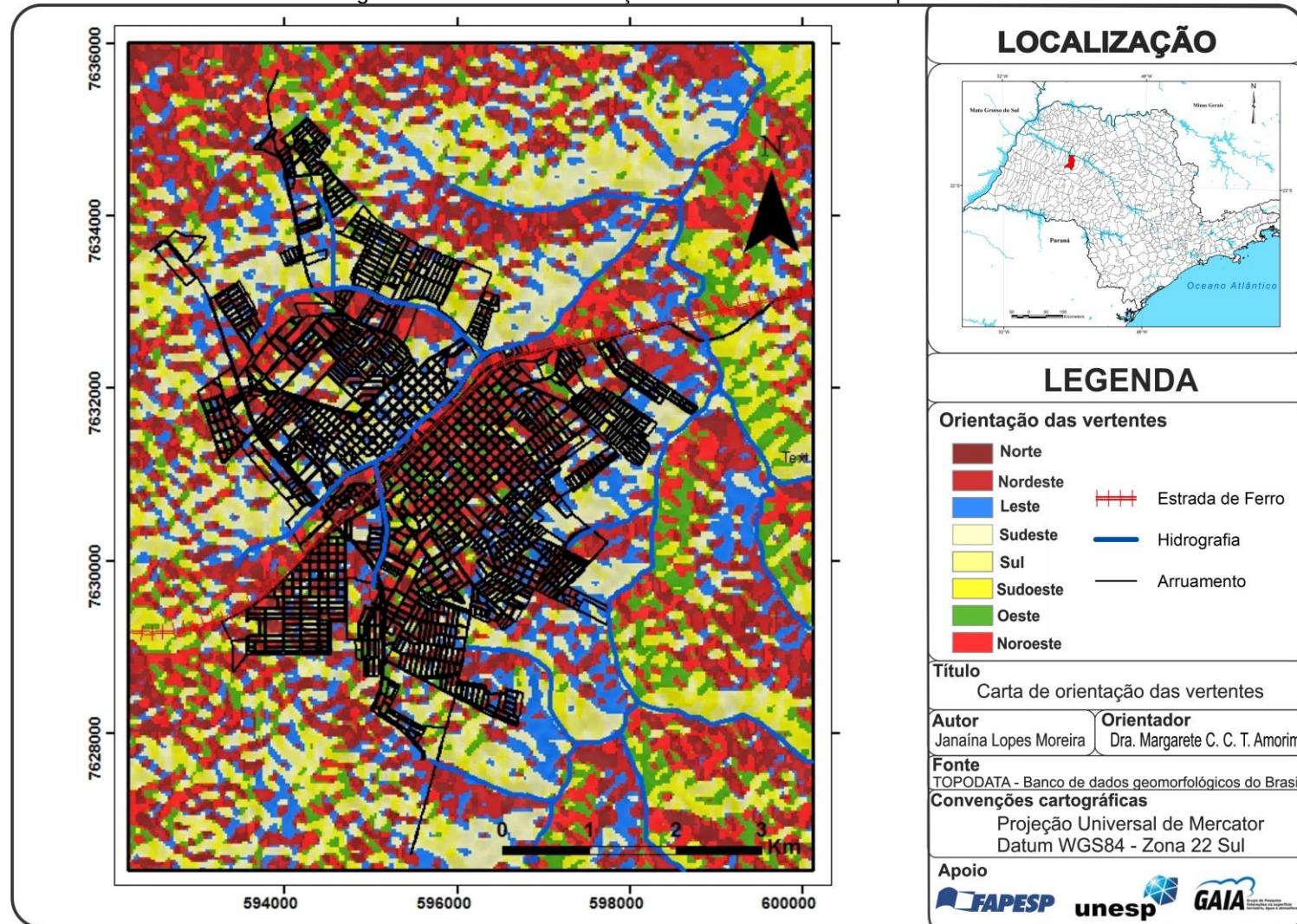
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10 - Carta de declividade de Penápolis/SP



Fonte: elaborado pela autora

Figura 11 - Carta de orientação das vertentes de Penápolis/SP



Fonte: elaborado pela autora.

4.3.2 Clima

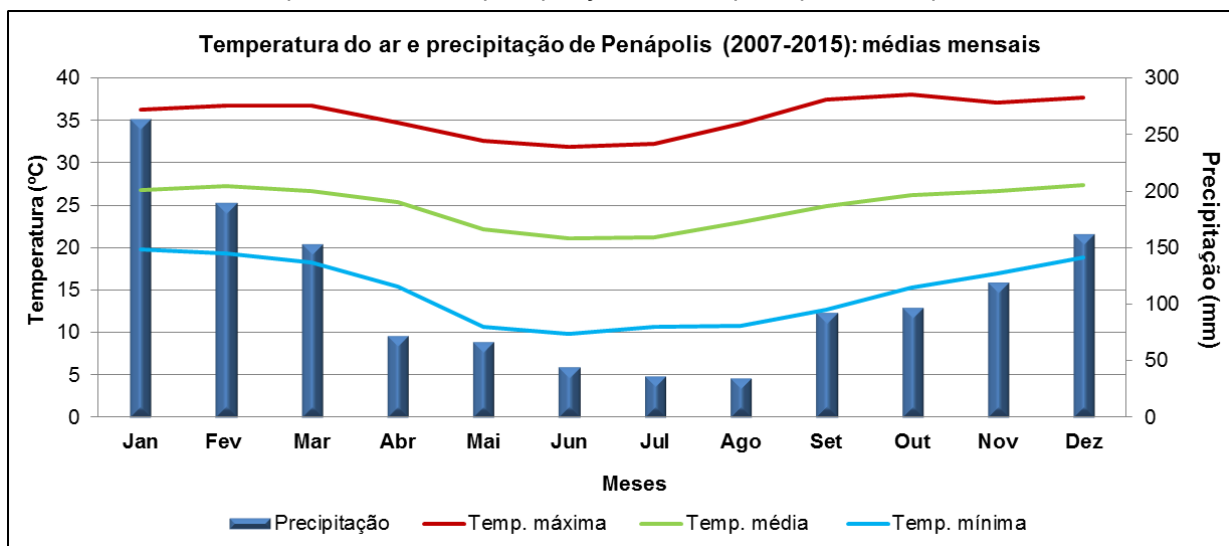
Sabendo que o clima é um sistema, e que por isso, ocorrem interações entre as diferentes escalas que o compõe, torna-se necessário a caracterização climática, especialmente com ênfase nas escalas regionais, pois nestas se manifestam os sistemas atmosféricos, que são os principais reguladores de tempo que geram as condições meteorológicas presentes na ocasião da coleta de campo. (MONTEIRO, 1990b)

O Estado de São Paulo, região em que o município de Penápolis se insere, caracteriza-se pelo clima tropical, com zonas climáticas condicionadas as latitudes, que determinam a distribuição diferenciada de energia solar e influenciam a dinâmica da distribuição dos ciclones e anticiclones, e conseqüentemente, dos sistemas atmosféricos atuantes, o que causa a variação sazonal anual da temperatura e precipitação. Somado a isso, tem-se a continentalidade do interior do estado que interfere, sobretudo, na temperatura. Sob influência de tais fatores as temperaturas médias da região são elevadas.

A região de Penápolis caracteriza-se por ser uma área de transição climática entre os sistemas tropicais e polares, com estações úmidas e secas bem definidas: verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco. Como pode ser observado no Gráfico 4, os maiores valores médios da temperatura máxima do ar ocorreram em outubro (38°C), dezembro (37,7°C) e novembro (37°C), e os menores em junho (31,9°C) e julho (32,2°C).

As temperaturas mínimas apresentaram os valores médios mais baixos em junho (9,8°C) e maio (10,6°), sendo que os maiores valores da temperatura média ocorreram em dezembro (27,3°C), fevereiro (27,2°C) e em janeiro (26,7°C). Já os dados de precipitação demonstraram que entre os meses de outubro a março são registrados valores médios de precipitação acima de 150 mm, sendo que janeiro e fevereiro são os meses mais chuvosos, com 263 e 189 mm respectivamente. Ressalta-se que as médias mensais foram calculadas a partir dos dados do DAEP, ou seja, dados coletados na área urbana, próxima ao centro.

Gráfico 4 - Temperatura do ar e precipitação de Penápolis (2007-2015): médias mensais



Fonte dos dados: DAEP. Org. Moreira 2016.

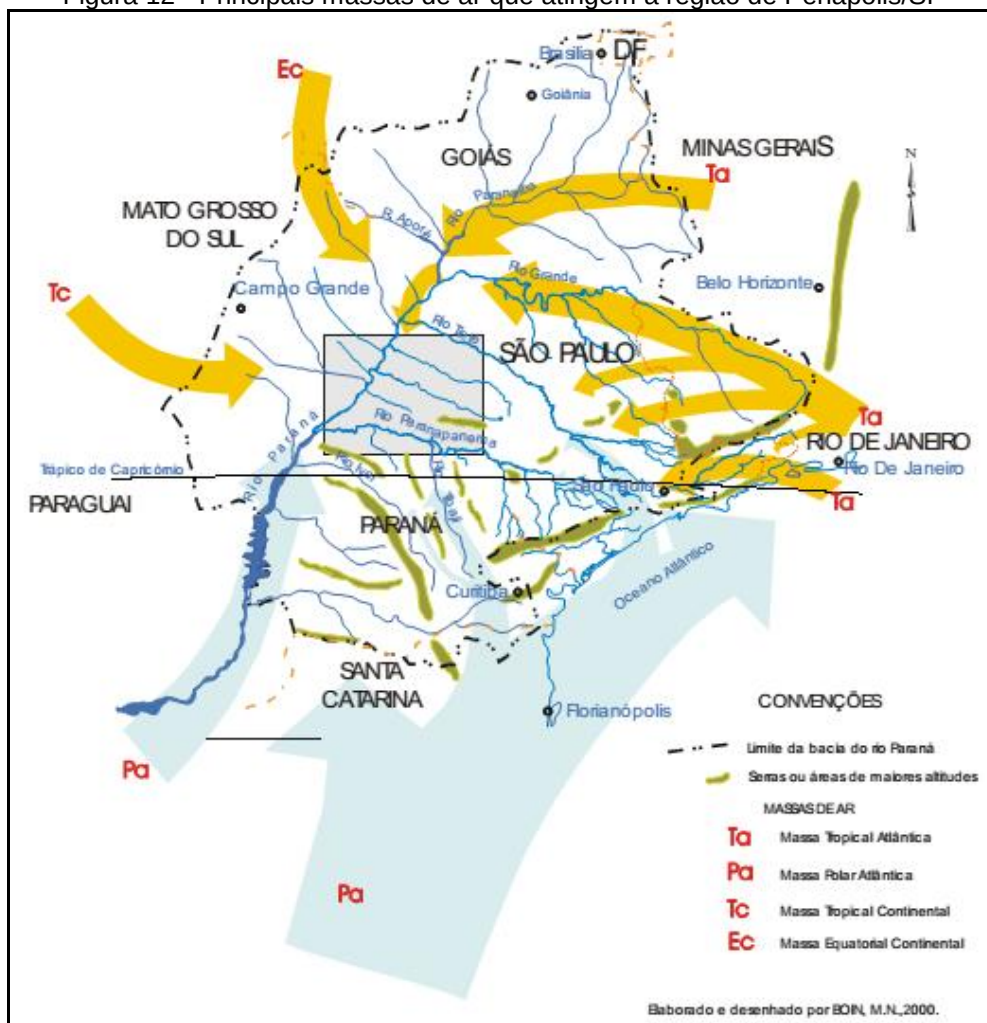
Nesse contexto, Penápolis sofre a atuação de uma grande quantidade de sistemas atmosféricos, quase todos os presentes na América do Sul. Frequentemente atuam na região as massas Tropical Continental, Tropical Atlântica, Polar Atlântica e Equatorial Continental (Figura 12), além da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), Cristas, Cavados e as linhas de Instabilidade Tropical.

Dentre estes, destaca-se a massa Tropical Atlântica (mTa) que atua praticamente durante todo o ano, tendo máxima expressividade no verão. Esse sistema atmosférico tem como característica a umidade alta decorrente da sua origem marítima, apresenta também pressão elevada e ventos constantes, predominantemente vindos de leste para oeste (MENDONÇA; DANNI - OLIVEIRA, 2007). Ainda, apresenta uma variação decorrente de seu percurso pelo continente, que lhe proporciona perda de umidade e aumento da temperatura, e que partir dessas mudanças passar a ser chamada de massa Topical Atlântica Continentalizada (mTac).

A área também é invadida, particularmente no verão, pela massa Equatorial Continental (mEC), oriunda da planície amazônica e que tem como características principais as altas temperaturas, a umidade elevada e ventos de quadrante oeste (MENDONÇA; DANNI - OLIVEIRA, 2007).

Ainda no verão, porém com menor frequência, a massa Tropical Continental, originada na região central da América do Sul, mais especificamente na Depressão do Chaco atua na região trazendo elevado aquecimento, tendo como resultado dias mais quentes e secos com umidade relativa baixa.

Figura 12 - Principais massas de ar que atingem a região de Penápolis/SP



Fonte: Boin, 2000, p. 195.

Entre os meses de outubro a abril, atua no município como em grande parte do Brasil a ZCOU. Segundo Sacramento Neto; Escobar e Silva (2010), a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) é um sistema atmosférico com condições meteorológicas similares a ZCAS, ou seja, geralmente traz a região atingida abundante nebulosidade e precipitação, entretanto, esses sistemas se diferem no que se refere ao tempo de atuação. A ZCOU, na maioria das vezes, tem duração de até 3 dias, podendo ser caracterizado com uma faixa orientada do noroeste para o sudeste ou no sentido norte para sul.

Observa-se atuando no mesmo período a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a qual guarda grandes semelhanças com a ZCOU, podendo ser caracterizada como uma faixa de instabilidade bem definida, orientada no sentido noroeste-sudeste, que provoca abundante nebulosidade e precipitação e persiste no mínimo três dias.

Principalmente no inverno, e com menor intensidade nas outras estações do ano, atua no município a massa Polar Atlântica. Esse sistema atmosférico traz para a área atingida queda das temperaturas e aumento da pressão atmosférica. Atua, especialmente após a passagem de uma frente fria, mantendo as temperaturas amenas e umidade relativa elevada. Entretanto, com sua permanência sobre o continente suas características são alteradas e ocorre o processo de aumento do calor e diminuição da umidade, passando a ser denominada massa Polar Tropicalizada (PT) ou Polar Continentalizada (PC).

Portanto, na região o inverno é um período seco, principalmente no trimestre junho – julho – agosto, porém pode-se notar a diminuição da precipitação no mês antecedente e precedente a esse período. O verão é marcado como uma estação chuvosa, sobretudo no período de dezembro a março, de modo que os totais de precipitação vão diminuindo mês a mês durante a passagem entre os dois períodos.

Durante o ano pode-se observar a presença de Cristas e Cavados. A Crista é uma área alongada de pressão atmosférica relativamente mais alta. Pode ser a extensão de um anticiclone. É o oposto de cavado e é, geralmente, associado a bom tempo, assim como o próprio anticiclone, com pouca nebulosidade e temperaturas mais elevadas. Já o Cavado é uma área alongada de pressão atmosférica relativamente mais baixa, que está associada a uma área de circulação ciclônica mínima, sendo o oposto da crista, por essa razão, causa mau tempo assim como o próprio ciclone com formação de nebulosidade e precipitação²¹.

Sistemas frontais também passam pela região gerando instabilidade de tempo. No que se refere às frentes que atuam na região, podemos destacar a Frente Polar Atlântica (FPA) que se apresenta com mais expressividade no inverno, mas sua presença pode ser notada o ano inteiro, muitas vezes se tornando estacionária. Em ambos os casos, provoca queda da temperatura, elevada nebulosidade e episódios de precipitação. Esse sistema se origina do embate de forças entre os sistemas tropicais e polares, os quais atuam sobre a região, e conforme a estação do ano, um se apresenta com mais força do que o outro. Também podendo atuar durante todo tempo as linhas de Instabilidade Tropical, que na maioria das vezes, proporcionam instabilidade de tempo com alta nebulosidade, ventos fortes e precipitação.

²¹ Disponível em: <<https://www.mar.mil.br>>.

4.3.3 Hidrografia

A hidrografia do município faz parte da unidade hidrográfica do Baixo Tietê, mais especificamente, da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, a qual ocupa uma área total de 1.062,03 km², que abrange o território de cinco municípios, tendo sua maior extensão, cerca de 80%, presentes em Penápolis. Suas nascentes se localizam no município de Alto Alegre e sua foz no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Nova Avanhandava, rio Tietê, no município de Barbosa. Seus principais formadores são os ribeirões, Lajeado, Dois Córregos, Araponga, Santana e os córregos, Grande, Saltinho do Lajeado, Maria Chica, Saltinho do Galinari entre outros (RELATÓRIO TÉCNICO DO DAEP, 2004).

No tocante ao uso e cobertura da terra na bacia, predominam-se as áreas com culturas temporárias (39%) e com pastagens (24%). Seguida da vegetação natural (23%), solo exposto (9%), água (3%) e área urbanizada (2%) (CAZUZA et al., 2008).

Esta bacia além de servir economicamente aos municípios de sua área de abrangência, ainda é a única fonte de abastecimento público do município de Penápolis, tornando-se, desta maneira, de uso imprescindível a esta região. O principal curso d'água é o Ribeirão Lajeado, cujas águas estão dentro dos padrões da CETESB, e após o tratamento convencional são destinadas ao uso doméstico (DAEP, 2004).

Penápolis é o único município do Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê – CBH – BT, (composto por 42 municípios), que oferece 100% de água tratada e distribuída e 100% de esgoto coletado e tratado. O sistema de captação de água e os serviços de saneamento são administrados pelo Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis - DAEP, autarquia municipal criado em 1978, que além de ser encarregada do planejamento e das ações de saneamento básico/ambiental, realiza diversas atividades para a preservação e recuperação dos recursos naturais, dentre estas, a educação ambiental de jovens e crianças.

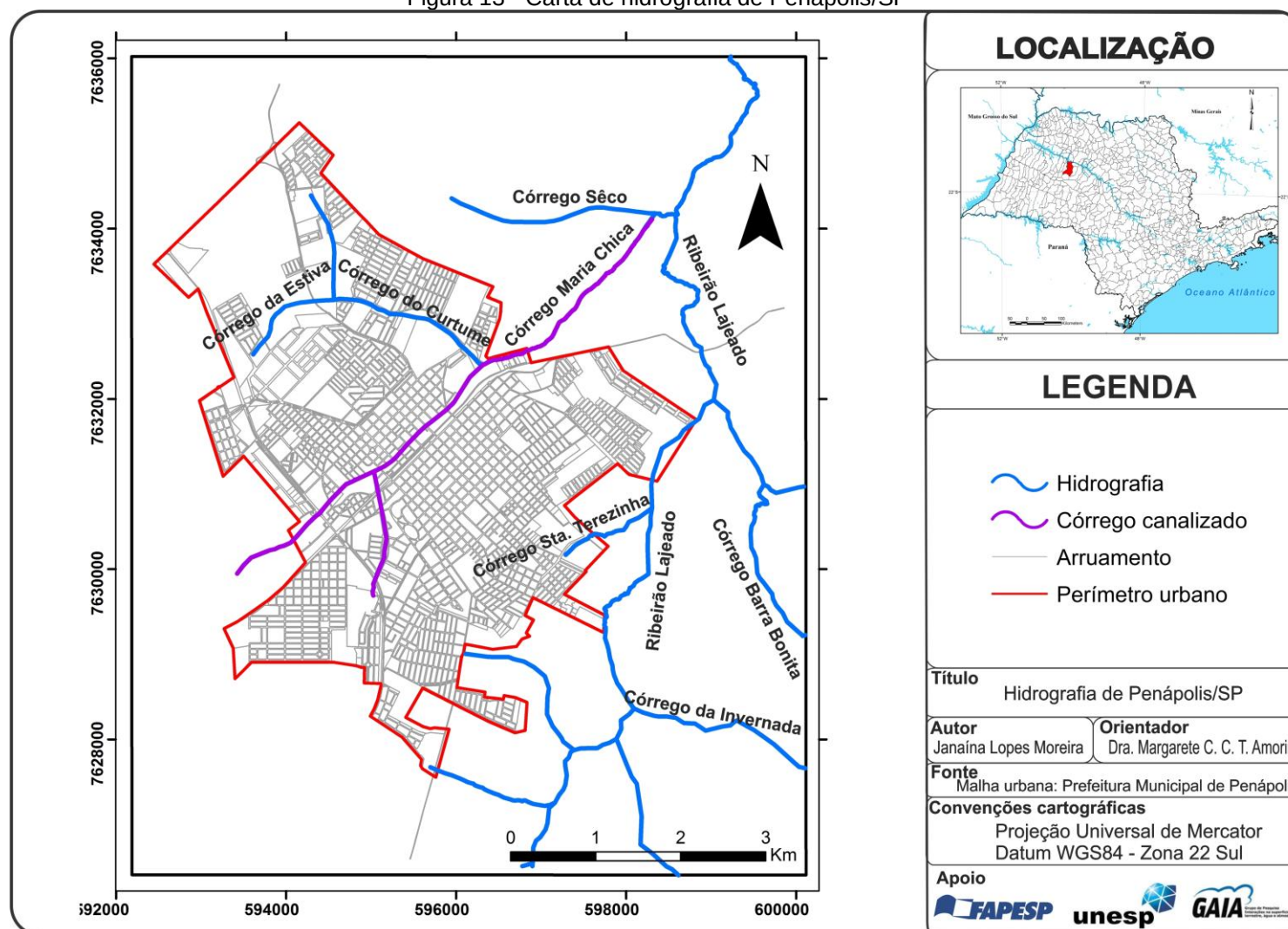
Consequentemente, através das iniciativas municipais, das diversas ações da DAEP e da contribuição e conscientização da comunidade local, Penápolis tem sido contemplada com vários prêmios de gestão e nos últimos anos vem mantendo o título do Programa Município Verde e Azul.

Entretanto, a maioria desses esforços é destinada à conservação do Ribeirão Lajeado devido sua importância social como manancial de abastecimento de Penápolis. Outros córregos, especialmente aqueles que a ocupação urbana alcançou,

apresentam-se com ausência de mata ciliar e presença de processos erosivos e/ou de assoreamento (CONSTANTINO, 2014).

Nesse sentido, destaca-se o córrego Maria Chica que corta toda a cidade, e que devido sua proximidade da linha férrea, teve suas margens ocupadas e impermeabilizadas, o que resultou na sua canalização (CONSTANTINO, 2014). Portanto, o crescimento da malha urbana de Penápolis ocorreu e ocorre sobre a rede hidrográfica local (Figura 13), na qual destaca-se os córregos Estiva, Curtume, Maria Chica e Santa Teresinha que já tiveram seu entorno ocupado pelo uso urbano.

Figura 13 - Carta de hidrografia de Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora

4.3.4 Vegetação

A vegetação de Penápolis foi mapeada e analisada a partir da aplicação do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O princípio do NDVI baseia-se no processo de interação entre a radiação eletromagnética e a cobertura vegetal, em que os componentes químicos e estruturais das folhas geram propriedades espectrais. De maneira geral, ocorre a absorção da radiação na região espectral do vermelho pelos pigmentos fotossintetizantes e o espalhamento ou reflectância na região do infravermelho próximo devido à estrutura foliar interna (SARTORI et al., 2009; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Logo, o cálculo pauta-se na diferença entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, representada na equação 6

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V}) \quad (6)$$

Os valores dessa operação estão contidos em uma escala entre -1 e +1 (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Áreas com valores próximos a -1 revelam a presença de vegetação com estresse hídrico ou áreas construídas, já áreas com valores próximos a +1 correspondem à vegetação mais vigorosa e densa. No entanto, no que diz respeito às superfícies vegetadas do tipo gramíneas, vegetação esparsa e vegetação de pequeno porte/arbustiva os valores se apresentam positivos mais baixos, aproximadamente entre 0,2 e 0,5, enquanto que os solos possuem valores ainda mais baixos entre 0,1 e 0,2, podendo alcançar valores negativos dependendo do tipo de solo. Portanto, o NDVI pode indicar a quantidade e a condição da vegetação em uma área. Em caso de corpos d'água os valores do NDVI tendem a ser negativos (SILVA; GALVÍNCIO, 2012).

No que se refere ao NDVI representativo do verão em Penápolis, os valores obtidos apresentaram-se contidos no intervalo de -0,39 e +0,95 (Figura 14), com ausência de valores muito baixos, bem próximos a -1. Isso ocorre porque esses valores resultam de uma imagem capturada no verão, período caracterizado por grande quantidade de chuvas, e consequentemente, pela umidade do solo elevada, em que a vegetação, tanto a nativa quanto a de pastagens e gêneros agrícolas, apresenta-se mais densa e vigorosa devido às melhores condições de desenvolvimento da planta.

Além disso, é notável também que o período da coleta da imagem era um momento de entressafra, pois não havia grande quantidade de solos expostos, ou seja, sem qualquer tipo de cobertura vegetal, o que fez com que a área rural fosse representada majoritariamente pelas tonalidades mais esverdeadas e valores positivos, próximos a +0,95.

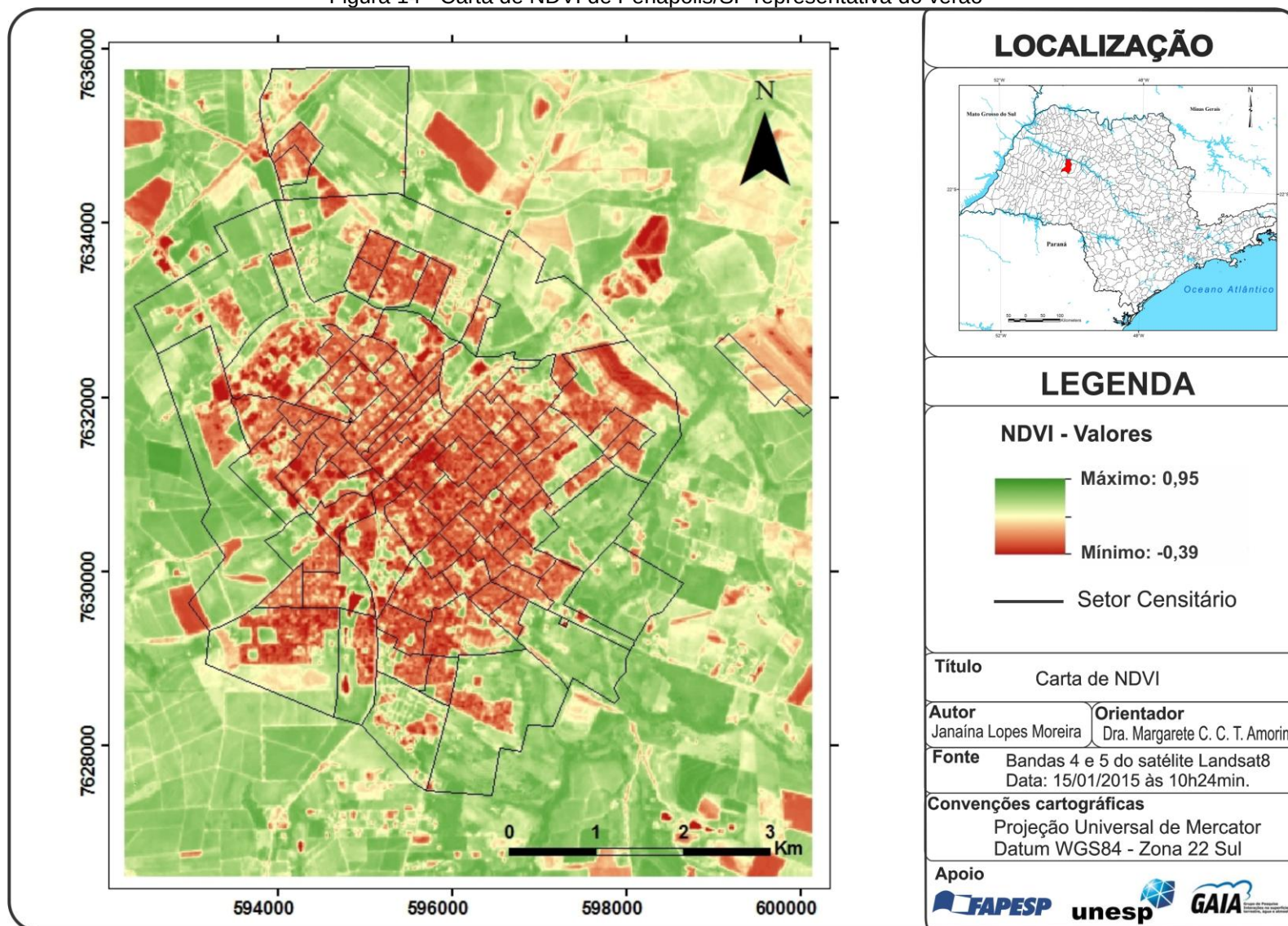
Assim, os valores mais elevados, observados em cor verde, correspondem às áreas de cultivo agrícola e aos poucos resquícios de mata nativa, localizados especialmente nas margens de alguns córregos. No entanto, tons amarelados, com valores entre 0,50 e 0,60 também podem ser observados com muita frequência na área rural, o que corresponde também às áreas de cultivo, porém são culturas ainda com baixo desenvolvimento da planta e/ou áreas de gramado, com uso para pastagens.

Na malha urbana as áreas de maior valor correspondem ao entorno do Lago Azul afluente do córrego Maria Chica, a sudoeste da malha, com valores que variam entre 0,60 e 0,86, seguido das margens do córrego do Curtume, ao norte da malha urbana, com valores entre 0,70 e 0,85. Entretanto, também foram observadas algumas nuances em tons amarelados e de vermelho mais claro na malha urbana, localizados principalmente nos bairros do setor noroeste, onde há uma considerável quantidade de praças com significativa vegetação arbórea, as quais podem ser notadas através de pequenas áreas pontuais.

Valores próximos a zero foram mais frequentes em toda a malha urbana, e em alguns pontos da área rural, correspondendo respectivamente às áreas com elevada densidade de edificação e solos expostos. Destas áreas se destacam o quadrilátero central e o parque industrial a nordeste, que na imagem estão representados com as tonalidades mais escuras de vermelho e apresentam valores de NDVI entre 0,10 à 0,15, o que é justificado pela vegetação inexistente, salvo algumas poucas praças.

Vale ressaltar que, como descrito anteriormente, os corpos d'água se apresentam na imagem com valores negativos, e por isso aparecem em tons escuros, o que se atribui ao comportamento espectral da água, que possui maior reflectância na região do verde do que na do infravermelho próximo.

Figura 14 - Carta de NDVI de Penápolis/SP representativa do verão



Fonte: Elaborado pela autora.

No inverno (Figura 15) se observou pela legenda, que os valores obtidos apresentam-se contidos no intervalo de -0,87 e +0,88, com presença de valores muito baixos, próximos a -1 e ausência de valores muito elevados, acima dos +0,9. Ao contrário do verão, esses valores resultam de uma imagem coletada durante uma estação mais seca e com escassez de chuvas, em que a vegetação, principalmente urbana, apresenta-se com déficit hídrico, ou seja, com densidade vegetal diminuída.

No que se refere aos setores com os maiores e menores valores, pode-se dizer que o padrão se assemelhou a imagem analisada anteriormente. As maiores diferenças foram observadas nas áreas agrícolas que devido às sazonalidades dos cultivos apresentaram com solos nus e valores negativos. Este fato foi verificado na zona norte da cidade, próximo ao trevo da Rodovia Assis Chateaubriand (SP-425) e a oeste no bairro Cidade Jardim. Essas áreas, que no verão apresentavam presença de vegetação, com valores positivos e/ou próximos de 0, nas cores amareladas e esverdeadas, no inverno exibiram valores negativos e cores avermelhadas.

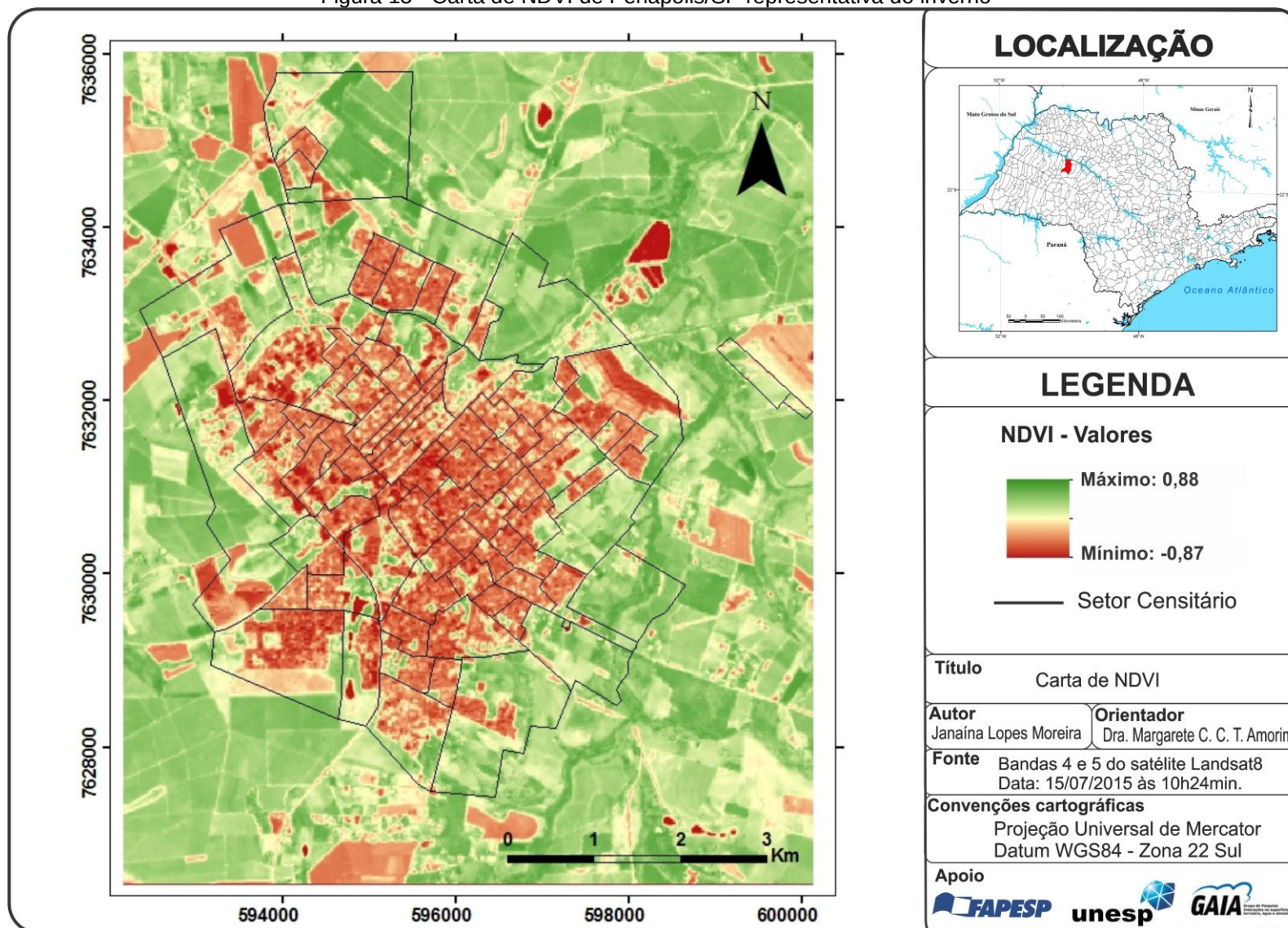
A porção sul da malha urbana, onde se encontra o residencial Flávia, também foi uma área com valores negativos no inverno, o que se justifica pela abertura de uma nova área residencial para loteamento, ou seja, ocorreu a retirada da gramínea que recobria os terrenos durante o verão, motivo pelo qual está representada na imagem em tons avermelhados.

Por outro lado, as áreas rurais com solos expostos no verão, durante o inverno já se apresentavam com cobertura vegetal significativa, com valores mais elevados e tons esverdeados, como pode ser observado na zona rural na porção nordeste e sudeste.

Portanto, com base nas análises realizadas, é possível relacionar as áreas que apresentaram baixo índice de NDVI, próximos a 0, às áreas com menor cobertura vegetal, que corresponde as áreas urbanas, sobretudo, as mais densamente edificadas, aos solos expostos e as vias e rodovias, enquanto que os valores mais elevados estão associados à maior densidade de vegetação, principalmente na forma de arborização em praças e parques, vegetação nativa no entorno de cursos d'água e lavouras agrícolas.

A partir disso, se pode afirmar que Penápolis apresenta uma insuficiência no que se refere à vegetação urbana, visto que como o índice demonstrou, os maiores valores encontrados no perímetro urbano correspondem, em sua maioria, às áreas livres de construções, localizadas em áreas periurbanas e as praças, que por sua vez, não estão distribuídas em todos os setores urbanos e possuem pequena dimensão territorial.

Figura 15 - Carta de NDVI de Penápolis/SP representativa do inverno



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Caracterização geourbana

4.4.1 Uso e cobertura da terra

Como base nos referenciais utilizados nesta pesquisa, dentre eles Oke (1978), Amorim (2000), Fernández Garcia (1996) e Monteiro (2009), um dos principais suportes para a compreensão do clima urbano diz respeito às características do uso e cobertura da terra, de modo que, seus arranjos espaciais são os grandes responsáveis pela distribuição da temperatura e umidade relativa do ar urbano.

Nessa perspectiva, Mendonça (2009, p. 95-96) afirma que, a formação de condições climáticas intraurbanas, derivadas diretamente da heterogeneidade tanto do sítio quanto estruturação e funcionalidade urbana, geram paralelamente ao clima da cidade (clima local/urbano), bolsões climáticos intraurbanos diferenciados (ilhas de calor, ilhas de frescor, topoclimas, microclimas). Logo, a identificação o mais detalhada possível das características urbanas é um procedimento de grande importância, pois, a partir dela é possível identificar os fatores causadores da diferenciação climática do ambiente citadino.

Dessa forma, a classificação do uso e cobertura da terra em Penápolis foi elaborada levando em consideração dois aspectos avaliados como mais relevantes na estruturação do espaço urbano em questão; a vegetação urbana, especificamente, a arbórea, e a densidade das edificações. Essa escolha parte do conhecimento prévio da cidade, que não apresenta quantidade significativa de coberturas de fibrocimento, tendo o predomínio a cobertura cerâmica (vermelha e branca), seguida de coberturas metálicas que recobrem as edificações comerciais (centro comercial e Garden Shopping), a rodoviária e o parque e distrito industrial.

Assim, a partir da classificação manual por quadra na planta georreferenciada da cidade foram definidas 14 classes (Quadro 3), sendo elas:

Quadro 3 - Classes definidas em função das variáveis densidade de edificação e densidade de arborização da área urbana de Penápolis/SP

Densamente edificado/Arborização ausente	Baixa densidade de edificação/Arborização ausente
Densamente edificado/Baixa densidade de arborização	Baixa densidade de edificação/Baixa densidade de arborização
Densamente edificado/Média densidade de arborização	Baixa densidade de edificação/Média densidade de arborização
Média densidade de edificação/Arborização ausente	Baixa densidade de edificação/Alta densidade de arborização
Média densidade de edificação/Baixa densidade de arborização	Lotes vazios/ Área Rural
Média densidade de edificação/Média densidade de arborização	Praças/Parques/Bosques/Canteiros/App's
Média densidade de edificação/Alta densidade de arborização	Corpos d'água

Fonte: Elaboradora pela autora.

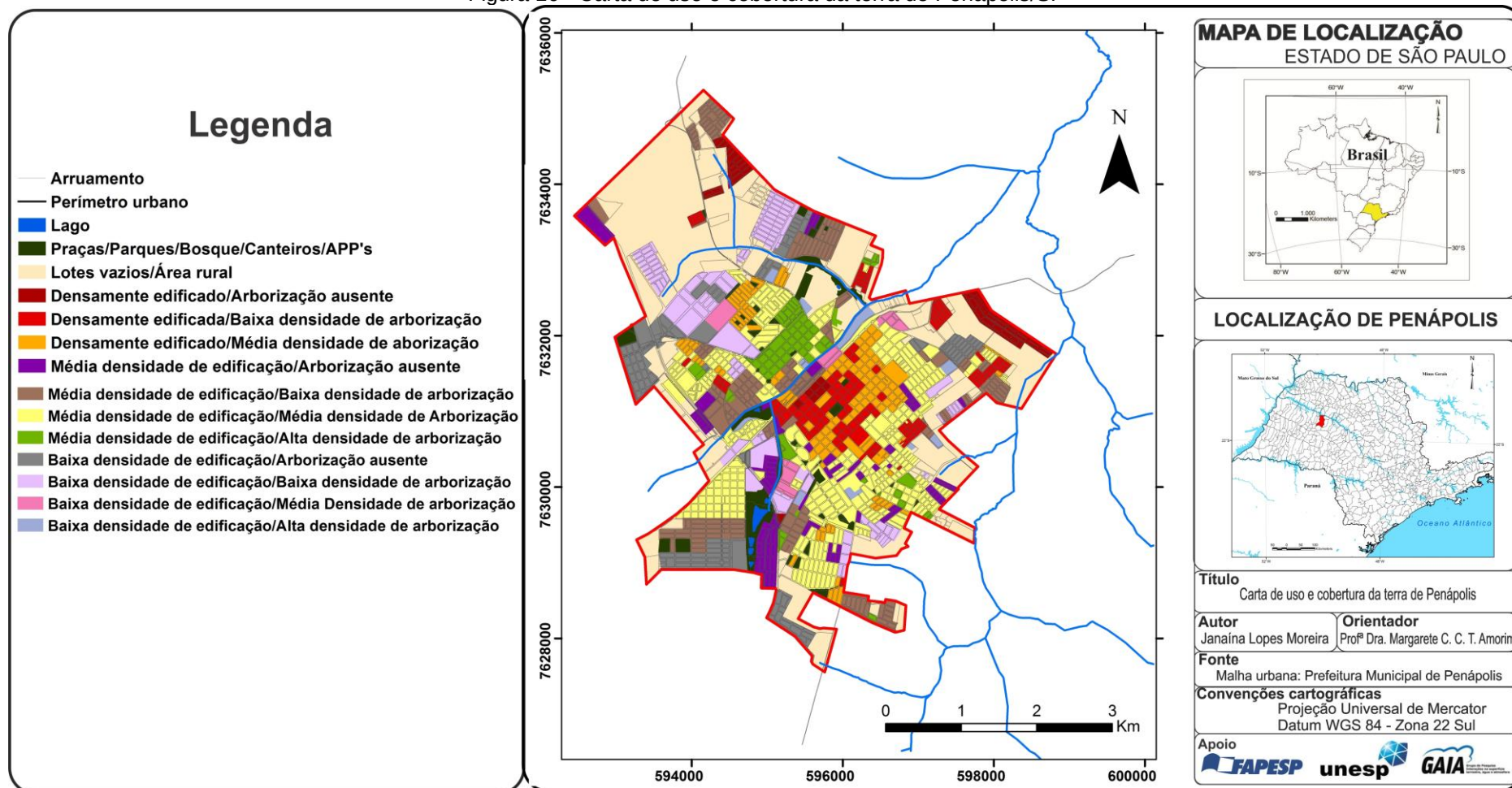
Essas categorias foram representadas com cores no mapa (Figura 16), o que possibilitou a identificação de padrões, dos quais vale ressaltar:

- ✓ Predomínio de áreas de média densidade de edificações com média densidade de arborização, localizadas em bairros mais distantes do centro e próximo a periferia.
- ✓ O centro comercial é marcado pela elevada densidade de edificação com arborização de baixa a ausente.
- ✓ Os bairros mais antigos caracterizados pela proximidade do centro e pelas quadras em formato quadrangular. São setores densamente edificados com média densidade de arborização, localizada principalmente nas calçadas e quintais.
- ✓ Os conjuntos habitacionais mais recentes e periféricos possuem de média a baixa densidade de edificações e densidade de arborização de baixa a ausente²².
- ✓ A cobertura arbórea é baixa e se configura na presença de praças e APP's (Área de Preservação Permanente), concentradas, respectivamente, a norte do córrego Maria Chica e da Linha férrea e ao sul/sudoeste da malha, onde se tem a presença de um lago.

Este mapeamento foi fundamental para a escolha dos pontos de coletas dos dados meteorológicos e foi muito utilizado para as análises das medidas móveis.

²² Para a delimitação dos lotes e a implantação dos loteamentos as empresas urbanizadoras realizam a total retirada da vegetação local.

Figura 16 - Carta de uso e cobertura da terra de Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.2 Temperatura da superfície

O mapeamento da temperatura da superfície por meio das respostas espectrais dos alvos urbanos à radiação tem sido uma técnica amplamente utilizada nos estudos de clima urbano. Esta técnica tem representado, nos últimos anos, no Brasil, um grande avanço no que diz respeito às metodologias de identificação e mensuração de ilhas de calor, principalmente porque o uso do sensoriamento remoto possibilita o conhecimento das características térmicas da superfície, bem como o acesso às informações de uso e cobertura da terra, o que tem contribuído para a compreensão das relações existentes entre as anomalias térmicas e as características urbanas (AMORIM, et al., 2009; MENDONÇA, DUBREUIL, 2005).

Para a cidade de Penápolis foram escolhidas duas imagens de estações opostas, verão e inverno, dos meses que ocorreram a coleta de temperatura e umidade em campo, janeiro e julho de 2015. Esses períodos foram escolhidos pensando no aprofundamento da interpretação das cartas de temperatura da superfície através da correlação com a temperatura do ar. Além disso, se objetivou também a análise das diferenças estacionais da temperatura superficial entre o verão e o inverno.

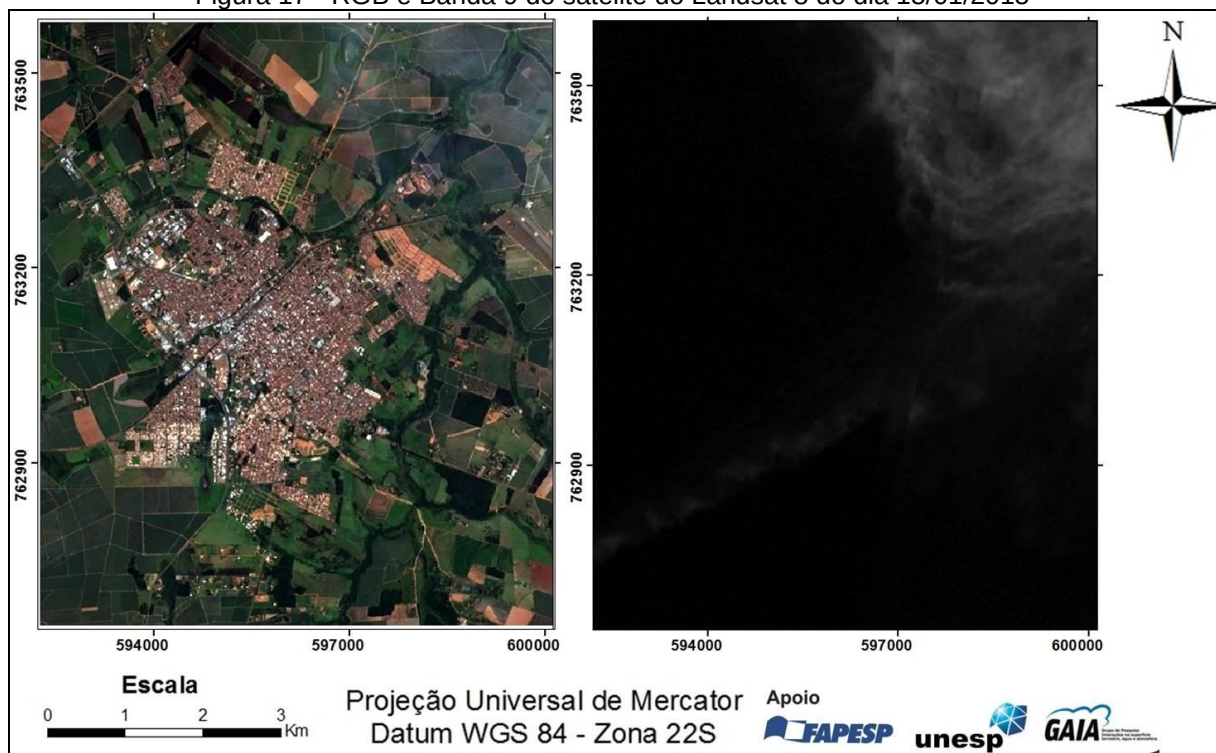
Em relação às condições do tempo do dia 15 de janeiro, através da consulta aos dados meteorológicos²³, verificou-se que as temperaturas foram elevadas, atingindo às 11h, horário próximo do imageamento, que ocorreu às 10h24min, 32°C no urbano e 30,8°C no rural. Já a umidade relativa urbana e rural marcaram 68% e 62%, respectivamente. Os ventos oriundos do sul alcançaram a velocidade de 2,7 m/s. A precipitação ocorreu apenas na área rural, provavelmente durante a madrugada, em decorrência da atuação das Repercussões da Frente Fria no dia 14 de janeiro. O total pluviométrico foi de 13,7mm.

Vale ressaltar, que devido a tais condições de tempo, no horário do imageamento o município estava parcialmente sombreado por uma nuvem, fato que influenciou nos valores de temperatura da superfície na porção nordeste, onde pode-se encontrar as menores temperaturas, entre 16°C e 24°C (Figura 17).

A Figura 16 ilustra a localização da nuvem em uma composição R(4) G(3) B(2) e na banda 9 (Cirrus) do satélite Landsat 8 do dia 15 de janeiro de 2015. Através dessas, percebe-se, que apesar da imagem ser submetida aos procedimentos de correção atmosférica, não se conseguiu anular por completo a influência de tal condição atmosférica. Entretanto, optou-se por sua utilização pela correspondência com o dia de realização das medidas móveis.

²³ Fonte dos dados: Temperatura rural e urbana às 11h registradas pelo miniabrigo instalado e pelo DAEP; Estação meteorológica INMET localizada em Lins/SP: velocidade e direção dos ventos às 11h; Estação meteorológica da UNESP Botucatu localizada a zona rural do município de Penápolis: precipitação.

Figura 17 - RGB e Banda 9 do satélite do Landsat 8 do dia 15/01/2015



Fonte: Elaborado pela autora.

A imagem de janeiro de 2015, representativa de verão, apresenta uma variação térmica entre 16°C e 34,0°C (Figura 18). Na imagem há uma diferença entre o urbano e o rural que pode chegar a 6°C, com temperaturas variando entre 28°C e 32°C nas áreas urbanas e entre 26°C e 30°C em áreas rurais. Assim, pode se observar a área urbana de Penápolis representada nas cores que vão do laranja mais escuro para a vermelho e seu entorno rural, nas cores que vão do amarelo para a laranja escuro.

Com base no mapeamento da temperatura superficial, pode-se afirmar que dentro do perímetro urbano ocorreram poucas áreas com temperaturas amenas, dentre estas se destacam as áreas de fundo de vale, próximas dos corpos d'água (córregos e afluentes) que possuem significativa cobertura vegetal, e que por consequência, apresentaram-se menos aquecidas, com temperaturas entre 26°C e 27°C. Esse foi o caso dos bairros a sudoeste que têm o Parque Santa Leonor e o Lago Azul como elementos constituintes de sua paisagem, como observado na Figura 19 imagem A.

Na área rural, as menores temperaturas também estão associadas aos cursos d'água, sobretudo, ao Ribeirão Lajeado. É importante ressaltar que, as temperaturas mais elevadas nas áreas rurais e nos limites da malha urbana estão relacionadas, normalmente, a solos expostos para o manejo das plantações agrícolas e para a abertura de novos loteamentos habitacionais, respectivamente, os quais no momento da aquisição da imagem se encontravam desprovidos de vegetação.

A imagem B identifica o Parque Maria Chica, localizado a oeste da área urbana já consolidada e com alta densidade de edificação, apresentou-se na imagem como um local menos aquecido, com temperaturas oscilando entre 27°C e 28°C, resultado de seu uso e ocupação da terra, caracterizados por espaços livres de edificação, arborização e cobertura em gramínea. Um alvo ainda mais fresco, com temperaturas em torno de 25°C, pode ser notado na porção norte do município, onde se encontra um substrato arbóreo muito significativo, localizado na frente ao conjunto habitacional Silvia Covas e em destaque na imagem C.

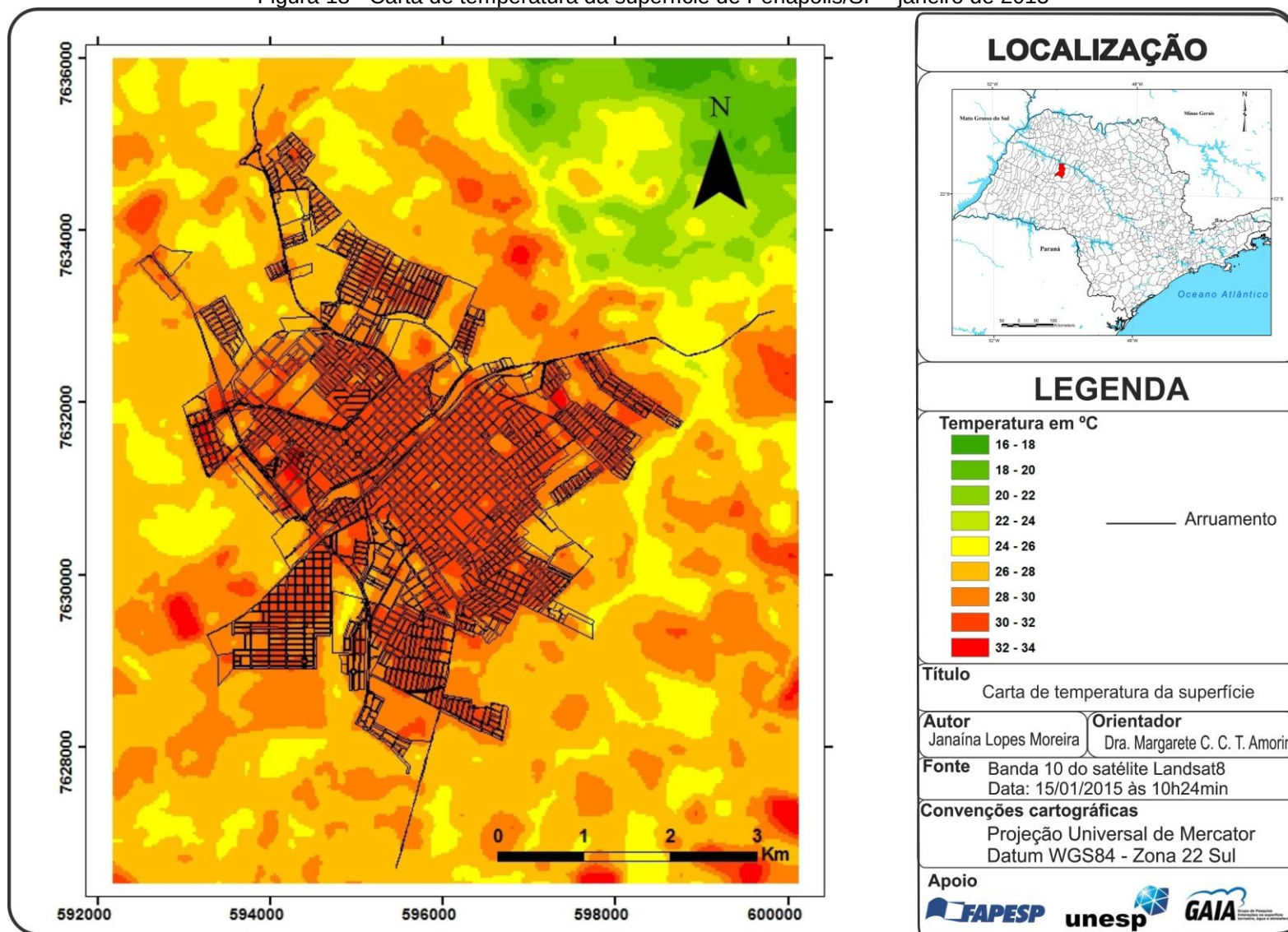
O bairro Jardim Tokio e o Distrito industrial, localizados na porção oeste da malha, foram os alvos urbanos mais aquecidos, com temperaturas entre 30°C e 32°C, o que se atribui à presença de grandes coberturas metálicas, como ilustra a imagem D. Neste setor, destaca-se ainda, a cobertura metálica e o estacionamento do Garden Shopping com temperaturas em torno de 32°C.

Contudo, temperaturas elevadas também podem ser notadas no centro comercial em destaque na imagem E, onde as temperaturas ficaram em torno 31°C. Nesse setor, ocorre o predomínio de telhas metálicas e terrenos pequenos com alta densidade de edificação e ausência de áreas livres de edificação, o que aliado com a ausência de áreas verdes, gerou o aquecimento superficial.

Entretanto, as altas temperaturas também puderam ser detectadas nas áreas periféricas, em especial áreas de expansão urbana a leste, onde as temperaturas variaram entre 30°C e 31°C. Esse setor corresponde aos conjuntos habitacionais Benone e Gimenez, de recente construção, o que sugere grandes quantidades de solo exposto e ausência de qualquer tipo de vegetação, como pode ser observado em destaque na imagem F.

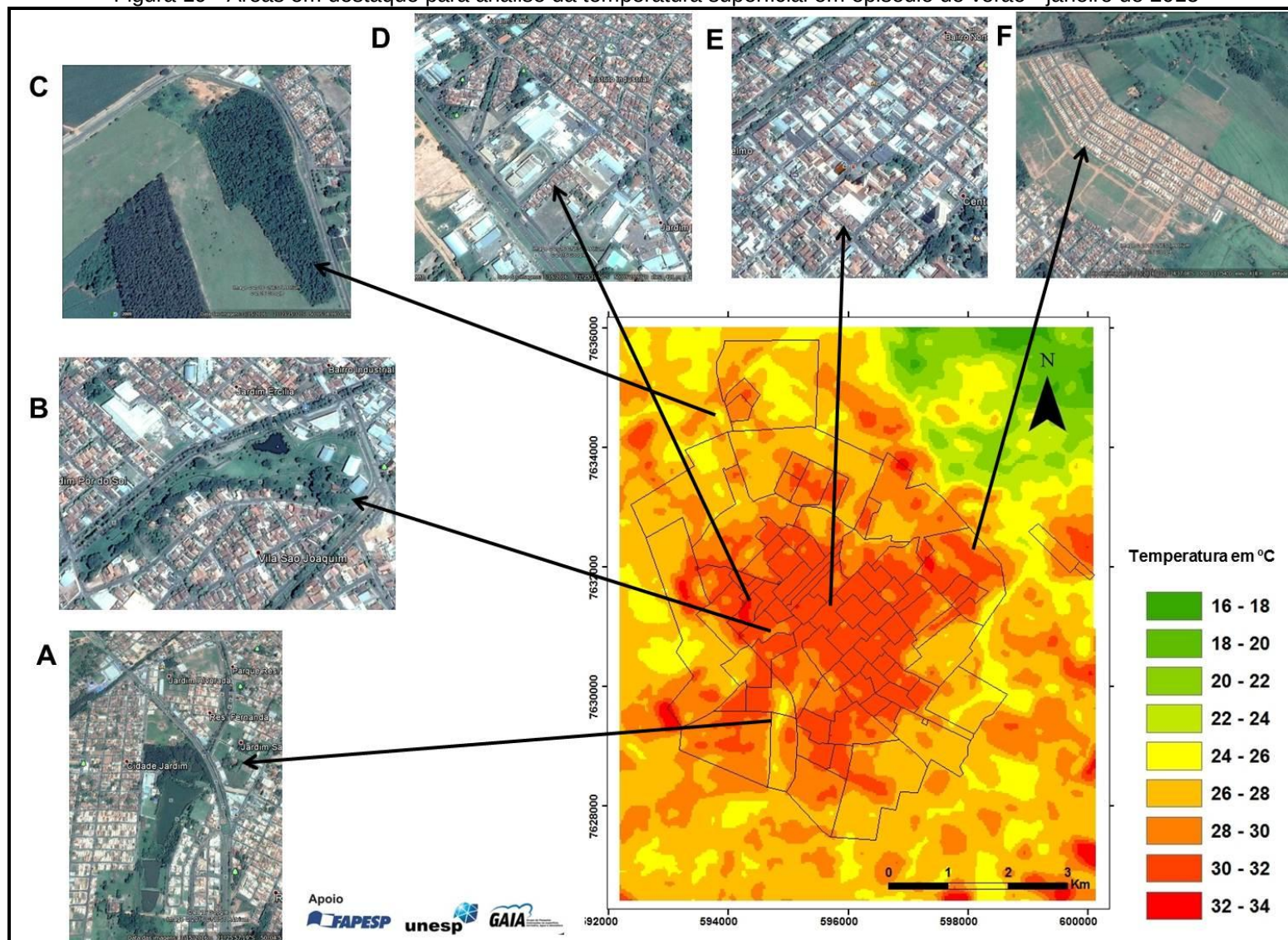
Portanto, verificou-se que embora a superfície rural tenha apresentado as temperaturas mais elevadas, com exceção das áreas de solo exposto (32°C e 34°C), foi no interior da malha urbana, representada por grande mancha avermelhada, que se registraram os alvos mais aquecidos (entre 30°C e 32°C). Enquanto as superfícies d'água e as cobertas por vegetação apresentaram temperaturas mais amenas, inferiores a 29°C.

Figura 18 - Carta de temperatura da superfície de Penápolis/SP - janeiro de 2015



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 19 - Áreas em destaque para análise da temperatura superficial em episódio de verão - janeiro de 2015



Fonte: Elaborado pela autora.

No que diz respeito à imagem termal de inverno (Figura 20), do dia 19 de julho de 2015, as condições sinóticas se caracterizaram pela estabilidade com temperaturas amenas e umidade relativa do ar elevada com registros de 27,8°C e 69% na cidade e 28,3°C e 49% no rural. Não houve ocorrência de precipitação e os ventos de sudoeste foram fracos, registrando às 11h, 0,8 m/s. Como decorrência dessas características de tempo, a variação térmica presente na imagem foi menor, 7°C, com máxima 27°C e mínima de 20°C. A máxima temperatura dos alvos está relacionada às áreas com solos expostos devido à colheita e a mínima aos fundos de vale vegetados.

Na Figura 21 se observa os mesmos alvos mais aquecidos e alguns exemplos de superfícies menos aquecidas para o episódio do inverno. Através da comparação das imagens, é possível perceber diferenças nos padrões de aquecimento entre as estações do verão e inverno, decorrente, sobretudo, da estiagem típica do período, que promove uma menor diferença entre as temperaturas dos alvos urbanos e rurais. Apesar disso, nota-se a área urbana de Penápolis, majoritariamente representada na cor amarela (24°C e 26°C) e seu entorno rural nas cores esverdeadas (entre 20°C e 24°C).

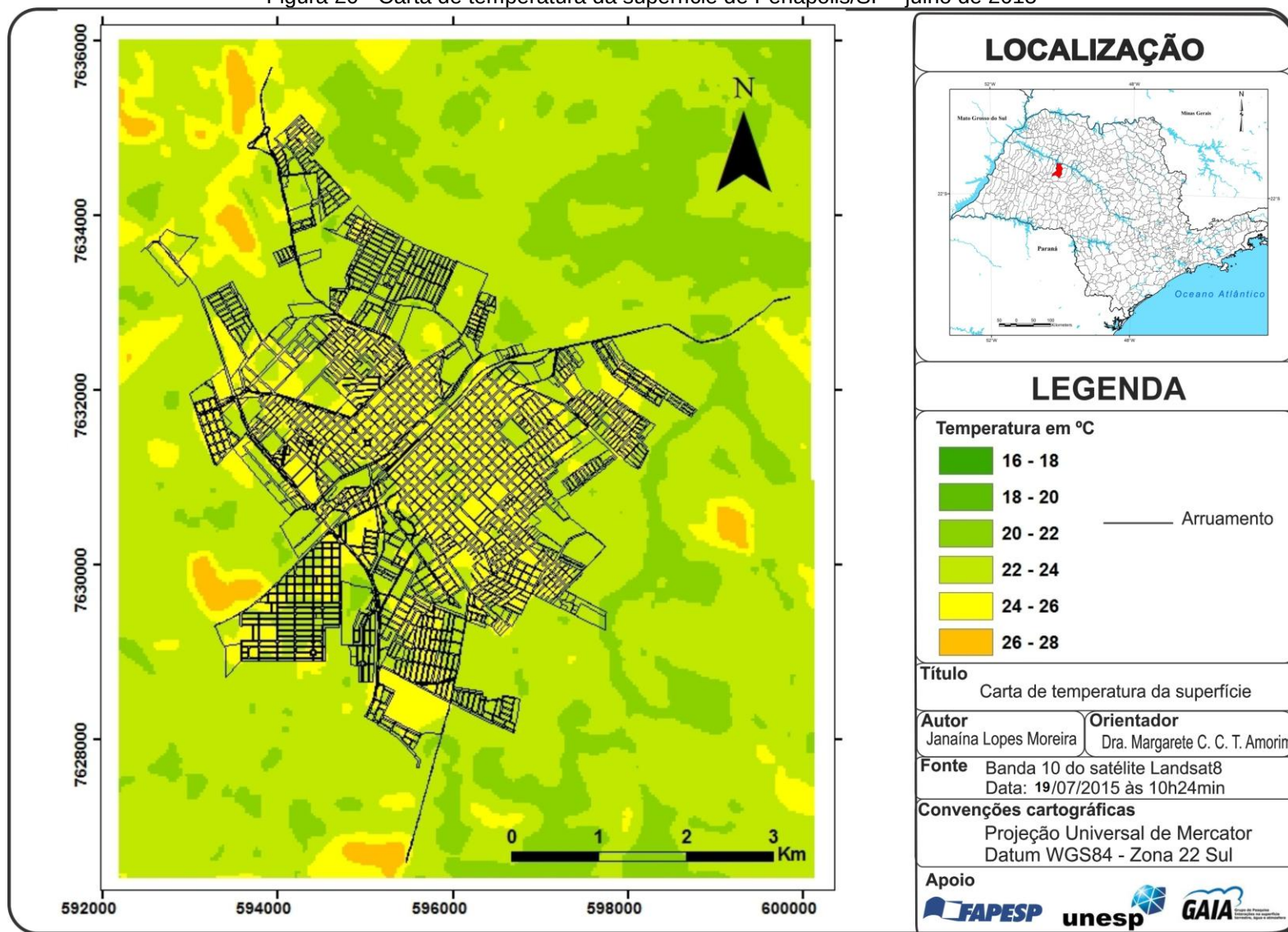
Observou-se ainda que, bairros que possuem maior quantidade vegetação, sobretudo arbórea, apresentaram temperaturas mais baixas se comparadas com outros setores da cidade, fato este que pode ser notado a sudoeste do perímetro urbano, onde se localizam os bairros Jardim, Jardim São Paulo e Jardim Santo Antônio, os quais se caracterizam por terrenos mais amplos de baixa à média densidade de edificações e grande quantidade de áreas verdes, sobretudo em virtude da presença do Lago Azul e do Parque Santa Leonor, em destaque na imagem A, onde as temperaturas variaram entre 21°C e 23°C.

O Parque Maria Chica, imagem B, apresentou-se ainda menos aquecido durante o inverno, com valores em torno de 23°C, o que é justificado pelo efeito de sua cobertura arbórea. A mata próxima ao Conjunto Habitacional Silvia Covas, imagem C, exibiu temperaturas bastante baixas, em torno de 21°C. Enquanto que, os destaques dos alvos mais aquecidos, imagens D, E e F, apresentaram temperaturas entre 24°C e 25°C. Logo, pode-se verificar que todos os alvos, tanto urbanos quanto rurais, apareceram com temperaturas menores.

Com base nas análises, se pode afirmar que os setores urbanos mais aquecidos ocorrem onde se concentram solos nus, edificações com coberturas metálicas, densidade de construção muito alta e arborização de baixa a ausente. Em contrapartida, os setores de temperaturas mais baixas encontram-se associados aos fundos de vale com presença de curso d'água, áreas com menor densidade de edificações e vegetação arbórea elevada.

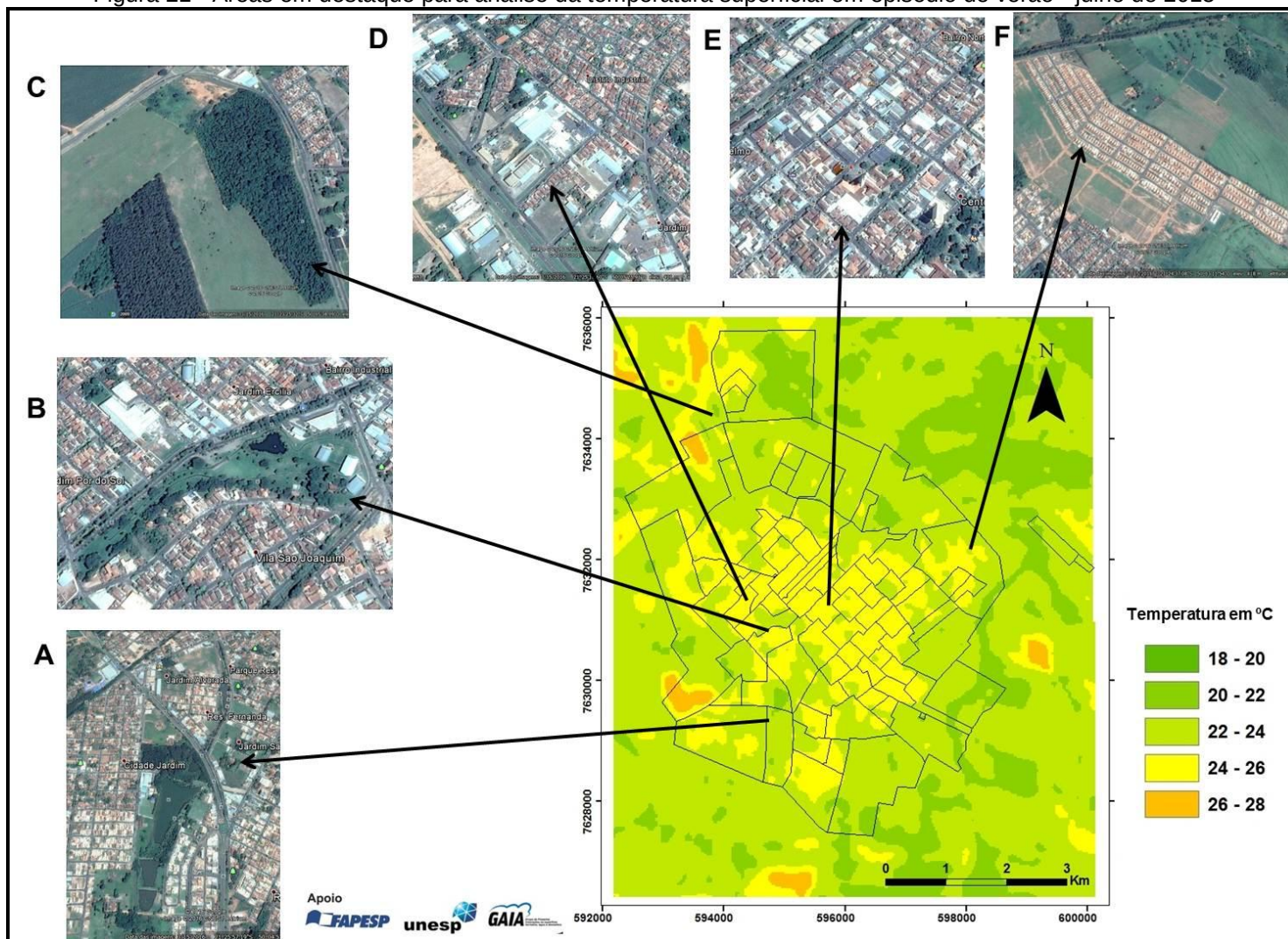
Portanto, as imagens indicam a formação de ilhas de calor de superfície em Penápolis, e que estas se relacionam com os diferentes usos e coberturas da terra.

Figura 20 - Carta de temperatura da superfície de Penápolis/SP - julho de 2015



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21 - Áreas em destaque para análise da temperatura superficial em episódio de verão - julho de 2015



Fonte: Elaborado pela autora

5 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS

A escolha dos pontos de registro dos dados meteorológicos em Penápolis seguiu alguns critérios geoambientais e geourbanos. As variáveis geoambientais utilizadas incluem a temperatura de superfície, índice de vegetação normalizada (NDVI), hipsometria, declividade e orientação das vertentes. Dentre as variáveis geourbanas se levou em consideração a densidade das edificações e o fluxo de veículos e pessoas.

Algumas destas informações foram representadas cartograficamente e analisadas de forma conjunta, o que possibilitou a compreensão das relações existentes entre elas e a identificação visual de setores urbanos de interesse para o monitoramento dos dados²⁴. Além disso, a utilização deste conjunto de informações da organização e estruturação do espaço intraurbano permitiu a setorização urbana a partir da identificação das características predominantes e representativas do entorno.

Assim, com o intuito de analisar as características da temperatura e umidade relativa do ar intraurbano de acordo com o uso e cobertura da terra, a delimitação dos pontos fixos e dos percursos dos transectos móveis priorizou áreas que possuem diversidade tanto no que se refere às características quanto à densidade das variáveis urbanas e naturais.

5.1 Pontos fixos

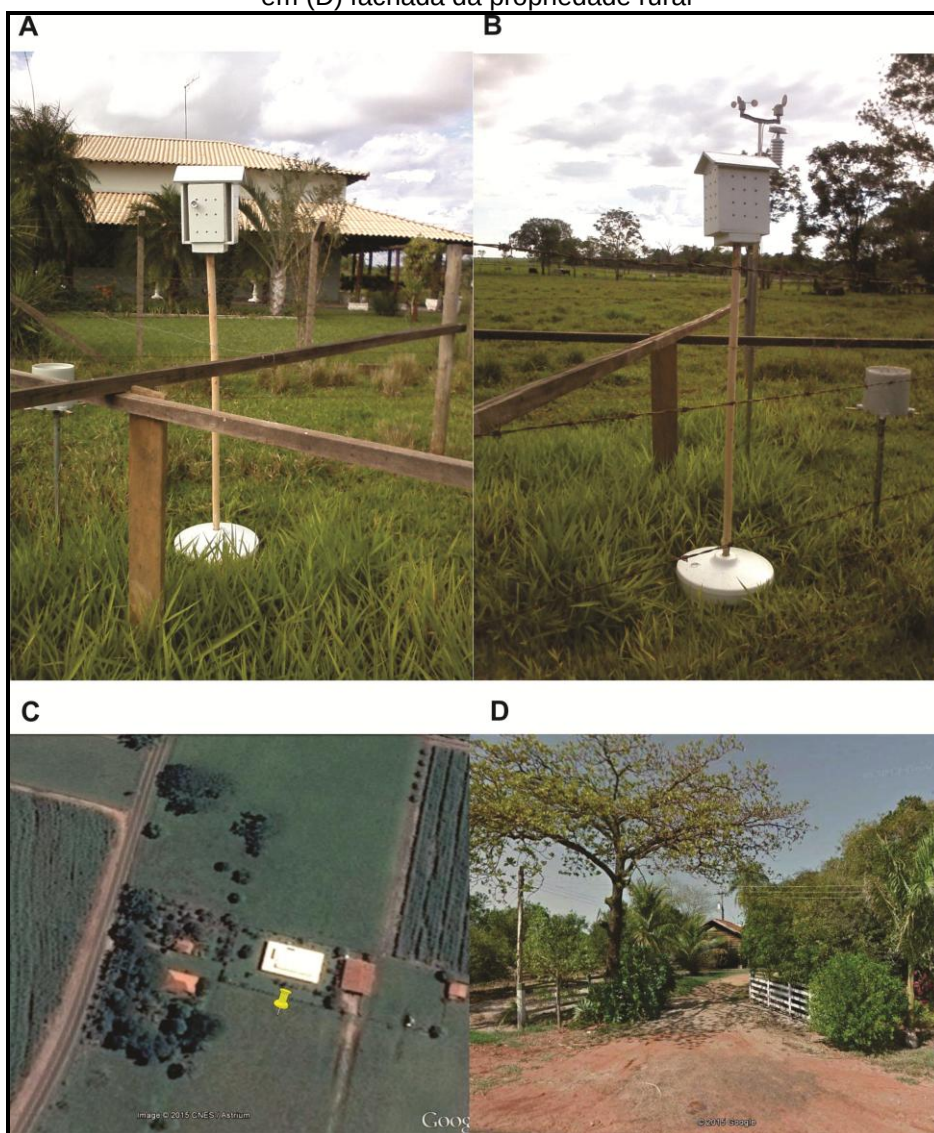
A mensuração meteorológica da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) na cidade de Penápolis se realizou através de dois pontos fixos, um localizado na área urbana adensada e outro localizado na área rural do município.

Na área rural foi utilizado um registrador automático com sensor DATA LOGGER/CLIMA LOGGER, o qual foi colocado em um miniabrigo meteorológico de madeira, com paredes duplas e perfuradas e programado para registros horários. O miniabrigo foi posicionado com a porta frontal voltada ao sul, mesmo esta permanecendo fechada impedindo qualquer posição que ocorresse a incidência direta de radiação solar. Também se atentou em instalar o miniabrigo distante de paredes, árvores, ou qualquer objeto que causasse o sombreamento.

²⁴ Para a elaboração das cartas de NDVI e de temperatura superficial foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, dos sensores OLI e TIRS, capturadas no dia 27/04/2014 e disponibilizadas pela USGS. Estas serviram para a delimitação dos percursos e pontos de mensuração meteorológicos, porém após a coleta optou-se por imagens mais recentes, do período em que os dados foram coletados.

O ponto de monitoramento instalado na área rural do município ficou localizado, mais precisamente ao norte da malha urbana, onde tem-se a presença de plantações de cana-de-açúcar e pastagens. No local há apenas uma casa de alto padrão construtivo, com cobertura de telha de cerâmica branca. Também no local, há uma estação meteorológica monitorada pela UNESP campus de Botucatu, que realiza medições de diversas variáveis climáticas, porém devido a inúmeras falhas nos dados não pode ser utilizada nessa pesquisa. O miniabrigo foi posicionado ao lado dos aparelhos de medição desta estação. Na figura 22 se consegue visualizar as características dos elementos naturais e urbanos presentes no entorno do ponto escolhido.

Figura 22 - Ponto de monitoramento instalado na porção norte da área rural. Em (A) miniabrigo na parte frontal, em (B) miniabrigo na parte posterior, em (C) localização na imagem do Google Earth e em (D) fachada da propriedade rural



Fonte: Trabalho de campo realizado pela autora, 2014 e Google Earth, 2014.
Elaborado pela autora.

Para o ponto urbano, foram utilizados os dados da estação meteorológica do DAEP (Departamento de Água e Esgoto de Penápolis) (Figura 23), localizada em um bairro adjacente à área central da cidade, caracterizado pelo uso misto, residencial e comercial, elevado grau de edificações e intenso fluxo de veículos e pessoas, principalmente durante a tarde. Os tamanhos dos lotes são, em grande maioria, de pequena dimensão com elevada área construída, ou seja, é um setor da cidade com ausência de áreas abertas e espaços livres de construção. As coberturas das edificações são majoritariamente de telha de cerâmica vermelha, porém alguns comércios e estabelecimentos apresentam-se cobertos com telhas de alumínio sem pintura. Em relação às áreas verdes, a vegetação arbórea é baixa. A diferença altimétrica entre os pontos foi de 37 metros e ambos ficaram localizados em vertentes voltadas ao norte.

Figura 23 - Ponto urbano – estação meteorológica automática da DAEP. Em (A) tipo de sensor utilizado, em (B) display do sensor, em (C) localização na imagem do Google Earth e em (D) fachada do DAEP



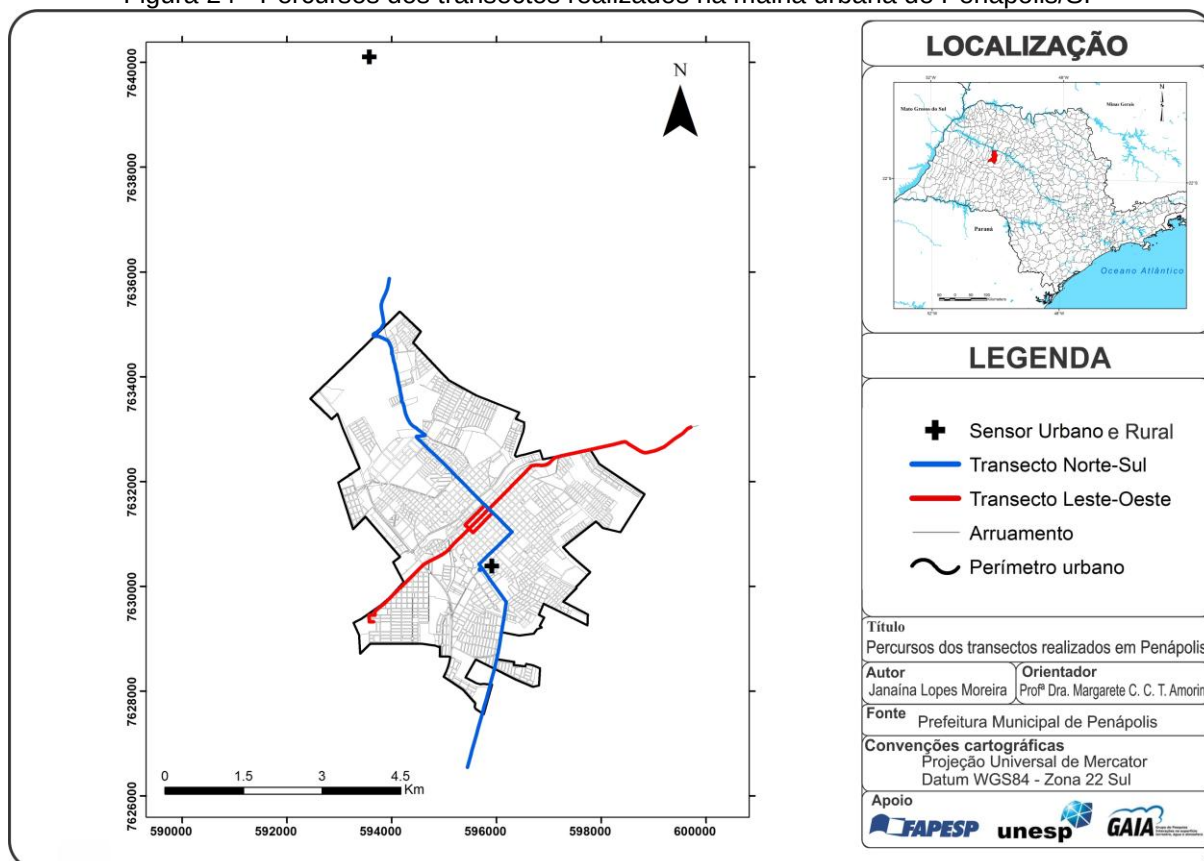
Fonte: DAEP – Departamento de Água e Esgoto de Penápolis/SP e Google Earth, 2016.
Elaborado pela autora.

5.2 Apresentação e caracterização geral dos percursos dos transectos móveis em Penápolis

Para a realização dos transectos móveis foram delimitados dois percursos para os registros meteorológicos: um de abrangência norte-sul, e outro de abrangência leste-oeste. Por isso, aqui, muitas vezes, serão referidos como “N-S” e “E-O”.

O início e final dos dois percursos ocorreram em áreas afastadas dos limites urbanos densamente edificadas, portanto, os veículos saíram da área rural próxima, passaram pelos bairros periféricos e pelo centro e chegaram ao extremo oposto da cidade. Dessa forma, foi possível associar as possíveis causas das diferenças térmicas e higrométricas a mudança do uso da terra, principalmente à urbanização. A figura 24 apresenta ambos os traçados, sendo que no percurso “N-S” houve o registro de 64 pontos e no percurso “E-O” foram 50 pontos registrados.

Figura 24 - Percursos dos transectos realizados na malha urbana de Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

Os percursos foram predeterminados levando em consideração a heterogeneidade da paisagem urbana, tanto nos aspectos naturais quanto nos urbanos. Portanto, priorizou-se

áreas com diferentes padrões no tocante à densidade das edificações, aos usos e coberturas da terra, as formas do relevo e a distribuição da vegetação.

O percurso “E-O” (Quadro 4) teve seu início em frente ao aeroporto municipal, na Estrada Municipal Kemil Rahal. A área é caracterizada pelo uso rural, sendo assim, é marcada pela baixa ocupação e grande presença de vegetação, constituída por resquícios de vegetação nativa densa, pastagem e plantações de cana-de-açúcar. O relevo é suave, porém apresenta leve declínio mais adiante dos primeiros pontos em decorrência da presença do Ribeirão Lajeado.

A paisagem sofre alterações mais significativas quando se adentra o perímetro urbano. Logo de início, encontram-se dois conjuntos habitacionais recém-inaugurados, nos bairros Benone e Gimenez, suas características são semelhantes às encontradas comumente nesse tipo de ocupação, como por exemplo, a inexistência de cobertura arbórea e solos nus em seu interior. Após a passagem dos residenciais, a paisagem volta, rapidamente, a ser predominantemente rural, com predomínio de pastagens (segmento 2).

No trajeto pela Avenida Manoel Bento da Cruz a paisagem se torna urbana, inicialmente, ainda na periferia, o uso é residencial de segmentos de baixa renda, e por consequência, apresenta média densidade de edificação e casas de baixo e médio padrão construtivo. Aos poucos, conforme se percorre essa avenida em direção ao centro, o padrão se altera com áreas mais densamente construídas, porém com vegetação arbórea esparsa localizada nos quintais e nas calçadas dos domicílios. Percebe-se então, que conforme se adentra em direção ao centro urbano a densidade de construções aumenta e a vegetação diminui. Nesse setor leste da cidade, as áreas verdes públicas (praças e parques) são inexistentes (segmentos 3 e 4).

No centro optou-se pela entrada na Rua Rui Barbosa, local onde se iniciou a ocupação do município e está localizada a linha férrea. Nesse pequeno trecho de apenas cinco quadras se tem o uso predominantemente comercial, alto fluxo de veículos e pessoas, alta densidade de edificação e baixo índice de vegetação, tendo como principal substrato arbóreo as árvores que recobrem a linha férrea.

O percurso segue percorrendo o centro comercial pela Avenida Luís Osório onde se está localizada a igreja matriz. A área caracteriza-se por terrenos majoritariamente pequenos e densamente edificados, com ausência de áreas livres de construção e baixo índice de cobertura arbórea. Além disso, o fluxo de veículos e pessoas é intenso e as coberturas de algumas edificações são de alumínio sem pintura (segmentos 5 e 6).

Em seguida retorna-se a Avenida Bento da Cruz e segue-se em linha reta em direção à zona oeste da cidade. A paisagem não se altera até entrada na Avenida Alaide Ferraz de Almeida, quando a densidade das edificações é um pouco mais baixa que a encontrada no centro (segmento 8). Em seguida, quando se adentra a Avenida Sergio

Moura, o transecto passa a ser paralelo à linha férrea. Nessa parte, no lado esquerdo da via, o entorno caracteriza-se pelo uso residencial, alta densidade de edificações com médio padrão construtivo e vegetação arbórea esparsa, localizada nas calçadas. À esquerda encontram-se a ferrovia e plantações, caracterizando-se assim, como um local de vegetação arbórea densa (segmento 9).

Já na periferia oeste da cidade, ao cruzar o ecoponto da cidade, devido à falta de iluminação e asfalto no restante da Avenida Sargento Moura, optou-se por virar ao sul, na Rua Maria Rosa Passafaro Altimari, e em seguida percorrer a Avenida Amando Soares, a Rua Elio Rubens Galvão Aires e a Avenida Maria F. Alves Ferreira. Essas vias estão localizadas nos limites periurbanos, onde o entorno possui média densidade de edificações e alguns terrenos vazios com solos expostos. Há também, muitas áreas com gramado e baixo índice de vegetação arbórea. As casas são de alto e médio padrão construtivo com coberturas de telhas de cerâmica vermelha e branca (segmento 10).

Assim, o percurso Leste-Oeste, iniciado na área rural localizada no setor leste da cidade, na estrada municipal que dá acesso ao aeroporto, avançou por bairros como Residencial Benone, Residencial Gimenez, Vila das Fábricas, Vila Aparecida, Bairro Norte, Centro, Jardim Alvorada, Cidade Jardim e Jardim do Lago. No que se refere à altimetria esse trajeto não tem oscilação muito significativas, com exceção, no início, na passagem pelo Ribeirão Lajeado.

O percurso “Norte-Sul” é o mais extenso e abarca maior número de paisagens distintas. O trajeto se inicia na área rural ao norte da malha urbana, na Estrada Vicinal Cleto Galli, caracteriza-se como um local de baixa densidade de edificações com áreas de pastagem. Mais adiante, ainda na área rural, passa-se à esquerda, por um pesque-pague com uma lagoa, e à direita, por plantações de cana-de-açúcar (segmento 1).

Para a entrada no perímetro urbano, o trajeto passa pelo trevo da Rodovia Assis Chateaubriand (SP-425) onde, em alguns períodos do ano, ocorre intenso fluxo de caminhões, os quais fazem o transporte da cana-de-açúcar das propriedades rurais para as usinas do entorno próximo. O trajeto segue pela Estrada Irmãos Buranello, na qual logo no início está localizado o conjunto habitacional Silvia Covas à esquerda. O bairro é habitado por segmentos populacionais de baixa renda e possui média densidade de edificação e baixa arborização. O bairro possui predomínio de edificações em lotes pequenos, com baixo e médio padrão construtivo e cobertura de telha de cerâmica vermelha. Nesse mesmo segmento, à direita, encontra-se um significativo substrato de vegetação nativa densa (segmentos 2 e 3).

O trajeto segue pela Estrada Irmãos Buranello até o cruzamento com a Avenida Francisco Colnaghi. No entanto, antes disso, a paisagem sofre alterações, pois nesse setor norte existe muitos conjuntos habitacionais descontínuos a malha urbana, formando assim,

núcleos urbanos secundários entre os vazios urbanos, chácaras e sítios. Além disso, há também a presença do córrego da Estiva (segmento 4).

Em seguida adentra-se de fato a área densamente ocupada através da Rua Irmãos Crisóstomo de Oliveira, via que liga os bairros do setor norte ao centro da cidade. Nessa parte do percurso os bairros abarcados possuem de média a alta densidade de edificações e média e alta arborização. É um dos setores da cidade com maior quantidade de áreas verdes, as quais são representadas através das praças públicas e canteiros.

Nesta via em direção ao centro a altitude sofre alterações, ocorre uma diminuição gradativa até o cruzamento com a Avenida Marginal Maria Chica, local de fundo de vale, onde atualmente corre com um “fio” d’água denominado de córrego Maria Chica, afluente do Ribeirão Lajeado. Este córrego apresenta-se canalizado e situa-se próximo à estrada de ferro, local de ocupação antiga. Consequentemente, é uma área densamente edificada, de uso comercial e residencial, onde inclusive, localizam-se prédios públicos como a prefeitura e a câmara dos vereadores. Esse trecho se caracteriza pela vegetação arbórea esparsa, que se concentra no entorno do córrego e da ferrovia (segmento 6).

Ainda na Rua Irmãos Crisóstomo de Oliveira, os dois percursos (Leste-oeste/Norte-Sul) se cruzam. O percurso “N-S” segue em direção ao sul, onde ocorre a entrada na Avenida Olsen e se situam os bairros adjacentes ao centro, que possuem elevada densidade de edificação e baixa arborização. Os usos são mistos com domicílios de alto e médio padrão, colégios, lojas, escolas e supermercados.

A saída da Avenida Olsen e a entrada na Rua Augusto Pereira de Moraes marcam a continuidade do percurso. Nesse trecho a paisagem não se modifica substancialmente, a densidade continua de média a alta e o fluxo de veículos é intenso, porém com arborização concentrada em parques e canteiros.

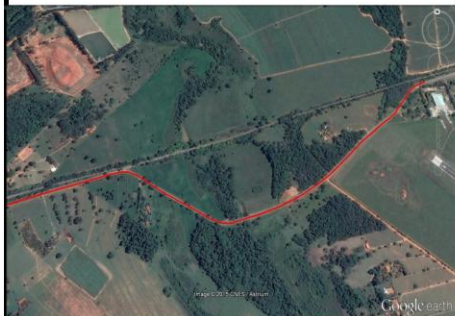
O percurso se direciona para a Estrada do Mineiro, que vincula os bairros localizados ao sul da malha à área rural e à Rodovia Marechal Rondon. Esse trecho apresenta média e alta densidade de edificação, vegetação esparsa significativa, presença de praças, pequenos comércios, chácaras e domicílios de médio e alto padrão construtivo. A altitude varia bastante pois se caracteriza como um fundo de vale urbanizado, sendo assim, é um local que apresenta problemas de alagamentos. Esse trecho também é marcado por duas vastas áreas de loteamentos recentemente abertos com solo exposto, caracterizando assim, como local de expansão urbana (segmentos 10 e 11).

O percurso se finaliza na área rural próxima com baixa ocupação e presença de plantações. O uso também se destina a chácaras, quiosques e clubes de campo. Antes do término, um córrego afluente do Ribeirão Lajeado corta a estrada, proporcionando altitudes mais baixas. Apesar de não possuir a Área de Preservação Permanente adequada próximo ao curso d’água, esse segmento tem arborização densa constituída de mata nativa.

De maneira geral, o percurso “N-S”, devido a sua extensão e aos setores urbano-rurais percorridos, abarcou maior quantidade de paisagens, principalmente, pela passagem por alguns fundos de vale e cursos d’água que proporcionam maior variabilidade altimétrica ao percurso. Os bairros abarcados foram: Silvia Covas, Jardim Esplanada, Jardim Morumbi, João de Barros, Eldorado, Vila Fátima, Bairro Leste, Centro, Vila Rocha, Jardim São Paulo, Jardim Alto das Brisas, Miguel Barbeiro, Jardim Del Rey e Residencial Flávia.

Os quadros 4 e 5 sintetizam mais especificamente essas informações através da caracterização geral de ambos os percursos.

Quadro 4 - Caracterização do percurso Leste-Oeste

Início ↓	Percurso Leste-Oeste	Caracterização	Percurso Leste-Oeste	Caracterização	
		Segmento 1 Localização: Estrada Municipal Kemil Rahal - Extremo leste da malha urbana. Distância Percorrida: 1,8 Km Características urbanas: Aeroporto municipal, Área de baixa ocupação de uso rural com culturas agrícolas. Características Naturais: Vegetação densa de grande porte, presença de um córrego, área com declive.		Segmento 6 Localização: Av. Luís Osório - Bairro Centro Distância Percorrida: 1Km Características urbanas: Área de uso predominantemente comercial com elevada densidade de edificações; Edificações com telhas de cerâmica vermelha e metálicas sem pintura; Quadras em formato quadrangular; Lotes pequenos; Igreja Matriz. Características Naturais: Arborização baixa/ausente.	
		Segmento 2 Localização: Estrada Municipal Kemil Rahal - Bairros Residencial Gimenez/Benone Distância Percorrida: 1,4 Km Características urbanas: Área periurbana de baixa ocupação de uso urbano e rural; À esquerda conjuntos habitacionais recém construídos; Edificações de médio padrão construtivo com cobertura cerâmica vermelha e branca; Culturas agrícolas. Características Naturais: Vegetação arbórea esparsa/ Vegetação urbana ausente.		Segmento 7 Localização: Av. Manoel Bento da Cruz - Bairros Centro e Oeste Distância Percorrida: 0,6 Km Características urbanas: Área de uso predominantemente comercial com elevada densidade de edificações; Edificações com telhas de cerâmica vermelha e metálicas sem pintura; Características Naturais: Arborização baixa/ausente.	
		Segmento 3 Localização: Av. Manoel Bento da Cruz - Bairros Vila das Fábricas e Vila Aparecida. Distância Percorrida: 1,4 Km Características urbanas: Área periurbana de média ocupação e uso predominantemente urbano; baixa densidade de edificações; Edificações de médio padrão construtivo com cobertura de cerâmica vermelha. Características Naturais: Arborização média distribuída de maneira esparsa.		Segmento 8 Localização: Av. Alaide Ferraz de Almeida - Bairros Jardim Alvorada Distância Percorrida: 0,6 Km Características urbanas: Área de usos mistos (comercial e residencial) com média densidade de edificações; Edificações com telhas de cerâmica vermelha e metálicas sem pintura; Áreas livres de edificação. Características Naturais: Gramados/Arborização média distribuída de maneira esparsa.	
		Segmento 4 Localização: Av. Manoel Bento da Cruz - Bairros Vila das Fábricas, Vila Aparecida e Norte. Distância Percorrida: 0,5 Km Características urbanas: Área de uso residencial com elevada densidade de edificações; Edificações de médio padrão construtivo com cobertura cerâmica vermelha; Quadras em formato quadrangular. Características Naturais: Arborização média distribuída de maneira esparsa nos quintais e calçadas.		Segmento 9 Localização: Av. Sargento Moura - Bairro Cidade Jardim. Distância Percorrida: 0,9Km Características urbanas: Área de uso residencial com elevada densidade de edificações; Edificações de médio padrão construtivo com cobertura de cerâmica vermelha; Quadras em formato quadrangular; Lotes pequenos. Características Naturais: Arborização média distribuída de maneira esparsa nos quintais e calçadas.	
		Segmento 5 Localização: Av. Rui Barbosa - Bairro Centro. Distância Percorrida: 0,8Km Características urbanas: Área de uso predominantemente comercial com elevada densidade de edificações; Edificações com cobertura cerâmica e metálica sem pintura; Quadras em formato quadrangular; Lotes pequenos; Linha Férrea. Características Naturais: Arborização baixa/ausente.		Segmento 10 Localização: R. Maria Rosa Passafaro Altimari, R. Elio Rubens Galvão Aires e Av. Maria F. Alves Ferreira - Bairro Jardim do Lago. Distância Percorrida: 0,7Km Características urbanas: Área periurbana no extremo oeste da malha urbana; Média densidade de edificações; Edificações de alto padrão construtivo com cobertura cerâmica vermelha e branca; Quadras em formato retangular; Áreas livres de edificação. Características Naturais: Arborização ausente.	
					Final ↓
Elaboração: Janáina Lopes Moreira, 2015. Orientadora: Profª Dra. Margarete C. C. T. Amorim					
Fonte das imagens: Google Earth, 2014					
Apoio:   					

↓
Início

6 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DURANTE A PESQUISA DE CAMPO

Para uma melhor compreensão e análise do campo termo-higrométrico de Penápolis se faz necessário o detalhamento das condições atmosféricas atuantes durante os meses de aquisição dos dados. Nessa perspectiva, é possível observar através do gráfico de análise rítmica (Gráfico 5) os elementos meteorológicos e os sistemas atmosféricos que atuaram em dezembro de 2014.

Os primeiros dias do mês de dezembro foram marcados por estabilidade atmosférica provocada pela presença da massa Tropical Atlântica, que deixou as temperaturas elevadas, com máxima de 35,4°C, mínima de 21,4°C e umidade entre 82% e 95%. Não houve precipitação e os ventos de leste e nordeste tiveram velocidade de até 1,7m/s.

A estabilidade foi interrompida com a entrada da Frente Polar Atlântica no dia 04. Esse dia foi marcado por temperatura máxima de 33,8°C, mínima de 23,4°C, umidade de 84%, pressão atmosférica de 959,8hPa e precipitação com total de 39,5mm.

O tempo voltou a se estabilizar com a chegada do ar frio da massa Polar Atlântica que se fez presente nos dias 05, 06 e 07. Os dados de pressão apontaram 962hPa em todos os dias. A umidade variou entre 71% e 83%, a temperatura teve uma queda, com máxima de 32,6°C e a mínima de 18,5°C. Os ventos sopraram de leste e sudeste, com velocidade entre 1,6 e 2,9 m/s.

Entre os dias 08 e 10 o município sofreu influência da Instabilidade Tropical, que provocou precipitação nos dias 8 e 9, com totais de 13 e 20mm, respectivamente. Durante sua atuação a pressão oscilou entre 959,2 e 962,5hPa, a umidade relativa variou de 81% e 93% e os ventos foram predominantes de norte e leste, com velocidade máxima de 1,2m/s. A temperatura do ar teve máxima de 33,2°C e mínima de 21,3°C.

Os dias 11, 12 e 13 estiveram sob atuação da Frente Polar Atlântica que causou tempo instável e precipitação expressiva, com total de 82mm, sendo que 66mm ocorreram somente no dia 12. A pressão atmosférica foi de 956,4 a 960,0hPa, a umidade variou entre 93% e 96% e a temperatura do ar teve máxima de 32,4°C e mínima de 21,3°C. Os ventos de nordeste e noroeste atingiram máxima de 2,0m/s.

A massa Polar Atlântica tropicalizada começou a atuar a partir do dia 14 e se estendeu até o dia 16. Durante esses dias a temperatura do ar subiu, com máxima de 35° e mínima de 19°C e a umidade diminuiu, variando de 96% no dia 14 para 73% no

dia 16. A pressão ficou entre 957,2hPa e 962,4hPa e os ventos oriundos de sudeste, leste e norte alcançaram 2,6m/s de velocidade.

A estabilidade de tempo retornou ao município através da massa Tropical Atlântica tropicalizada, a partir do dia 17. Sua atuação proporcionou aumento da temperatura do ar que registrou máxima de 36,5°C e mínima de 22°C. A umidade ficou em torno de 80%, a pressão atmosférica variou entre 957,4 e 960,6hPa e os ventos de sul e oeste oscilaram entre 0 e 2,4m/s. Esse sistema atmosférico voltou a atuar na região nos dias 26, 27 e 28, proporcionando condições de tempo semelhantes, entre as quais se destaca a temperatura do ar, com máxima de 37,8°C e mínima de 22,4°C e os ventos de sul e leste que variaram de 0 a 0,1m/s. Tais condições foram ideais para as medidas móveis que foram realizadas nos dias 17, 26, 27 e 28.

Entre os dias 20 e 22 o sistema atuante na área de estudo foi a Instabilidade Tropical que gerou um pequeno declínio da temperatura e aumento da umidade relativa. A pressão oscilou entre 958,2hPa e 959,7hPa e a temperatura marcou máxima de 37,8°C e mínima de 23,6°C. Os percentuais de umidade relativa variaram entre 76% e 86% e os ventos provenientes de sul e leste tiveram a máxima de 2,4m/s.

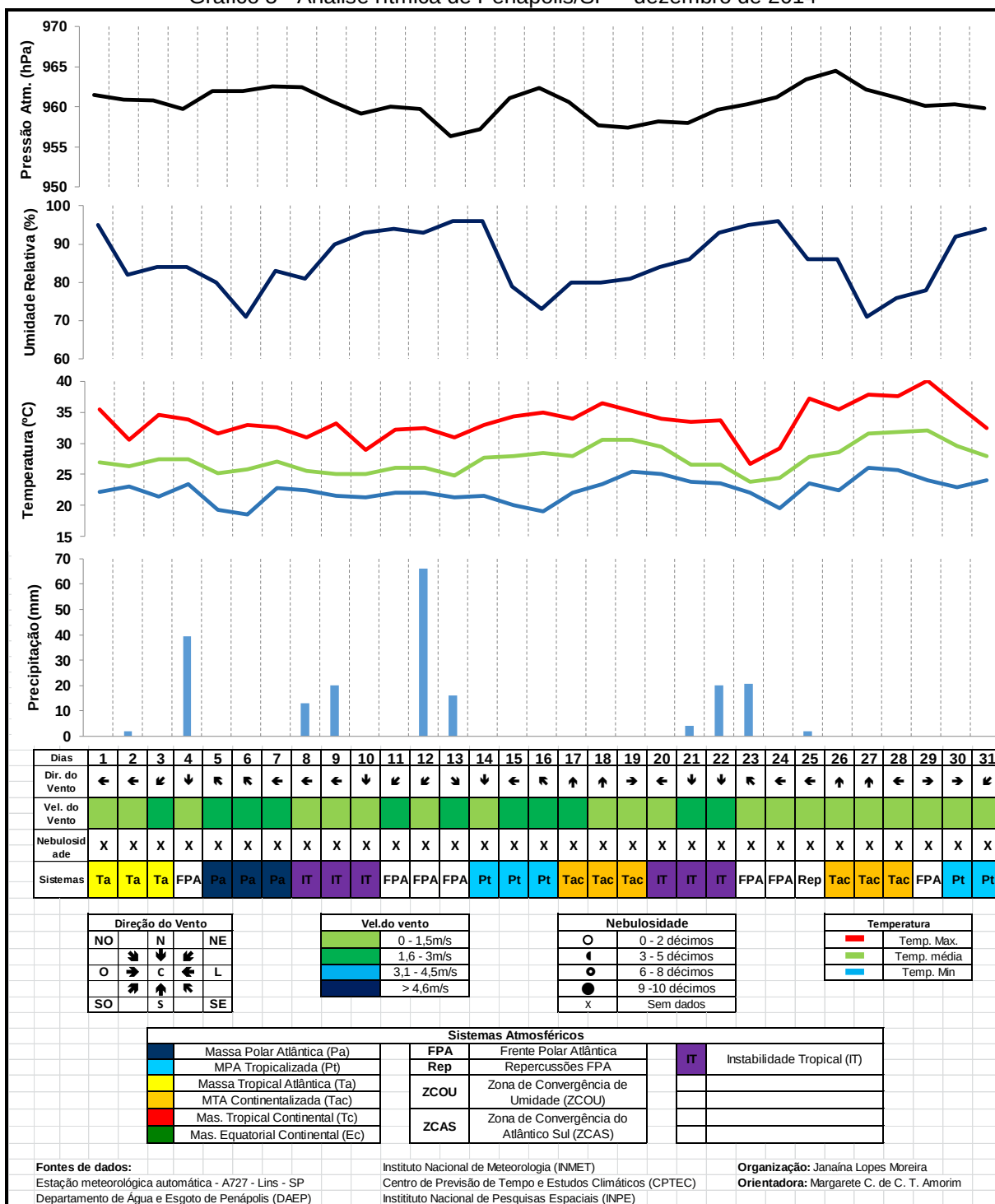
A Frente Polar Atlântica voltou a influenciar o tempo na cidade estudada nos dias 23, 24 e 29. Em tais dias a pressão atmosférica foi de 960,1 a 961,2 hPa. Enquanto que a umidade relativa do ar se manteve entre 78% e 96%. A temperatura do ar apresentou um aumento na máxima, atingindo 40°C²⁵ e uma queda na mínima, com 19,5°C. A direção predominante do vento esteve nos quadrantes leste, oeste e sudeste, com velocidades de 0,1 a 1,2 m/s. Houve precipitação no dia 23 com total de 20,8mm.

O dia 25 ficou marcado pela atuação de uma repercussão de Frente Polar Atlântica. Nesse dia a pressão do ar atingiu 963,4hPa, a umidade relativa do ar foi alta com 86% e a temperatura do ar permaneceu elevada (37,2°C e 23,5°C). A direção do vento foi leste com velocidade de 1,5m/s. Houve precipitação de 2mm.

Os dias 30 e 31 foram caracterizados pela ação da massa Polar Atlântica tropicalizada que proporcionou estabilidade de tempo, com temperatura elevada e ventos calmos. A temperatura teve máxima de 36,2°C e a mínima de 22,9°C, a umidade variou entre 92% e 94% e a pressão atmosférica ficou em torno de 960hPa. Os ventos sopraram do quadrante oeste e nordeste com velocidade de 0,3m/s.

²⁵ Foi a maior temperatura registrada pelo DAEP no mês de Dezembro.

Gráfico 5 - Análise rítmica de Penápolis/SP – dezembro de 2014



Fonte dos dados: INMET e DAEP. Org. Moreira (2016).

No mês de janeiro de 2015 ocorreram alguns episódios de instabilidade, decorrentes, principalmente, da atuação da Instabilidade tropical e da Zona de Convergência de Umidade, que provocaram nebulosidade elevada e chuvas intensas, com total mensal de 210mm. O campo térmico mostrou uma variação entre 20,4°C e 39°C, com máxima no dia 20 e mínima do dia 16. Os percentuais de umidade relativa do ar oscilaram entre 66% e 95% e os ventos majoritariamente vindos do quadrante sudeste e leste atingiram a máxima de 3,7m/s. Os barômetros marcaram oscilações entre 964,1hPa e 959,5hPa. Tais condições meteorológicas podem ser observadas no Gráfico 6.

A atuação da massa Tropical Continental ocorreu apenas no dia 01 de janeiro, quando a pressão atmosférica esteve próxima dos 960hPa, a umidade relativa do ar com 90% e a temperatura atingiu 36,2°C e teve a mínima de 24,4°C. Os ventos em calmaria sopraram de nordeste.

A Frente Polar Atlântica passou pelo município em quatro momentos no mês de janeiro, nos dias 02, 05, 21 e 29. Durante esses dias houve pouca precipitação e apenas no dia 21 não teve ocorrência de chuvas. A temperatura máxima foi de 38°C, a mínima de 22,3°C, a umidade variou entre 72% e 95% e o total pluviométrico foi de 9,8mm. A pressão atmosférica variou entre 959,6hPa e 962,6hPa e os ventos predominantes de sul e sudeste alcançaram 1,8m/s.

Penápolis esteve sob a atuação da massa de ar Polar Atlântica durante os dias 03, 04 e 06 de janeiro. A pressão atmosférica se manteve entre 961 e 964hPa. A umidade relativa do ar variou entre 88% e 95%, a temperatura do ar oscilou entre 37°C e 21,6°C e a precipitação foi de 23,7mm. O vento teve direção sudoeste, norte e leste, com a velocidade entre 0 e 1,0m/s.

A massa Polar Atlântica Tropicalizada esteve na região em que o município se insere nos dias 07, 08, 22 e 31 de janeiro. A pressão atmosférica oscilou entre 931,3 e 963,5hPa. A umidade relativa do ar esteve entre 79% e 90%, com temperatura máxima de 37°C e mínima de 22,4°C. A precipitação ocorreu nos dias 07 e 08 com total de 5,1mm. Os ventos dos quadrantes sul, leste e sudeste tiveram velocidade entre 0 a 2,7m/s.

A Instabilidade Tropical também foi um sistema atmosférico bastante atuante na região durante janeiro, determinando as condições de tempo nos dias 09, 11, 16²⁶, 23 e 24. Durante esses dias a precipitação foi baixa, com total de 20,6mm, porém os ventos foram mais intensos entre 1,1m/s e 3,7m/s. Os dados de pressão do ar apontaram para uma variação entre 961,4 e 963,7hPa. Os percentuais de umidade oscilaram entre 77% e 89%. A

²⁶ Apesar de ter ocorrido precipitação durante o dia 16 de janeiro, essa se concentrou nos períodos da madrugada e da manhã, deixando o tempo com condições estáveis durante as outras horas do dia. Por consequência, às 21h horas foram realizadas as medidas móveis.

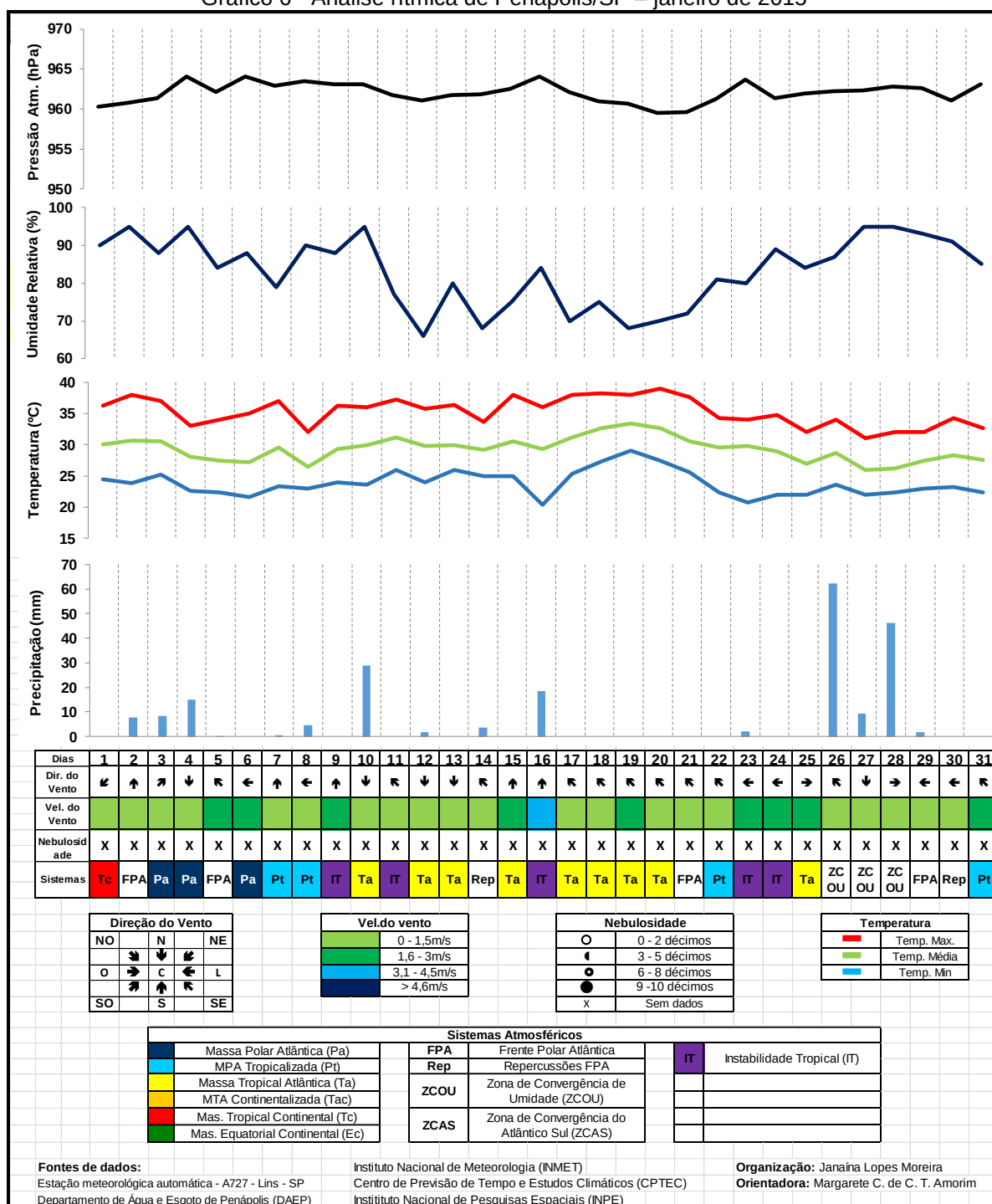
temperatura teve máxima de 37,2°C e mínima de 20,4°C. A direção do vento foi sul, sudeste e leste.

A massa Tropical Atlântica teve uma expressiva participação na região estudada, atuando nos dias 10, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 20 e 25 de janeiro. A pressão atmosférica esteve entre 959,5 e 964,1hPa. A umidade relativa do ar oscilou entre 66% e 95%. A temperatura do ar contou com a máxima de 39°C e mínima de 20,4°C. A precipitação teve total de 30,5mm, sendo que 28,8mm no dia 10 e 1,7mm no dia 12. A direção do vento foi norte, sul e sudeste, com velocidade de 1,1 a 1,8m/s.

Nos dias 14 e 30 de janeiro ocorreram repercussões da Frente Polar Atlântica que controlou o tempo na cidade estudada. A pressão ficou em torno de 961hPa, a umidade relativa do ar se manteve entre 68% e 91%, enquanto que a temperatura variou de 23,2°C a 34,2°C. Ocorreu precipitação no dia 14 com total de 3,6mm. O vento em calmaria soprou de sudeste e leste.

De 26 a 28 de janeiro uma Zona de Convergência de Umidade atuava em grande parte do país e ocasionou 117,7mm de precipitação na área urbana de Penápolis. A umidade esteve alta entre 87% e 95%, a temperatura do ar registou máxima de 34°C e mínima de 22°C. O vento predominantemente do quadrante norte apresentou velocidade foi de 0,1 a 1,3m/s.

Gráfico 6 - Análise rítmica de Penápolis/SP – janeiro de 2015



Fonte dos dados: INMET e DAEP. Org. Moreira (2016).

Os sistemas atmosféricos atuantes na área de estudo durante o mês de junho de 2015 estão apresentados no Gráfico 7. Esse mês foi marcado predominantemente pela atuação de sistemas de tempo estável, tendo apenas dois eventos chuvosos, nos dias 01 e 03, com total mensal de 21,8mm. A temperatura teve máxima mensal de 33°C no dia 11 e mínima de 13,2°C no dia 27. A pressão atmosférica oscilou entre 989hPa e 973,5hPa, a umidade relativa esteve entre 78% e 96% e os ventos predominantes foram dos quadrantes oeste, sul e sudoeste, com velocidade máxima de 4,4m/s no dia 20. Portanto, apesar de alguns sistemas atmosféricos, caracterizados pela instabilidade, terem passado pelo município, esses não provocaram precipitações significativas, porém geraram o aumento da velocidade do vento.

O mês iniciou com instabilidade de tempo através da passagem da Frente Polar Atlântica que provocou precipitação, com total de 19,8mm. A umidade foi elevada, com 96%, a temperatura teve máxima de 23°C e mínima de 18°C, a pressão atmosférica marcou 965,7hPa e os ventos de oeste registraram 0,6m/s. Esse tipo tempo voltou a se repetir no dia 15, causando o declínio da temperatura e umidade, porém sem a ocorrência de chuvas.

A Repercussão da Frente Polar Atlântica determinou as condições da atmosfera da cidade estudada nos dias 02, 14, 19 e 24. Durante esses dias não ocorreu precipitação, a temperatura teve declínio e a umidade se manteve elevada entre 78% e 92%. A máxima térmica foi de 30°C e a mínima 18,6°C. Os barômetros registram pressão em torno de 960hPa e os ventos de oeste e sudoeste foram fortes, com máxima de 3,2m/s.

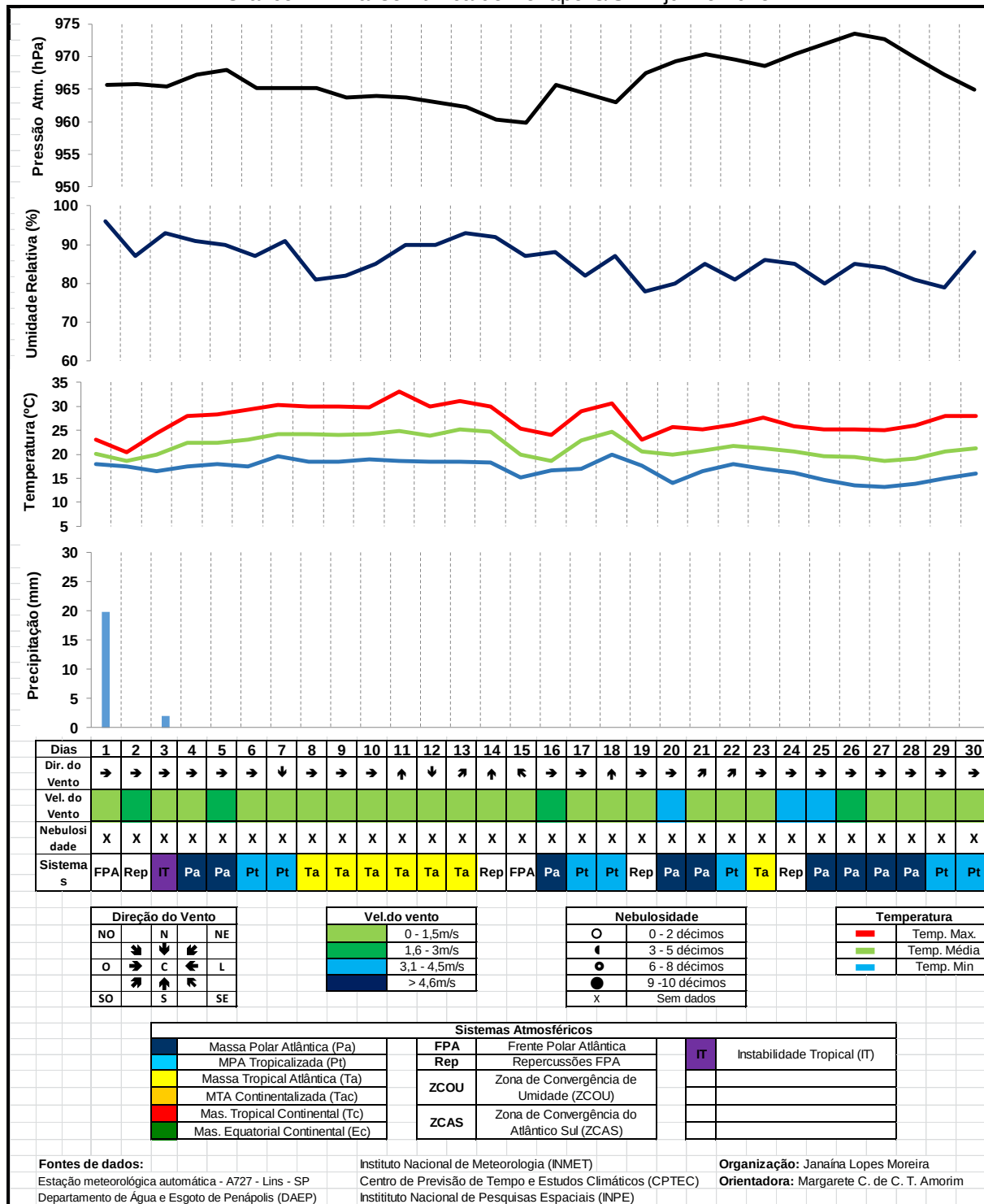
A massa Polar Atlântica foi o sistema atmosférico de maior ocorrência do mês de junho na região, estando presente nos dias 04, 05, 16, 20, 21 e do dia 25 ao 28. Durante esses dias, de maneira geral, não ocorreu precipitação, a temperatura marcou máxima de 28,2°C e mínima de 13,2°C e o percentual de umidade relativa do ar ficou entre 80% e 91%. A pressão esteve oscilante entre 965,6hPa e 973,5hPa e os ventos provenientes de oeste e sudoeste alcançaram 3,4m/s.

A massa Polar Atlântica tropicalizada foi o segundo sistema atmosférico de maior influência no município durante o período analisado, estando presente nos dias 06, 07, 17, 18, 22, 29 e 30. Esses dias ficaram caracterizados pela temperatura ligeiramente mais elevada, com máxima de 30,5°C e mínima de 15°C. A umidade relativa do ar variou entre 79% e 91%, a pressão esteve oscilante entre 963hPa e 969,5hPa e os ventos oriundos de oeste, norte e sul foram bastante fracos, com até 1,4m/s de velocidade.

A massa Tropical Atlântica esteve influenciando as condições de tempo na região estudada entre os dias 08 e 13 e no dia 23. Sua atuação proporcionou temperatura e umidade elevada, com máximas de 33°C e 93% e mínimas de 17°C e 81%. A pressão oscilou entre 962,2hPa e 968,6hPa. Os ventos vindos de sudoeste e oeste foram calmos, com máxima de 0,4m/s.

As linhas de Instabilidade Tropical atuaram no dia 03 causando queda de temperatura e umidade relativa do ar elevada. A temperatura registrou máxima de 24,4°C e mínima de 16,5°C, a pressão marcou 965,4hPa e os ventos de oeste e sudoeste tiveram velocidade de 0,8m/s. A precipitação foi pouca, totalizando 2mm.

Gráfico 7 - Análise rítmica de Penápolis/SP – junho 2015



Fonte dos dados: INMET e DAEP. Org. Moreira (2016).

O mês de julho se caracterizou pelo tempo mais instável, com precipitações concentradas na primeira quinzena do mês, no total de 80,4mm. Consequentemente, no início do mês teve-se temperaturas mais amenas, que foram se elevando conforme se avançava para a segunda quinzena do mês. Sendo assim, a máxima térmica registrada em julho foi de 31°C no dia 14 e a mínima de 14,2°C foi registrada no dia 01. A umidade relativa do ar foi alta, com percentuais oscilando entre 65% e 96%. A pressão atmosférica esteve entre 960,8hPa e 967,hPa e os ventos com velocidade máxima de 3,3m/s sopraram dos quadrantes oeste, sudoeste e sul (Gráfico 8).

Os dois primeiros dias do mês de junho estiveram sob atuação da frente Polar Atlântica que provocou tempo instável, com nebulosidade e precipitação, no total de 26mm. A temperatura declinou tendo máxima de 21,6°C e mínima de 14,2°C, a umidade se elevou ficando em 96%, os ventos de oeste e sudoeste apresentaram velocidade de até 1,6m/s e a pressão atmosférica oscilou entre 965hPa e 964hPa. Os dias 04, 07, 08, 15 e 16 também foram marcados pela atuação desse sistema atmosférico, com condições de tempo similares, porém de menor intensidade, visto que não ocorreu precipitação significativa, com máxima de 4,4mm no dia 08.

O dia 03 foi o mais chuvoso do mês, com total de 32,5mm. Esses valores decorrem da repercussão da Frente Polar Atlântica que trouxe bastante nebulosidade a região. A temperatura se elevou ficando com máxima de 27°C e mínima de 14,6°C, a umidade esteve em torno de 90%, a pressão marcou 960,8hPa e os ventos predominantes de sul e sudoeste registraram velocidade de 1,2m/s. Esse sistema também determinou o tempo nos dias 09, 17 e 21, porém com precipitação menor, com total de 14,6mm no dia 09.

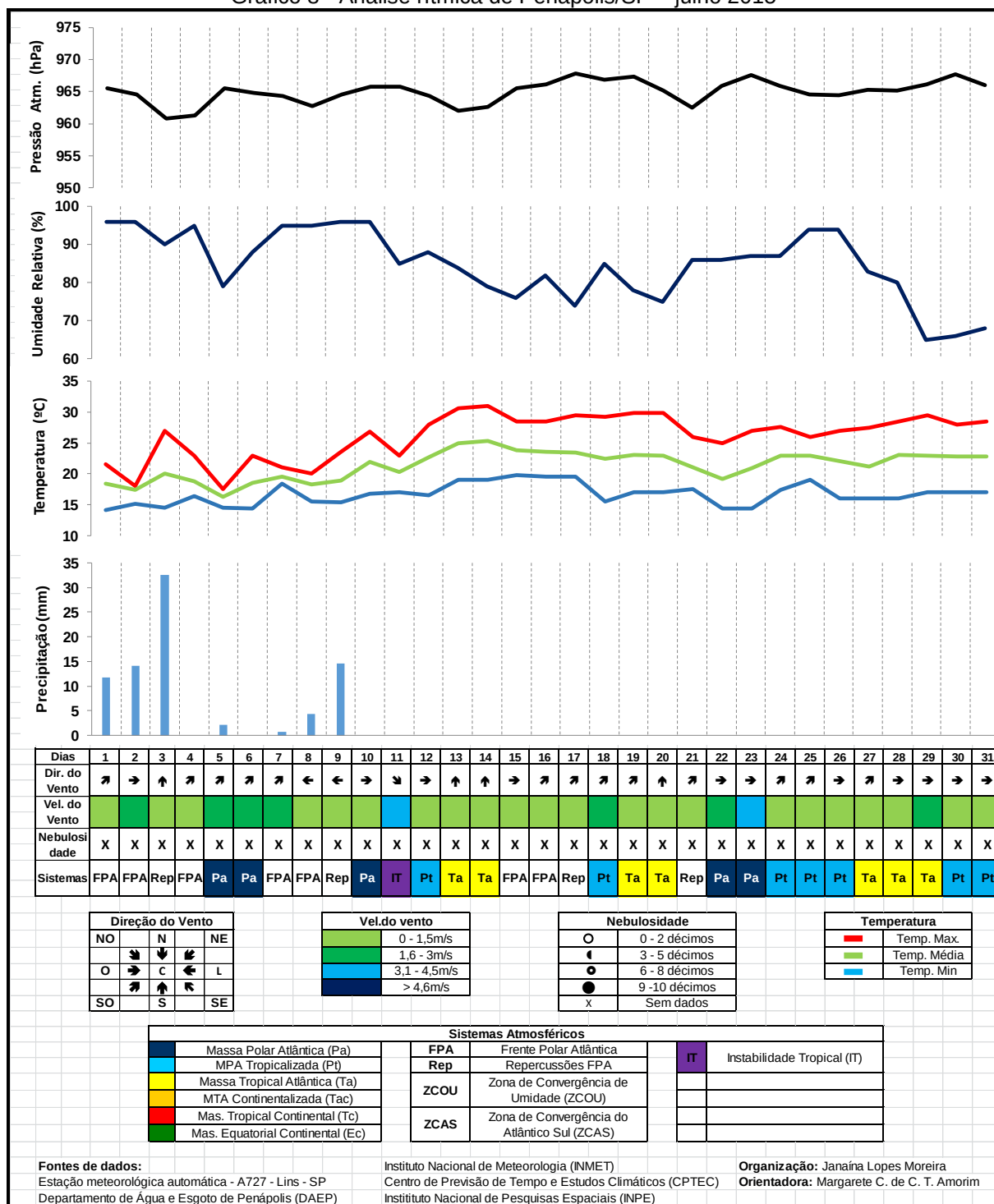
A massa Polar Atlântica influenciou a região nos dias 05, 06, 10, 22 e 23. A pressão atmosférica foi de 964,8hPa a 967,6hPa, a temperatura apresentou máxima de 27°C e mínima de 14,4°C e a umidade relativa marcou máxima de 96%. Os ventos tiveram velocidade de até 3,3m/s e sopraram do quadrante oeste e sudoeste.

O ar frio se tropicalizou nos dias 12, 18, 24, 25, 26, 30 e 31, passando a ser denominado como massa Polar Atlântica tropicalizada. Sob a influência desse sistema, a pressão atmosférica foi de 964,3hPa a 967,7hPa, a temperatura teve máxima de 29,2°C e mínima de 15,6°C e a umidade variou de 68% a 94%. Não houve precipitação e os ventos de oeste e sudoeste foram fracos, com máxima de 1,6m/s.

A massa Tropical Atlântica esteve presente na cidade estudada nos dias 13, 14, 19, 20, 27, 28 e 29. Nesses dias, a pressão da atmosfera foi de 962hPa a 967,3hPa, a umidade relativa do ar marcou 84% e a temperatura variou de 30,6°C a 16°C. A nebulosidade foi baixa e os ventos tiveram a direção em sul, sudeste e sudoeste com velocidade de 1,6m/s.

No dia 11 linhas de Instabilidade Tropical estiveram sobre a região de Penápolis provocando nebulosidade e ventos mais fortes, porém com ausência de chuva. Nesse dia, a temperatura oscilou entre 23°C e 17°C, a umidade registrou máxima de 85% e a pressão ficou em 965,8hPa. A direção e velocidade do vento foram noroeste e 3,2m/s, respectivamente.

Gráfico 8 - Análise rítmica de Penápolis/SP – julho 2015



Fonte dos dados: INMET e DAEP. Org. Moreira (2016).

7 CARACTERÍSTICAS DAS ILHAS DE CALOR E DE UMIDADE EM PENÁPOLIS POR MEIO DE MEDIDAS FIXAS

Sabendo que a ilha de calor se define a partir diferença de aquecimento entre as áreas urbanas e seu entorno rural/não urbanizado. A análise das ilhas de calor e de umidade em Penápolis também foi realizada através de medidas fixas. Esse tipo de coleta permitiu a simultaneidade dos registros, os quais através de tratamento estatístico possibilitaram o conhecimento das intensidades e evoluções horárias das ilhas encontradas em Penápolis.

Os dados foram coletados por duas estações (urbana e rural) nos meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015 e junho e julho de 2015, sendo representativos das estações do verão e do inverno, respectivamente.

7.1 Intensidade média e evolução horária das ilhas térmicas e higrométricas com base nos dados gerais

A análise da ilha de calor e umidade na cidade de Penápolis se pautou primeiramente na utilização e comparação dos dados horários (horas ímpares) gerais de todos os dias das duas estações fixas no município, urbana e rural, ou seja, dados que não receberam qualquer tipo de filtro conforme as condições atmosféricas. Posteriormente, foi realizada uma filtragem dos dias com e sem chuva e os dias com e sem vento. Esse tipo de tratamento dos dados se justifica pela influência de tais condições de tempo na formação e intensidade da ilha de calor urbana.

Dessa forma, são apresentadas na tabela 10 a intensidade média, hora de máxima e duração da ilha de calor urbana em Penápolis. Os resultados demonstram que a intensidade da ilha de calor variou entre 2,2°C e 3,1°C nas estações analisadas, com máxima em janeiro e mínima em dezembro. Em junho e julho as intensidades apresentaram valores intermediários com 2,7°C e 2,3°C, respectivamente. Durante o verão, a ilha de calor teve maior duração, apresentando-se permanente em dezembro, ou seja, com duração de 24h. No inverno teve-se um declínio apresentando-se com 15h de duração em ambos os meses. Os horários de máxima intensidade da ilha de calor coincidiram com os horários noturnos, particularmente às 23h em janeiro e julho e à 1h em junho. Dezembro difere-se desse padrão, apresentando intensidade máxima às 9h da manhã.

Tabela 10 – Intensidade média, hora de máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP.

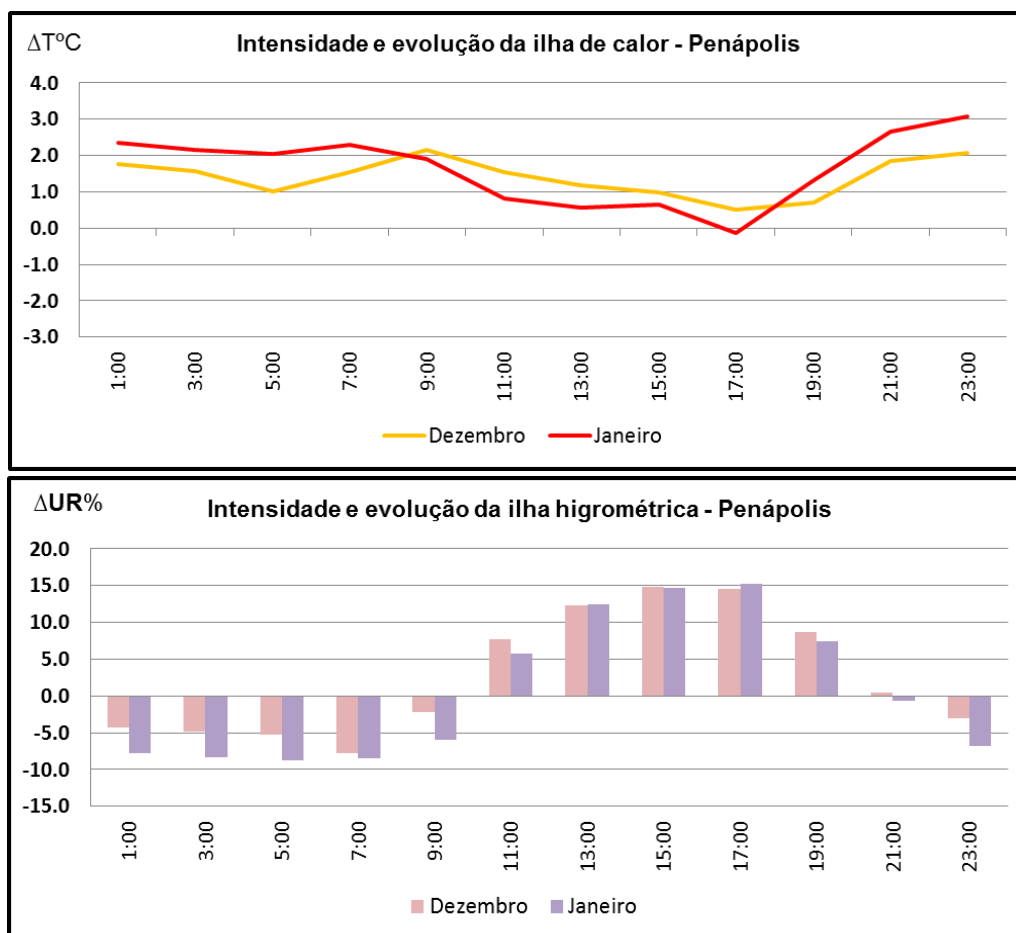
Variáveis da ilha de calor	Dezembro (verão)	Janeiro (verão)	Junho (inverno)	Julho (inverno)
Intensidade média máxima	2,2°C	3,1°C	2,7°C	2,3°C
Hora de máxima intensidade	9h	23h	1h	23h
Duração da ilha de calor urbana	24h	21h	15h	15h

Fonte: Elaborado pela autora

A evolução média da ilha de calor e da ilha higrométrica dos meses de dezembro, janeiro, junho e julho da cidade de Penápolis está representada no Gráfico 9 e 10. Através deste, é possível observar que os horários noturnos são os de maior atuação da ilha de calor em Penápolis, apontando assim que a cidade se mantém aquecida durante a noite, pois libera calor mais vagarosamente que seu entorno. A ilha seca também esteve presente no período noturno e apresentou-se inexistente no período diurno e início da noite, particularmente a partir da 11h até às 21h. Seu máximo ocorreu em condições de verão, em janeiro, com -8,8% às 5h.

Para visualizar melhor as variações mensais optou-se por separar os meses por estações. Dessa forma, percebe-se que o mês de janeiro apresentou uma ilha de calor mais intensa em comparação a dezembro, principalmente nos horários noturnos, desde às 19h até às 5h (Gráfico 9). Nesse período, as diferenças térmicas em dezembro variaram entre 0,7°C às 19h e o máximo de 2,1°C às 23h, enquanto que em janeiro os valores oscilaram entre 1,3°C às 19h e 3,1°C às 23h. Ou seja, no período noturno, os horários de máxima e mínima coincidiram. Em contrapartida, apesar de possuir uma menor intensidade, a ilha de calor de dezembro apresentou-se permanente, isto quer dizer que em todos os horários ocorreram diferenças térmicas positivas. Já em relação à umidade relativa, a ilha seca apresentou uma aparição mais tardia, às 23h, e um prolongamento até as primeiras horas da manhã, passando a ficar inexistente a partir da 9h, sua intensidade é maior durante a madrugada, com máximas de -7,8% às 7h em dezembro e -8,8% às 5h em janeiro.

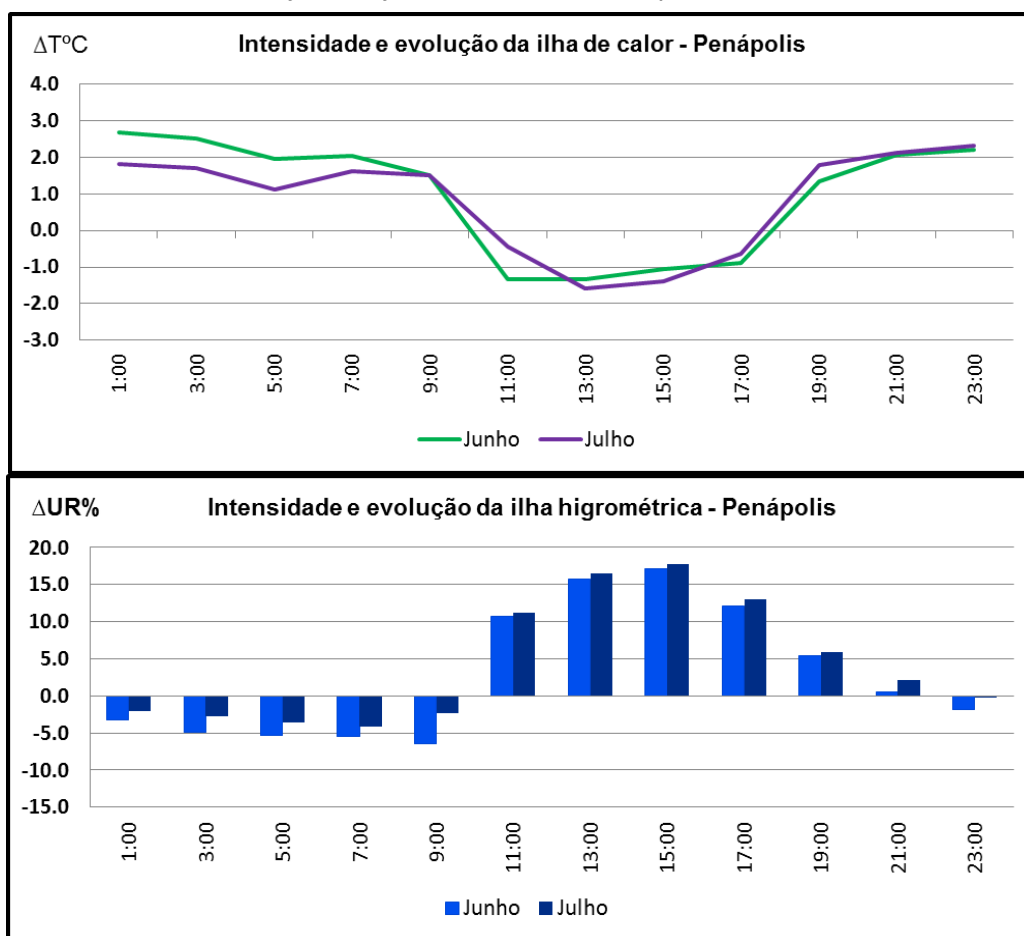
Gráfico 9 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

A evolução da ilha térmica e higrométrica de junho e julho está representada no gráfico 10. Pode-se observar que a evolução da ilha de calor destes meses teve um padrão levemente diferenciado dos demais meses já analisados. A ilha de calor se apresentou como um fenômeno exclusivamente noturno, com início a partir da 19h, máximo durante a madrugada e em declínio até às 9h, quando deixou de existir. Logo, as máximas foram registradas de seis a sete horas após o por do sol, alcançando em junho 2,7°C à 1h e em julho 2,3°C às 23h. No que se refere à ilha higrométrica o padrão se apresentou equivalente aos demais meses, o qual a ilha seca surgiu após o anoitecer, particularmente às 23h, e se estendeu até as primeiras horas da manhã, especificamente até às 9h, tendo assim uma duração de 10h. A intensidade média máxima em junho foi de -6,4% às 9h e em julho foi de -4,1% às 5h. Sendo assim, nota-se que junho apresentou uma ilha de calor/seca um pouco mais intensa que julho.

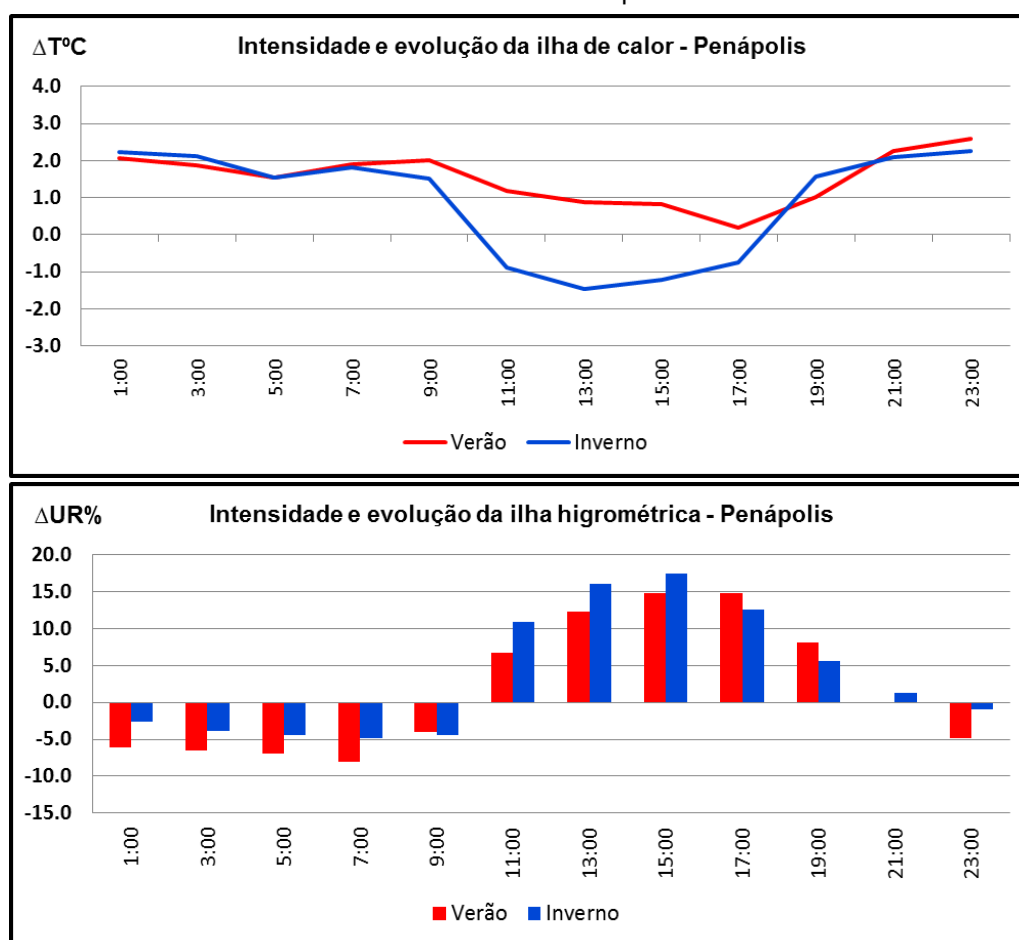
Gráfico 10 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, através das médias realizadas entre os dois meses representativos de cada estação é possível verificar as diferenças nos padrões estacionais de evolução horária das ilhas de calor e seca (Gráfico 11). A ilha térmica se difere mais entre as estações, visto que no verão teve-se uma ilha de calor permanente e com maior magnitude, sua intensidade diminuiu a tarde, principalmente às 17h, e seu máximo apresentou-se a noite, às 23h com 2,6°C. Já no inverno o padrão modificou-se, sobretudo a tarde, quando a ilha de calor deixou de existir, ou seja, entre às 11h e às 17h, a cidade se mostrou mais fria que seu entorno rural próximo. Também no inverno, a máxima foi registrada às 23h, porém com intensidade mais reduzida, 2,3°C. Já a ilha higrométrica apresentou-se padrão mais similar entre as estações, se diferenciando somente no tocante a intensidade, no verão a máxima média intensidade foi de -8,1% e no inverno -4,8%, ambos registrados às 7h. Logo, pode-se inferir que, entre as estações analisadas, as ilhas de calor/seca diagnosticadas em Penápolis forma mais intensas no verão.

Gráfico 11 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora

7.2 Intensidade média e evolução horária das ilhas térmicas e higrométricas em dias chuvosos

Como já foi abordado, muitos estudos apontam as condições meteorológicas como fatores intensificadores e amortizadores das diferenças térmicas e higrométricas entre a cidade e o campo. Portanto, para uma melhor compreensão das ilhas térmicas e higrométricas de Penápolis, se faz necessário uma análise climática perante os diferentes tipos de tempo predominantes durante a aquisição dos dados. Desta forma, a Tabela 11 apresenta a intensidade, o horário de máxima intensidade e duração da ilha de calor em dias com chuva na cidade de Penápolis.

Como já era esperado, em dias de chuva, a intensidade média da ilha de calor em Penápolis foi reduzida, tendo como valor máximo 2,8°C, registrado em janeiro às 23h. Dessa forma, notou-se que algumas características se mantiveram semelhantes aos dados gerais, tendo em vista que as máximas continuaram pela noite, principalmente às 23h e à 1h. Além

disso, dezembro seguiu com uma ilha de calor permanente e janeiro permaneceu com a maior intensidade média entre os meses analisados.

Tabela 11 – Intensidade média, hora máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP dias com chuva.

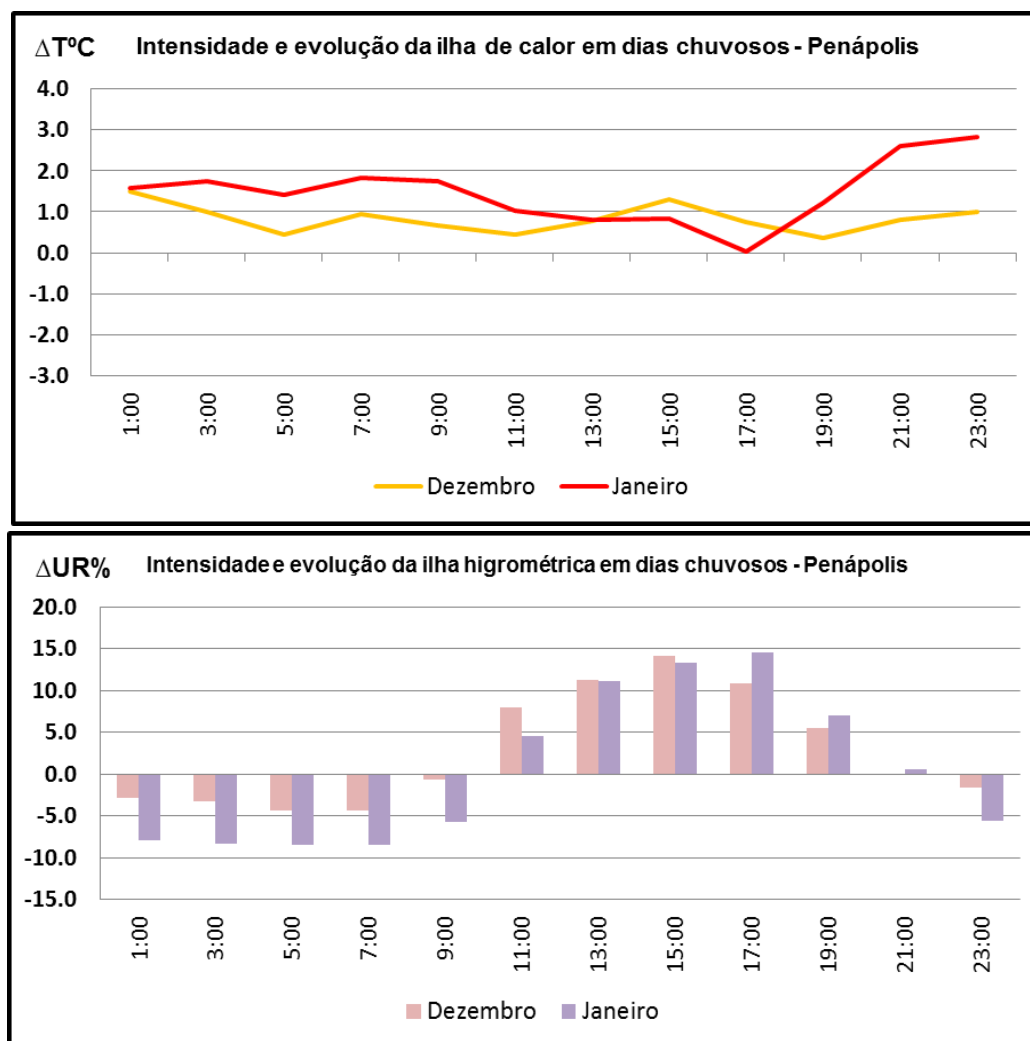
Variáveis da ilha de calor	Dezembro (verão)	Janeiro (verão)	Junho (inverno)	Julho (inverno)
Intensidade média máxima	1,5°C	2,8°C	1,5°C	0,4°C
Hora de máxima intensidade	1h	23h	21h e 23h	1h, 7h, 19h
Duração da ilha de calor	24h	21h	16h	9h

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a intensidade média e a evolução horária da ilha de calor e da ilha higrométrica nos meses de dezembro, janeiro, junho e julho da cidade de Penápolis em dias chuvosos (Gráfico 12 e 13) é possível observar que as oscilações horárias foram bastante pequenas. Este fato comprova o efeito do tempo instável em amenizar as diferenças térmicas entre o urbano e o rural. Sendo assim, as diferenças térmicas em Penápolis em dias chuvosos oscilaram entre -0,8°C e 2,8°C e os maiores valores foram registrados à noite, entre às 21h e às 3h. A ilha higrométrica apresentou também algumas variações em comparação com os dados gerais. Observou-se que a ilha seca foi inexistente em dias chuvosos nos meses de junho e julho e em dezembro e janeiro se mantém com o padrão já observado, em que as maiores intensidades se registram pela madrugada e nas primeiras horas do dia.

No tocante as diferenças mensais no verão (Gráfico 12), percebe-se que dezembro teve uma ilha de menor intensidade e maior duração, com máximo de 1,5°C registrado à 1h e 24h, respectivamente. Já em janeiro, sob tais condições de tempo, foi registrada a maior intensidade para o período analisado, porém houve uma queda na duração da ilha de calor, que atuou por 21h, ficando inexistente ao entardecer, principalmente às 17h. Vale salientar que, apesar de em alguns horários não haver ilha de calor, durante esses dias não se registraram valores negativos. A ilha higrométrica apresentou padrão similar entre os meses, sendo que o máximo de intensidade da ilha seca foi de -4,4% em dezembro e -8,5% em janeiro, ambos registrados às 5h, ou seja, ilha seca teve maior magnitude em janeiro.

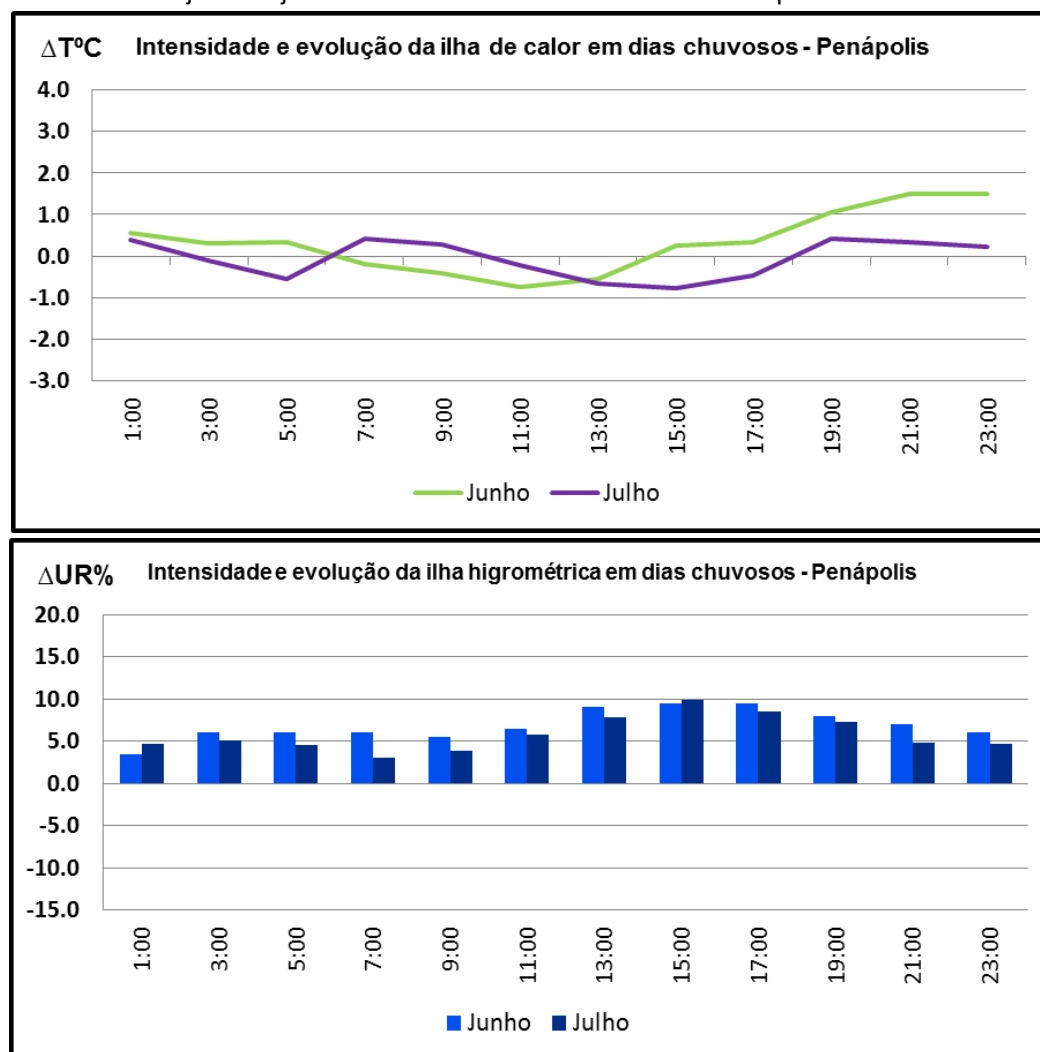
Gráfico 12 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em dias chuvosos em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

A intensidade média e evolução da ilha de calor e higrométrica em junho e julho em dias chuvosos se apresentam no gráfico 13. Nesses meses a ilha de calor teve menor intensidade, atingindo máximo de 1,5°C em junho às 21h e 23h, e 0,4°C em julho à 1h, 7h e 23h. Logo, a ilha de calor apresentou maior intensidade em horários noturnos, sobretudo, após às 19h. Os valores negativos foram registrados pela manhã e tarde, entre às 7h e às 13h em junho e entre às 11h e às 17h em julho, o que demonstra a inexistência de uma ilha de calor no período diurno em ambos os meses. Em relação à umidade relativa, nesses dois meses se observou um padrão bem distinto aos anteriores, visto que não houve presença de ilhas secas, isto é, a cidade se mostrou mais úmida em todos os horários em dias chuvosos, o que pode estar associado a diferente quantidade de chuvas entre o ambiente rural e urbano. O que se distingue entre os meses é a magnitude do fenômeno encontrado, visto que a ilha úmida teve intensidade de 9,5% em junho e 9,9% em julho, ambas registradas às 15h. Portanto, comparando os dois meses, pode se afirmar que junho teve uma ilha de calor mais intensa enquanto julho apresentou uma ilha úmida mais pronunciada.

Gráfico 13 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em dias chuvosos em Penápolis/SP

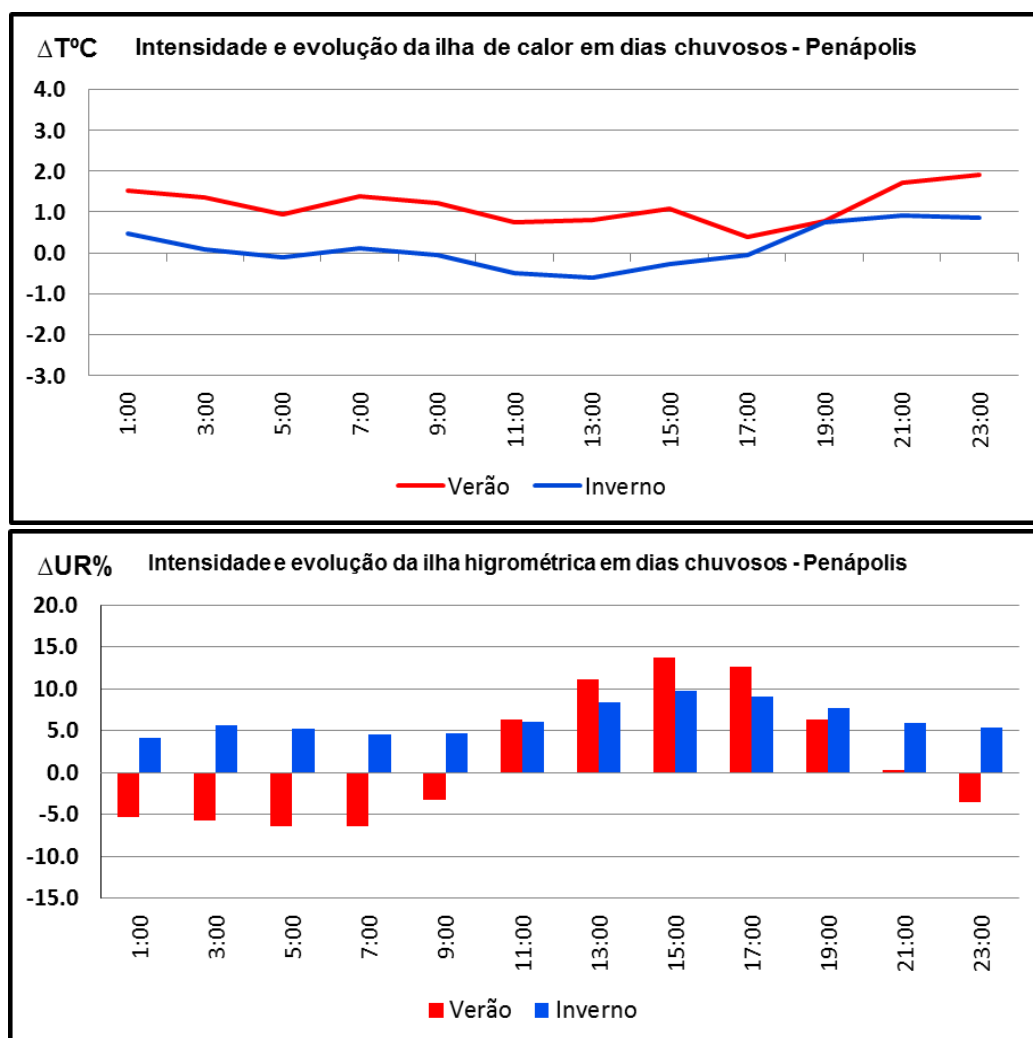


Fonte: Elaborado pela autora.

Deste modo, as diferenças significativas entre as estações analisadas podem ser observadas no gráfico 14, no qual está representada a ilha térmica e higrométrica para o verão e inverno em dias chuvosos em Penápolis. As médias elaboradas a partir dos valores dos meses representativos de cada estação revelou uma ilha de calor mais intensa durante o verão, com máxima de 1,9°C no verão e 0,9°C no inverno. Entretanto, há também algumas similaridades em ambas as estações. Verificou-se um aumento na intensidade média após às 19h, tendo nos períodos noturnos, principalmente às 23h, o pico de maior força da ilha de calor. A ilha higrométrica se apresentou bem distinta entre as estações. No verão ocorreu uma ilha seca entre às 23h e 9h, com intensidade máxima de -6,4% às 7h e uma ilha úmida entre 11h e 21h, com intensidade máxima de 13,7% às 15h. Já no inverno não houve a presença de ilhas secas, somente de uma ilha úmida que esteve presente durante todo o dia, com a maior intensidade às 15h, quando atingiu 9,7% e menor às 7h quando se registrou 4,5% de intensidade. Vê-se, portanto, uma coincidência e similaridade entre os

horários, o que nos permite inferir que às 15h a cidade se apresentou mais úmida e às 7h mais seca em comparação com seu entorno rural.

Gráfico 14 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em dias chuvosos em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

7.3 Intensidade média e evolução horária das ilhas térmicas e higrométricas em dias sem chuva

Sabendo que a atmosfera urbana reage de forma distinta perante as diferentes condições de tempo e que é nas situações de tempo estável que as diferenças entre o ambiente urbano e rural se evidenciam, a intensidade e evolução da ilha térmica e higrométrica em Penápolis também foram analisadas em dias sem chuva.

Assim, com base na tabela 12, em Penápolis durante esses dias notou-se o aumento da intensidade média da ilha de calor nas duas estações, com máximas de 2,9°C em dezembro, 3,3°C em janeiro, 2,8°C em junho e 3,0°C em julho. A maior duração foi no verão, quando a ilha de calor oscilou entre 24h e 21h. As horas de máximas continuaram no período noturno, particularmente às 23h e à 1h e dezembro seguiu com a maior intensidade durante a manhã, às 9h.

Tabela 12 – Intensidade média, hora máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP sem chuva.

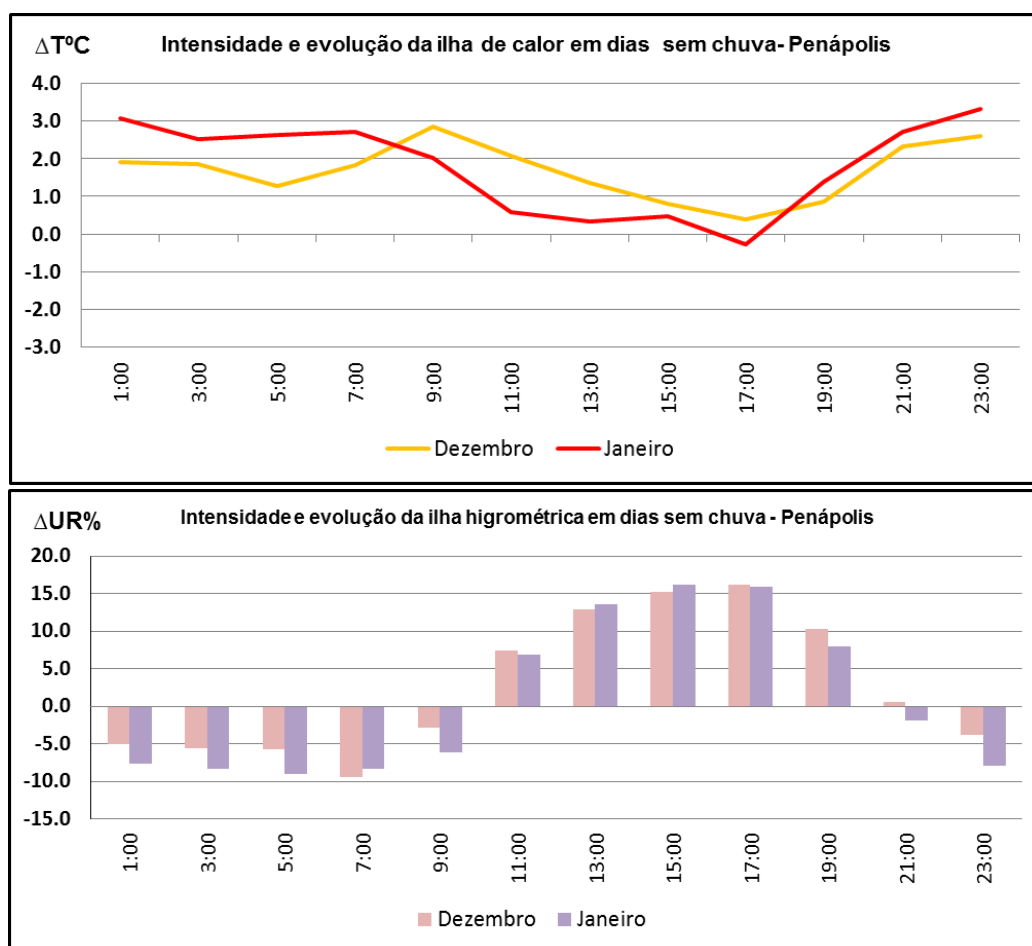
Variáveis da ilha de calor	Dezembro (verão)	Janeiro (verão)	Junho (inverno)	Julho (inverno)
Intensidade média máxima	2,9°C	3,3°C	2,8°C	3,0°C
Hora de máxima intensidade	9h	23h	1h	1h
Duração da ilha de calor	24h	21h	16h	16h

Fonte: Elaborado pela autora.

A intensidade média e a evolução da ilha de calor e da ilha higrométrica em Penápolis em dias sem chuva estão ilustradas no Gráfico 15 e 16. Desta forma, observou-se um padrão de maior intensidade no período noturno, com início, principalmente, às 21h e término às 09h. A maior intensidade da ilha de calor foi no mês de janeiro com 3,3°C, registrado às 23h. Junho e julho apresentaram intensidade e padrão similar, com aquecimento durante à noite e ilha de frescor das 11h às 17h. A ilha higrométrica apresentou padrão horário similar ao encontrado nas análises anteriores, em que a ilha seca se registra pela noite e primeiras horas da manhã, das 23h às 09h, e a ilha úmida se apresenta pela tarde e início da noite, das 11h às 19h. Entretanto, houve aumento na intensidade da ilha seca, que alcançou o maior valor em dezembro às 07h, com -9,4%.

Os meses de dezembro e janeiro apresentaram características muito semelhantes no que se refere aos horários das ilhas encontradas (Gráfico 15). De maneira geral, as ilhas de calor se apresentaram como um fenômeno noturno, que perde intensidade ou até mesmo deixa de existir pela tarde, sobretudo às 17h. Contudo, dezembro apresentou sua maior intensidade pela manhã, às 9h enquanto que em janeiro o pico de maior força da ilha de calor foi às 23h. Durante esses meses em dias sem chuva praticamente não houve a presença de ilhas frescas, com exceção às 17h em janeiro, porém foi um fenômeno de intensidade baixa, com $-0,3^{\circ}\text{C}$. A ilha seca apresentou intensidade média máxima de $-9,4\%$ em dezembro e $-8,3\%$ em janeiro, ambos registrados às 7h. A ilha úmida oscilou entre $7,5\%$ e $16,2\%$ em dezembro e $6,9\%$ e $16,1\%$ em janeiro e suas máximas foram registradas às 17h e 15h, respectivamente.

Gráfico 15 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em dias sem chuva em Penápolis/SP

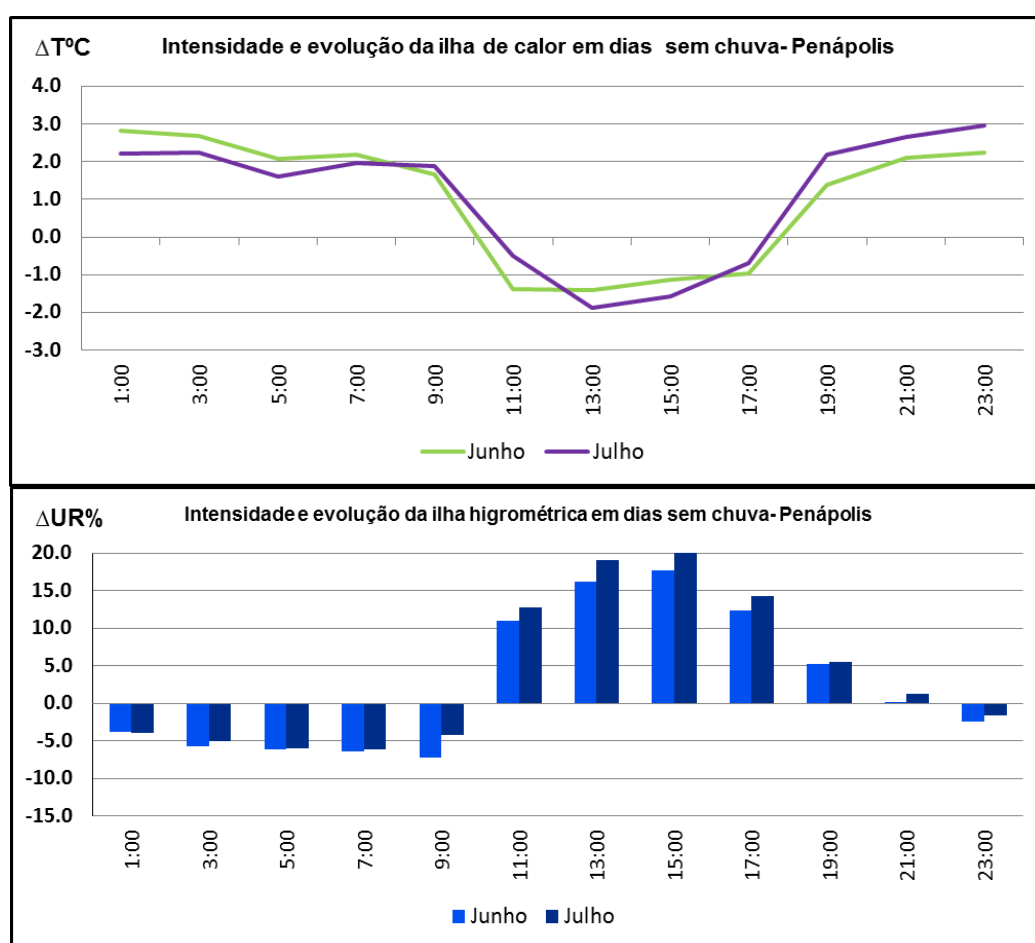


Fonte: Elaborado pela autora.

No gráfico 16 observa-se a intensidade média e evolução da ilha de calor e higrométrica em junho e julho em dias sem chuva. Nesses meses a ilha de calor teve máximas de $2,8^{\circ}\text{C}$ em junho à 1h e $3,0^{\circ}\text{C}$ em julho às 23h. Portanto, a ilha de calor

apresentou maior intensidade em horários noturnos, com início às 21h e término às 09h. Em ambos os meses as ilhas de frescor foram encontradas no fim da manhã e pela tarde, entre às 11h e às 17h, as intensidades oscilaram entre -1,0% e -1,4% em junho e -0,5% e -1,9% em julho e as máximas foram registradas às 13h. O padrão das ilhas secas e úmidas permaneceu, visto que junho e julho apresentaram uma ilha seca das 23h às 9h, com intensidade máxima de -6,4% às 7h, e uma ilha úmida das 11h às 19h, com intensidade máxima de 20% às 15h. Às 21h foi o horário de maior equidade entre os ambientes estudados.

Gráfico 16 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em dias sem chuva em Penápolis/SP

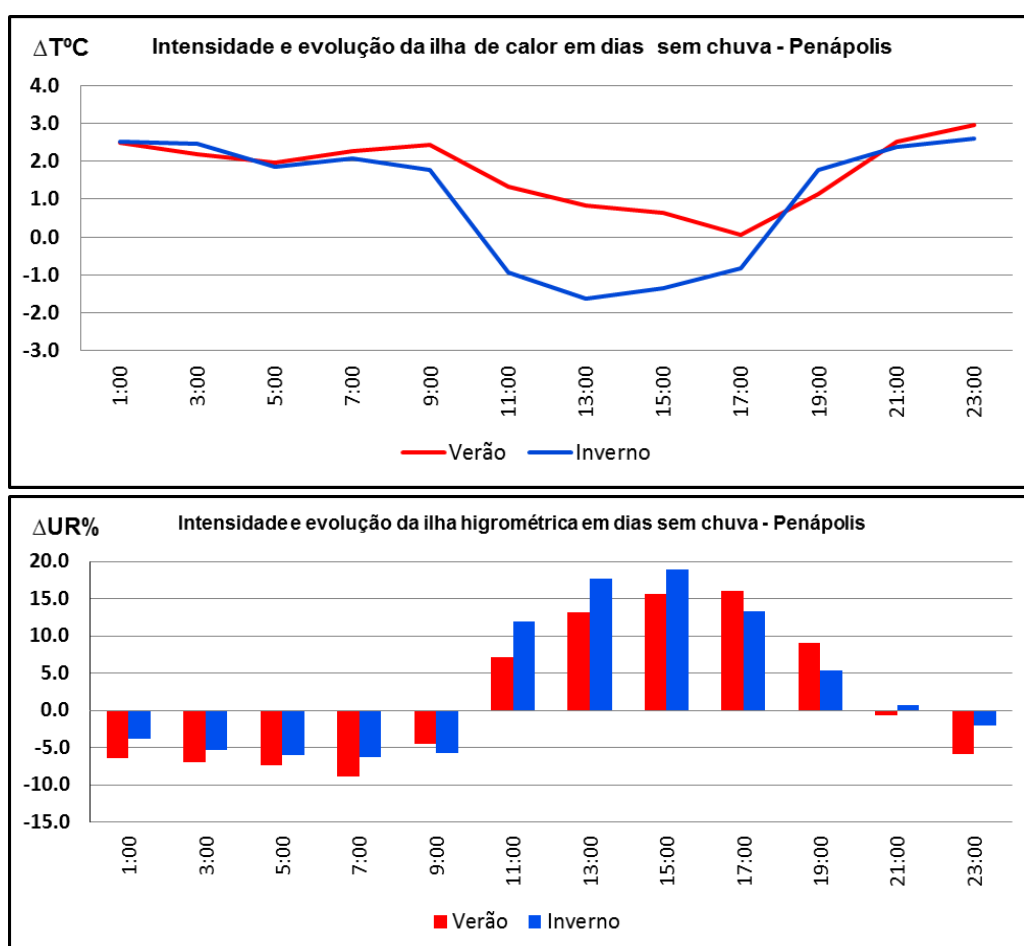


Fonte: Elaborado pela autora

As variações estacionais foram mais nítidas e notórias em dias sem chuva (Gráfico 17). Observou-se uma diferença significativa entre as linhas do gráfico que representa a evolução e intensidade da ilha de calor, durante o verão teve-se uma ilha de calor quase constante, que quase desapareceu pela tarde, especificamente às 17h, quando atingiu 0,1°C. Em contrapartida, no inverno a ilha de calor deixou de existir por um período maior, durante toda a tarde, das 11h às 17h, quando a cidade apresentou uma ilha de frescor. Os

horários noturnos permaneceram como os de maior intensidade da ilha de calor urbana, principalmente às 23h, horário de máxima intensidade em ambas as estações, com 3,0°C no verão e 2,6°C no inverno. A ilha higrométrica apresentou padrão similar entre as estações, com ilhas úmidas pela tarde e ilhas secas pela noite, madrugada e início da manhã. No verão ocorreu uma ilha seca entre às 21h e 9h, com intensidade máxima de -8,9% às 7h e uma ilha úmida entre às 11h e 19h, com intensidade máxima de 19,1% às 17h. Já no inverno as ilhas secas se manifestaram entre às 23h e 9h, com máxima de -6,3% às 7h e a ilha úmida esteve presente durante a tarde, entre às 11h e 21h, com a maior intensidade às 15h, quando atingiu 18,6%. Portanto, o que mais se difere entre as estações analisadas é que a ilha seca teve maior força no verão e a ilha úmida teve maior intensidade no inverno.

Gráfico 17 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em dias sem chuva em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

7.4 Intensidade média e evolução horária das ilhas térmicas e higrométricas em dias com vento

O vento também é uma variável importante para a análise dos fenômenos climáticos urbanos, sobretudo a ilha de calor urbana. Ele é o grande responsável pelos

deslocamentos de ar, que muitas vezes, justificam a não aparição de diferenças térmicas e higrométricas entre o rural e o urbano. Pensando nisso, os dados coletados também foram submetidos a um filtro entre os dias com e sem vento, para se analisar a influência desta variável sobre a intensidade e duração da ilha de calor em Penápolis.

Sendo assim, a ilha de calor em Penápolis em condições com vento alcançou 2,2°C em dezembro, 3,3°C em janeiro, 2,3°C junho e 2,0°C em julho (Tabela 13). Dezembro continuou com a maior duração, 24h, seguidos de janeiro com 21h e junho e julho com 16h. Os picos de maior intensidade permaneceram pela noite, especialmente às 23h em janeiro, à 1h em junho e às 21h em julho. O padrão diferenciado de dezembro persistiu, com a maior intensidade pela manhã, às 9h.

Tabela 13 – Intensidade média, hora máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP com vento.

Variáveis da ilha de calor	Dezembro (verão)	Janeiro (verão)	Junho (inverno)	Julho (inverno)
Intensidade média máxima	2,2°C	3,3°C	2,3°C	2,0°C
Hora de máxima intensidade	9h	23h	1h	21h
Duração da ilha de calor	24h	21h	16h	16h

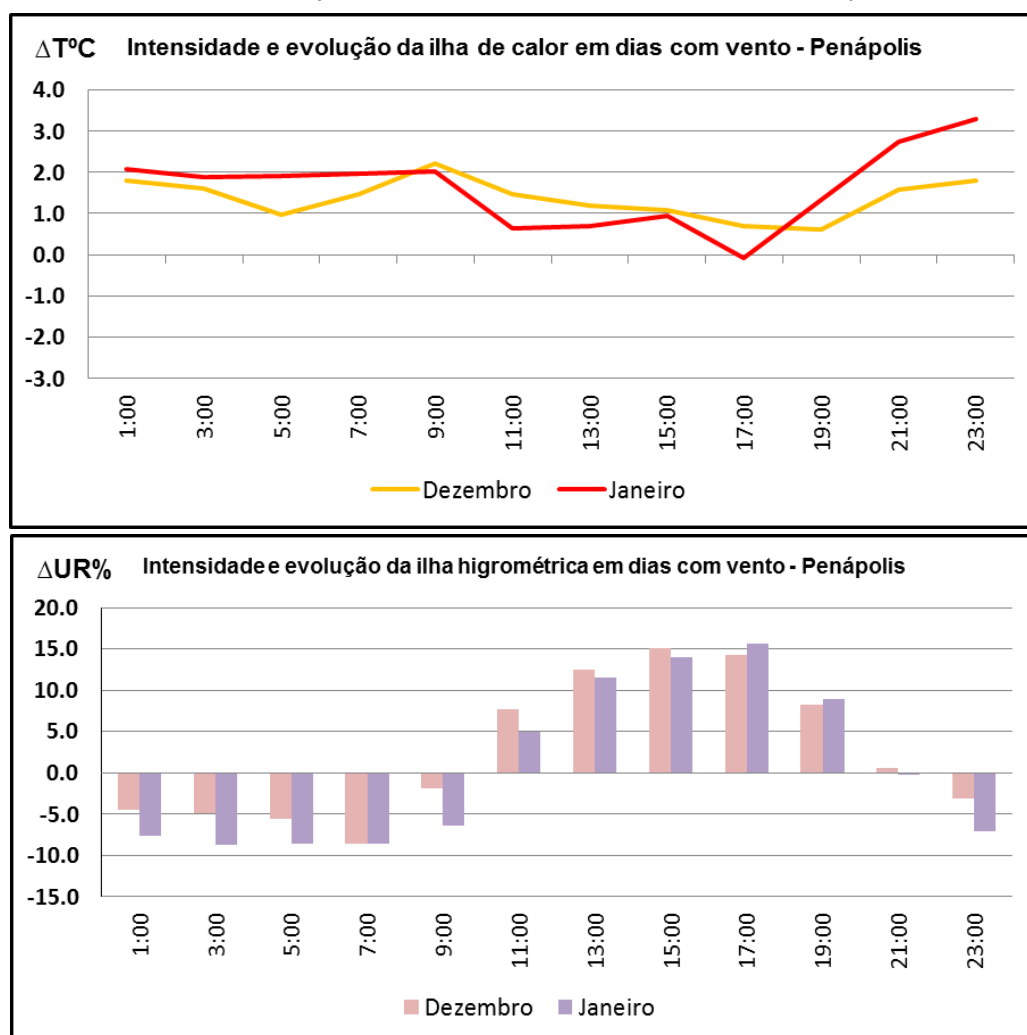
Fonte: Elaborado pela autora

A intensidade média e evolução da ilha de calor e da ilha higrométrica em Penápolis em dias com vento pode ser observada no Gráfico 18 e 19. Como já identificado em análises anteriores, foi possível observar que mesmo em dias com ventos superiores a 2,9 m/s, janeiro permaneceu como o mês de maior intensidade da ilha de calor e dezembro continuou com uma ilha de calor constante, ou seja, presente em todos os horários analisados. Junho e julho seguiram apresentando intensidade e padrão similar, com aquecimento durante a noite, com intensidades médias máximas de 2,3°C e 2,0°C, respectivamente e ilha de frescor das 11h às 17h, com intensidades médias máximas de -1,3°C em junho e -1,7°C em julho. A ilha seca também esteve presente no período noturno e nas primeiras horas da manhã, seu máximo ocorreu em condições de verão, em janeiro, com -8,8% às 3h.

À respeito das diferenças entre os meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015 (Gráfico 18), observou-se que janeiro demonstrou uma ilha de calor mais pronunciada, com intensidade média máxima de 3,3°C às 23h, sua ilha de calor é um fenômeno com maior

intensidade noturna, porém que se manifestou quase que durante todo o dia, se iniciou às 21h e se estendeu até às 15h. Já a ilha de frescor se manifestou durante o período vespertino, às 17h, com intensidade baixa de 0,1°C. Dezembro apresentou uma ilha de calor com menor intensidade, com máxima média de 2,2°C, com pico de força pela manhã às 9h, porém com duração constante, não havendo a presença de ilhas frescas em nenhum período do dia. A ilha seca apresentou padrão similar entre os meses, com início às 23h e término às 9h, suas máximas alcançaram -8,6% em dezembro às 7h e -8,8% em janeiro às 3h. Já a ilha úmida esteve presente pela tarde e início da noite e atingiu as intensidades máximas de 15,0% em dezembro às 15h e 15,7% em janeiro às 17h.

Gráfico 18 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em dias com vento em Penápolis/SP

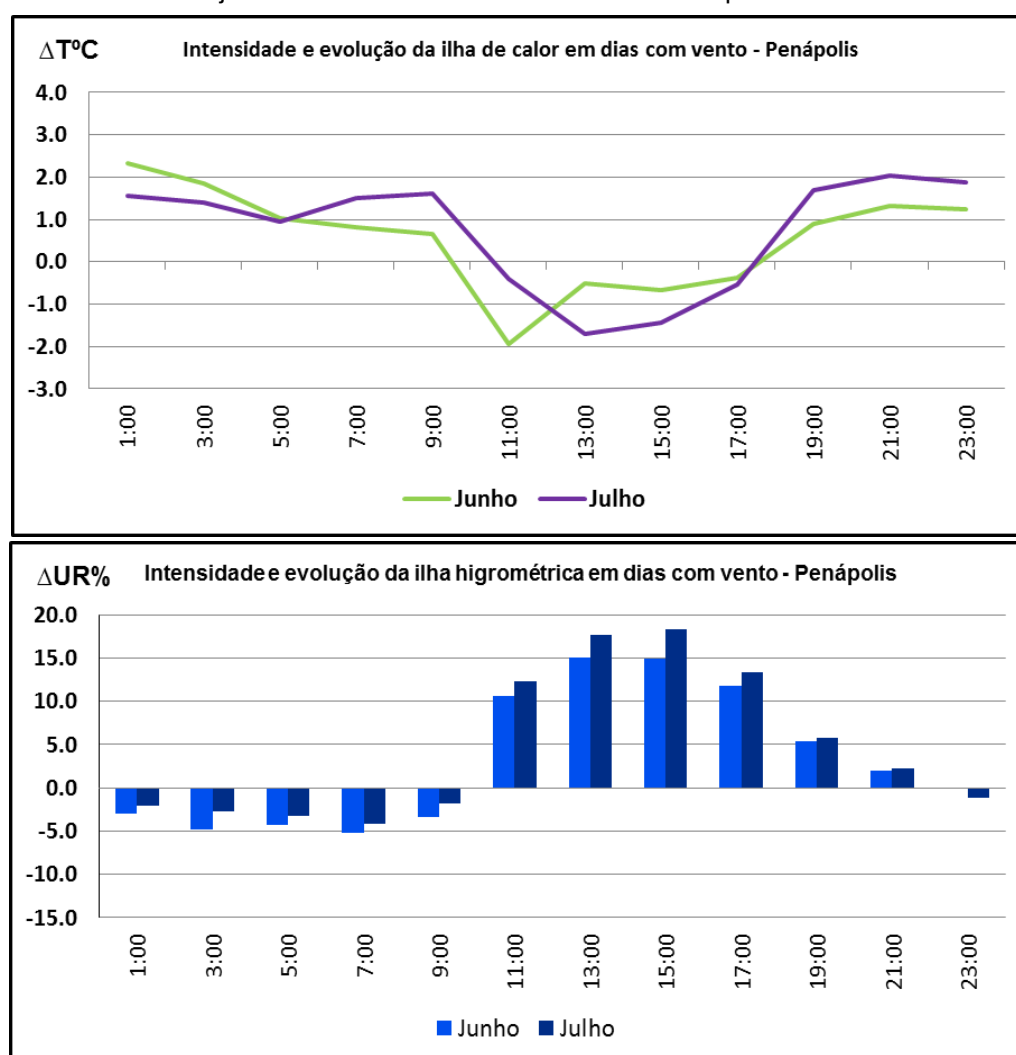


Fonte: Elaborado pela autora

Os meses de junho e julho de 2015 se assemelharam no que se refere à intensidade média da ilha de calor. Junho apresentou a máxima de 2,3°C à 1h e julho 2,0°C às 21h (Gráfico 19). Portanto, sob tais condições de tempo, a maior intensidade da ilha de calor foi adiantada em julho em relação à junho. Durante esses meses observou-se também,

um maior prolongamento da ilha de frescor, que atuou durante o período vespertino, particularmente entre às 11h às 17h, tendo máximas de $-1,9^{\circ}\text{C}$ em junho às 11h e $-1,7^{\circ}\text{C}$ em julho às 13h. No tocante a ilha higrométrica os meses de junho e julho apresentaram características muito semelhantes. Em ambos os meses a ilha seca se iniciou pela noite, às 23h, teve sua maior intensidade nas primeiras horas da manhã, às 7h, e deixou de existir depois das 9h, diferenciando-se apenas em intensidade, com máximas de $-5,2\%$ em junho e $-4,1\%$ em julho. Logo, a ilha úmida teve seu desenvolvimento a partir das 11h, se perpetuando durante toda a tarde até às 21h, suas intensidades médias máximas foram de $15,1\%$ em junho e $17,6\%$ em julho, ambas registradas às 13h.

Gráfico 19 - Intensidade e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em dias com vento em Penápolis/SP

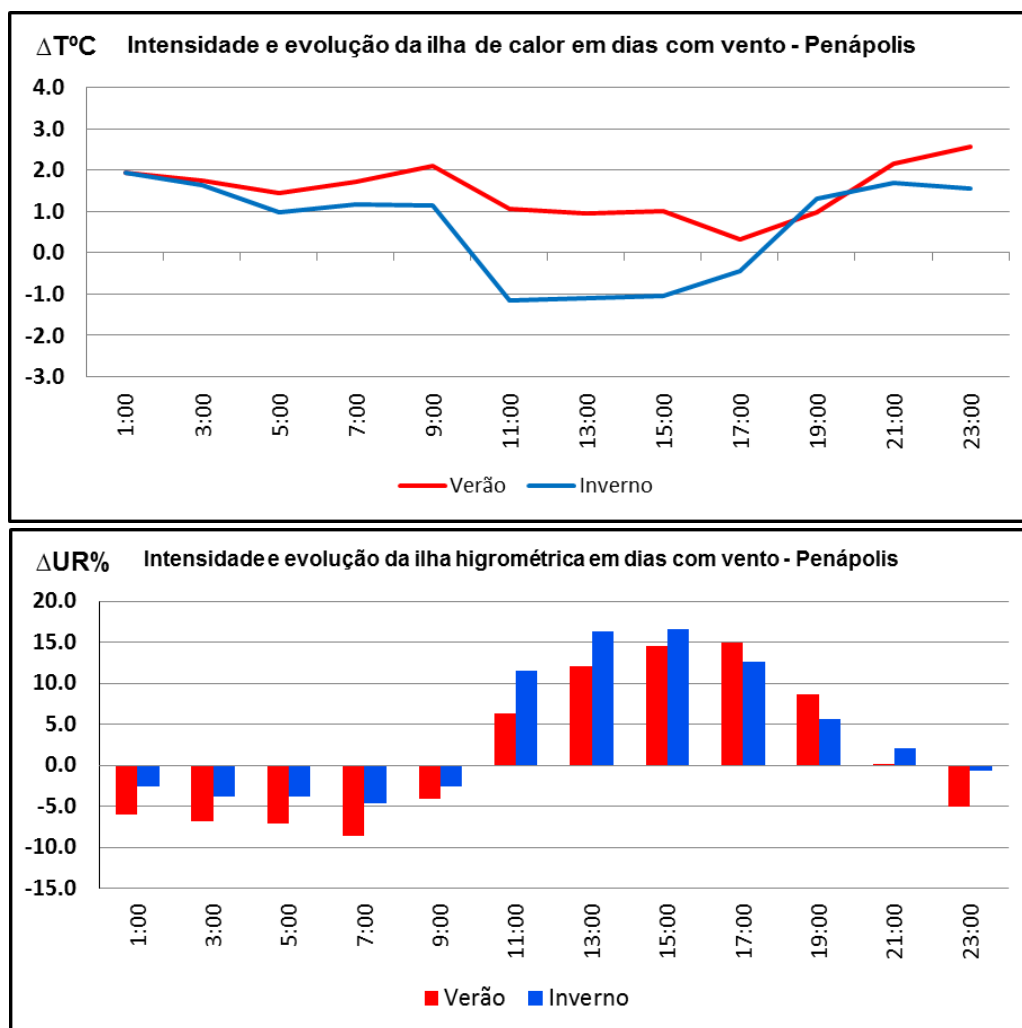


Fonte: Elaborado pela autora.

As diferenças entre as estações podem ser observadas no gráfico 20, no qual se verificou um padrão equivalente ao encontrado nos dados gerais. A ilha térmica se difere entre as estações, visto que no verão a ilha de calor se apresentou permanente e com maior

intensidade, sua magnitude declinou pela tarde, sobretudo às 17h, quando alcançou 0,3°C e seu pico de intensidade máxima foi registrado às 23h, com 2,6°C. No inverno a ilha de calor se configurou como um fenômeno de menor intensidade e duração, com máxima de 1,9°C à 1h e duração de 15h, com início às 23h e término às 9h. Logo, no inverno e no período vespertino, particularmente, entre às 11h e às 17h, atuava uma ilha de frescor que atingiu a máxima de -1,2°C às 11h. A ilha higrométrica teve padrão parecido entre as estações. Em ambas, a ilha seca foi um fenômeno noturno, que se prolongou durante a madrugada e manhã. Já a ilha úmida se apresentou pela tarde e início da noite, mais especificamente entre às 11h e 21h. O que se pode distinguir é a intensidade e os horários das máximas encontradas, a ilha seca no verão atingiu -8,6% e no inverno -4,6%, ambos registrados às 7h e a ilha úmida alcançou a máxima de 14,9% às 17h no verão e 16,4% às 13h no inverno.

Gráfico 20 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em dias com vento em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

7.5 Intensidade média e evolução horária das ilhas térmicas e higrométricas em dias sem vento

Seguindo as análises propostas na presente pesquisa, nesse tópico será analisada a intensidade e evolução da ilha de calor em Penápolis em dias de condições atmosféricas sem vento²⁷. Sob tais condições de tempo, a ilha de calor em Penápolis apresentou as maiores intensidades se comparado com as análises já realizadas, alcançando a máxima de 3,5°C às 23h no verão, particularmente em dezembro (Tabela 14). Algumas características permaneceram semelhantes, como por exemplo, os horários de máxima intensidade, que seguem ocorrendo pela noite e madrugada, demonstrando assim, que a ilha de calor em Penápolis é um fenômeno nitidamente noturno.

Tabela 14 – Intensidade média, hora máxima e duração da ilha de calor em Penápolis/SP sem vento.

Variáveis da ilha de calor	Dezembro (verão)	Janeiro (verão)	Junho (inverno)	Julho (inverno)
Intensidade média máxima	3,5°C	3,0°C	2,9°C	2,9°C
Hora de máxima intensidade	23h	1h e 7h	1h e 3h	23h
Duração da ilha de calor	23h	21h	16h	16h

Fonte: Elaborado pela autora

A intensidade média e evolução da ilha de calor em dias sem vento estão ilustradas no gráfico 21 e 22. Nestes, é possível observar que em todos os meses analisados, às 17h, teve-se um declínio das diferenças térmicas positivas, configurando assim, a presença de uma ilha de frescor na cidade. Além disso, verificou-se também um padrão semelhante entre os meses, com maiores intensidades entre às 19h e às 9h. As máximas médias alcançadas nesses dias sem vento foram de 3,5°C às 23h em dezembro, 3,0°C à 1h e às 7h em janeiro, 2,9°C à 1h e às 3h em junho e 2,9°C às 23h em julho.

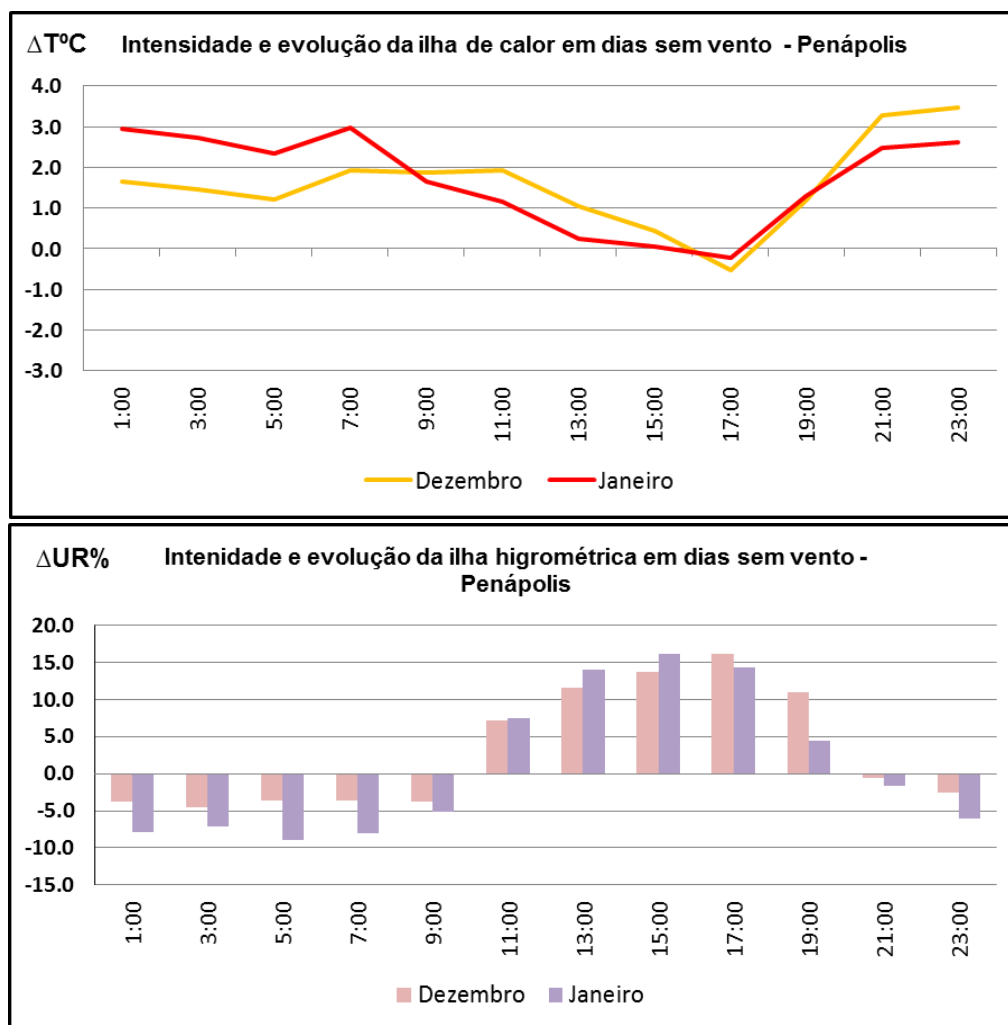
Portanto, foi durante a noite, madrugada e nas primeiras horas do dia que a ilha de calor atingiu seu pico de maior força em Penápolis. Concomitantemente, nesse período do dia também esteve presente a ilha seca na cidade, a qual atuou entre às 21h até às 9h. Sua intensidade máxima foi em condições de verão, mais especificamente às 9h, quando atingiu -9,0%.

²⁷ Foi considerados dias sem vento, dias em que a velocidade do vento não ultrapassou 2,9m/s.

As diferenças mensais de verão podem ser observadas no gráfico 21. Como observado nas análises anteriores, dezembro de 2014 e janeiro de 2015 apresentaram muitas similaridades entre os dados analisados, dentre estas se destacam o aumento das diferenças térmicas positivas a partir das 19h e o declínio destas depois das 11h. Ademais, também em ambos os meses, houve a presença de uma ilha de frescor de baixa magnitude, registrada às 17h, com intensidades de $-0,5^{\circ}\text{C}$ em dezembro e $-0,2^{\circ}\text{C}$ em janeiro. O que se distingue entre os meses, são os horários de máximas, visto que em dezembro as maiores intensidades foram registradas às 21h e às 23h e em janeiro à 1h e às 7h, e também a intensidade da ilha de calor, que em dezembro alcançou a máxima média de $3,5^{\circ}\text{C}$ e em janeiro $3,0^{\circ}\text{C}$. Assim, em dezembro, a ilha de calor se antecipou e sua magnitude foi maior comparada com a ilha de calor de janeiro.

Sobre a ilha higrométrica verificou-se maiores similaridades, pois em ambos os meses a ilha seca esteve presente entre às 21h e às 9h e a ilha úmida ocorreu entre às 11h e às 19h. A ilha seca registou a máxima de $-4,6\%$ às 3h em dezembro e $-9,0\%$ às 5h em janeiro. Já a ilha úmida apresentou intensidade máxima igual. Nos dois meses a máxima registrada foi de $16,2\%$ às 17h em dezembro e às 15h em janeiro. Sendo assim, comparando os dois meses, pode-se dizer que, a ilha seca teve maior magnitude em janeiro e que a ilha úmida atuou de maneira igual em ambos os meses, sendo variável somente no que se refere aos horários de máxima intensidade.

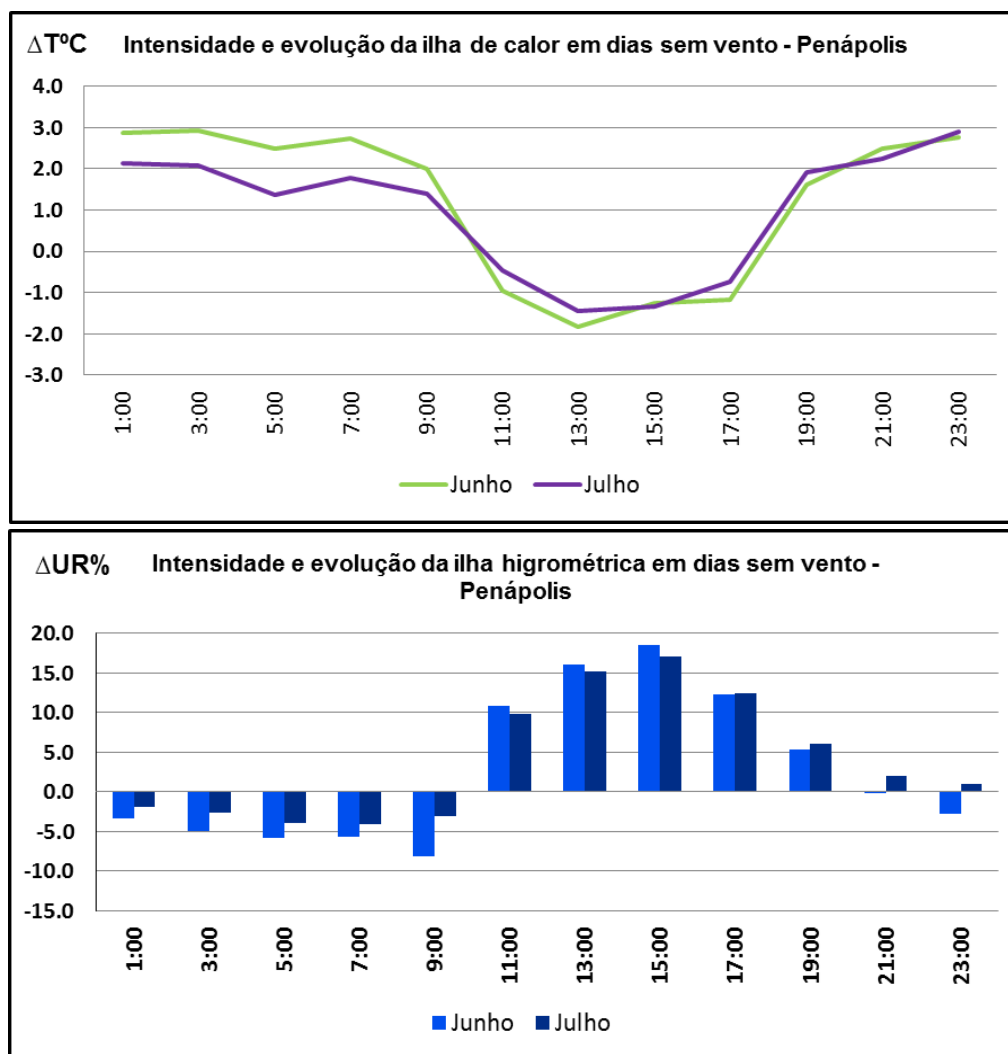
Gráfico 21 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em dezembro 2014 e janeiro de 2015 em dias sem vento em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

A intensidade média e evolução da ilha de calor e higrométrica em junho e julho em dias sem vento estão representadas no gráfico 22. Durante esses meses a ilha de calor atuou entre às 19h e às 9h, sua intensidade máxima atingiu 2,9°C em ambos os meses e foi registrado à 1h e às 3h em junho e às 23h em julho. Já no final da manhã e durante toda a tarde, mais especificamente entre as 11h e 17h, teve-se a presença da ilha de frescor, cuja intensidade máxima foi de -1,8°C em junho e -1,5°C em julho, ambas registradas às 17h. Em relação à umidade relativa, se observou um padrão mais distinto entre os meses. Julho apresentou uma ilha úmida mais prolongada em duração, com início às 11h e término às 23h, enquanto que em junho esta já deixou de existir às 19h. As intensidades médias máximas foram registradas às 15h, com 18,5% em junho e 17,0% em julho. Já a ilha seca marcou a máxima média de -8,2% às 9h em junho e -4,1% às 7h em julho. Portanto, comparando os dois meses, pode se afirmar que, junho e julho tiveram ilhas de calor e frescor equivalentes em duração e intensidade. Em relação à umidade, junho apresentou uma ilha úmida e seca de maior magnitude.

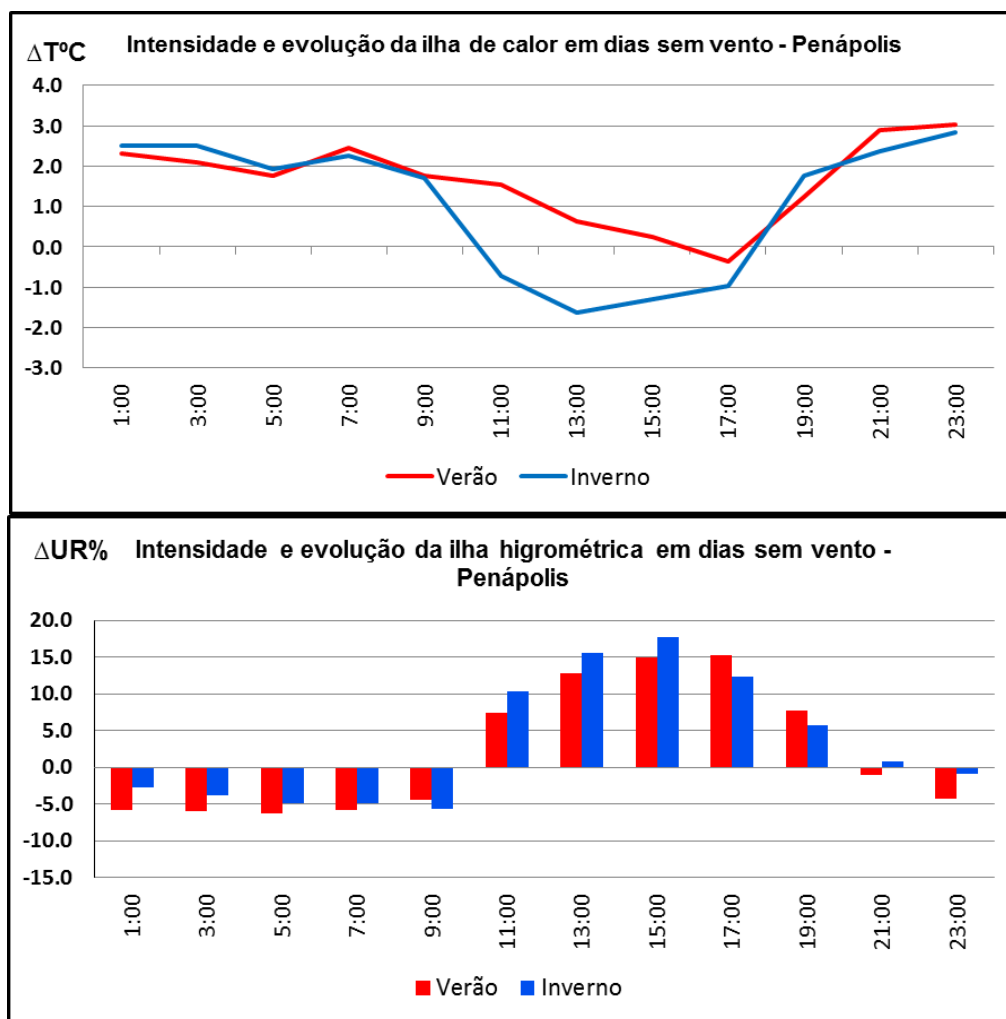
Gráfico 22 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em junho e julho de 2015 em dias sem vento em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora

Entre as estações analisadas houve diferenças expressivas, que podem ser observadas no gráfico 23, no qual está representada a ilha de calor e higrométrica para o verão e inverno em dias sem vento em Penápolis. A ilha de calor teve maior duração e intensidade no verão, a qual atuou das 19h às 15h e atingiu a máxima de 3,0°C às 23h. No inverno a duração foi diminuída e passou a atuar das 19h às 9h, com máxima de 2,8°C também às 23h. Vê-se, portanto, no inverno, uma ilha de frescor mais prolongada, que se manteve atuante durante a tarde, das 11h às 17h, com intensidade média máxima de -1,6°C às 13h. No que se refere à ilha higrométrica, pode-se observar maiores semelhanças entre os horários de início e término das ilhas. Em ambas as estações verificou-se que no período da tarde, das 11h às 19h, houve a presença de uma ilha úmida, que atingiu máxima de 17,7% às 15h no inverno e 15,3% às 17h no verão. A cidade perdeu umidade em relação ao campo a partir das 23h, quando inicia a formação da ilha seca, a qual registrou máximas médias de -6,3% às 5h no verão e -5,7% às 9h no inverno. Logo, as diferenças entre as estações foram as intensidades das ilhas úmidas e secas e os horários das máximas.

Gráfico 23 - Intensidade média e evolução horária da ilha de calor e higrométrica em verão e inverno em dias sem vento em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

8 CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E HIGROMÉTRICAS DE PENÁPOLIS POR MEIO DAS MEDIDAS MÓVEIS

As medidas móveis foram realizadas em dezesseis episódios noturnos distribuídos em oito dias no mês de dezembro de 2014 e janeiro de 2015, e outros oito nos meses de junho e julho de 2015. Sendo assim, os transectos foram realizados nos dias 17, 26, 27 e 28 de dezembro e 15, 16, 17 e 19 de janeiro para a estação de verão, e nos dias 11, 13 e 30 de junho e 10, 12, 13, 14 e 15 de julho para a estação de inverno. A tabela 15 ilustra as diferenças térmicas e higrométricas encontradas, a velocidade do vento e o sistema atmosférico presentes no momento de aquisição dos dados.

Tabela 15- Temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) máxima, mínima, diferença térmico-higrométrica, ventos e sistemas atmosféricos atuantes nos dias das medidas móveis em Penápolis/SP.

Data	T°C máxima	T°C mínima	Diferença térmica	UR(%) máxima	UR(%) mínima	Diferença higrométrica	Ventos (m/s)	Sistema Atmosférico
17/12/2014	30,4	25,1	5,3	80	50	30	2,8	mTac
26/12/2014	31,1	24,5	6,6	88	49	39	0,2	mTac
27/12/2014	32,3	25,8	6,5	87	51	36	0,2	mTac
28/12/2014	31,3	25,2	6,1	85	53	32	1,2	mTac
15/01/2015	32,4	25,6	6,8	78	51	27	1,3	mTa
16/01/2015	32	24,9	7,1	87	52	35	0,9	Instabilidade Tropical
17/01/2015	33,1	23,6	9,5	81	35	46	0,9	mTa
19/01/2015	33,9	27,2	6,7	81	47	34	0,5	mTa
11/06/2015	23,9	16,9	7,0	93	65	28	0,1	mTa
13/06/2015	24	17,5	6,5	93	66	27	0	mTa
30/06/2015	22,7	16,4	6,3	89	57	32	0	mPt
10/07/2015	23	17,3	5,7	88	61	27	0,2	mPa
12/07/2015	24,4	17,4	7,0	90	60	30	0,1	mPt
13/07/2015	24,1	17,6	6,5	89	57	32	0	mTa
14/07/2015	25,6	18,9	6,7	89	56	33	0	mTa
15/07/2015	24,3	19,7	4,6	88	64	24	0	FPA

Fonte dos dados: Trabalho de campo realizado pela autora. Dados de velocidade dos ventos: INMET, estação automática de Lins (SP). Org. Moreira (2016).

Observando a síntese dos dados coletados, verificou-se que as diferenças térmicas e higrométricas encontradas, se mostram bastante expressivas considerando uma cidade de pequeno porte como Penápolis. A máxima diferença térmica foi registrada em condições de verão, com 9,5°C no dia 17 de janeiro, sob a atuação da massa Tropical Atlântica. A mínima foi encontrada durante a estação do inverno, mais precisamente em 15 de julho, com 4,6°C,

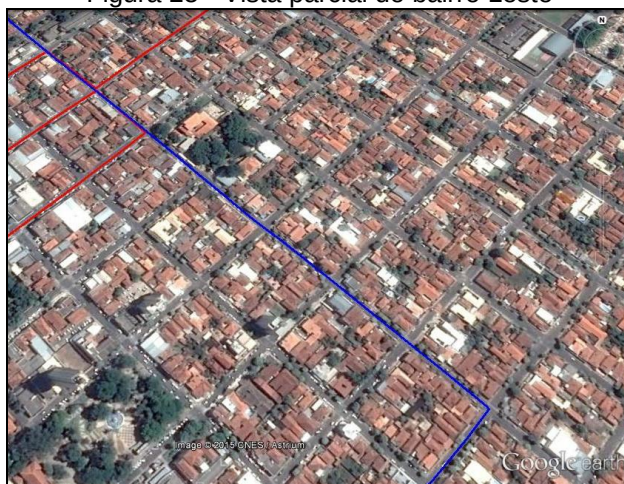
quando a região sofria a influência de uma Frente Polar Atlântica, já enfraquecida, que não provocou mudança de tempo²⁸.

8.1 Condições térmicas e higrométricas no dia 17 de dezembro de 2014

O primeiro dia de realização dos transectos móveis foi no dia 17 de dezembro de 2014 (quinta-feira), caracterizando assim, um episódio representativo de verão. Nesse dia, Penápolis estava sob a atuação da massa Tropical Atlântica continentalizada, que proporcionou temperatura máxima de 34°C, mínima de 22°C²⁹, umidade relativa de 80% e ventos de sul e sudeste com velocidade de 2,8m/s. Portanto, foi um dia marcado por estabilidade atmosférica, céu claro e ventos fracos, que formaram as condições ideais para a realização das medidas móveis.

Nesse episódio foi diagnosticada a ICU com intensidade de 5,3°C, o que a classifica como uma ICU de forte magnitude. Seu núcleo se localizou próxima à área central, nos pontos 34 e 35, do percurso N-S, que correspondem a Rua Irmãos Crisóstomos de Oliveira, no bairro Leste, local de uso comercial e residencial, que além de apresentar elevada densidade de edificação possui tráfego de veículos, o que pode ter influenciado no registro das temperaturas, que atingiram a máxima de 30,4°C (Figura 25). As temperaturas elevadas, acima de 30°C, permaneceram em direção aos bairros adjacentes ao centro, mais especificamente até o ponto 40 (Av. Olsen), onde a intensidade da ICU variava entre 4,9°C e 5,0°C, como ilustra o perfil latitudinal e longitudinal do percurso N-S (Figura 27).

Figura 25 - Vista parcial do bairro Leste



Fonte: Google Earth (2015)

²⁸ Não houve precipitação nem ventos fortes.

²⁹ Vale lembrar que as máximas e mínimas foram extraídas da estação meteorológica do DAEP, que se localiza próximo ao centro urbano, ou seja, as máximas e mínimas registradas na cidade.

As temperaturas elevadas também puderam ser observadas ao longo do percurso L-O, notadamente entre os pontos 24 e 28, com máximas de 30,3°C nos pontos 25 e 26, onde os dois percursos se encontram e a intensidade da ICU alcançou 5,2°C. Os menores valores de umidade relativa e específica mostraram correspondência com a localização da ICU, entre os pontos 34 e 35 do percurso N-S, onde foi registrado 50% de umidade relativa do ar e 14,3g/Kg de umidade específica, representada nos gráficos da figura 26 com intensidade zero.

A Ilha úmida registrou a intensidade máxima de 30% e 3,1g/Kg, com valores absolutos máximos de 80% e 17,3g/Kg nos pontos 8 e 9 do percurso do L-O, respectivamente. Esse setor se caracteriza pela presença do Ribeirão Lajeado e por ser área de preservação permanente, ou seja, com vegetação arbórea densa e cotas altimétricas mais baixas. Ainda nesse ponto, houve a presença de uma ilha fresca, com temperatura de 25,4°C. Entretanto, foi no ponto 44 desse mesmo percurso, na Avenida Sargento Moura, no bairro Cidade Jardim, que se registrou a menor temperatura do episódio, 25,1°C. Essa área se caracteriza pela presença de cobertura arbórea significativa, localizada ao lado direito da calçada. Além disso, esse bairro, localizado na porção oeste da cidade, corresponde a uma área periférica com baixa densidade de edificação.

Analisando o mapa de isotermas nota-se que a temperatura aumenta progressivamente em direção ao centro em ambos os percursos. No entanto, foi possível observar que o percurso N-S mostrou-se, em seu início, na Estrada Vicinal Cleto Galli (entre os pontos 01 e 09), mais aquecido e menos úmido, com intensidades variando entre 3,6°C e 4°C (temperaturas absolutas entre 28,1°C e 29,1°C), e umidade relativa e específica oscilando entre 56% e 60% e 14,8 g/kg e 15,2g/kg, respectivamente. O que, possivelmente, decorre do tipo de uso e ocupação do solo nessa porção do município, em que o cultivo agrícola é predominante, e por isso, muitas vezes, os solos se apresentam nus, e consequentemente mais aquecidos. Ademais, nessa parte do trajeto, no ponto 7, tem-se o trevo da Rodovia Assis Chateaubriand (SP-425) que oferece acesso a entrada de Penápolis, e apresenta elevado tráfego de veículos, principalmente de caminhões no período de safra da cana-de-açúcar (Figura 26).

Figura 26 - Vista parcial da Rodovia Assis Chateaubriand (SP-425)

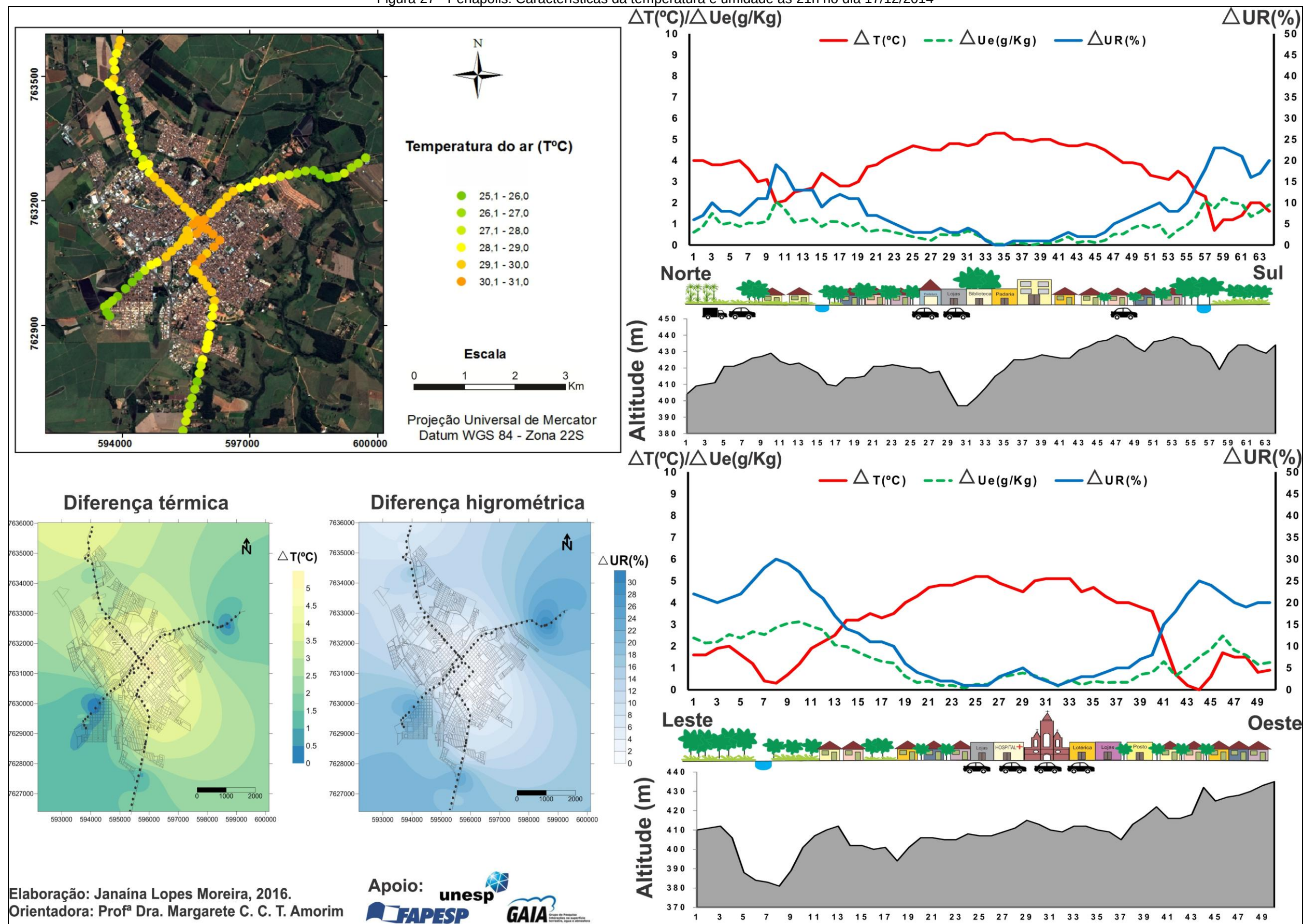


Fonte: Google Earth (2015)

Em relação à umidade específica, também ilustrada nos perfis latitudinais e longitudinais, observa-se um padrão semelhante à umidade relativa do ar. Percebeu-se, portanto, que nos setores com presença de corpos d'água e de relevo acentuado, como o ponto 59 do percurso N-S (Estrada do Mineiro), na zona sul, e entre os pontos 8 ao 10 do percurso L-O (Estrada Municipal Kemil Rahal), na zona leste, tanto a umidade relativa quanto a específica demonstraram aumento significativo, com intensidade de 23% e 2,2g/Kg.

Portanto, verificou-se que um bolsão de ar mais quente e seco se situou nas áreas adjacentes ao centro, densamente edificadas, com lotes médios e pequenos e tráfego de veículos. Enquanto que o ar mais frio e úmido se localizou em áreas periféricas, de transição rural-urbana e/ou área rural, marcadas por uma maior presença de áreas livres de edificação, de vegetação e/ou cursos d'água

Figura 27 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 17/12/2014



8.2 Condições térmicas e higrométricas no dia 26 de dezembro de 2014

O segundo episódio de verão ocorreu no dia 26 de dezembro (sexta-feira), quando atuava novamente no município a massa Tropical Atlântica continentalizada. As condições atmosféricas se caracterizavam pela estabilidade, com temperatura máxima de 35,4°C, mínima 22,4°C, umidade relativa do ar de 86% e ventos fracos com 0,2 m/s, provenientes de sul e sudeste.

A ICU apresentou magnitude muito forte com intensidade máxima de 6,6°C. Seu núcleo ficou localizado entre os pontos 34 e 40 do percurso N-S e do ponto 25 ao 38 do percurso L-O, onde as intensidades registradas variaram entre 6°C e 6,6°C (com temperaturas absolutas entre 30,5°C e 31,1°C). A área corresponde a Rua Irmãos Crisóstomos de Oliveira, Av. Rui Barbosa, Av. Luís Osório e parte da Av. Manoel Bento da Cruz, pertencentes aos Bairros Centro, Leste e Oeste, que se caracterizam pela alta densidade de edificação, vegetação arbórea baixa ou inexistente e pelo elevado fluxo de veículos e pessoas, visto que são as vias que concentram a atividade comercial e de serviços do município. Esses setores urbanos também foram os mais secos, onde a intensidade da ilha úmida alcançou zero, valores absolutos de 49% e 14g/Kg de umidade relativa e específica, respectivamente. Ambos os valores foram registrados no ponto 38 (N-S), onde particularmente, não há vegetação arbórea (Figura 30).

Outra área que se apresentou aquecida ocorreu no percurso da Estrada Municipal Kemil Rahal, a leste, entre os pontos 13, 14 e 15 do percurso L-O, onde estão situados os conjuntos habitacionais Gimenez e Benone (Figura 28) e foram registradas as intensidades de 3,8°C, 4,1°C e 3,3°C, respectivamente. Inversamente proporcional à temperatura, o percentual de umidade relativa do ar diminuiu e a intensidade cai de 37% para entorno de 21%.

Figura 28 - Vista parcial dos conjuntos habitacionais Gimenez e Benone



Fonte: Google Earth (2015)

A porção de menor aquecimento se localizou nas zonas periféricas, principalmente a leste e sul da malha urbana, que se referem, respectivamente, ao início do percurso L-O (pontos 5 ao 9) e ao final do percurso N-S (entre os pontos 57 e 61), onde as intensidades não ultrapassaram $1,8^{\circ}\text{C}$ e foi registrado a menor temperatura, $24,5^{\circ}\text{C}$, no ponto 58 (N-S). Esses pontos também se apresentaram como os mais úmidos, sobretudo, os pontos 7 e 8, que atingiram intensidade de 39% e o ponto 11 que alcançou a intensidade de $5,2\text{g/Kg}$, ambos no percurso L-O.

Também se faz necessário destacar a influência do relevo nos valores registrados e nas intensidades encontradas, fato que pode ser observado nas áreas de fundo de vale no início do trajeto L-O (ponto 7) e final do percurso N-S (ponto 58), ambos com predomínio de vegetação densa, onde se registraram elevada umidade e baixa temperatura. Tal característica também pode ser verificada na zona urbana de Penápolis, no ponto 32 do percurso N-S, área adjacente ao centro, que apesar de se caracterizar com elevada densidade de edificação, lotes pequenos e materiais de baixo albedo (telhados metálicos), apresentou declínio da intensidade da ilha de calor e aumento da intensidade da ilha úmida, de $5,5^{\circ}\text{C}$ e 9% (ponto 31) para $4,9^{\circ}\text{C}$ e 15%, respectivamente (valores absolutos 30°C e 58% e $29,4^{\circ}\text{C}$ e 64%, respectivamente). A intensidade da umidade específica também aumentou de $2,1\text{g/kg}$ para $3,2\text{g/Kg}$ (valores absolutos de $16,1\text{g/Kg}$ para $17,2\text{g/Kg}$). O que está relacionado à presença do fundo de vale do córrego Maria Chica (canalizado) e a diferença altimétrica de cerca de 20m (Figura 29).

Figura 29 - Vista parcial e hipsometria do fundo de vale do córrego Maria Chica

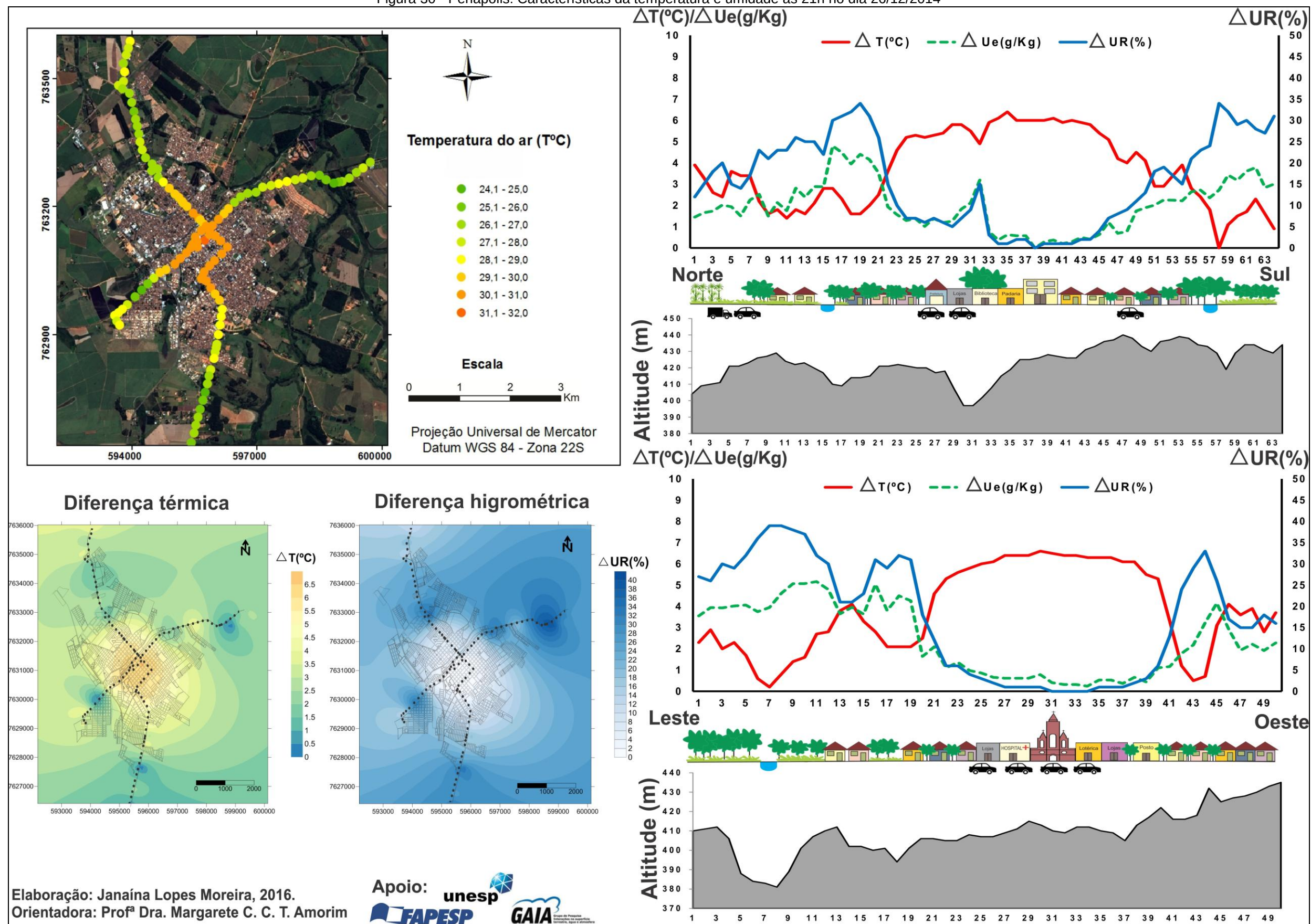


Fonte: Google Earth (2016) TOPODATA. Elaborado pela autora.

O padrão de aquecimento no início do trajeto N-S (Estrada Vicinal Cleto Galli) voltou a se repetir e entre os pontos 1 e 9 ocorreram intensidades de até $3,9^{\circ}\text{C}$ (temperaturas absolutas entre $26,7^{\circ}\text{C}$ e $28,4^{\circ}\text{C}$). Característica que pode ser explicada pelo uso da terra e o tráfego de veículos, como já mencionado anteriormente, e também pelas propriedades da água em demorar a se aquecer e liberar o calor armazenado durante o dia, haja visto que no ponto 3 tem-se a presença de uma lagoa que não está próxima a rodovia.

De maneira geral, o bolsão de ar mais aquecido e seco esteve presente em todo quadrilátero central e nos bairros residenciais circunvizinhos ao centro, densamente construídos e com baixo índice de vegetação arbórea. Apresentando padrão inversamente proporcional, o ar mais fresco e úmido se situou nos fundos de vale, na porção leste e sul.

Figura 30 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 26/12/2014



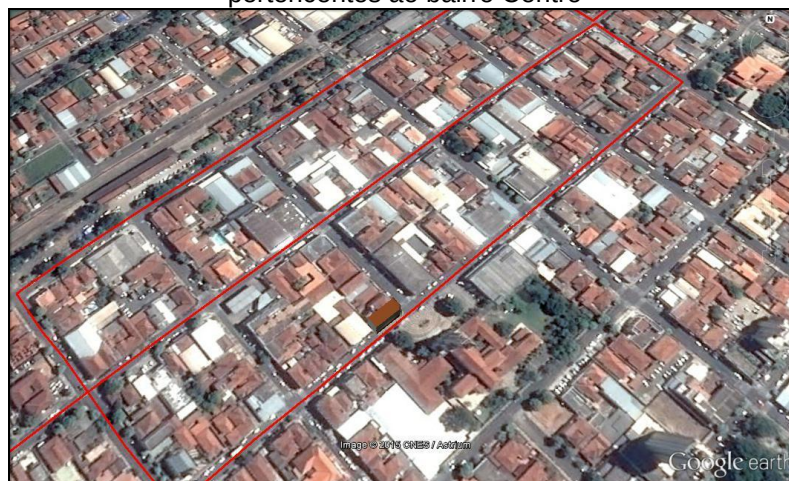
8.3 Condições térmicas e higrométricas no dia 27 de dezembro de 2014

No dia 27 de dezembro (sábado) a massa Tropical Atlântica tropicalizada ainda atuava no sudeste do Brasil. A permanência deste sistema provocou aumento na temperatura, que atingiu máxima de 37,8°C e mínima de 26°C. A umidade sofreu declínio em relação aos dias anteriores, atingindo 71% e os ventos de sul foram fracos, registrando 0,2m/s no momento da coleta. Logo, foi um dia de céu claro e radiação abundante.

Nesse episódio a intensidade máxima registrada foi 6,5°C, com temperaturas máximas de 32,3°C nos pontos 41, 43 e 44 do percurso N-S, no início do trecho da Rua Augusto Pereira de Moraes e nos pontos 30 e 31 do percurso L-O, que corresponde a Av. Luís Osório, bairro Centro, mais precisamente em frente à igreja matriz (Figura 34). Essa parte do percurso N-S, se refere ao bairro Jardim São Paulo, próximo ao centro, de uso residencial e comercial, que possui elevada densidade de edificação, intenso fluxo de veículos e baixa arborização.

Já no que tange o trecho mencionado do percurso L-O, esse corresponde à área de comércio e serviços, local de ocupação antiga, densamente construído, com coberturas metálicas e arborização praticamente inexistente, salvo o pátio da igreja matriz. Portanto, todo o segmento central, nas vias Rui Barbosa, Av. Luís Osório e Av. Manoel Bento da Cruz (Figura 31), esteve aquecido, com temperaturas entre 30,9°C e 32,3°C. Esta área correspondeu também aos menores valores de umidade relativa e específica, com intensidade de 3% e 1,1g/Kg (valores absolutos entre 54% e 62% e 16,7g/Kg e 18,4g/k). Todavia, o ponto mais seco continuou ocorrendo no percurso N-S, no ponto 38, onde a intensidade da umidade relativa chegou a zero.

Figura 31 - Vista parcial das vias Rui Barbosa, Av. Luís Osório e Av. Manoel Bento da Cruz, pertencentes ao bairro Centro

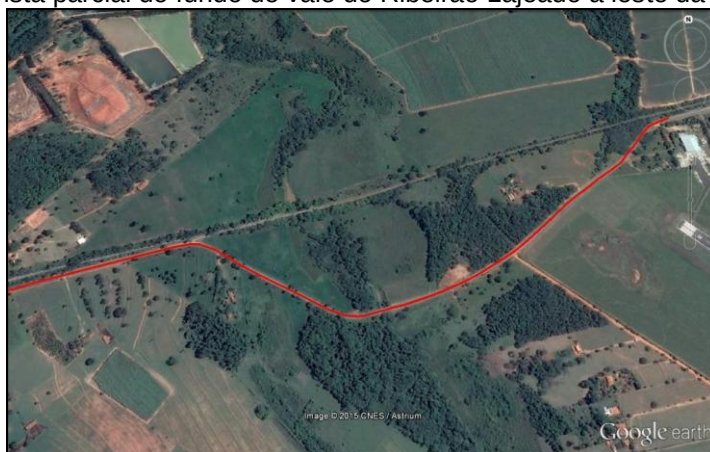


Fonte: Google Earth (2015)

Em comparação a análise dos dias anteriores, o padrão de aquecimento se diferenciou no que diz respeito aos bairros a oeste do centro, que se apresentaram tão aquecidos quanto o próprio centro, visto que entre os pontos 36 e 40 as intensidades permaneceram acima dos 5,3°C. Portanto, nesse episódio ocorreu um pequeno deslocamento do núcleo da ICU para os bairros a oeste do centro, diferentemente do ocorrido no dia 17 de dezembro, quando este se localizava nos bairros a leste.

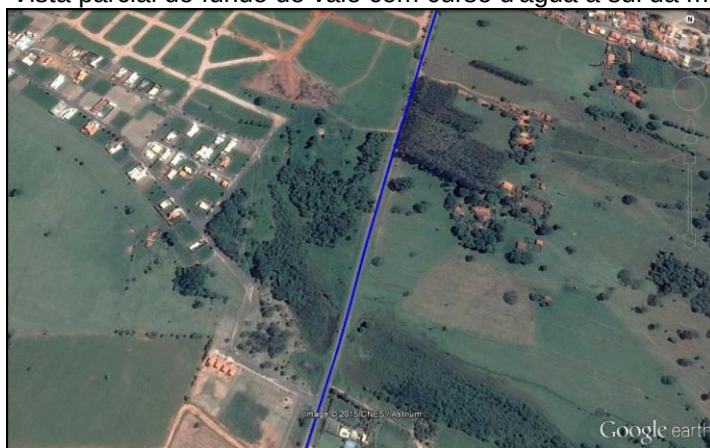
O padrão de localização das áreas frescas e úmidas permaneceu semelhante aos dias anteriores, com localização nos fundos de vale, com curso d'água, vegetação densa e relevo mais acentuado, nas porções leste e sul, respectivos início e fim, dos percursos L-O e N-S (Figuras 32 e 33). Portanto, em relação às mínimas de temperatura e máximas de umidade, estas foram registradas no ponto 58, do percurso N-S, com 25,8°C e nos pontos 7 e 8, do percurso L-O, onde as intensidades foram de 36%. Ainda no percurso L-O, um ponto mais adiante, 9, foram registradas a maior intensidade de umidade específica, com 4,5g/Kg.

Figura 32 - Vista parcial do fundo de vale do Ribeirão Lajeado a leste da malha urbana



Fonte: Google Earth (2015).

Figura 33 - Vista parcial do fundo de vale com curso d'água a sul da malha urbana



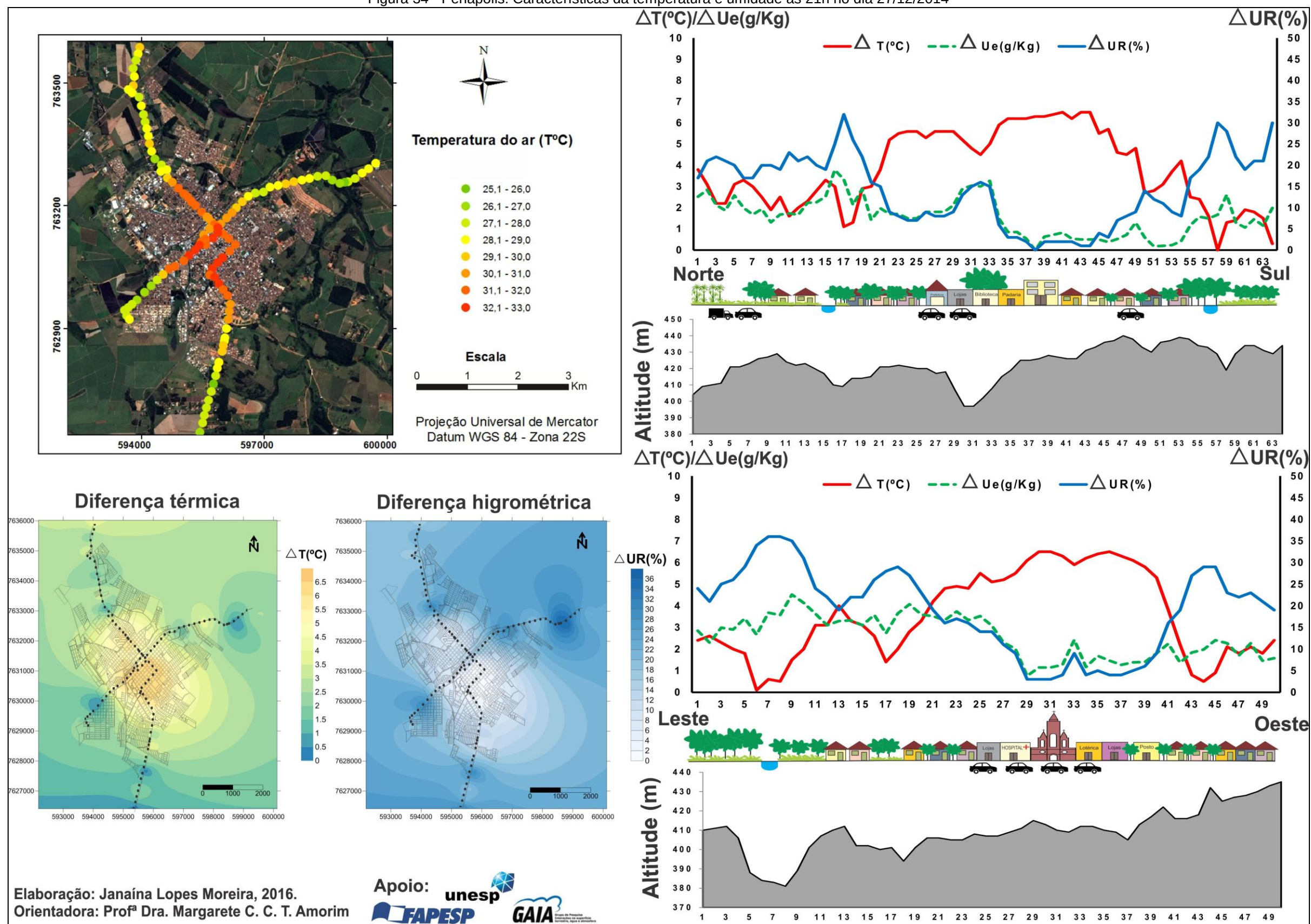
Fonte: Google Earth (2015).

No entanto, ocorreu também o destaque da influência do substrato arbóreo, localizado no início do percurso N-S, em frente ao conjunto habitacional Silvia Covas, onde a temperatura diminuiu de 28°C e 29°C, valores registrados entre os pontos 1 ao 8, para 27,7°C no ponto 9. Mais adiante, ainda na Estrada Irmãos Buranello, no fundo de vale do córrego da Estiva, ponto 17, a temperatura declinou novamente para 26,9°C. Consequentemente, em todos os pontos houve também o aumento da umidade relativa e específica, porém destaca-se também o ponto 17, no qual as intensidades atingiram 32% e 3,3g/Kg (valores absolutos em 83% e 19,3g/Kg).

Além disso, notou-se novamente a influência do fundo de vale do Maria Chica, que entre os pontos 31 e 33, provocou um ligeiro aumento da umidade e diminuição da temperatura, que ficaram em torno de 66% e 67% e 30,3°C e 30,6°C. A umidade específica também aumentou de 17,0g/Kg para 19,2g/Kg. Logo, a intensidade da ilha de calor diminuiu para 4,5°C e da umidade aumentou para 16%.

Assim, com base na Figura 34, percebe-se que no dia 27 houve a configuração de um bolsão de ar quente novamente situado na porção central da cidade, com seu núcleo nos bairros de uso misto, residencial e comercial, densamente construídos e com pouca vegetação. Já os bolsões de frescor foram localizados principalmente mais afastados do centro e periféricos, cujas características do entorno proporcionaram temperaturas mais baixas (entre 27°C e 29°C) e umidade relativa do ar elevada (entre 70 e 80%).

Figura 34 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 27/12/2014



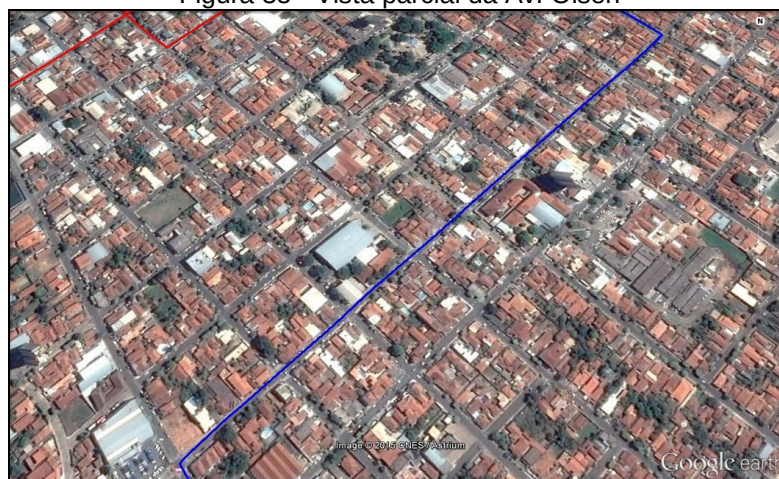
8.4 Condições térmicas e higrométricas no dia 28 de dezembro de 2014

A massa Tropical Atlântica tropicalizada continuou atuando sob a região, deixando as temperaturas elevadas, o céu limpo e os ventos calmos. Com velocidade do vento em 1,2 m/s, direção predominante de leste, temperatura máxima de 37,6°C e umidade de 76%, o transecto iniciado às 21h no dia 28 de dezembro (domingo) registrou intensidades máximas de 6,1°C e 32%.

A máxima de 31,3°C foi registrada na Rua Irmãos Crisóstomos de Oliveira, no ponto 35 (N-S), bairro centro, área densamente edificada e com alto fluxo de veículos. Esses valores de temperatura também foram observados no ponto 31, do percurso L-O, na Av. Luís Osório, próximo à Igreja Matriz, ponto 30, que também apresentou temperatura elevada 31,1°C. O bairro centro, como já descrito anteriormente, se caracteriza pela ausência de vegetação, com exceção para pátio da igreja matriz, que apesar de ser arborizado, não interferiu nos valores de temperatura e umidade (Figura 38).

O início do trajeto da Av. Olsen (pontos 36, 37 e 38), no percurso N-S, também se apresentou aquecido, com intensidades em torno 6°C e temperatura entre 31,1°C e 31,2°C. No ponto 36 também a ilha úmida alcançou intensidade zero, ou seja, verificou-se o menor valor de umidade relativa do ar com 53%. A umidade específica também foi baixa, com intensidade de 0,2g/Kg, valor absoluto de 15,8g/Kg. Portanto, as áreas mais quentes e secas se corresponderam (Figura 35).

Figura 35 - Vista parcial da Av. Olsen



Fonte: Google Earth (2015).

No entanto, foi no ponto 25 do mesmo percurso, que se registrou a mínima intensidade da umidade específica, valor absoluto de 15,5g/Kg. O ponto se refere ao bairro

Eldorado, em frente a uma praça, com densidade de construção média e arborização elevada, porém de uso misto, residencial e comercial e com expressivo fluxo de veículos.

O início do trajeto N-S apresentou-se novamente aquecido, com intensidades acima de $2,5^{\circ}\text{C}$, que atingiram 4°C no ponto 6 (temperaturas absolutas entre $27,6^{\circ}\text{C}$ e $29,2^{\circ}\text{C}$), onde se situa o trevo de entrada da cidade. Ao adentrar no perímetro urbano, na Estrada Irmãos Buranello, as intensidades declinaram, principalmente no ponto 11, quando se registrou $1,4^{\circ}\text{C}$ de intensidade e $26,6^{\circ}\text{C}$ de temperatura absoluta. Esse ponto corresponde à área residencial, de chácaras e vazios urbanos com vegetação arbórea bastante significativa à direita da estrada (à esquerda da Figura 36).

Figura 36 - Vegetação arbórea significativa presente no início do percurso Norte-Sul



Fonte: Google Earth (2015).

Apresentando-se novamente como área úmida e fresca teve-se o início do percurso L-O, entre os pontos 8 e 9, local de fundo de vale do Ribeirão Lajeado, onde as temperaturas foram baixas e atingiram respectivos $25,3^{\circ}\text{C}$ e $26,1^{\circ}\text{C}$. A umidade esteve alta e atingiu a máxima intensidade de 32% (valor absoluto de 85%).

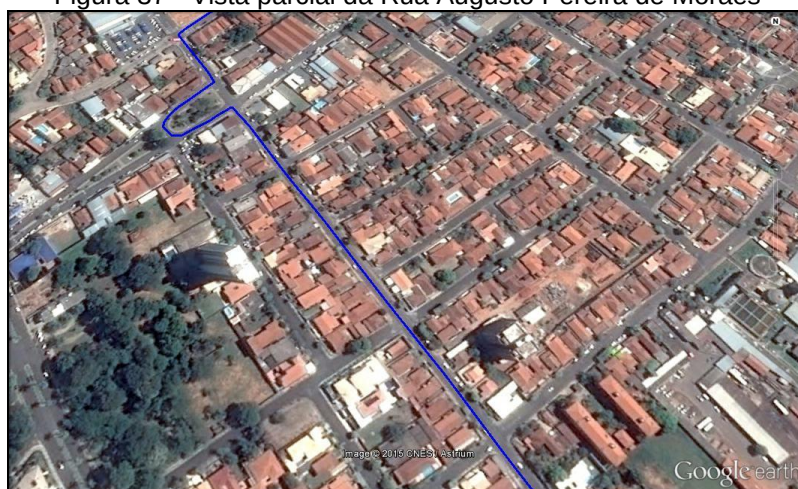
Mais adiante no percurso (L-O), ainda na Estrada Municipal Kemil Rahal, entre os pontos 13, 14 e 15, a temperatura se elevou e apresentou intensidade de ICU entre $3,4^{\circ}\text{C}$ e $4,1^{\circ}\text{C}$. Por consequência, a umidade relativa do ar diminuiu para 65%, ou seja, a intensidade que era de 32% no ponto 8 e 9 passou para 12%. Esse padrão, já visualizado nas análises anteriores, se justifica pelo tipo de uso e cobertura da terra nos residenciais Benone e Gimenez, de maneira geral, marcados em seu interior, pela grande quantidade de solos expostos e arborização ausente.

Conforme se adentrou o centro, a temperatura e a intensidade da ICU se elevaram. Portanto, os bairros Vila das Fábricas, Vila Aparecida e Leste, entre os pontos 19 e 24, do percurso L-O apresentaram temperatura crescente, em torno de 30°C e intensidade de até $5,6^{\circ}\text{C}$. Da mesma maneira, após a passagem pelo centro (entre os pontos 25 e 35), as

temperaturas se mostraram decrescentes em direção ao extremo oeste, e diminuíram de 30,6°C (ponto 36) para 29,1°C (ponto 40).

O mesmo padrão ocorreu no percurso N-S, no início da Rua Irmãos Crisóstomo de Oliveira, a partir do ponto 22, onde as intensidades da ICU aumentaram em direção ao centro (entre 5,1°C e 5,5°C). Inversamente proporcional ocorreu a queda da umidade relativa e específica e as intensidades variaram entre, 0% e 6% e 0g/Kg e 1,4g/Kg, respectivamente (valores absolutos entre 55% e 59% e 15,5g/kg e 16,7g/Kg). Tais características também puderam ser observadas após a passagem pelo centro, no final da Av. Olsen e durante toda Rua Augusto Pereira de Moraes (entre os pontos 39 e 46). Nesses setores, as temperaturas sempre se mantiveram acima dos 30°C e as intensidades das umidade relativa e específica oscilaram entre 2% e 5% e 0,1g/Kg e 1,0g/Kg (valores absolutos entre 55% e 58% e 15,7g/Kg e 16,4g/Kg). Essas áreas correspondem aos bairros Jardim Morumbi, João de barro, Eldorado e Jardim São Paulo, que se caracterizam por alta ocupação, média densidade de edificação, arborização de média a alta e áreas livres de edificação. Fatores que contribuíram para seu aquecimento, porém não o suficiente para atingir os valores registrados no centro (Figura 37).

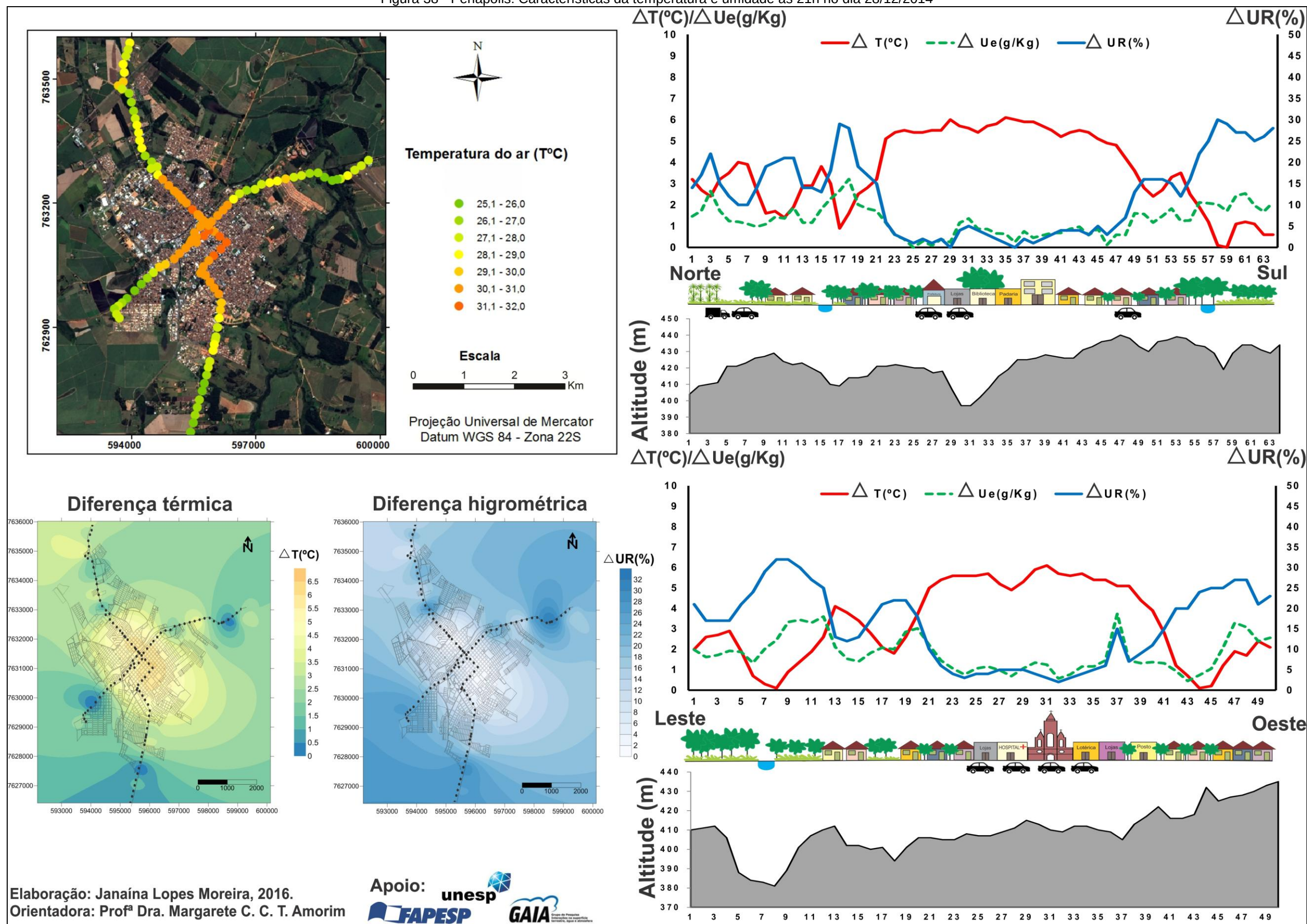
Figura 37 - Vista parcial da Rua Augusto Pereira de Moraes



Fonte: Google Earth (2015).

De modo geral, verificou-se que o padrão de aquecimento dos dias anteriores se repetiu, no qual o bolsão de ar quente e seco se configurou com pico de maior intensidade no centro e prolongamento nos bairros adjacentes, densamente edificados e com vegetação arbórea de média a baixa. Os setores mais úmidos e frescos corresponderam às áreas periféricas, sobretudo, no sul e leste, onde estão situados os fundos de vale com corpos d'água e vegetação arbórea densa.

Figura 38 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 28/12/2014



Fonte: Elaborado pela autora.

8.5 Condições térmicas e higrométricas no dia 15 de janeiro de 2015

O primeiro transecto do mês de janeiro foi marcado pelo ar quente e úmido da massa Tropical Atlântica, que proporcionou temperatura máxima de 38°C e umidade em torno de 75%. A umidade elevada também esteve associada às pequenas precipitações ocorridas no dia 14 de janeiro, decorrentes da Repercussão da Frente Polar Atlântica (3,6mm). As chuvas se estenderam durante madrugada do dia 15 de janeiro (quinta-feira) e ocorreram exclusivamente na área rural do município, a nordeste da malha urbana, onde o total pluviométrico foi de 13,7mm. Os ventos foram calmos e atingiram 1,3m/s no horário da coleta dos dados (21h).

Esse episódio também apresentou intensidades elevadas, com máximas de 6,8°C e 27%. A máxima temperatura de 32,4°C foi registrada no começo da Rua Rui Barbosa, ponto 26 do percurso L-O, área central de ocupação antiga e uso comercial com intenso fluxo de veículos e elevada densidade de edificação. Temperaturas elevadas, acima dos 32°C, também foram encontradas entre os pontos 27 e 33 do mesmo percurso, onde as intensidades oscilaram de 6,4°C a 6,7°C. Ainda nessa parte do trajeto, foram registrados os menores valores de umidade relativa com mínima de 51% no ponto 27, onde a intensidade atingiu zero. Esses pontos correspondem a todo quadrilátero central, marcado pelo uso majoritariamente comercial, densamente edificado e elevado fluxo de veículos e pessoas (Figura 43).

O percurso N-S apresentou valores mais baixos, com máxima de 31,6°C e mínima de 53%, ambos registrados no ponto 41, local de uso residencial e comercial, com coberturas metálicas e um semáforo bastante movimentado. Ainda nesse percurso, no ponto 57, a intensidade da umidade específica chegou a zero, com valor absoluto de 15,5g/Kg, local de transição da área urbana para a rural, marcado predominantemente por pastagens e que possui em sua proximidade áreas de expansão urbana, com lotes recém-abertos, ou seja, com pouca vegetação arbórea e bastante solo exposto, que podem ter gerado seu aquecimento.

A respeito das áreas úmidas permeou o mesmo padrão de localização observado nas análises anteriores, com máximas de umidade nas áreas de fundo de vale da área rural que possuem vegetação densa e curso d'água. Portanto, as áreas de máxima umidade, com valor absoluto em torno 78% e intensidades de 27% e 2,9g/Kg, ocorreram novamente no início do percurso L-O (do ponto 06 ao 09) e no final do percurso N-S (pontos 58 e 59).

Outro padrão que se repetiu foi o aquecimento do trevo da Rodovia Assis Chateaubriand, pontos 6 e 7 do percurso N-S, que apresentou intensidades entre 4°C e 5°C, 10% e 12% e 1,6g/Kg e 2,1g/Kg. Além disso, ocorreu novamente o aquecimento dos

conjuntos habitacionais Benone e Gimenes, que correspondem ao ponto 13 do percurso L-O, local em que as temperaturas atingiram intensidade de 5,7°C e 7% (valores absolutos de 31,3°C e 58%). Após a passagem por esses bairros, a temperatura decresceu, ficando nos pontos 16 e 17 com valores de 30,4°C e 29,8°C, respectivamente (intensidades de 4,8°C e 4,2°C, respectivamente), fato que demonstra a interferência dos espaços livres de edificação sobre o ar urbano, visto que essa área corresponde a vazios urbanos descontínuos ao tecido urbano que apresentam baixa densidade de edificação e vegetação arbórea média (Figura 39).

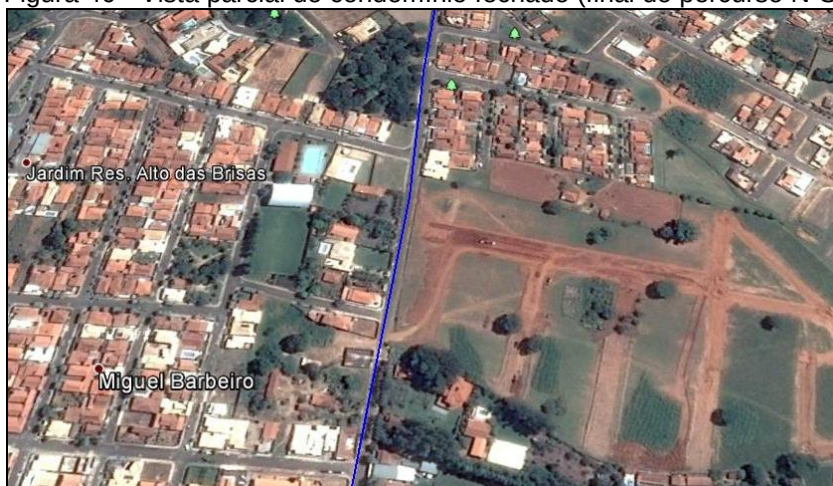
Figura 39 - Vista parcial dos vazios urbanos a leste entre os residenciais Benone e Gimenez e o tecido urbano consolidado



Fonte: Google Earth (2015).

Uma peculiaridade desse episódio foi o aquecimento no início da Estrada do Mineiro, mais precisamente no ponto 49 do percurso N-S, onde a temperatura se elevou e a intensidade registrada foi de 4,5°C (valores absolutos 30,1°C, 59% e 16,5g/kg). O ar mais aquecido e seco nesse local pode ser atribuído à construção de um condomínio fechado, situado à esquerda da via (à direita na imagem) e que no momento da coleta dos dados, possuía grande quantidade de solo exposto e pouca vegetação arbórea (Figura 40).

Figura 40 - Vista parcial do condomínio fechado (final do percurso N-S)



Fonte: Google Earth (2015).

Novamente foi possível verificar a influência que exercem os fundos de vale, ainda que urbanizados, sobre o campo térmico e higrométrico de Penápolis. Todavia, nesse dia, diferentemente do que ocorreu no último episódio, não houve variações significativas de temperatura e umidade na passagem pelo córrego Maria Chica. Na Rua Irmãos Crisóstomo de Oliveira, nos pontos 30, 31 e 32 do percurso N-S, a temperatura e umidade relativa apresentaram-se constantes, entre 31,3°C e 31,4°C e 53% e 54%, valores bastante semelhantes aos registrados no centro urbano densamente edificado (32,0°C e 32,4°C).

O destaque foi para o fundo de vale do córrego da Estiva (Figura 41), ao norte da malha urbana, que apresentou maior modificação do ar dentro do perímetro urbano, visto que no final do trajeto pela Estrada Irmãos Buranello, no percurso N-S, a temperatura diminuiu de 30,2°C no ponto 16 para 28,9°C ponto 17 (intensidades de 4,6°C para 3,3°C, respectivamente) e a umidade relativa se elevou de 61% para 63% (intensidade de 10% para 12%).

Figura 41 - Vista Parcial do córrego da Estiva

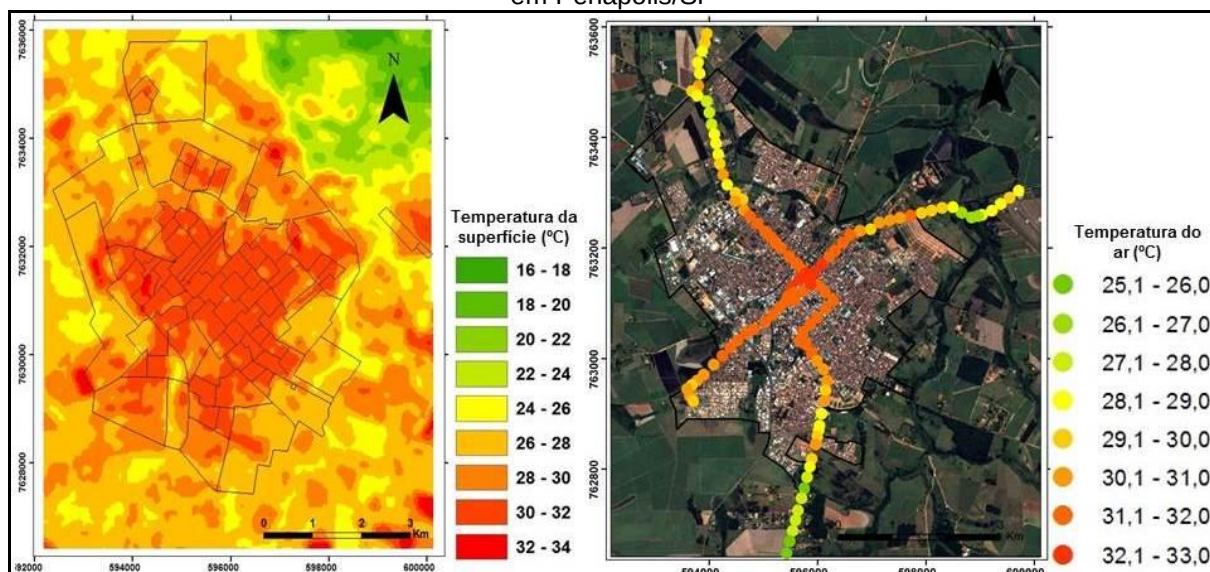


Fonte: Google Earth (2015).

A realização das medidas móveis nesse dia foi muito importante para demonstrar a relação existente entre o aquecimento da superfície e o aquecimento do ar, já que o padrão observado no mapeamento dessas duas variáveis se assemelha. Apesar das medidas terem sido realizadas em horários diferentes, sendo a temperatura da superfície registrada às 10h24min e a temperatura do ar às 21h, a análise desses dois mapeamentos (Figura 42) comprova, mais claramente, um dos mecanismos de aquecimento da cidade, que se inicia com o aquecimento do solo através da radiação solar recebida, o qual, por sua vez, emite através de ondas longas parte da radiação a atmosfera.

Portanto, é possível observar elevada correlação entre os valores de temperatura da superfície e do ar, visto que as áreas mais frescas e quentes se corresponderam em localização. Os fundos de vale com cursos d'água foram os locais que apresentaram os menores valores em ambas as temperaturas. Ao mesmo tempo em que, as ilhas de calor de superfície e atmosférica também se corresponderam, com localização dentro do perímetro urbano, particularmente no centro adensado.

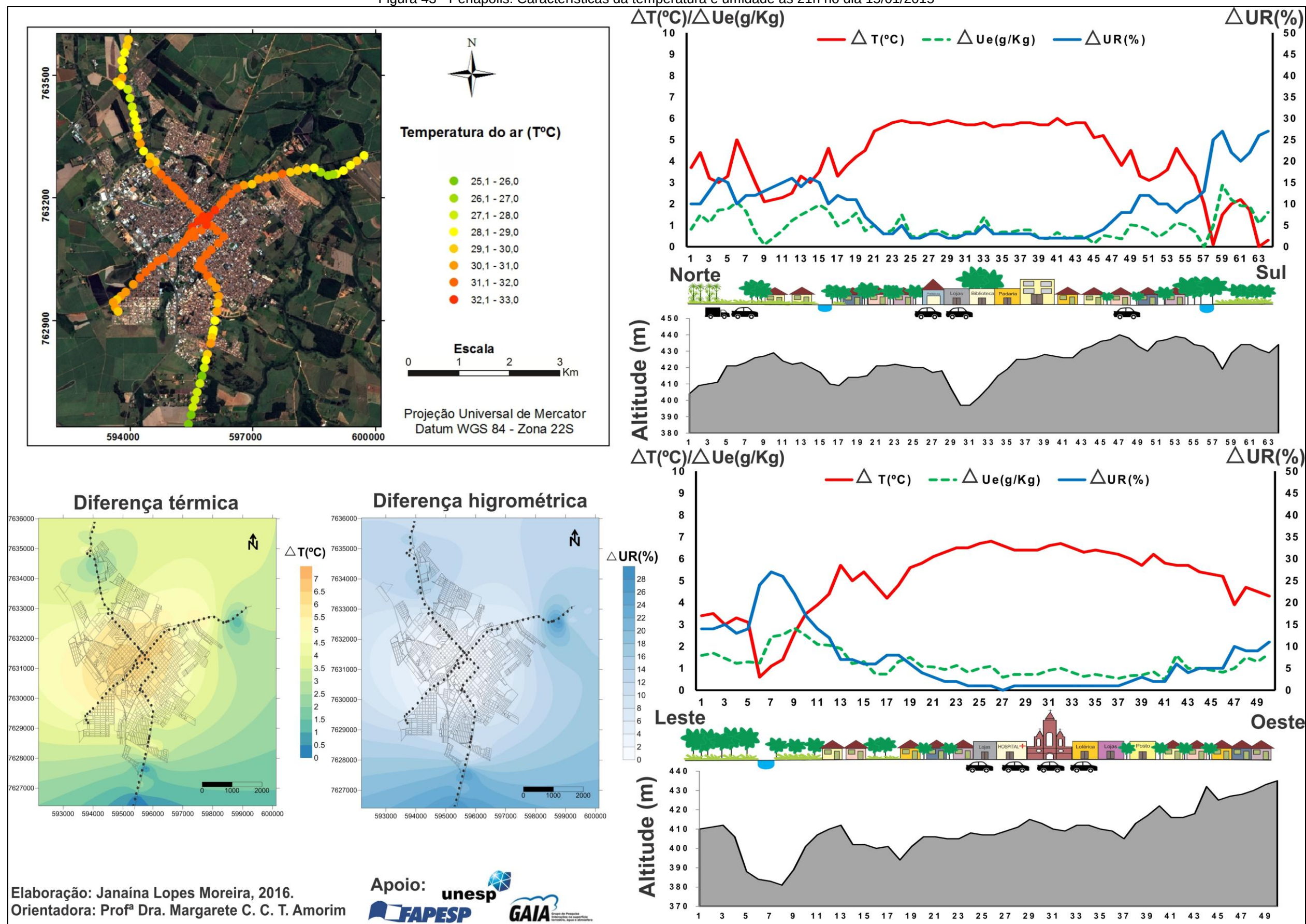
Figura 42 - Temperatura de superfície às 10h24min e a temperatura do ar às 21h no dia 15/01/2015 em Penápolis/SP



Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, identificou-se novamente no dia 15 o aquecimento centro-periferia semelhante ao encontrado nas análises anteriores (Figura 43), no qual bolsões de ar quente e seco se configuraram na região central da malha urbana, mais precisamente no centro comercial e parte do bairro adjacente a leste, tendo o pico de intensidade localizado nos bairros Centro e Leste. Já o ar mais fresco e úmido esteve situado nas áreas periféricas a leste e sul, onde se encontram os fundos de vale com vegetação densa e corpos d'água.

Figura 43 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 15/01/2015



Fonte: Elaborada pela autora.

8.6 Condições térmicas e higrométricas no dia 16 de janeiro de 2015

O dia 16 de janeiro (sexta feira) foi marcado por ventos fortes e precipitação em algumas horas do dia em virtude da atuação das linhas de Instabilidade Tropical. A chuva e os ventos mais fortes foram detectados pela madrugada com total de 18,6mm. O restante do dia foi de tempo estável e radiação abundante, com máxima de 36°C, mínima de 20,4°C e umidade alta, em torno de 84%. Em razão disso, optou-se pela realização dos transectos, visto que no horário de início das medidas, às 21h, a atmosfera se caracterizava pela estabilidade, sem chuva, com céu aberto e velocidade do vento de 0,9m/s.

Nesse dia a temperatura máxima foi menor que a do dia anterior (32,0°C), mas a intensidade da ilha de calor foi maior, com 7,1°C (Figura 44). A máxima de temperatura foi registrada na Rua Rui Barbosa, nos pontos 26 e 27 do transecto L-O, área caracterizada por ocupação antiga, próxima à linha férrea da estrada de ferro Noroeste do Brasil, onde se verifica elevada densidade de edificação e intenso fluxo de veículos em consequência do uso comercial. Com aquecimento similar, as avenidas que recobrem o centro (Av. Bento da Cruz e Av. Luís Osório), pontos 21 ao 36 (percurso L-O), apresentaram temperaturas acima dos 31,3°C e intensidades entre 6,4°C e 7,1°C. Inversamente proporcional este também foi o setor mais seco em relação à umidade relativa, com intensidade zero e mínima absoluta de 52% no ponto 27.

Temperaturas acima dos 31°C também foram observadas ao longo da Rua Irmãos Crisóstomos de Oliveira, no trajeto que passa pelo centro, entre os pontos 31 e 35 do percurso N-S, área que se refere ao fundo de vale do córrego Maria Chica e ao centro comercial, com elevada densidade edificação e intenso fluxo de veículos. Portanto, novamente o fundo de vale urbanizado não produziu mudanças significativas nas nos valores de temperatura e umidade, haja vista que nessa parte do trajeto as intensidade ficaram em torno de 6,2°C, 4% e 0,7g/Kg, (valores absolutos entre 31,1°C e 31,4°C, 54% e 56% e 16,2g/Kg e 16,6g/Kg) o que aponta para uma atmosfera quente e seca em relação as outras zonas urbanas percorridas.

Houve novamente a presença de uma ilha de calor secundária, de menor intensidade (5,5°C), a leste da malha urbana, especificamente no ponto 13 do percurso L-O, onde se localizam os conjuntos habitacionais Benone e Gimenez, já citados em análises nas anteriores, cujas características paisagísticas predominantes são a elevada densidade de edificação, ausência de vegetação arbórea e abundância

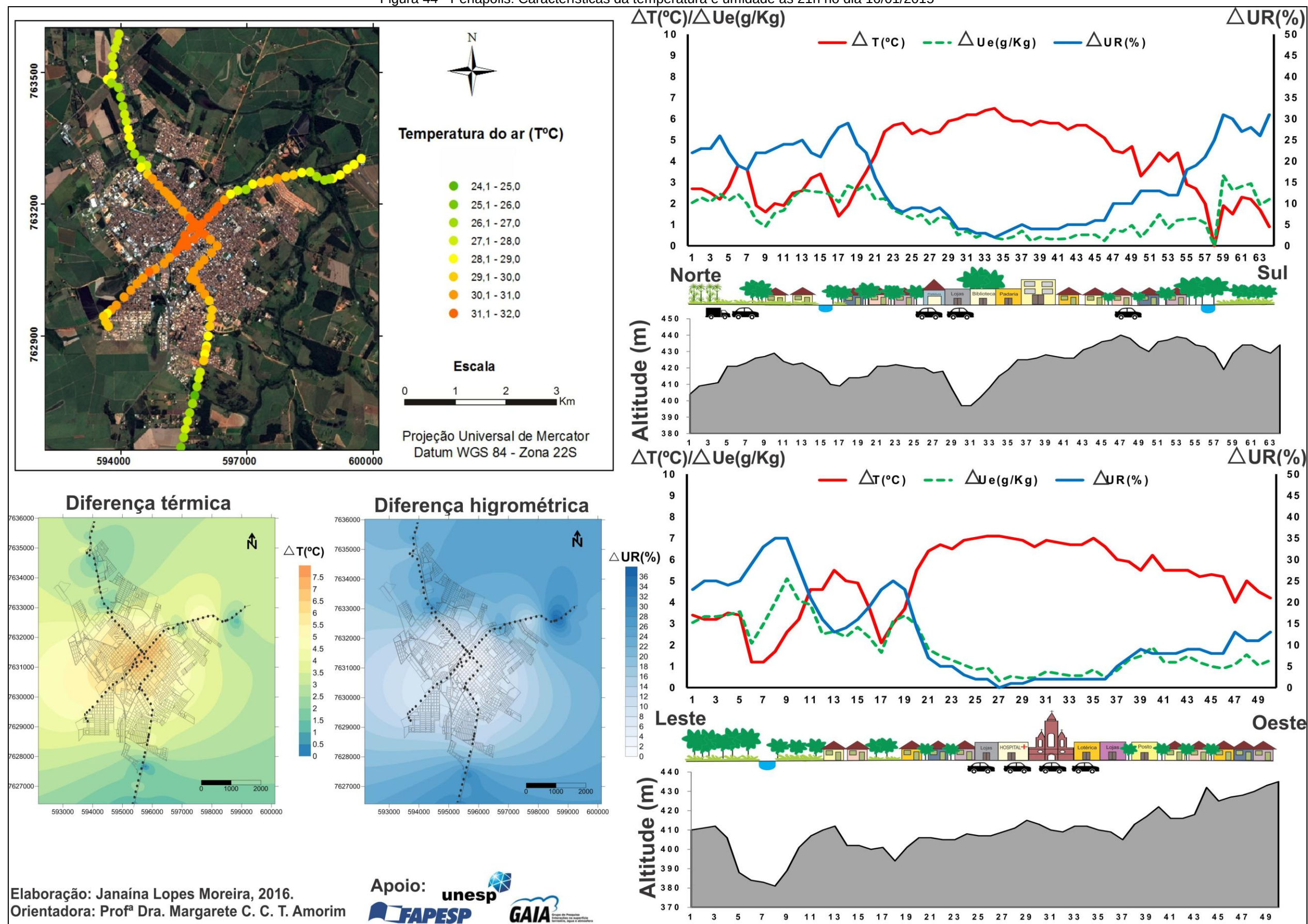
de solos expostos, fatores que foram determinantes para os valores registrados de 30,4°C, 65% e 18,5g/Kg.

O ar mais fresco e úmido esteve associado novamente aos fundos de vale vegetados, com destaque para área ao sul, ponto 58 do percurso N-S, onde se registrou a menor temperatura do dia, 24,9°C. Áreas mais frescas também foram identificadas no início desse mesmo percurso, nos pontos 9 e 17, onde as temperaturas alcançaram respectivos 26,5°C e 26,3°C (intensidade de 1,6°C e 1,4°C). Esses pontos se referem respectivamente ao substrato arbóreo localizado em frente ao Bairro Silvia Covas (Figura 36) e fundo de vale do córrego da Estiva (Figura 41).

No percurso L-O, as temperaturas mais baixas, até 27°C, também estiveram relacionadas às áreas de vegetação densa e aos fundos de vale. Destacam-se os pontos 8 e 9, local que se refere à localização do Ribeirão Lajeado com vegetação arbórea densa (Figura 32) e o ponto 17, área de baixa densidade de edificação, de uso residencial, com chácaras e pequenas propriedades rurais descontínuas ao tecido urbano com vegetação arbórea média e pastagens (Figura 39). Inversamente proporcional, os maiores valores de umidade também puderam ser observados nessas localidades, com máxima de 87% e 21,0g/Kg no ponto 9, onde as intensidades foram de 35% e 5,1g/Kg.

Dessa forma, foi possível verificar que nesse episódio a ilha de calor sofreu um deslocamento para o norte, tendo as máximas de calor ainda no centro, porém mais próximas a linha férrea, onde também se observou o ar mais seco. A ilha fresca de maior intensidade, ou seja, com menor temperatura esteve localizada no fundo de vale a sul da malha urbana enquanto que a ilha úmida mais intensa esteve presente também em um fundo de vale a leste.

Figura 44 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 16/01/2015



Fonte: Elaborado pela autora.

8.7 Condições térmicas e higrométricas no dia 17 de janeiro de 2015

A total estabilidade de tempo veio no dia 17 de janeiro (sábado) com a atuação da massa Tropical Atlântica, que proporcionou temperatura e umidade elevada, com máxima de 38°C e mínima de 25,3°C. O céu permaneceu aberto durante todo o dia, possibilitando assim radiação abundante. Os ventos foram calmos, com velocidade 0,9m/s às 21h, horário de coleta dos dados.

Esse episódio se destaca como o de maior expressividade da ilha de calor encontrada em Penápolis, com intensidade de 9,5°C e 46% de umidade relativa (Figura 45). A temperatura máxima (33,1°C) foi registrada na área central de uso comercial, mais precisamente no ponto 30 do percurso L-O, local corresponde ao central comercial, densamente edificado e com ausência de vegetação arbórea.

No entanto, o aquecimento também esteve presente em todo quadrilátero central, mais notadamente a leste da área central, na Av. Bento da Cruz, onde se registraram temperaturas bastante elevadas, em torno de 32°C nos pontos 29, 31, 32, 33, 34, 37, 38 e 39 (intensidades entre 8,5°C e 9,3°C). Nos pontos 35 e 36, foi registrada a intensidade de 9,4°C (valor absoluto em 33,0°C). Temperaturas elevadas também foram observadas nos bairros adjacentes a norte e a sul do centro comercial, destaque para os trajetos pelas Ruas Irmãos Crisóstomo de Oliveira, pontos 23 ao 29 e Augusto Pereira de Moraes nos pontos 43 e 44, ambos do percurso N-S, nos quais a intensidade oscilou entre 7,3°C e 8,5°C, respectivamente (valores absolutos entre 30,9°C e 32,1°C).

Em relação à umidade relativa do ar novamente se observou uma relação inversamente proporcional à temperatura, ou seja, as áreas quentes e secas se corresponderam. Portanto, os trajetos acima descritos também foram os de menor umidade relativa do ar e umidade específica, com zero de intensidade no ponto 37 do percurso L-O (valores absolutos de 35% e 11,3g/Kg).

As variações de umidade específica e umidade relativa do ar se assemelharam, se distinguindo apenas em magnitude, como pode ser verificado no início do percurso N-S pela Estrada Irmãos Buranello, entre o ponto 8 e 9 foi registrado uma queda da umidade específica de 13,3g/kg para 11,9g/Kg (intensidades de 2,0g/Kg para 0,5g/Kg), respectivamente. Houve também declínio na umidade relativa e da temperatura, porém com menor variação, de 27,0°C e 57% no ponto 8 para 26,3°C 53% no ponto 9 (intensidades de 3,4°C e 22% para 2,7°C e 18%). O ponto 9 corresponde ao conjunto habitacional Silvia Covas e início do perímetro urbano, caracterizando-se assim como local de transição da área rural para a urbana, o que

explica a perda de umidade do ar. Além disso, a proximidade com a Rodovia Assis Chateaubriand (SP-425), que possui elevado tráfego de veículos pode ter contribuído para tais variações.

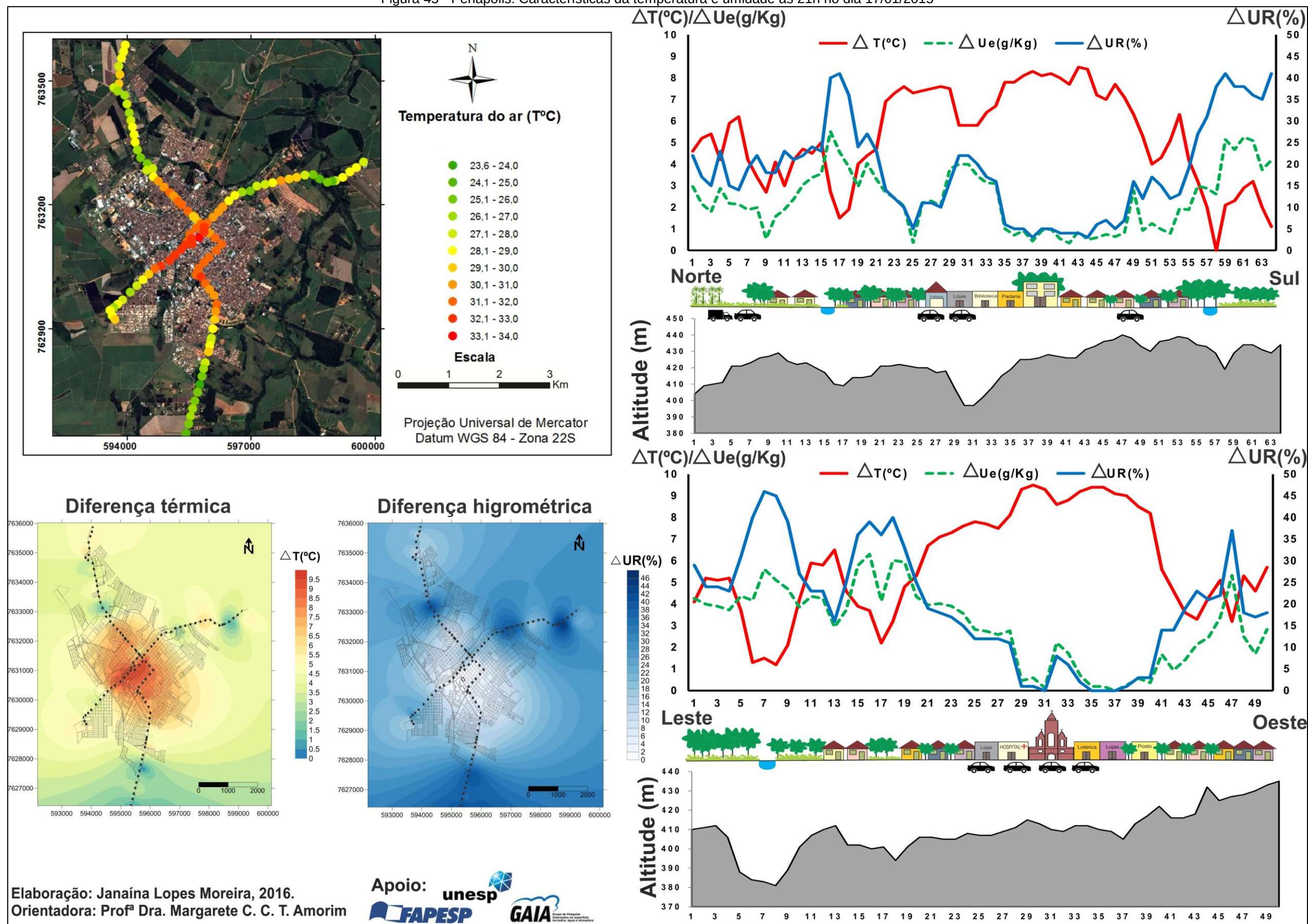
Os pontos que se referem à localização do córrego canalizado Maria Chica (ponto 29 ao 32 do percurso N-S) voltaram a apresentar um pequeno declínio de temperatura e aumento da umidade em relação às medidas anteriores. A temperatura diminuiu de 31,1°C para 29,4°C e a intensidade da umidade relativa do ar foi de 16% para 22%. Após a passagem pelo fundo de vale e ao adentrar as ruas comerciais do centro a temperatura voltou a aumentar para valores acima dos 30°C, com intensidades variando entre 6°C e 8°C.

Alguns padrões se repetiram, como por exemplo, o aquecimento dos conjuntos habitacionais Benone e Gimenez, a leste da malha urbana, ponto 13, onde a intensidade da ilha de calor atingiu 6,5°C e as intensidades da umidade relativa e específica ficaram em 16% e 2,9g/Kg. Houve também o resfriamento na passagem pelo córrego da Estiva, ponto 17 do percurso N-S, onde a intensidade da ilha de calor declinou para 1,5°C e intensidade da ilha úmida aumentou de 23% no ponto 15 para 41%.

Sendo assim, as áreas frescas e úmidas se corresponderam e estiveram novamente relacionadas aos fundos dos vales, sobretudo os localizados na área rural, como os pontos 7 e 8 do percurso L-O, onde foi registrado a maior intensidade em relação a umidade relativa do ar, com 46% (valor absoluto 81%). Nesses pontos a intensidade da umidade específica também foi elevada, com 5,6g/Kg, porém foi mais adiante nesse percurso, no ponto 16, onde foi registrado a intensidade máxima de 6,3g/Kg. Os pontos 7 e 8 se referem ao fundo de vale do Ribeirão Lajeado e o ponto 16 corresponde a área rural de baixa ocupação existente entre a malha urbana consolidada e os novos conjuntos habitacionais recém construídos como pode ser observado na Figura 39.

Portanto, esse episódio reproduziu os padrões de aquecimento e resfriamento do ar e das áreas secas e úmidas identificadas nos dias anteriores. A ilha de calor esteve localizada mais a oeste, com maior prolongamento nos bairros adjacentes ao centro urbano. As áreas úmidas e frescas foram identificadas na área rural e periurbana, principalmente a leste (Ribeirão Lajeado), a norte (córrego do Estiva) e a sul.

Figura 45 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 17/01/2015



8.8 Condições térmicas e higrométricas no dia 19 de janeiro de 2015

O dia 19 (segunda-feira) foi marcado pela persistência da massa Tropical Atlântica que manteve a temperatura e a umidade em alta, com máxima de 38°C, mínima de 29°C e umidade em torno de 70%. O tempo foi de sol durante o dia e ventos calmos com 0,5m/s na hora de coleta em campo.

Embora nesse dia a intensidade da ilha de calor diminuiu para 6,8°C e 34%, as temperaturas em todos os percursos foram mais elevadas, com mínima de 27,2°C e máxima de 33,9°C, configurando assim as maiores máximas e mínimas registradas durante o trabalho de campo (Figura 46). A maior temperatura foi verificada novamente na Rua Rui Barbosa, ponto 27 do percurso L-O, área comercial de ocupação antiga densamente edificada, enquanto a menor temperatura foi registrada próximo ao fundo de vale do Ribeirão Lajeado, no início da Estrada Municipal Kemil Rahal, ponto 6 desse mesmo percurso.

Todo o quadrilátero central e suas adjacências, especificamente do ponto 19 ao 37 do percurso L-O e do ponto 26 ao 34 do percurso N-S, apresentaram temperaturas acima dos 33°C, com intensidades oscilando entre 5,8°C e 6,8°C. Estes percursos se referem aos bairros com alta e média densidade de edificação com arborização ausente, baixa, média e alta. Logo, apesar da presença de vegetação arbórea média e até alta em alguns bairros próximos ao centro, esta não foi suficiente para diminuir a calor gerado pela cidade sob condições de tempo que já favorecem o desconforto.

As áreas rurais também apresentaram-se mais aquecidas. A norte, nos primeiros pontos da Estrada Vicinal Cleto Galli, a temperatura variou entre 30,9°C e 31,8°C (intensidades entre 3,7°C e 4,6°C). Valores estes, superiores aos encontrados nos episódios anteriores. A área rural a leste no início do percurso pela Estrada Municipal Kemil Rahal, do ponto 1 ao 4, também apresentou valores mais elevados, com intensidades entre 2,7°C e 2,9°C (valores absolutos em torno de 30°C). A temperatura nesse trajeto só diminuiu significativamente com a passagem pelo fundo de vale do Ribeirão Lajeado (ponto 7 e 8), marcado pela vegetação densa e uma queda de altitude de 31 metros se comparado ao início do percurso.

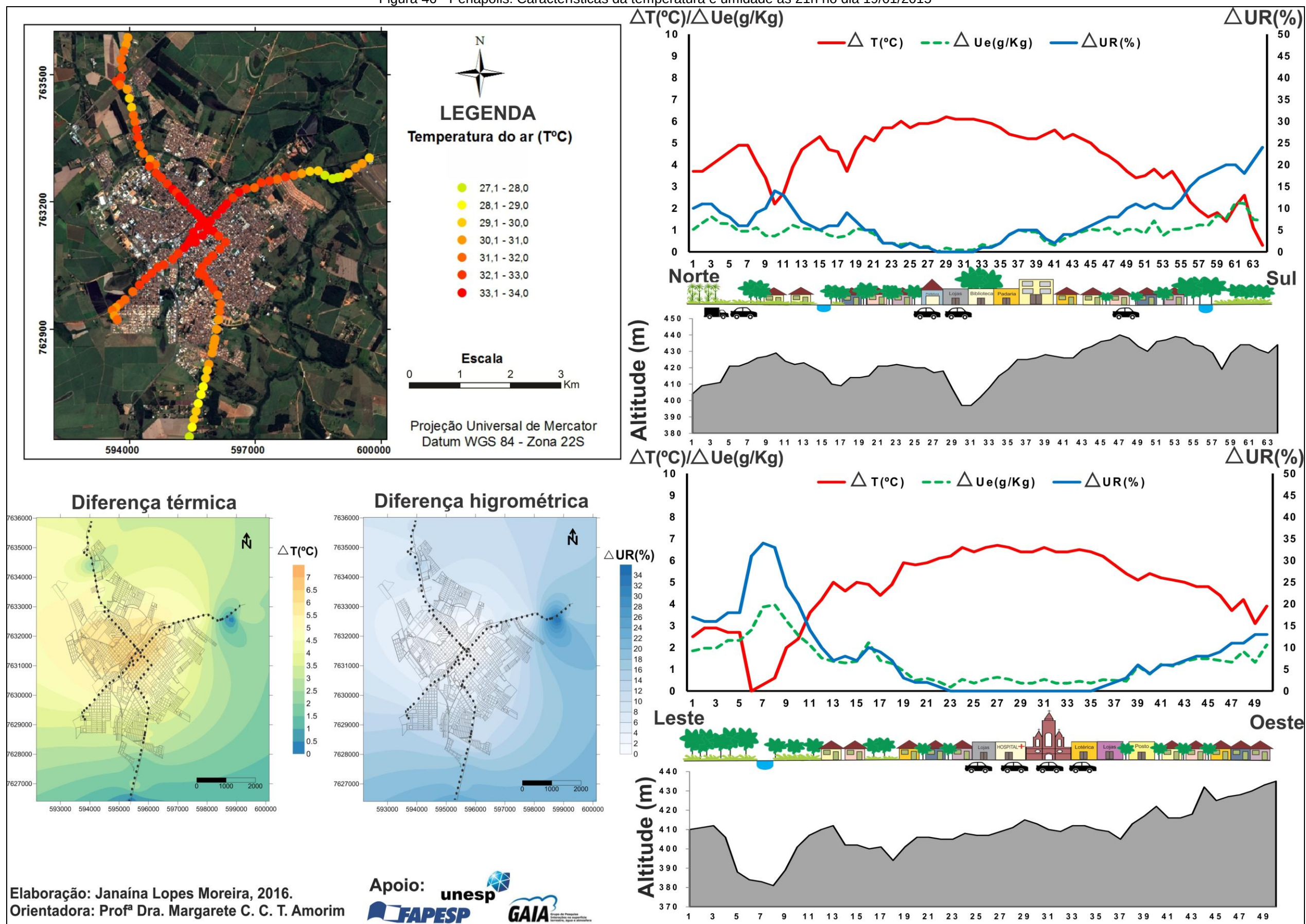
A porção oeste que se refere ao fim do percurso L-O e aos bairros Jardim Alvorada, Cidade Jardim e Jardim do Lago IV também apresentou-se mais quente, com temperaturas acima dos 30°C que atingiram até 32,6°C (ponto 40). O final do percurso N-S se destacou, pois foi o trajeto em que mais pontos apresentaram temperaturas abaixo dos 30°C, do ponto 56 ao 64 as intensidades foram baixas,

variando entre 0,3°C a 2,6°C, o que pode ser atribuído a orientação do relevo, já que nessa parte do trajeto há o predomínio de vertentes voltadas a sul, ou seja, que naturalmente recebem menor quantidade de radiação solar.

Em síntese, as áreas frescas ocorreram principalmente em dois setores urbanos, a leste, nas proximidades do fundo de vale do Ribeirão Lajeado e a sul no final do percurso N-S na Estrada do Mineiro. Entretanto, houve também queda na intensidade da ilha de calor na passagem pelo conjunto habitacional Silvia Covas, à norte da malha, ficando com 2,2°C e 2,7°C nos pontos 10 e 11, respectivamente. Estes pontos se caracterizam pela presença de um substrato arbóreo bastante significativo e pelos vazios urbanos do entorno, o que fez com que a temperatura ficasse abaixo dos 30°C.

Portanto, esse episódio foi marcado por um aquecimento mais generalizado em toda a área urbana, sendo interrompido notadamente pela presença do Ribeirão Lajeado a leste, onde ficou posicionada uma ilha fresca e úmida bem destacada e formada em virtude das características de altitude e vegetação. Ademais, a porção sul também apresentou temperatura decrescente, sobretudo na área rural próxima ao curso d'água do final do percurso N-S, o que pode estar associado também as características do uso da terra e do relevo.

Figura 46 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 19/01/2015



8.9 Condições térmicas e higrométricas no dia 11 de junho de 2015

O primeiro episódio registrado no inverno ocorreu no dia 11 de junho (quinta-feira) e foi marcado pela atuação de um sistema atmosférico típico do verão, porém que pode atuar em quase todo o ano, a massa Tropical Atlântica. Como consequência disso, o dia foi de temperatura elevada, com máxima de 38°C, mínima de 18,6°C e umidade em alta em torno de 90%. Os ventos foram bastante calmos com períodos de calmaria, sendo registrado 0,1m/s de velocidade no horário de coleta dos dados.

Nesse episódio também foi identificada ilha de calor de magnitude forte, com intensidades de 7°C e 28% de umidade relativa (Figura 50). A máxima de temperatura de 23,9°C foi identificada nos pontos 30 e 31 do percurso L-O, porém valores acima dos 23°C, ou seja, intensidade acima dos 6°C também foram identificadas em toda a área central e suas adjacências a sul, especificamente entre os pontos 36 ao 44 do percurso N-S e 29 ao 36 do percurso L-O. Esses trajetos correspondem as Avenidas Luís Osório, Bento da Cruz e Olsen e a alguns pontos da Rua Augusto Pereira de Moraes, representadas nas Figuras 31, 35 e 37, cujas características predominantes são a elevada densidade de edificação, o intenso fluxo de veículo e ausência e/ou a pouca presença de vegetação arbórea.

Já a mínima térmica (16,9°C) foi encontrada no início do percurso L-O, ponto 7, onde se localiza o Ribeirão Lajeado. Outro ponto bastante fresco, com temperatura de 17,4°C foi o 58 do percurso N-S, local de fundo de vale com pequeno curso d'água que apresenta declive de quase 15 metros em relação aos pontos anteriores (Figura 47).

Figura 47 - Vista parcial e hipsometria do final do percurso N-S, onde se localiza o ponto 58



Fonte: Google Earth (2016) TOPODATA. Elaborado pela autora.

Pode ser observado também o resfriamento dos pontos 41 ao 44 no final do percurso L-O. Nesses pontos a temperatura diminuiu e a umidade relativa se elevou significativamente. A intensidade da ilha de calor que estava acima dos 5°C desde a passagem pelo centro abaixou para em torno de 2,5°C e a intensidade da umidade relativa

do ar foi de 7% para 18%. Esse mesmo padrão pode ser observado também nos dias 26, 27 e 28 de dezembro de 2014 e dia 17 de janeiro de 2015. Fato que está associado à grande quantidade de vegetação arbórea a direita da Avenida Sergio Moura, onde também está situada a estrada de ferro Noroeste do Brasil que corta a cidade (Figura 48).

Figura 48 - Vista parcial da Av. Sergio Moura, onde se localizam os pontos 41 ao 44



Fonte: Google Earth (2015).

Houve novamente o aquecimento dos pontos que correspondem a passagem pela Rodovia Assis Chateaubriand (SP- 425), pontos 6 e 7 do percurso N-S, onde as intensidades registradas foram de 3,9°C e 3,7°C, respectivamente (valores absolutos de 20,8°C e 20,6°C). Ao adentrar o perímetro urbano pela Estrada Irmãos Buranello ocorreu novamente um ligeiro declínio da temperatura em virtude do substrato arbóreo denso presente em frente ao bairro Silvia Covas. Nessa parte do trajeto, pontos 8 e 9 do percurso N-S, a temperatura registrada foi de 19,3°C com intensidade de 2,4°C. No ponto seguinte (ponto 10), após a passagem pela vegetação densa e ainda no bairro Silvia Covas, a temperatura subiu para 20,3°C.

Nesse mesmo percurso, na passagem pelos pontos 17 e 18, a temperatura caiu significativa para entorno de 18°C e as intensidades não ultrapassaram 2°C, o que está diretamente associado à presença do córrego da Estiva e a grande quantidade de vegetação arbórea presente em alguns residenciais à direita da estrada (à esquerda na imagem) (Figura 49). Inversamente proporcional esses pontos também se apresentaram elevada umidade relativa, com intensidade de 18% e valor absoluto de 83%.

Figura 49 - Vista área dos pontos 17 (córrego da Estiva) e 18 (vegetação arbórea densa) do percurso N-S



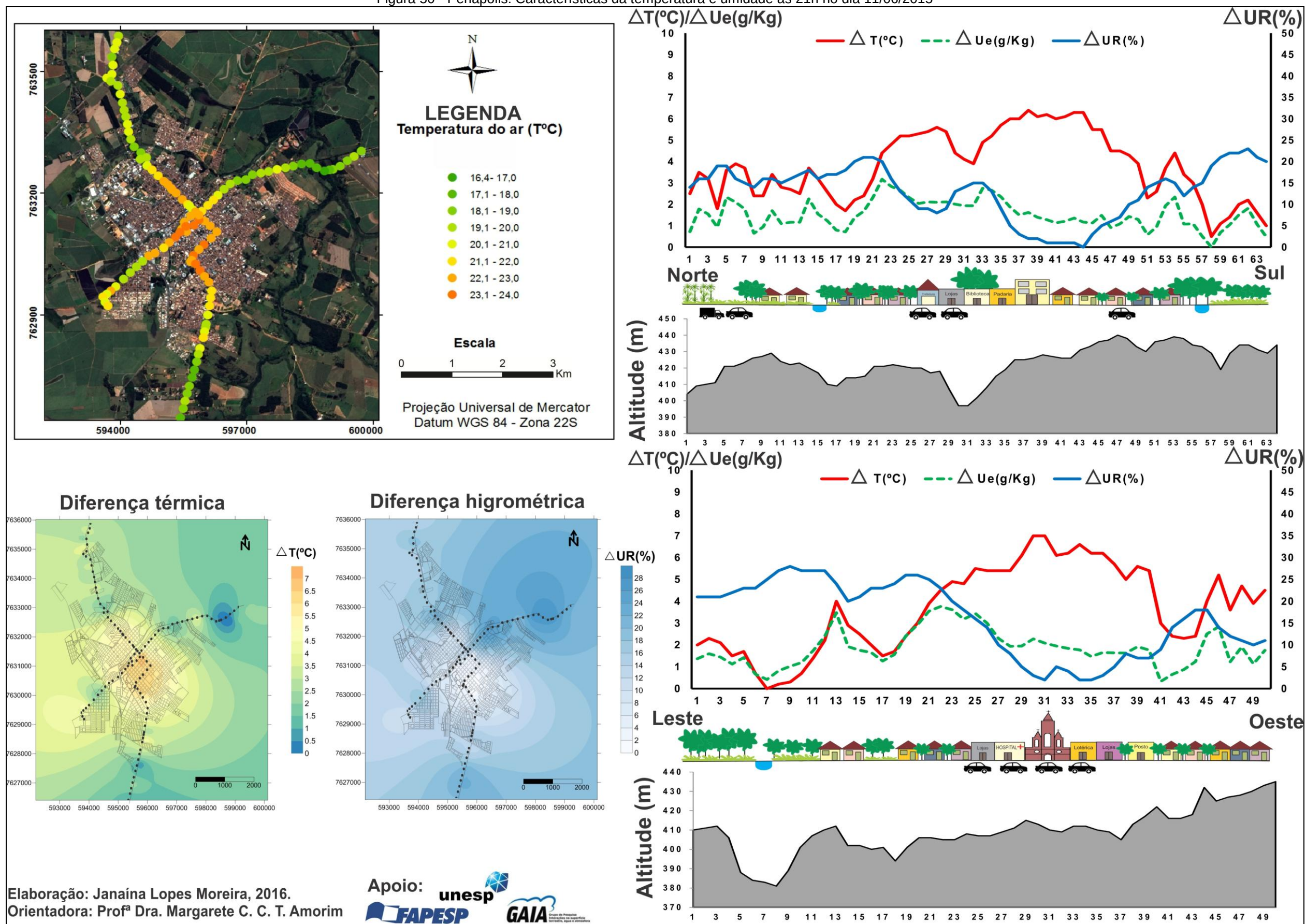
Fonte: Google Earth (2015).

Ainda no percurso N-S, se observou novamente a influência do fundo de vale do córrego Maria Chica, pontos 30, 31 e 32, onde a intensidade da ilha de calor diminuiu de 5,4°C no ponto 29 para 3,9°C no ponto 32. Ao mesmo tempo, inversamente proporcional, a intensidade da umidade relativa se elevou de 9% para 15%. Outro padrão que se repetiu foi o aquecimento dos conjuntos habitacionais Benone e Gimenez a leste, pontos 13 e 14 do percurso L-O, onde a intensidade registrada foi de 4°C (valor absoluto de 20,9°C). Apesar do aquecimento, a umidade foi elevada com intensidade de 24% e 3,5g/Kg e valores absolutos de 89% e 14,3g/Kg (ponto 13).

Outro setor que se mostrou bastante aquecido foi os pontos 53 e 54 do percurso N-S, que corresponde aos últimos bairros a norte, Jardim Del Rey e Residencial Florença, onde a temperatura e a intensidade alcançaram a máxima de 21,3°C e 4,4°C, respectivamente. Novamente, apesar da temperatura mais elevada, esses pontos não se apresentaram tão secos ficando com intensidades de 15% e 2,3g/Kg. Esses pontos correspondem a bairros densamente edificadas com lotes pequenos e poucas áreas verdes e livres de edificação, o que contribuiu para o aquecimento.

Portanto, de maneira geral, o episódio demonstrou a localização de uma ilha de calor na área central com prolongamento nos bairros circunvizinhos a sul e a leste. Já as ilhas frescas, que se corresponderam com as ilhas úmidas, se localizaram a leste (Ribeirão Lajeado), a sul no final do percurso N-S, a norte, próximo ao córrego da Estiva e a oeste em uma parte do trajeto pela Av. Sérgio Moura. As três primeiras localizações se caracterizam por serem áreas de fundo de vale com vegetação arbórea significativa e de menor altitude. Já o trajeto a oeste, se evidencia a grande quantidade de vegetação arbórea presente do lado esquerdo da via, onde também está localizada a estrada de ferro.

Figura 50 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 11/06/2015



8.10 Condições térmicas e higrométricas no dia 13 de junho de 2015

No segundo episódio registrado no inverno, no dia 13 de junho (sábado) a massa Tropical Atlântica continuava atuando na região produzindo tempo estável com temperaturas altas e umidade elevada. Durante o dia registrou-se mínima de 25,2°C, máxima de 31°C e umidade sempre acima dos 60%. Os ventos foram fracos, ficando em calmaria no horário da realização dos percursos.

A ICU apresentou intensidade de 6,5°C com máxima de 24,0°C e mínima de 17,5°C (Figura 51). A máxima foi localizada no ponto 38 do percurso N-S, no trajeto pela Av. Olsen, a qual se localiza no bairro adjacente ao centro comercial, mais precisamente em frente a um colégio privado. No dia e hora de coleta dos dados o colégio realizava sua festa junina, o que gerou aumento na circulação de veículos e pessoas mesmo após as 21h. A grande quantidade de veículos e pessoas aliado a inexistência de vegetação arbórea e grande densidade de edificação fez com que a temperatura se elevasse por toda a via, visto que desde seu início (ponto 36) até o seu fim (ponto 40) as intensidade ficaram acima dos 5°C. As mínimas de umidade relativa do ar também foram encontradas nessa parte do percurso, com intensidade zero, ou seja, o menor valor de 66% no ponto 39.

Deste modo, nesse episódio o centro comercial apresentou aquecimento secundário, com máxima de 23,3°C no ponto 30 (intensidade de 5,8°C) do percurso L-O. Esse ponto se refere à rua da igreja matriz, já citada em análises anteriores, onde a vegetação é ausente, a densidade de edificação é bastante elevada e o tráfego de veículos e pessoas é intenso. No entanto, todo centro comercial, do ponto 26 ao 38 do percurso L-O, que correspondem as Avenidas Rui Barbosa, Luís Osório e Bento da Cruz (Figura 31), esteve também aquecido, com intensidades oscilando entre 4,1°C e 5,3°C (valores absolutos entre 21,6°C e 22,8°C).

Pela primeira vez os conjuntos habitacionais Benone e Gimenez, representados no ponto 13 do percurso L-O, apresentaram temperatura mais baixa e umidade elevada, as intensidade registradas foram de 1,2°C, 27% e 1,7g/Kg (valores absolutos em 18,7°C, 93% e 13,1g/Kg). Já o aquecimento dos bairros Jardim Del Rey e Jardim Florença, ponto 52 do percurso N-S, voltou a ocorrer, registrando intensidade de 3,8°C e valor absoluto de 20,3°C. Além dos fatores já descritos anteriormente (alta densidade de vegetação e pouca vegetação arbórea), estes dois bairros se localizam muito próximo de áreas de expansão urbana, o que implica na presença de grandes áreas de solos desnudos, que armazenam bastante calor durante o dia e liberam vagarosamente durante a noite.

O trevo da rodovia Assis Chateaubriand (SP – 425), pontos 6 e 7 do percurso N-S, também se aqueceram em relação as medições dos pontos anteriores, marcando

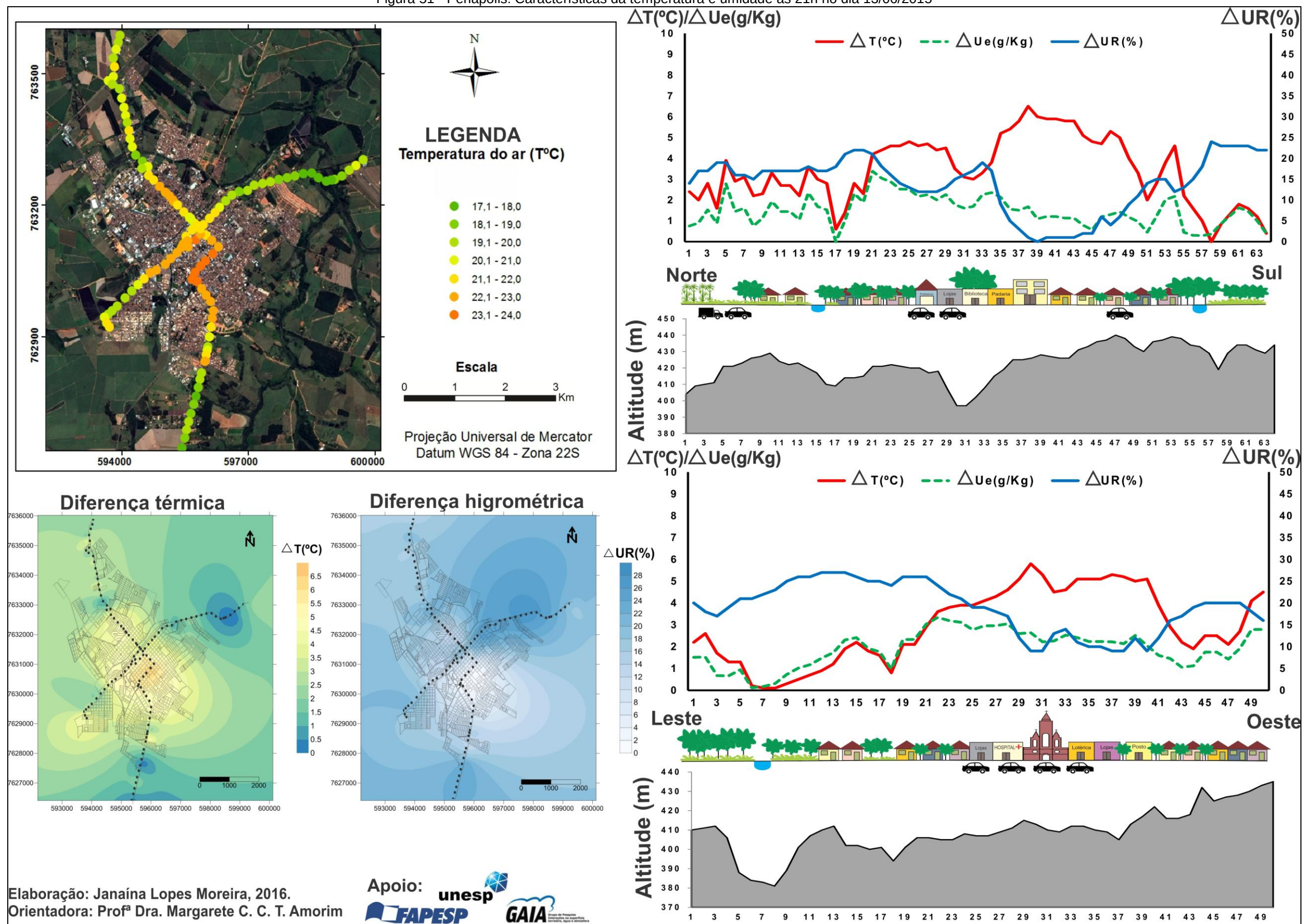
intensidades de 2,9°C e 3,1°C, respectivamente. Novamente, ao adentrar a Estrada Irmãos Buranello, ponto 8 e 9, a temperatura declinou, ficando com intensidades de 2,2°C e 2,3°C como consequência da presença de vegetação arbórea densa (Figura 36).

No que se refere às áreas frescas e úmidas, o padrão de localização do último episódio se repetiu. Houve a presença de três ilhas frescas e úmidas. A primeira com a maior intensidade ocorreu a leste, entre os pontos 7 e 13, onde a temperatura oscilou entre 17,6°C e 18,6°C e a umidade relativa teve máxima de 27% de intensidade nos pontos 12 e 13 (valor absoluto de 93%), local que se caracteriza pela presença do fundo de vale do Ribeirão Lajeado. A segunda a sul, no final do percurso N-S, ponto 58, se registrou a mínima térmica do dia, com 17,5°C de temperatura e intensidade de 24% de umidade relativa (valor absoluto de 90%), área que corresponde também a um fundo de vale com curso d'água (Figura 47). E a terceira a norte, no córrego da Estiva, nos pontos 17 e 18 do percurso N-S, onde se registrou temperaturas em torno de 18°C e intensidade de 18% e 21%, respectivamente.

No entanto, ressalta-se, que a máxima de umidade específica não ocorreu em nenhum desses pontos acima descritos, foi no ponto 21 do percurso N-S que a intensidade da umidade específica marcou 3,4g/Kg (valores absolutos 21,7°C, 87% e 14,8g/Kg), local que se refere ao início da Av. Irmãos Chrisostomo de Oliveira, área de alta densidade de edificação e arborização média com a presença de um canteiro central com cobertura arbórea significativa a direita da via.

Em suma, com base nas análises dos dados do dia 13 de junho e da Figura 51 é possível afirmar que, houve a configuração de bolsões de ar mais aquecido e seco nas áreas densamente edificadas a sul do centro comercial, mais especificamente na Av. Olsen, bem como na Av. Luís Osório no quadrilátero central. Por outro lado, bolsões de ar fresco e úmido foram observados nas áreas rurais, que estiveram associados com as características do relevo e a presença de vegetação e córregos, inclusive na área urbana.

Figura 51 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 13/06/2015



8.11 Condições térmicas e higrométricas no dia 30 de junho de 2015

O dia 30 de junho (terça-feira) foi marcado pela atuação de dois sistemas atmosféricos. Durante todo o dia a cidade esteve sob atuação da massa Polar Atlântica tropicalizada que proporcionou mínima de 16°C, máxima de 28°C e umidade em torno de 80%, ou seja, até às 21h o tempo era estável com poucas nuvens e ventos em calmaria. Entretanto, aproximadamente às 21h:30min., iniciou a entrada da Frente Polar Atlântica no município, a qual viria atuar nos dias 01 e 02 de julho, provocando mudança de tempo e ventos fortes. Sendo assim, o primeiro percurso, no caso o percurso L-O, foi realizado sob condições de tempo estável, já o percurso N-S esteve sob influência de ventos fortes provenientes da entrada da frente Polar Atlântica em Penápolis.

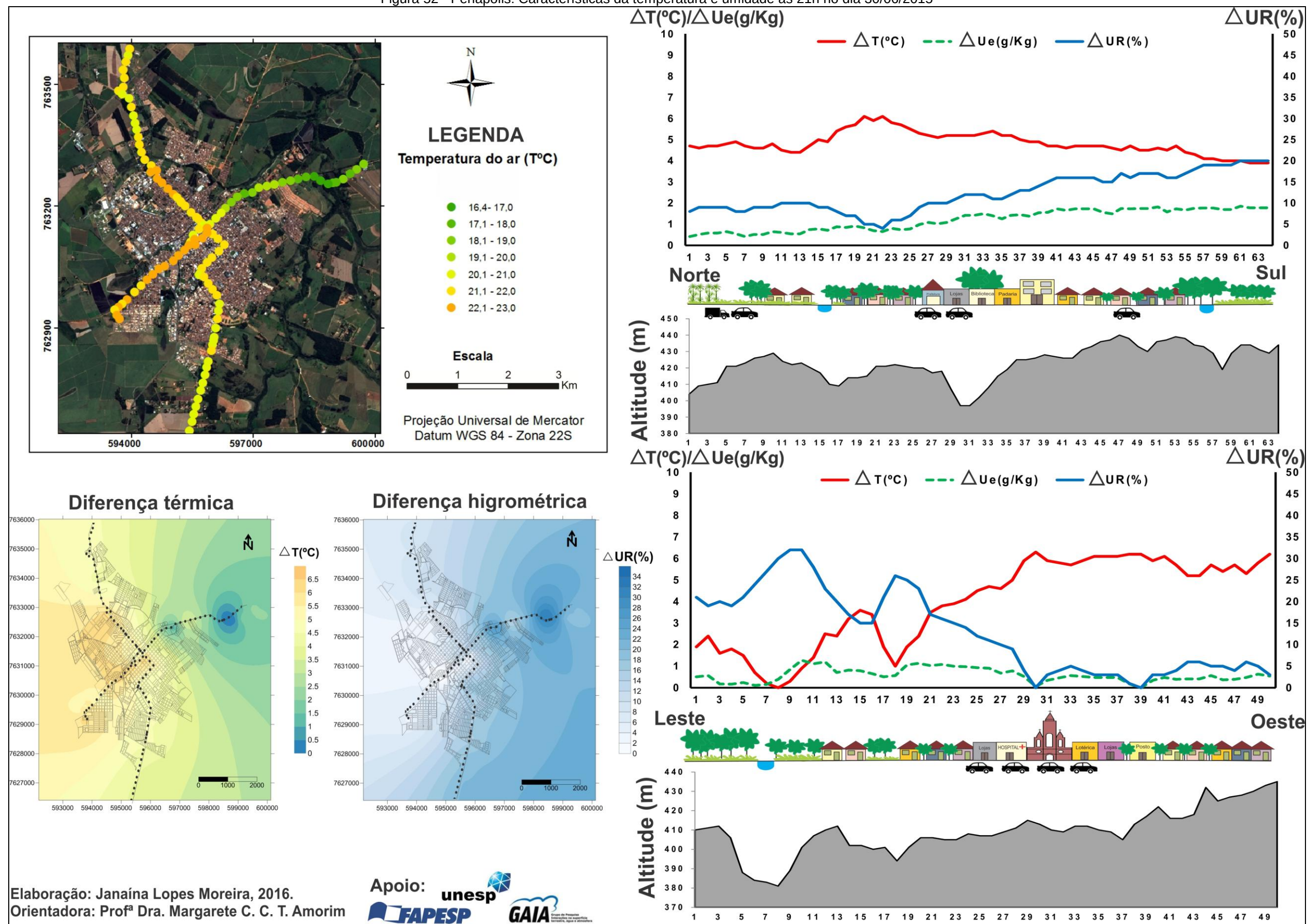
Assim, no percurso L-O é possível observar variações significativas de temperatura e intensidade de acordo com os padrões já encontrados e analisados, ou seja, verificou-se o aquecimento centro-periferia, com intensidades máximas de 6,3°C, 32% e 1,9g/Kg. A máxima térmica e a mínima de umidade relativa foram encontradas no ponto 30, em frente à igreja matriz, onde a temperatura atingiu 22,7°C e a umidade chegou a 57% (intensidade zero). Esse local também foi núcleo da ICU em outros episódios, pois se refere ao centro comercial densamente edificado com intenso fluxo de veículos e pessoas e vegetação arbórea ausente. Enquanto a mínima de 16,4°C foi registrada no ponto 8, a intensidade máxima da umidade relativa do ar foi encontrada no ponto 9 com 32%, valor absoluto de 89%. Ambos os pontos (pontos 8 e 9) correspondem a área rural próxima do Ribeirão Lajeado, caracterizado por relevo acidentado e vegetação arbórea abundante.

O percurso N-S foi afetado pelos ventos fortes que movimentaram toda atmosfera urbana, causando o deslocamento do ar quente e frio de seu local de origem e consequentemente, a homogeneização da temperatura e umidade. Logo, as variações detectadas nesse percurso foram diferenciadas de todos os padrões anteriormente encontrados. No entanto, optou-se pela não exclusão desse episódio das análises, visto que se apresenta como um exemplo bastante efetivo das influências das condições de tempo, sobretudo dos ventos, em amenizar e anular a atuação de ilhas de calor e dos desconfortos.

Portanto, através da Figura 52, mas especificamente das isotermas das diferenças térmicas e higrométricas, foi possível notar o deslocamento do ar para a porção oeste do município. O calor gerado na zona central e adjacências foi transportado para os setores a oeste, mais precisamente para os bairros Oeste e Cidade Jardim, enquanto que o ar mais úmido e frio, frequentemente encontrado a leste, nas imediações no Ribeirão Lajeado, avançou para as áreas mais edificadas, amenizando as temperaturas dos bairros próximos ao centro comercial.

Por fim, também vale destacar, que nem mesmo as variações de altitude presentes no percurso N-S nos pontos 16 e 17 (córrego da Estiva) e nos pontos 57 e 58 (córrego) geraram variações de temperatura e umidade, o que pode ser observado nitidamente nas linhas do gráfico que ficaram praticamente retas, fato que demonstra a maior influência dos fenômenos climáticos de escalas superiores na escala local.

Figura 52 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 30/06/2015



8.12 Condições térmicas e higrométricas no dia 10 de julho de 2015

A massa Polar Atlântica influenciou as condições de tempo no dia 10 de julho (sexta-feira). Logo, o dia foi de tempo estável, céu claro com máxima de 26,8°C, mínima 16,8°C e ventos fracos que atingiram 0,3m/s às 21h. A umidade era bastante elevada e atingiu 96% às 9h.

A intensidade da ICU foi de 5,7°C e 27%, o que a classifica como de forte magnitude, apesar de apresentar intensidade inferior aos episódios anteriores. O ponto 38 apresentou a máxima temperatura e a mínima umidade relativa do ar com 23,0°C e 61% (intensidade zero de umidade relativa). Esse ponto se refere a Av. Olsen, localizada a sul do centro comercial, caracterizada pela uso comercial e residencial com elevada densidade de edificação, grande fluxo de veículos e vegetação arbórea ausente. Diferentemente do que foi encontrado nos episódios anteriores, nesse dia o núcleo da ICU se posicionou mais a sul, na Av. Olsen e na Rua Augusto Pereira de Moraes, visto que do ponto 36 até o ponto 44 as intensidades oscilaram entre 4,9°C e 5,7°C (valores absolutos entre 22,2°C e 23,0°C).

No que se refere às mínimas de temperatura, estas se localizaram a leste e norte, nos respectivos pontos 8 (Ribeirão Lajeado) com 17,3°C e no ponto 17 (córrego da Estiva) com 17,8°C. Essas áreas também corresponderam as maiores intensidades da umidade relativa do ar com 27% no ponto 9 do percurso L-O e 20% no ponto 17 do percurso N-S. A intensidade máxima da umidade específica também esteve situada próximo ao Córrego da Estiva, no ponto 19 (percurso N-S), com 2,1g/Kg, onde há a alta concentração de vegetação arbórea, vide Figura 49. Ainda nesse percurso, o ponto 58 também apresentou temperatura baixa e umidade relativa elevada, com 19,1°C e 79%, intensidade de 1,8°C e 18%. Como já mencionado anteriormente, esse ponto se refere a localização de um pequeno fundo de vale com presença de curso d'água (Figura 47).

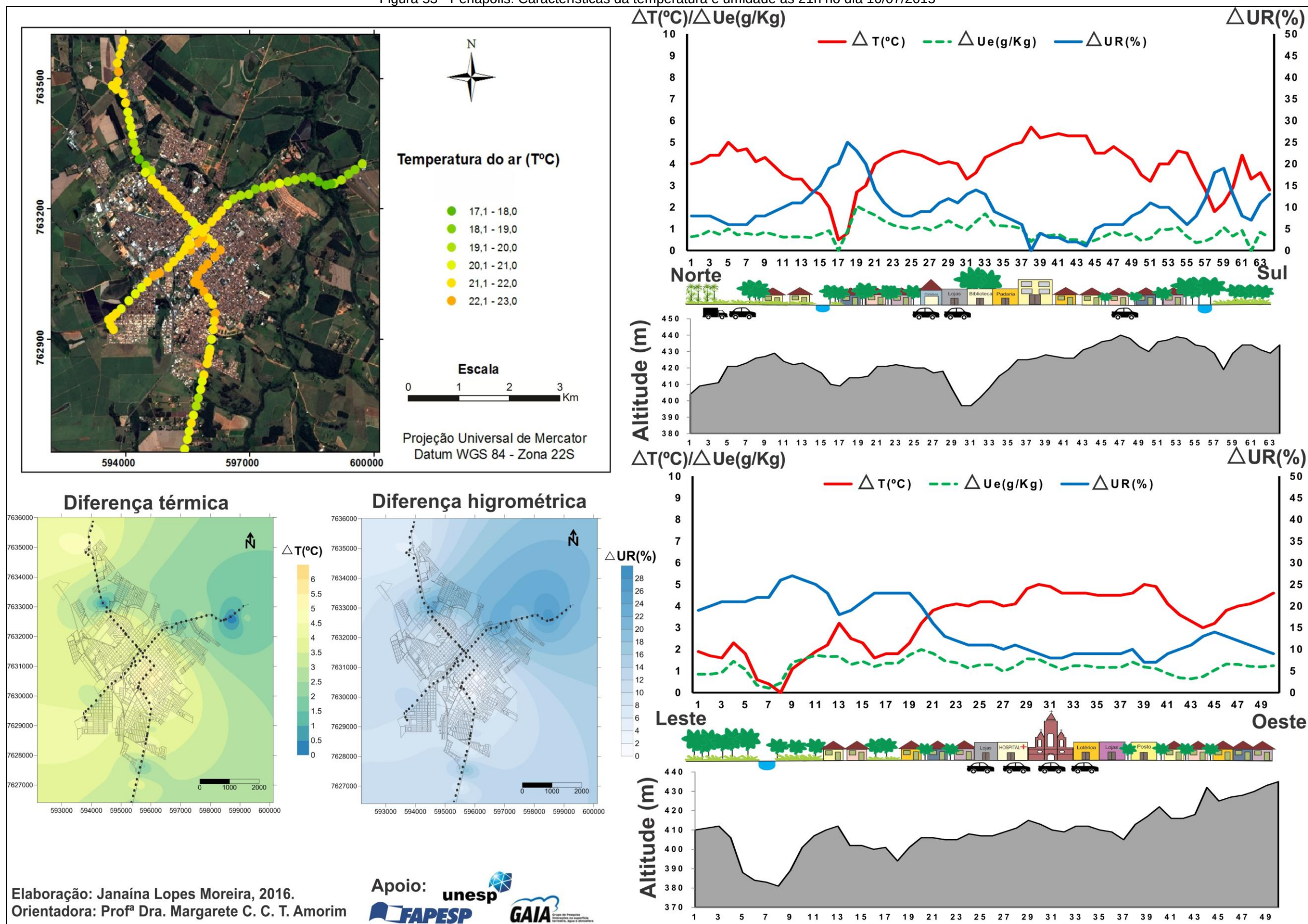
Alguns padrões voltaram a se manifestar, como o aquecimento do ponto 5 e 7 do percurso N-S, que se refere ao trajeto pela Assis Chateaubriand (SP-425), onde se registou as temperaturas de 22,3°C e 22,0°C e as intensidades de 5°C e 4,7°C, respectivamente. O ar também esteve mais quente, com temperaturas acima dos 22°C, nos pontos 29 e 30 (Av. Luís Osório) e nos pontos 39 e 40 (Av. Adelaide Ferraz de Almeida), ambos do percurso L-O. Esses dois setores possui intenso fluxo de veículos o que colaborou para o resultado.

As diferenças de altimetria causadas pela presença do córrego Maria Chica repercutiram novamente nas diferenças registradas, que nos pontos 31 e 32 do percurso N-S declinaram para os valores 3,3°C e 3,6°C, com valores absolutos abaixo dos 21°C. Inversamente proporcional, a umidade relativa do ar aumentou de 72% no ponto 30 para 75 no ponto 32 (intensidades de 14%). Da mesma maneira, temperaturas baixas, menores que

21°C, foram novamente encontradas na Av. Sérgio Moura, no final do percurso L-O, entre os pontos 42 e 45, onde as intensidades da ilha de calor diminuíram para em torno de 3°C. A grande quantidade de vegetação a direita da avenida, onde também se localiza a linha férrea, foi um dos fatores mais relevantes para o declínio da temperatura, como pode ser observado na Figura 48.

Assim, percebe-se que no dia 10 (Figura 53) houve a configuração de um bolsão de ar quente situado a sul da área central da cidade, com seu núcleo nos bairros de uso misto, residencial e comercial, densamente construídos e com pouca vegetação. Já os bolsões de ar fresco e úmido foram localizados mais afastados do centro e nas periferias, especificamente a norte (córrego da Estiva) e a leste (Ribeirão Lajeado), cujas características do entorno, como relevo declivoso e vegetação arbórea densa, geraram temperaturas mais baixas (17°C) e umidade relativa do ar elevada (80%).

Figura 53 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 10/07/2015



8.13 Condições térmicas e higrométricas no dia 12 de julho de 2015

O segundo episódio do mês de julho ocorreu no dia 12 (domingo) quando Penápolis sofria influência da massa Polar Atlântica Tropicalizada, que proporcionou céu claro, ventos calmos, temperatura máxima de 28°C, mínima de 16,6°C e umidade em torno de 80%.

Sob tais condições de tempo a intensidade da ICU aumentou para 7°C, com máxima de 24,4°C e mínima de 17,4°C (Figura 54). Nesse dia o núcleo da ICU voltou a se localizar na área central de uso comercial e densamente edificada, mais especificamente na Av. Luís Osório, entre os pontos 29 e 30, onde a intensidade variou entre 6,7°C e 7°C, com máxima no ponto 30, que se refere à localização da igreja matriz, onde o fluxo de veículos é elevado.

Outra parte do centro, de uso misto, comercial e residencial, entre os pontos 35 e 44 do percurso N-S, também apresentou temperaturas elevadas, acima dos 22°C, com intensidades entre 4,9°C e 5,8°C. Esse trecho corresponde a Av. Olsen (Figura 35) e parte da Rua Augusto Pereira de Moraes (Figura 37), que se caracterizam pela elevada densidade de edificação e vegetação ausente e/ou baixa.

Ainda no percurso N-S, também ocorreu o aquecimento dos setores a norte do centro comercial, nos bairros Jardim Morumbi, João de barro e Eldorado, entre os pontos 24 e 29, local em que a temperatura esteve acima dos 22°C e a intensidade oscilou entre 4,6°C e 4,8°C apesar da arborização elevada. Inversamente proporcional, a umidade relativa nesses pontos declinou, ficando com intensidades entre 12% e 14% (valores absolutos entre 72% e 74%). Esse aquecimento foi interrompido na passagem pelo córrego Maria Chica, pontos 31 e 32, onde houve o declínio da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar para 21,1°C e 78% (intensidades de 3,7°C e 18%).

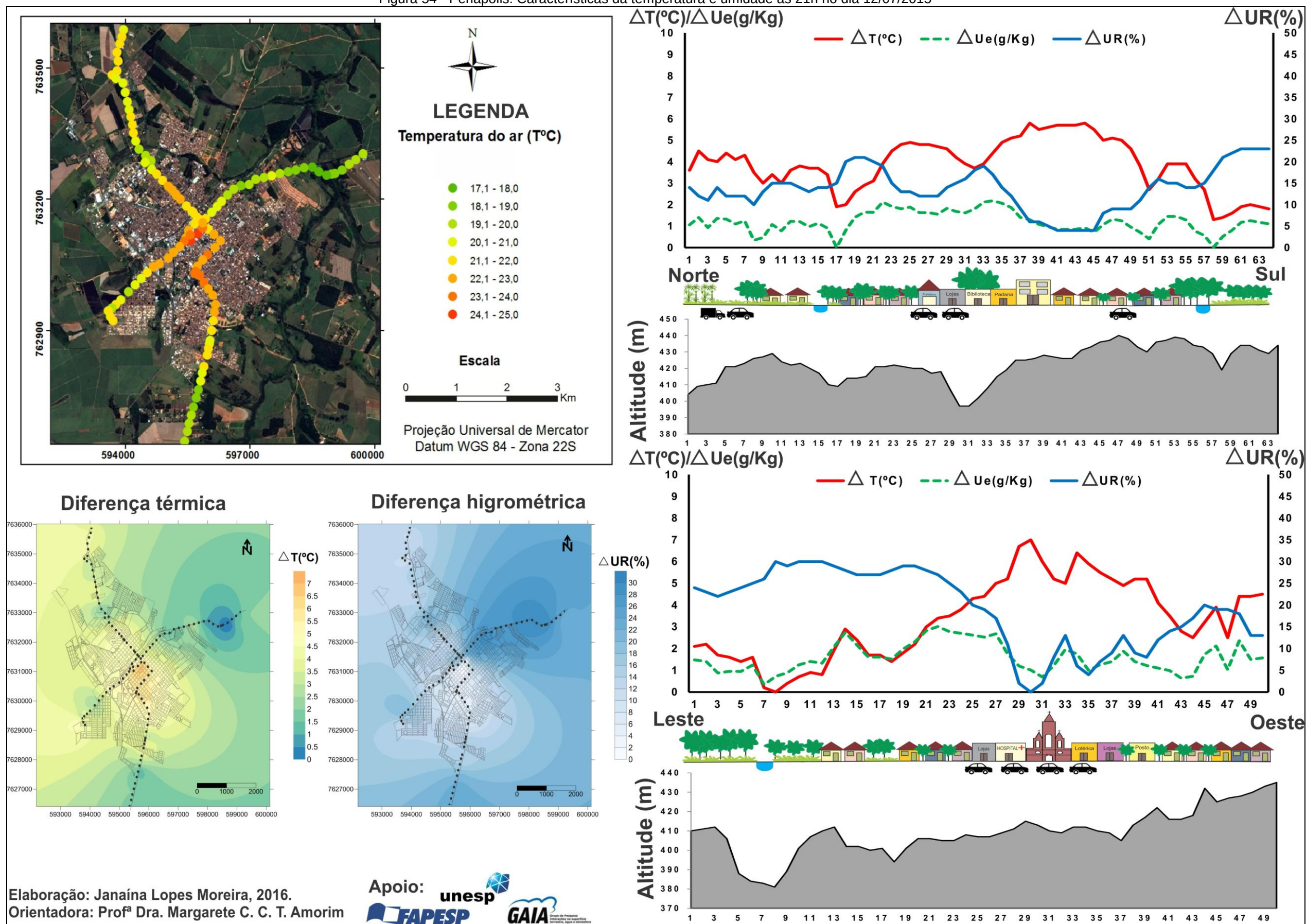
Os residenciais Benone e Gimenez, pontos 14 e 15 do percurso L-O, voltaram a se apresentar mais aquecidos com intensidades de 2,9°C e 2,4°C e valores absolutos de 20,3°C e 19,8°C, respectivamente. O ar voltou a se esfriar entre os pontos 16 ao 19, quando registraram-se temperaturas absolutas entre 18,8°C (ponto 18) e 19,2°C (ponto 19). Esses pontos correspondem a área de baixa densidade de edificação com chácaras e pequenas propriedades rurais descontinuas ao tecido urbano com vegetação arbórea média e pastagens como pode ser visto na Figura 39.

No tocante as áreas frescas e úmidas, estas se corresponderam em localização, com destaque para os locais de fundo de vale com vegetação arbórea densa. Como foi o caso do Ribeirão Lajeado, ponto 7 do percurso L-O, onde se registrou a mínima de temperatura (17,4°C) e a máxima de umidade relativa do ar (90%), com intensidade zero e 30%, respectivamente. No percurso N-S se destacaram o ponto 17 (córrego da Estiva) e o

ponto 58, que atingiram respectivamente temperatura e umidade relativa do ar de 19,3°C e 75% e 18,7°C e 78%. Em contrapartida, esses pontos foram os locais aonde a intensidade da umidade específica chegou a zero. A maior intensidade de umidade específica foi de 3,0g/Kg e localizou-se no ponto 22 do percurso L-O, que corresponde a localização da área urbana periférica a leste, densamente edificada e com arborização baixa.

Deste modo, houve novamente o aquecimento centro-periferia, no qual o bolsão de ar seco e quente esteve localizado na área central de comércio e serviços com prolongamento nos bairros circunvizinhos a sul, já o ar fresco e úmido foi encontrado nos locais de fundos de vale e de vegetação arbórea densa, sobretudo a leste (Ribeirão Lajeado), a norte (Córrego da Estiva) e a sul (córrego).

Figura 54 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 12/07/2015



8.14 Condições térmicas e higrométricas no dia 13 de julho de 2015

No dia 13 (segunda-feira) o município sofria influência da massa Tropical Atlântica que proporcionou temperatura e umidade alta, com máxima de 30,6°C, mínima de 19°C e umidade em torno de 80%. O tempo foi de sol durante o dia com ventos em calmaria na hora de coleta em campo.

Em comparação ao dia anterior, a intensidade da ICU diminuiu para 6,5°C, com máxima de 24,1°C e mínima de 17,6°C, enquanto que a intensidade da ilha úmida se elevou para 32%, com mínima de 57% e máxima de 89% (Figura 56). A máxima térmica ocorreu no ponto 38 do percurso N-S, local densamente edificado, de uso misto nas adjacências do centro comercial, onde a arborização é ausente e o tráfego de veículos é alto.

O início do percurso N-S também apresentou elevada temperatura e baixa umidade. Do ponto 1 ao 13, registram-se temperaturas acima dos 22,2°C e intensidades entre 4,6°C e 6,4°C, com máxima de 24,0°C de temperatura absoluta e 6,4°C de intensidade nos pontos 8 e 9, onde também se teve a intensidade zero de umidade relativa do ar (valor absoluto de 57%). Nesse trajeto a umidade específica também foi baixa, ficando com intensidade entre 0,2g/Kg e 1,0g/kg. O ponto 8 e 9 se refere a saída do trevo da Rodovia Assis Chateaubriand (SP – 425) e a entrada no perímetro urbano pelo bairro Silvia Covas (Estrada Irmãos Buranello). Nesse dia, havia bastante solo exposto na área rural da porção norte do município, o fluxo de caminhões transportando cana-de-açúcar era intenso (período de safra), tanto na rodovia como na cidade em si e na altura do ponto 5 havia uma queimada. Todos esses fatos contribuíram para o aumento da temperatura, que esteve muito similar aos valores encontrados em áreas mais densamente construídas, como por exemplo, o centro comercial.

Ainda no percurso N-S, a temperatura diminui e a umidade relativa aumentou significativamente no ponto 17, local que corresponde à localização do córrego da Estiva, onde o sensor registrou 18,8°C e 76%, ou seja, as intensidades que eram de 3,2°C e 16% no ponto 16 marcaram 1,2°C e 19% no ponto 17. Após esse trajeto, a temperatura voltou a aumentar ficando acima dos 21°C, com intensidades entre 5,2°C (ponto 24) e 3,9°C (ponto 30). Mais adiante, na Rua Irmãos Crisóstomo de Oliveira em direção ao centro, a temperatura decresceu novamente na passagem pelo córrego Maria Chica (ponto 31 e 32), onde se registrou temperatura absoluta de 20,7°C e intensidades de 3,1°C, 21% e 1,7g/Kg.

No centro e suas adjacências, teve-se novamente o aumento da temperatura e a queda da umidade relativa do ar, a partir dos pontos 34 até o ponto 44 do percurso N-S a temperatura esteve acima dos 22,7°C, com intensidades oscilando entre 5,1°C e 6,5°C e 2% e 13%. Esses pontos correspondem ao final da Rua Irmãos Crisóstomo de Oliveira, a toda a

Av. Olsen e a parte inicial do trajeto pela Rua Augusto Pereira de Moraes. Essas vias se assemelham com elevada densidade de edificação e intenso fluxo de veículos, porém distinguem-se em vegetação arbórea, apresentando arborização ausente e baixa.

A presença do terceiro fundo de vale com curso d'água nesse percurso (N-S) provocou novamente a queda da temperatura para 17,9°C no ponto 58, onde se registrou intensidade de 0,3°C e 23% (valor absoluto de 80%). Deste modo, foi possível notar que o percurso N-S apresentou significativas diferenças nas variáveis climáticas, as quais estão condicionadas às condições de relevo e vegetação.

Apesar disso, foi no percurso L-O que se registraram a mínima de temperatura e a máxima de umidade relativa e específica. Como já identificado nas análises anteriores, a porção leste do município, desde o ponto 01 até o 19, se caracterizou com a formação de uma ilha fresca e úmida, com intensidades entre 0 e 2,5°C e 22% e 33%. A mínima de temperatura (17,6°C) foi registrada no ponto 8 e a máxima de umidade relativa ocorreu no ponto 10, 11 e 12, que se referem respectivamente à localização do Ribeirão Lajeado e a área rural densamente arborizada, situada após a passagem pelo ribeirão. No tocante a umidade específica, esta apresentou localização distinta com valores mais altos de intensidade nos pontos 23, 24, 25 e 26, com máxima de 3,7g/Kg no ponto 23, local que se refere à área densamente edificada com vegetação arbórea baixa e média.

Na passagem pelo centro, na Rua Rui Barbosa e Avenidas Olsen, Luís Osório e Bento da Cruz, entre os pontos 28 e 40 do percurso L-O, a temperatura aumentou para em torno de 23,0°C e a umidade diminuiu para aproximadamente 70%, área em que as intensidades variaram entre 4,8°C e 5,6°C, 11% e 23% e 1,8g/Kg e 3,4g/Kg. A temperatura sofreu um pequeno declínio novamente nos pontos 43 e 44, onde se registrou valores abaixo dos 22°C.

Uma peculiaridade desse episódio foi o aquecimento expressivo do final do percurso L-O, principalmente nos pontos 45, 46, 49 e 50, onde as temperaturas ficaram acima dos 22,6°C e as intensidades oscilaram entre 4,8°C e 6°C e 6% e 17%. Essa parte do percurso abrange bairros de recente construção, como por exemplo, o Jardim do Lago IV, que se caracteriza apresentar média densidade de edificação, arborização baixa e existência de solos expostos, o que contribuiu para o aumento da temperatura e a queda da umidade (Figura 55).

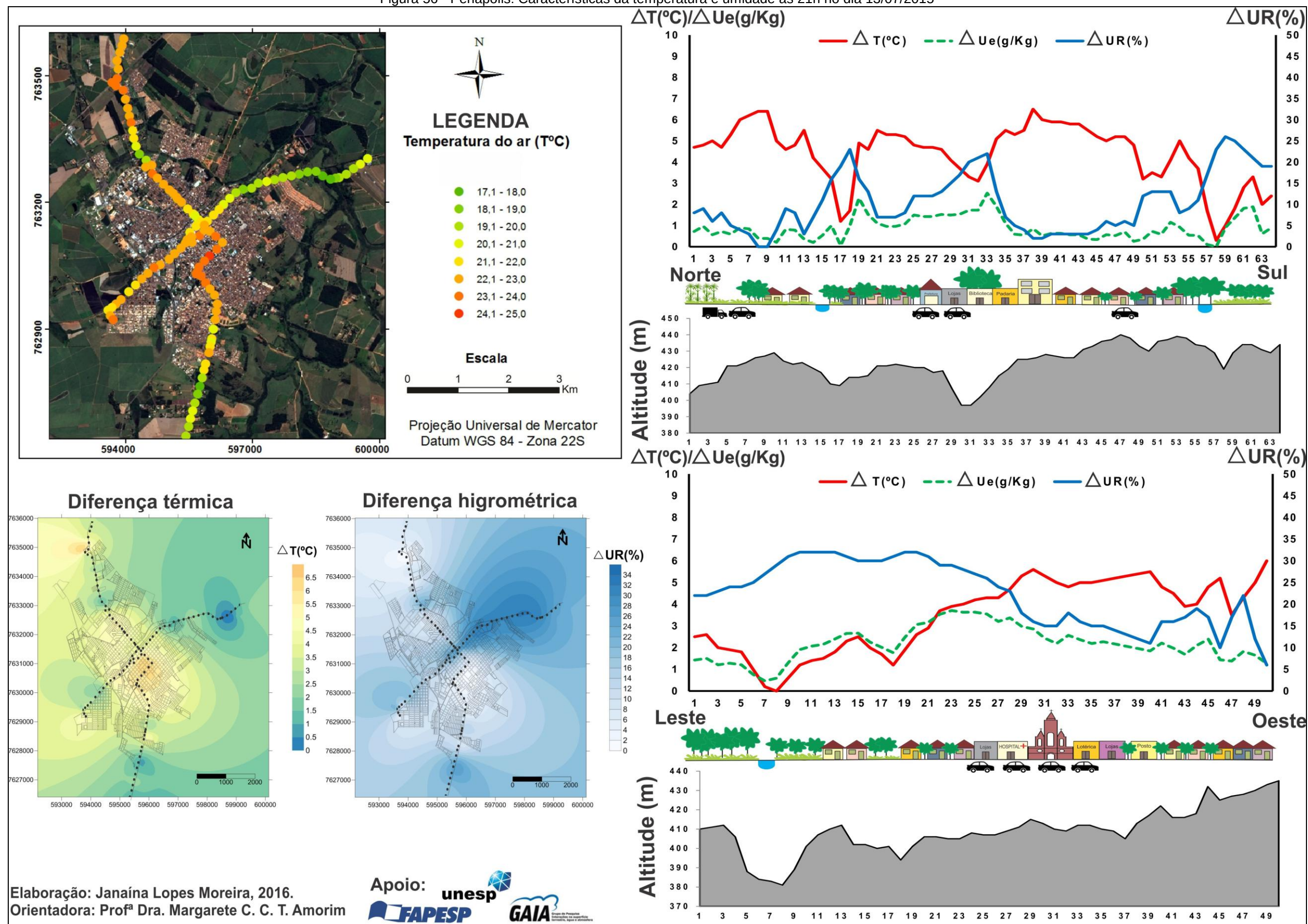
Figura 55 - Vista parcial do final do percurso L-O, onde se localiza os pontos 45, 46, 49 e 50



Fonte: Google Earth (2015)

Em síntese, esse episódio reproduziu alguns padrões de aquecimento e resfriamento já encontrados em dias anteriores, como a presença de uma ilha de umidade e de frescor bastante destacada na porção leste do município e uma ilha de calor e seca na porção central, com pico nos bairros adjacentes a sul do centro comercial. Como peculiaridade teve-se a formação de mais duas ilhas de calor e seca de menor intensidade nas porções norte (Rodovia Assis Chateaubriand) e oeste do município.

Figura 56 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 13/07/2015



Fonte: Elaborado pela autora.

8.15 Condições térmicas e higrométricas no dia 14 de julho de 2015

O dia 14 (terça-feira) foi marcado pela persistência do ar quente e úmido da massa Tropical Atlântica, que proporcionou máxima de 31°C, mínima de 19,1°C e umidade em torno de 70%. O tempo foi de céu claro e ventos fracos, que estiveram em calmaria no horário da realização dos percursos.

Em comparação ao dia anterior, a intensidade da ilha de calor teve um pequeno aumento para 6,7°C e as temperaturas absolutas foram bem mais elevadas, com mínima de 18,9°C e máxima de 25,6°C. A umidade apresentou valores similares aos encontrados no dia 14, com máxima de 89%, mínima de 56% e intensidade de 33% (Figura 57).

A máxima térmica ocorreu novamente na Av. Olsen, no ponto 38 do percurso N-S, onde se localizou também a intensidade zero de umidade relativa, com valor absoluto de 56%. Como já mencionado, esse ponto corresponde a uma área densamente edificada, vizinha ao centro comercial, com intenso fluxo de veículos e ausência de vegetação arbórea. Além disso, ainda nessa via, mais adiante, no ponto 39, ocorria um torneio de futsal no ginásio municipal, o que fez com que o fluxo de veículos e pessoas fosse ainda maior.

Todo o quadrilátero central e suas adjacências a leste e sul, na Rua Irmãos Crisóstomo de Oliveira, Av. Olsen e Rua Augusto Pereira de Moraes, do ponto 34 ao 48 do percurso N-S, apresentaram temperaturas acima dos 24°C e intensidades entre 5,1°C e 6,7°C. A umidade relativa e específica foram baixas, com intensidades oscilando entre 0% e 14% e 0,2g/Kg e 2,0g/Kg. A parte do centro comercial mais antigo e suas adjacências a oeste, dos pontos 29 ao 40 no percurso L-O, também exibiu temperaturas elevadas, acima dos 24°C, com intensidades entre 5°C e 6,1°C. A umidade relativa também foi baixa, com intensidades entre 7% e 13% (valores absolutos entre 65% e 69%).

O início do percurso N-S esteve novamente aquecido, principalmente no trajeto pelo trevo da Rodovia Assis Chateaubriand (SP – 425), entre os pontos 5 e 7, onde as temperaturas absolutas e as intensidades variaram respectivamente entre 24,8°C e 25,3°C e 5,9°C e 6,4°C. Os valores de umidade também foram baixos, com intensidades entre 1% e 5% e 0,3g/Kg e 0,8g/Kg. Nesse dia, novamente havia grande quantidade de solo exposto e intenso fluxo de veículos, sobretudo de caminhões transportando cana-de-açúcar.

Após a passagem por esses pontos, a temperatura caiu e a umidade se elevou, ficando com intensidades entre 2,5°C e 3,5°C e 14% e 22% entre os pontos 8 e 16. Contudo, foi no ponto 17, no córrego da Estiva, que ocorreram variações mais significativas, com queda da temperatura, e conseqüentemente, da intensidade da ilha de calor para respectivos 1,4°C e 20,3°C, e aumento da umidade relativa do ar, que registrou intensidade de 26%.

Outros padrões de aquecimento já identificados em episódios anteriores se repetiram no dia 14, como por exemplo, o aquecimento do final do percurso L-O, do bairro Jardim do Lago IV, representado entre os pontos 48 e 50, onde a temperatura esteve acima dos 22,5°C e a intensidade atingiu 4,9°C (ponto 50). Como já mencionado, esse setor corresponde á bairros recém-construídos que possuem solos expostos e arborização baixa, que normalmente no inverno, apresenta déficit hídrico.

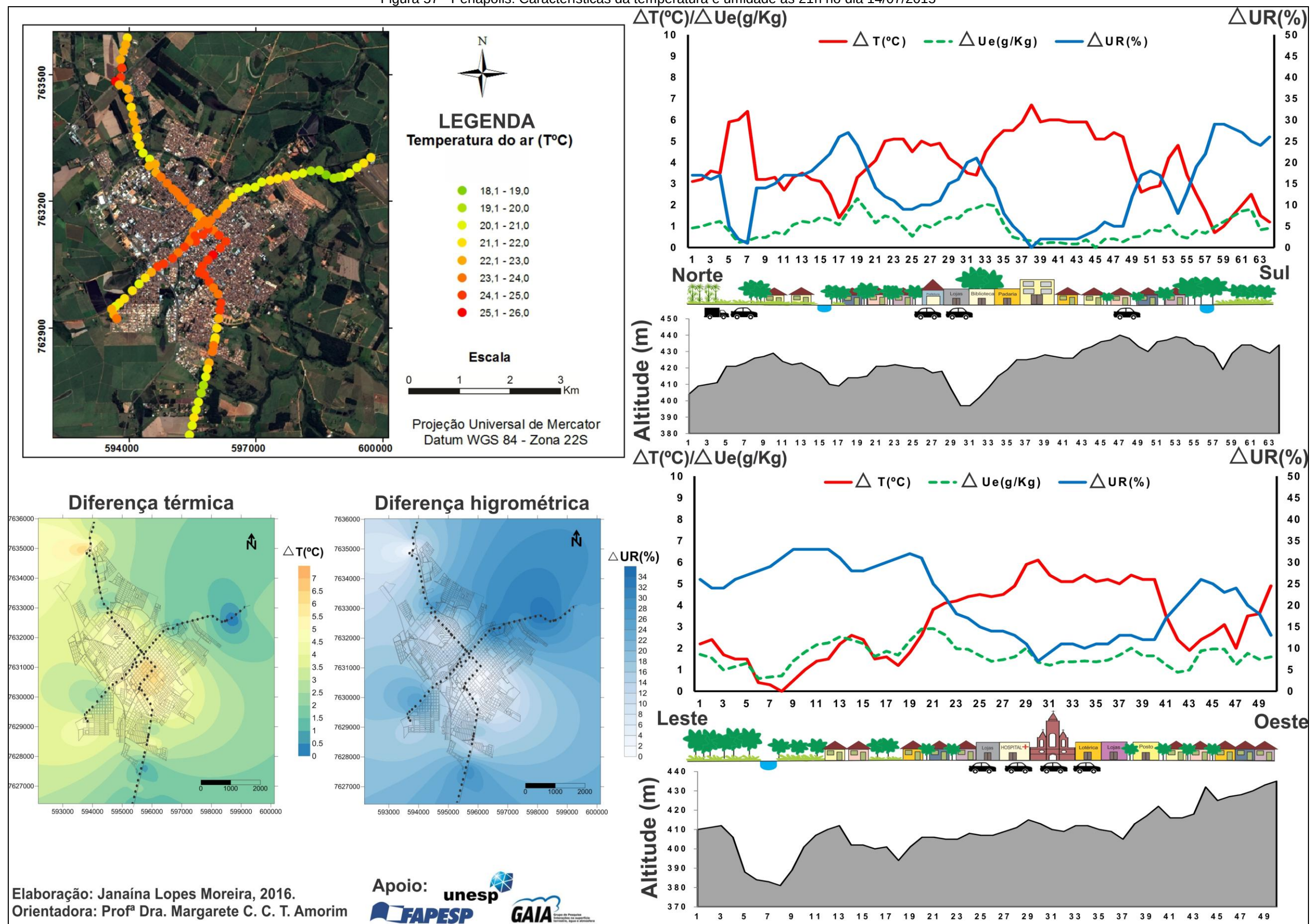
Os últimos bairros a norte, Jardim Del Rey e Residencial Florença, nos pontos 53 e 54 do percurso N-S, também estiveram aquecidos com temperatura acima dos 23°C e intensidades em torno de 4°C. Apesar da temperatura mais elevada, esses pontos apresentaram intensidades de umidade relativa e específica entre 8% e 13% e 0,6g/Kg e 1,0g/Kg, respectivamente. Os conjuntos habitacionais Benone e Gimenes, a leste, entre os pontos 13 e 15 do percurso L-O, também demonstraram pequeno aquecimento, ficando com temperaturas absolutas acima dos 21°C e intensidades entre 2,2°C e 2,6°C.

O ar mais fresco e úmido se corresponderam em localização e voltaram a se localizar a leste do município, entre os pontos 7 e 8 do percurso L-O, que correspondem a passagem pelo Ribeirão Lajeado, onde a temperatura atingiu a mínima de 18,9°C no ponto 7 e a umidade atingiu a máxima de 89%, com intensidades de zero e 33%, respectivamente. Ainda nesse percurso, mais adiante, no ponto 20 e 21, foi registrado o maior valor de umidade específica (14,5g/Kg), com intensidade de 2,9g/Kg. Esses pontos foram bem próximos à localização dos maiores valores encontrados no dia 13 (ponto 23) e se referem à área densamente edificada com vegetação arbórea baixa e média.

Os pontos 42, 43, 44 e 45 do percurso L-O também foi um trecho de queda da intensidade da ilha de calor e aumento da intensidade da umidade relativa, que oscilaram entre 1,9°C e 2,7°C e 20% e 25%, respectivamente. Essas características estão associadas a grande presença de vegetação arbórea a direita da Av. Sergio Moura, como pode ser observado na Figura 48. Outro setor de ar mais fresco e úmido foi o final do percurso N-S, no ponto 58, que se refere a localização de um pequeno fundo de vale vegetado, onde as intensidades registradas foram de 0,7°C e 29%, com valores absolutos de 19,6°C e 85%.

De maneira geral, esse episódio reproduziu os padrões de aquecimento e resfriamento do dia anterior, porém com maiores valores de temperatura absoluta. Portanto, houve a presença de uma ilha úmida e de frescor de maior intensidade na porção leste do município (Ribeirão Lajeado), e mais três de ilhas de menor intensidade a sul (córrego no ponto 58), a norte (Córrego da Estiva) e a oeste (Av. Sergio Moura). A ilha de calor e seca de maior intensidade esteve localizada na porção central, nos bairros adjacentes a sul do centro comercial, com pico de intensidade na Av. Olsen. Entretanto, ilhas de calor e secas de menor intensidade também foram detectadas a norte (Rodovia Assis Chateaubriand), a oeste (Jardim do Lago IV) e a sul (bairros Jardim Del Rey e Residencial Florença).

Figura 57 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 14/07/2015



8.16 Condições térmicas e higrométricas no dia 15 de julho de 2015

O dia 15 de julho (quarta-feira) foi caracterizado pela mudança de tempo causada pela atuação da Frente Polar Atlântica que não provocou chuvas e ventos muito fortes, porém trouxe bastante nebulosidade para região. Consequentemente, a insolação foi menor e as temperaturas tiveram declínio em relação ao dia anterior. Durante o dia foi registrado máxima de 28,4°C, mínima de 19,8°C e umidade em torno de 70%. Em decorrência do tempo estável, observado durante todo o dia e início da noite, optou-se pela realização dos percursos, que em seu início às 21h, contava com ventos em calmaria.

Esse episódio registrou intensidades máximas de 4,6°C e 24%, configurando assim, as menores intensidades encontradas entre os 16 episódios analisados. Apesar disso, a ilha de calor ainda pode ser classificada como de forte magnitude segundo Fernández García (1996).

Nesse dia, o pico de maior intensidade voltou a se localizar no centro comercial mais antigo, mais especificamente no ponto 31 do percurso L-O, na Av. Luís Osório, onde a intensidade atingiu 4,6°C, temperatura absoluta de 24,3°C (Figura 58). Nesse setor também foi encontrado a menor intensidade de umidade relativa, com zero de intensidade e valor absoluto de 64% no ponto 33 (Av. Bento da Cruz). Assim, todo o centro comercial e os bairros vizinhos a leste, desde o ponto 22 até o ponto 38 do percurso L-O, também apresentaram intensidade da ICU elevada, acima dos 4°C, com temperaturas variando entre 23,7°C e 24,3°C. Inversamente proporcional esse trecho também foi o mais seco com intensidades entre 0% e 4% de umidade relativa (valores absolutos entre 64% e 68%) e 0,1g/Kg e 0,7g/Kg (valores absolutos entre 12,4g/kg e 13g/kg).

O início do percurso N-S, entre os pontos 1 e 7, esteve aquecido novamente, com temperaturas acima dos 22,6°C e intensidades entre 2,9°C e 3,4°C. A umidade foi baixa com intensidade entre 5% e 8% e 0,1g/kg e 0,5g/kg. A mata em frente ao bairro Silvia Covas, ponto 9 do percurso N-S, voltou a interferir nos valores registrados, visto que nesse local a temperatura declinou para 20,9°C, com intensidades de 1,2°C e 15% (valores absolutos de 20,9°C e 79%).

Nesse episódio o córrego da Estiva não apresentou grande influência nos dados, foi no ponto 18 do percurso N-S, que a temperatura teve novamente um declínio para 21,4°C (intensidades de 1,7°C e 15%). Esse ponto corresponde a uma área de baixa arborização elevada como pode ser observado na Figura 49.

O Ribeirão Lajeado a leste continuou influenciando os valores registrados, caracterizando-se como uma área de ar mais fresco e úmido, com intensidade zero de ilha de calor e 21% de umidade relativa (valores absolutos de 19,7°C e 85%). No entanto, foi

mais adiante, nos pontos 9 e 10, que a umidade relativa atingiu a máxima intensidade de 24%, com valor absoluto de 88%. Destaque para o ponto 10, onde a umidade específica atingiu 1,8g/Kg.

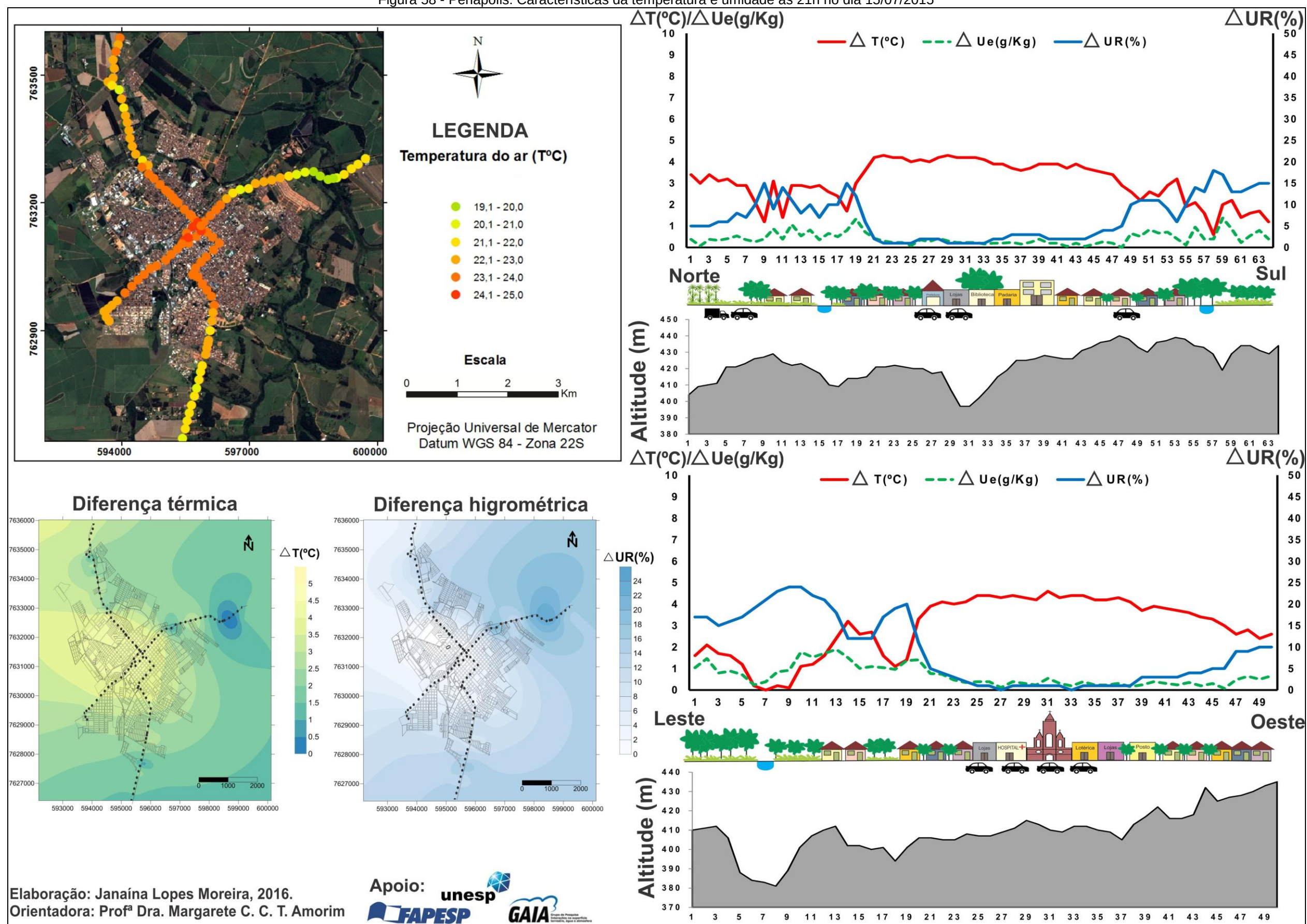
Esses valores foram modificados na passagem pelos pontos 13, 14, 15 e 16, que correspondem à localização dos conjuntos habitacionais Benone e Gimenez, onde a temperatura se elevou, a umidade relativa teve queda e as intensidades variaram entre 2,4°C e 3,2°C e 12% e 18%, porém foi no ponto 13 que a umidade específica atingiu a intensidade máxima de 1,9g/Kg. Os valores voltaram a mudar nos pontos 17 e 18, onde as intensidades ficaram entre 1,1°C e 1,6°C e 17% e 19%. Esses pontos se referem a vazios urbanos entre a malha consolidada e os conjuntos habitacionais Benone e Gimenez, onde densidade de edificação é baixa e a vegetação é alta, vide Figura 38.

Outro setor de temperatura mais baixa e de umidade elevada foi novamente o ponto 58 do percurso N-S, onde a temperatura declinou para 20,3°C e as intensidades foram de 0,6°C e 18%. Como já foi mencionado, esse ponto se refere a um pequeno fundo de vale com curso d'água.

Nesse episódio, nos pontos 42 ao 45 do percurso L-O não ocorreram valores baixos, como observado nos dias anteriores, pelo contrário, esses pontos se apresentaram tão quentes quanto os bairros vizinhos ao centro comercial, com intensidades entre 3,3°C e 3,7°C e 3% e 5%. Logo, a grande quantidade de vegetação arbórea presente no lado direito da Av. Sergio Moura, não interferiu nos valores registrados.

Em suma, esse episódio demonstrou um aquecimento centro-periferia, que foi interrompido em alguns pontos pela presença de fundos de vale e de vegetação arbórea densa. Portanto, teve-se a formação de uma ilha de calor de magnitude forte com pico de intensidade na área central de uso predominantemente comercial, densamente edificada, com vegetação arbórea ausente e baixa. Houve também aquecimento de outras áreas, como os conjuntos habitacionais a leste e o início do percurso N-S, ambas em virtude da quantidade de solos expostos e da ausência de vegetação arbórea. A ilha úmida e fresca de maior intensidade ficou novamente posicionada a leste, onde situa o Ribeirão Lajeado. Ilhas úmidas e frescas de menor intensidade estiveram localizadas a norte, na mata em frente ao bairro Silvia Covas, e a sul, onde há também a presença de um pequeno córrego.

Figura 58 - Penápolis: Características da temperatura e umidade às 21h no dia 15/07/2015



9 SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS POR MEIO DE MEDIDAS FIXAS E MEDIDAS MÓVEIS

9.1 Características gerais das ilhas térmicas e higrométricas em Penápolis

De maneira geral, pode-se inferir que as condições de tempo influenciaram nas intensidades dos elementos do clima medidos nos monitoramentos tanto das medidas fixas quanto das medidas móveis em ambas as estações analisadas. A velocidade do vento e a presença de precipitação propiciaram o deslocamento das ilhas e a diminuição de seus efeitos.

Assim, sob condições de estabilidade atmosférica, a ilha de calor urbana alcançou intensidade máxima de 3,5°C nas medidas fixas e 9,5°C nas medidas móveis, ambas registradas no verão. Enquanto que, sob condições de instabilidade no tempo, a máxima registrada foi de 2,8°C nas medidas fixas, também registrada no verão. Para as medidas móveis pode se mencionar o episódio do dia 30 de junho de 2015, quando a ilha de calor urbana foi totalmente amenizada e deslocada pelos ventos fortes oriundos da chegada de uma frente.

Portanto, outra similaridade entre os dados fixos e móveis foi à variabilidade estacional, uma vez que as ilhas de calor e secas apresentaram maior expressividade no verão, com máxima em dezembro para as medidas fixas e em janeiro para as medidas móveis. Este fato que está associado à grande quantidade de radiação disponível para o aquecimento da superfície e do ar no período.

9.2 Síntese dos resultados encontrados por meio das medidas fixas

Para as medidas fixas foi observado que em dezembro ocorreu uma ilha de calor praticamente constante entre 23h e 24h de duração, enquanto que janeiro já apresentou menor duração, entre 21h e 24h. Julho e junho apresentaram similaridades em duração entre 15h e 16h.

No que tange as intensidades, de maneira geral, pode-se afirmar que os maiores valores da ilha de calor ocorreram pela noite e madrugada com exceção para dezembro, que teve um padrão mais distinto e apresentou em dias sem chuva e em dias com vento a maior intensidade às 9h. Todos os outros meses estudados apresentaram máxima intensidade às 23h e à 1h ou em ambos os horários.

A ilha de frescor teve atuação bastante fraca durante o verão, sendo inexistente em dezembro e pouco expressiva em janeiro, com intensidades menores que $-0,5^{\circ}\text{C}$. Já no inverno sua duração e intensidades foram mais elevadas, com início às 11h, término às 17h e a intensidade máxima ocorreu em dias com vento e foi de $-1,9^{\circ}\text{C}$ às 11h do mês de junho.

A presença da ilha fresca nesse período do dia, especialmente no inverno, é explicada pelas características de uso e cobertura da terra rural nesse período, quando a vegetação da zona rural diminuiu consideravelmente em virtude do período de estiagem e da colheita da cana, apresentando assim muito solo exposto. Vale lembrar que, o solo exposto tem maior capacidade de aquecimento do que os materiais construtivos urbanos, portanto, foi capaz de se aquecer mais durante o dia, e por sua vez aquecer o ar na zona rural.

Entretanto, assim como o solo exposto ganha calor mais rapidamente se comparado aos materiais construtivos urbanos, esse também perde calor com maior rapidez do que as áreas urbanas. Logo, às 19h, a zona rural se encontrava menos aquecida do que a cidade, configurando assim o horário de início da ilha de calor, que de maneira geral, atuou das 19h às 9h.

Em relação à umidade relativa do ar foram observadas maiores similaridades entre os meses e estações e até mesmo entre os dias com vento, sem vento e sem chuva. Em síntese, durante o período analisado, a ilha seca esteve presente no período noturno e nas primeiras horas da manhã, com início às 23h e término às 9h. O que variou foi o horário de seu início, que em alguns dias se deu às 21h. Sua máxima intensidade ocorreu em dezembro em dias sem chuva, com $-9,4\%$ às 7h. Os dias com chuva foram exceção, pois no inverno não houve a formação de ilhas secas em nenhum horário do dia.

Portanto, as ilhas de calor e seca se corresponderam em variabilidade diária, as duas atuaram concomitantemente na zona urbana, principalmente em dias de estabilidade atmosférica (dias sem vento e dias sem chuva). Além disso, ressalta-se, que ambas também tiveram suas intensidades máximas no mês de dezembro que aliado a uma duração de 24h de ilha de calor, também identificada nesse mês, indica uma situação agravante à qualidade de vida dos cidadãos, uma vez que os desconfortos térmicos naturalmente causados no ambiente tropical nessa estação foram potencializados pela presença desses fenômenos.

As ilhas úmidas ocorreram pela tarde e início da noite, entre às 11h e 21h, porém em alguns dias seu término foi adiantado para as 19h ou atrasado para as 23h. O que fugiu a esse padrão foram os dias com chuva, que como já mencionado, apresentaram ilhas úmidas durante todas as horas do dia nos meses de junho e junho (inverno). Sua máxima intensidade de 20% ocorreu em dias sem chuva às 15h no mês de junho. Aliás, esse horário representou em todas as análises as maiores expressividades da ilha úmida, apresentando sempre as maiores intensidades do dia.

Logo, verificou-se que em Penápolis os efeitos das ilhas de calor e seca são minimizados pela manhã e pela tarde, sobretudo às 17h, quando a temperatura urbana está semelhante ou mais baixa do que a rural, o que pode estar relacionado a:

A orientação das diferentes superfícies urbanas (muros e tetos), que geram fenômenos de múltiplas reflexões nos cânions urbanos. Isto gera uma redução da energia perdida até o espaço tanto de onda longa (e gera uma redução do albedo efetivo a respeito ao albedo de cada superfície) como de onda longa, que é um dos fatores responsáveis pela formação da ilha de calor urbano. Por outro lado, os fenômenos de sombra podem modificar a evolução diária da temperatura do ar, particularmente nas primeiras horas da manhã e final da tarde (MARTILLI, 2012, p. 165).

Assim, sobretudo no inverno, as áreas densamente construídas sofrem com o efeito sombra causado pela fraca incidência e inclinação dos raios solares, que interferiram na absorção da radiação e provocaram maior resfriamento do ponto urbano.

No que diz respeito às condições meteorológicas, pode-se afirmar que a precipitação foi o elemento de maior influência na dinâmica atmosférica, visto que nos dias com chuva foram registradas as menores intensidades das ilhas de calor. Em contrapartida, foram nos dias sem vento que resultaram nas maiores intensidades.

Portanto, com a intensidade média máxima de 3,5°C, as medidas fixas indicaram a existência de uma ilha de calor de magnitude moderada, com pico de maior força pela noite e fraca atuação durante a tarde, porém sua intensidade ficou condicionada às condições atmosféricas, tendo queda nos dias de instabilidade atmosférica.

Algumas das considerações aqui mencionadas foram sintetizadas nos quadros 6 e 7, nos quais estão representadas as intensidades médias máximas horárias por estação do ano³⁰ de acordo com os diferentes dias de coleta em campo. Os dados gerais se referem a todos os dias de coleta do período, ou seja, dias com e sem vento e dias com e sem chuva.

³⁰ Conforme já mencionado nos procedimentos, para as intensidades de cada estação foram calculadas a média das intensidades dos meses de dezembro e janeiro para o verão e de junho e julho para o inverno.

Quadro 6 - Intensidades médias máximas horárias das ilhas de calor e frescor em Penápolis.

Horas	Dias/tipo de tempo									
	Dados gerais		Dias chuvosos		Dias sem chuva		Dias com vento		Dias sem vento	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
01h	2,1	2,2	1,5	0,5	2,5	2,5	1,9	1,9	2,3	2,5
03h	1,9	2,1	1,4	0,1	2,2	2,5	1,7	1,6	2,1	2,5
05h	1,5	1,5	0,9	-0,1	2,0	1,8	1,4	1,0	1,8	1,9
07h	1,9	1,8	1,4	0,1	2,3	2,1	1,7	1,2	2,5	2,3
09h	2,0	1,5	1,2	-0,1	2,4	1,8	2,1	1,1	1,8	1,7
11h	1,2	-0,9	0,7	-0,5	1,3	-0,9	1,1	-1,2	1,5	-0,7
13h	0,9	-1,5	0,8	-0,6	0,8	-1,6	1,0	-1,1	0,6	-1,6
15h	0,8	-1,2	1,1	-0,3	0,6	-1,4	1,0	-1,1	0,2	-1,3
17h	0,2	-0,8	0,4	-0,1	0,1	-0,8	0,3	-0,5	-0,4	-1,0
19h	1,0	1,6	0,8	0,7	1,1	1,8	1,0	1,3	1,2	1,8
21h	2,3	2,1	1,7	0,9	2,5	2,4	2,2	1,7	2,9	2,4
23h	2,6	2,3	1,9	0,9	3,0	2,6	2,6	1,6	3,0	2,8
Legenda										
Intensidades médias das ilhas de calor em graus Celsius (°C)					Intensidades médias das ilhas de frescor em graus Celsius (°C)					
	De 2,1°C a 3°C					De -1,1°C a -1,6°C				
	De 1,1°C a 2°C					De -0,6°C a -1°C				
	De 0,1 a 1°C					De -0,1 a -0,5°C				

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 7 – Intensidades médias máximas horárias das ilhas secas e úmidas em Penápolis.

Horas	Dias/tipo de tempo									
	Dados gerais		Dias chuvosos		Dias sem chuva		Dias com vento		Dias sem vento	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
01h	-6,0	-2,6	-5,3	4,1	-6,4	-3,9	-6,1	-2,6	-5,9	-2,7
03h	-6,5	-3,8	-5,7	5,6	-6,9	-5,4	-6,8	-3,8	-5,9	-3,8
05h	-7,0	-4,5	-6,4	5,3	-7,4	-6,1	-7,1	-3,8	-6,3	-4,9
07h	-8,1	-4,8	-6,4	4,5	-8,9	-6,3	-8,6	-4,6	-5,8	-4,9
09h	-4,1	-4,4	-3,2	4,7	-4,5	-5,7	-4,1	-2,6	-4,5	-5,7
11h	6,7	11,0	6,3	6,1	7,2	11,9	6,3	11,5	7,4	10,3
13h	12,4	16,1	11,2	8,4	13,2	17,6	12,0	16,4	12,9	15,6
15h	14,8	17,4	13,7	9,7	15,7	18,9	14,5	16,6	15,0	17,7
17h	14,9	12,6	12,7	9,0	16,1	13,3	14,9	12,6	15,3	12,4
19h	8,1	5,6	6,3	7,6	9,1	5,3	8,6	5,6	7,8	5,7
21h	-0,2	1,3	0,3	5,9	-0,7	0,7	0,1	2,1	-1,1	0,9
23h	-4,9	-1,0	-3,6	5,4	-5,8	-2,0	-5,1	-0,6	-4,4	-1,0
Legenda										
Intensidades médias das ilhas secas em umidade relativa (%)					Intensidades médias das ilhas úmidas em umidade relativa (%)					
De -6,1% a -9%					De 12,7% a 18,9%					
De -3,1% a -6%					De 6,4% a 12,6%					
De -0,1% a -3%					De 0,1% a 6,3%					

Fonte: Elaborado pela autora.

9.3 Síntese dos resultados encontrados por meio das medidas móveis

A partir das medidas móveis foi possível traçar um perfil termo-higrométrico de Penápolis. Este, por sua vez, esteve condicionado às características geoambientais e geourbanas, tais como relevo, vegetação, orientação das vertentes, densidade de edificação e as dinâmicas urbanas.

Portanto, de posse dos mapas térmicos, das isotermas e dos gráficos de temperatura, foi identificado em Penápolis um padrão de aquecimento centro-periferia, caracterizado pelo aquecimento mais intenso no centro da cidade e em áreas densamente ocupadas, próximas ao centro e queda da temperatura afastando-se do centro em direção a periferia. Essa mudança coincidiu com o aumento da vegetação e a diminuição da densidade de edificação

Esse padrão foi alterado somente na passagem por áreas de fundo de vale, que em noites de condições de estabilidade de tempo, como as observadas neste estudo, no ambiente rural os fundos de vales foram favoráveis às temperaturas mais baixas e a umidade mais elevada, como se observou nas porções leste (Ribeirão Lajeado), norte (Córrego da Estiva) e sul do município.

Dentre essas áreas, se destacou o fundo de vale do Ribeirão Lajeado, a leste, onde geralmente foram registrados os menores valores de temperatura e os maiores valores de umidade. Esta característica está associada à cobertura vegetal arbórea e a sua maior profundidade, largura e volume de água uma vez que:

A razão entre a profundidade do vale (h) e sua largura (l) altera também e seu desempenho térmico, devido ao aumento ou diminuição do sombreamento e da maior capacidade de condução dos ventos pelo vale. Quanto maior a razão h/l , maior o sombreamento, menor a temperatura do ar, e maior o potencial de canalização dos ventos no vale (DACANAL *et. al.*, 2008, *online.*).

No entanto, a massa de ar fresco e úmido dos fundos de vale pode ser conduzida às áreas circunvizinhas ao longo de seu curso pela ação dos ventos. Por essa razão, em alguns episódios, ar úmido e fresco foi deslocado para outros pontos do percurso L-O, porém com a baixa velocidade dos ventos esse não atingiu os setores urbanos, permanecendo no rural próximo ao vale, geralmente, um ou dois pontos mais adiante do Ribeirão Lajeado.

Logo, ressalta-se, o papel dos fundos de vale como amortizadores da intensidade da ilha de calor com seu ótimo desempenho térmico, decorrente da conformação de

microclimas mais úmidos e com menor temperatura. No entanto, esse microclima gerado nos fundos de vale é diretamente afetado pelos tipos de uso e ocupação da terra de seu entorno próximo.

Consequentemente, fundos de vale que já tiveram sua vegetação natural suprimida e passaram por canalização, bem como o adensamento construtivo às suas margens, têm seu potencial de diminuição da temperatura do ar e a condução por ventilação prejudicados, já que as inúmeras barreiras construídas impedem a movimentação do ar fresco ao longo dos vales ou através deles. Já vales vegetados permitem que os ventos atuem nas copas, conduzindo o ar resfriado e úmido para o entorno (DACANAL *et. al.*, 2008). Situação essa que pode ser observada na passagem pelo córrego Maria Chica, fundo de vale com margens totalmente urbanizadas próximo ao centro comercial, onde a temperatura e a umidade tiveram poucas variações.

Destaca-se também, a importância da posição do sítio urbano, sendo que no hemisfério sul, as vertentes voltadas para norte recebem maior quantidade de energia solar e, portanto, tendem a se aquecer mais. Logo, setores como o centro comercial e seus bairros adjacentes principalmente a sul da malha urbana estiveram mais expostos à radiação solar, e consequentemente, apresentaram suas temperaturas mais elevadas.

Os valores medidos comprovam essa relação, uma vez que a intensidade máxima da ilha de calor em Penápolis de todos os episódios foi registrada nas avenidas centrais, tais como Av. Rui Barbosa, Av. Luís Osório, Av. Bento da Cruz e Av. Olsen, todas pertencentes ao centro comercial, salvo a Av. Olsen que se localiza no bairro adjacente a sul. Além desses, os bairros no final do percurso L-O e o trajeto pelo trevo da Rodovia Assis Chateaubriand (SP – 425) também foram influenciados pela orientação do relevo, pois ambos se localizam em vertentes orientadas ao quadrante norte.

Por outro lado, vertentes direcionadas ao quadrante sul recebem menor quantidade de radiação ao longo do dia, e por essa razão, apresentam-se menos aquecidas, como foi o caso do início do percurso N-S, nas proximidades do Córrego da Estiva, pontos 17 e 18, e final do percurso N-S, entre os pontos 55 ao ponto 64, onde as temperaturas foram mais baixas.

Outro importante fator que influenciou os valores medidos foram as áreas urbanas vegetadas, as quais apresentaram o potencial de resfriamento do ar, configurando microclimas frescos e úmidos. Como foi o caso do ponto 9 do percurso N-S e dos pontos 41 ao 44 do percurso L-O, que se referem à localização de uma quantidade significativa de vegetação arbórea, onde comumente a temperatura teve declínio e a umidade se elevou.

Dentre os benefícios da vegetação urbana podemos citar a elevação da umidade do ar através dos processos de evapotranspiração; aumento das superfícies permeáveis do solo, que retêm mais umidade; sombreamento decorrente da arquitetura foliar das plantas; e

absorção de parte da radiação solar no processo fotossintético. Assim, a vegetação, especialmente a arborização nas áreas urbanas, traz muitos benefícios para o campo termohigrométrico das cidades, principalmente pela melhoria do conforto, através da redução da absorção de radiação de onda longa pelas superfícies, e consequentemente, do calor emitidos por estas, e do uso da energia absorvida, convertida em calor latente, nos processos de evapotranspiração (DACANAL *et. al.*, 2008; GARTLAND, 2010).

A densidade de edificação foi o principal fator de aumento da temperatura, pois foram nas áreas mais densamente edificadas onde a ilha de calor apresentou maior força. Portanto, os locais de máxima térmica apresentaram padrão espacial, localizando-se sempre nas avenidas do centro comercial, pontos 26 ao 31 do percurso L-O e pontos 34 ao 44 do percurso N-S, com destaque para o ponto 30 e 31 do percurso L-O e para o ponto 38 do percurso N-S, onde, em grande parte do período analisado, estiveram a maior temperatura e a menor umidade relativa.

Foi identificado também o aquecimento do setor a leste, onde se encontraram os conjuntos habitacionais densamente construídos, bairros Benone e Gimenez, que apesar de se localizarem distantes do centro e descontínuos ao tecido urbano consolidado, apresentam características de uso e ocupação da terra bastante semelhante aos encontrados nos bairros centrais, tais como a ausência de vegetação e a elevada densidade de edificação. Entretanto, em razão de sua proximidade do Ribeirão Lajeado, seu aquecimento foi atenuado no inverno, quando o potencial de resfriamento dos fundos de vale é ainda maior.

Assim, no que se refere às variações estacionais, foi possível observar maior influência dos fundos de vale sobre o campo térmico-higrométrico em Penápolis durante a estação de inverno, dado que mesmo aqueles presentes na área urbana afetaram os valores registrados, proporcionando aumento de umidade e queda da temperatura.

As dinâmicas urbanas também foram fatores influenciadores no campo termohigrométrico de Penápolis, pois notadamente o maior fluxo de veículos e pessoas em algumas vias por causa de eventos provocou acréscimo de calor na atmosfera urbana. Esse foi o caso dos episódios do dia 13 junho e 14 de julho, quando ocorreram dois eventos, coincidentemente ambos na Av. Olsen, onde houve intenso fluxo de veículos e pessoas, que repercutiu no aumento da temperatura ao longo de toda avenida, resultando nas maiores intensidades da ilha de calor nesses dias.

Ainda nesse sentido, pode-se indicar também o aquecimento do trecho pelo trevo da Rodovia Assis Chateaubriand (SP – 425), pontos 6 e 7 do percurso N-S, que dá acesso ao perímetro urbano, onde foram registrado também valores bastante elevados de temperatura e baixos de umidade em decorrência do intenso fluxo de veículos, sobretudo no inverno, quando ocorria a colheita da cana-de-açúcar e o tráfego de caminhões era intenso.

Em suma, por meio das medidas móveis foram detectadas três células separadas de ilha de calor e seca. A célula maior e de maior intensidade esteve posicionada sobre o centro comercial mais antigo com prolongamento nos bairros adjacentes. Esse resultado é o padrão clássico, frequentemente encontrado nos estudos de ilha de calor urbana, em que o centro da ilha é bem definido e localizado no centro da cidade, onde ocorre a maior densidade de edificação.

A segunda e terceira células apresentaram intensidades semelhantes e puderam ser observadas a norte, no trecho pela Rodovia Assis Chateaubriand (SP – 425), e a leste, nos conjuntos habitacionais densamente edificadas, respectivamente. Enquanto a segunda teve maior força no inverno, em virtude do intenso fluxo veículos causado pela safra da cana, a terceira esteve atenuada pela maior atuação do fundo de vale nessa estação, logo, sua maior expressividade se deu no verão.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de urbanização em Penápolis, como ocorreu na maioria das cidades brasileiras já estudadas, modificou as propriedades meteorológicas do ar urbano com o incremento da temperatura e decréscimo da umidade nas áreas urbanizadas, configurando assim o “clima urbano”.

No entanto, com base no conjunto de análises, da caracterização geoambiental e urbana, da geração de dados, do processamento e representação destas informações, foi possível não somente constatar a existência de um clima urbano na cidade de Penápolis, como correlacionar a variação das diferenças de temperatura e umidade à estruturação do espaço intraurbano.

Portanto, foi possível identificar áreas que, pelas suas características paisagísticas se apresentaram mais aquecidas do que seu entorno, dando origem assim, às ilhas de calor. Houve também áreas menos aquecidas, que formaram as ilhas frescas. Diferenças na umidade também foram verificadas, sendo constatadas as formações de ilhas úmidas e ilhas secas.

As ilhas de calor foram identificadas nos setores mais densamente edificadas, logo, todos os bairros centrais mais antigos apresentaram elevação da temperatura e queda da umidade, ou seja, sofreram com os desconfortos da presença da ilha de calor e seca em sua máxima magnitude. As temperaturas mais baixas, e, conseqüentemente, as menores intensidades da ilha de calor, foram observadas nos bairros periféricos pouco adensados, nas áreas rurais e fundamentalmente nos fundos de vale do meio rural próximo à malha urbana.

Assim, os pontos iniciais e os finais dos percursos, com regularidade, obtiveram as temperaturas mais amenas e os maiores valores de umidade relativa do ar, fortalecendo a ideia de que o campo termo-higrométrico é diferenciado entre às áreas rurais próximas e as áreas intraurbanas. Como exceção podemos citar os bairros periféricos a leste, que em alguns episódios de inverno se apresentaram aquecidos devido a suas características de elevada densidade de edificação e baixa vegetação.

A respeito da intensidade da ilha de calor, a mínima identificada foi de 4,6°C em condições de inverno e a máxima foi de 9,5°C em condições de verão. Dentre os dezesseis episódios analisados, nove apresentaram intensidades em torno de 6°C, três em torno de 7°C e dois em torno de 5°C. Deste modo, de acordo com Fernández García (1996), que estabeleceu a classificação das magnitudes das ilhas de calor, em Penápolis foram registradas ilhas de calor de magnitude forte e muito forte.

Esses resultados se apresentam em conformidade com o primeiro estudo climático de Penápolis realizado por Silva; Tommaselli; Amorim (2002), pautado na instalação de sete

miniabrigos meteorológicos em diferentes locais do perímetro urbano. Foram coletados dados térmicos e higrométricos horários durante todo o mês de julho de 1999. Dentre os pontos destaca-se três que também foram utilizados nessa pesquisa: a prefeitura, a sede do DAEP e o Ribeirão Lajeado.

Os resultados apontaram o ponto da prefeitura situado no centro comercial antigo como o de maior temperatura, com maior aquecimento em praticamente todos os horários analisados, salvo o período da tarde. O ponto da sede do DAEP, também utilizado nessa pesquisa nas medidas fixas, apresentou aquecimento secundário, já o ponto que se refere ao Ribeirão Lajeado foi considerado o mais frio e úmido, ou seja, com menor temperatura e maior umidade. Às 21h, em dias de tempo estável, a diferença entre os pontos da Prefeitura e do Ribeirão Lajeado chegou a 8°C (SILVA; TOMMASELLI; AMORIM, 2002).

Assim, os autores concluíram que Penápolis já apresentava a formação de um clima urbano e que este se expressava através da formação da ilha de calor urbana, a qual ficava mais nitidamente definida a partir das 19h, com pico de definição às 21h e sua desintensificação a partir das 23h. Esse mesmo padrão também foi visualizado em nossos registros de campo, realizados às 20h, 21h e 22h.

Portanto, as variações de temperatura e umidade mostraram correspondência com a densidade de edificações, pois notou-se que sempre as áreas mais aquecidas foram as mais densamente construídas. A quantidade de vegetação arbórea também mostrou correlação com as variáveis climáticas analisadas, em que sua maior quantidade esteve associada à temperatura baixa e umidade elevada, por outro lado, bairros com vegetação arbórea ausente e/ou baixa demonstraram elevado aquecimento.

Desta forma, as análises com base nas medidas móveis confirmaram que o tamanho da cidade não é fator determinante nas intensidades das ilhas de calor, mas sim a forma como se estrutura o espaço urbano, uma vez que se entende que as modificações na atmosfera urbana ocorreram pela supressão de áreas verdes, aumento das áreas impermeabilizadas e utilização de materiais construtivos com alta condutividade térmica e capacidade calorífica.

Assim, os problemas encontrados na área de estudo não estão no estágio inicial, logo, solucioná-los são demandas importantes e imediatas, que necessitam de metodologias adequadas. A principal delas é o maior investimento em ações de planejamento e gestão que priorizem os aspectos ambientais, principalmente os benefícios trazidos pela vegetação, como por exemplo, o aumento da arborização das vias, a implantação de áreas verdes e a revitalização das que já existem, dado que muitas dessas nos últimos anos tiveram sua vegetação arbórea reduzida, e, portanto, não cumprem com suas funções de regulador térmico.

Além da necessidade de maior cobertura arbórea na área urbana, deve-se destacar também a importância das coberturas frescas, já que mesmo os bairros de arborização elevada apresentaram intensidade de ilha de calor significativa, especialmente em episódios de verão, quando os desconfortos naturalmente gerados por esta condição de tempo se faziam presentes.

À respeito dos benefícios das coberturas frescas destaca-se o maior conforto dentro dos edifícios, economia de água e luz, menos manutenção, redução dos picos de demanda de energia, níveis de poluição do ar reduzidos e menos resíduos de materiais de coberturas enviados para aterros. Portanto, a substituição de coberturas existentes por coberturas frescas também diminuem os efeitos das ilhas de calor em nossas cidades, uma vez que este tipo de cobertura tem como característica a alta refletância solar, conhecido também como albedo, e a alta emissividade térmica, que a mantém mais frias sob o sol, geralmente atingindo picos de aquecimento do alvo na ordem de 40-60°C, enquanto as coberturas tradicionais alcançam temperaturas entre 50-90°C (GARTLAND, 2010).

Medidas em relação ao uso e cobertura da terra também se fazem necessárias, fundamentalmente no sentido da fiscalização da ocupação, para que a taxa de ocupação não ultrapasse os valores estabelecidos e para que as exigências de construção sejam respeitadas. Ainda, é fundamental a criação por parte do poder público de espaços livres de edificação, como áreas de lazer, áreas verdes e parques públicos, os quais compensam o calor gerado em alguns setores e evitam a intensificação da ocupação. É importante destacar que essas medidas mitigadoras poderiam ser facilmente aplicadas em Penápolis, uma vez que seu pequeno porte populacional colabora para ações de planejamento ambiental urbano.

Por fim, em uma perspectiva ambiental mais ampla, se prevê o aprofundamento do estudo do campo termo-higrométrico de Penápolis em etapas futuras. Com base na análise do clima urbano e no uso de indicadores ambientais, os quais mantém estreita relação entre si, pretende-se avaliar a qualidade ambiental urbana dessa cidade.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 2000, 374 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- _____. **Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: Episódios de Inverno**. Geosul, UFSC - Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.
- _____. **Climatologia e gestão do espaço urbano**. *Mercator* (Fortaleza. Online), v. 9, número especial, p. 71-90, dez. 2010.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; DUBREUIL, Vincent; QUENOL, Hervé; SANT'ANNA NETO, João Lima. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins** online, 7, p. 1-16, 2009. Disponível em: <<http://confins.revues.org/6070>>. Acesso em: 13 mar. 2015.
- AMORIM, M. C. C. T.; MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins** [Online], 13, p. 1.18, 2011. Disponível em: <<http://confins.revues.org/7284>>. Acesso em 04 abr. 2014.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; SANT'ANNA NETO, João Lima; DUBREUIL, Vincent. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. **Revista de Geografía Norte Grande**, Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, n.43, p. 65-80, set. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.cl>>. Acesso em: 5 nov. 2014.
- ANDRADE, Carlos Augusto; SILVA, Marco Antônio Nunes; PASSAFARO, José Vitor; SILVA, Rosana A. da; TORSIANO, Roberto Martins; TORSIANO, Rodrigo. **Penápolis: nativos, povoamento, ferrovia e os ciclos econômicos**. Org. Nadai, Alessandra Jorge; Donzelli, Cleivaldo A. Penápolis: NG, 2008, 40p.
- BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L. de.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade – a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007. 164p.
- BASTOS, Roberto Nogueira; JUNIOR, Geso Batista Sousa. **Atlas escolar Penápolis: Histórico e Geográfico**. Penápolis: Secretária Municipal de Educação de Penápolis: 2008. 48p.
- BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. 264f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- CASTELLS, M. **A questão urbana**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983. 506 p.
- CAZUZA, L. P.; FERREIRA, C. C.; MIRANDOLA, P. H. Cenários ambientais na bacia hidrográfica do ribeirão lajeado – SP – Brasil – em 2008. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, 2008, Porto Alegre. **Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos**. Porto Alegre: UFRS, 2008, p. 1-11. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAAahUKEwiUg8mnyenHAhWDGpAKHeqKCOM&url=http%3A%2F%2Fwww.agb.org.br%2Fevento%2Fdownload.php%3FidTrabalho%3D2554&usg=AFQjCNHDuMYJ3Fa0eabizHsWZLHltl8lw&sig2=lb8VdeoG0zBbEt3sfzKPnA&bvm=bv.102022582,d.Y2l>>. Acesso em 15 mar. 2015.

CONSTANTINO, N. R. T. Rios urbanos no oeste paulista. In: III Seminário nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo, 2014, Belém. **Anais APPURBANA III Seminário nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo**. Belém: UFPA, 2014, v. 1. p. 1-17. Disponível em: <<http://www.appurbana2014.com/anais/ARQUIVOS/GT5-147-21-20140515175753.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA. **Informações Meteorológicas**. <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>>. Acesso em 20 de ago. de 2015.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS CPTEC/INPE. **Banco de imagens**. <<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes/formulario.logic>>. Acesso em 20 de ago. de 2015.

DACANAL, Cristiane; PEZZUTO, C. C.; LABAKI, Lucila C.; GOMES, V.. Microclima em fundos de vale: análise de diferentes ocupações urbanas em Campinas, SP. In: **XII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído ENTAC**, 2008, Fortaleza. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1978.pdf>>. Acesso em 25 de set. 2016.

DAEP – DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DE PENÁPOLIS. **Consortio**. Disponível em: <<http://www.daep.com.br/consorcio/>>. Acesso em 17 jul. 2015.

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.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1996. 285p.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. El medio ambiente urbano y su integración en el avance del Plan General de Madrid: propuesta de creación de un Sistema de Información Climático Ambiental (SICAMAP). In: **Reflexiones a propósito de la revisión del Plan General de Madrid**. Ed. Grupo TRyS, julho 2013. Pp. 183-206.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F., RASILLA, D., ALLENDE, F.): La isla de calor en Madrid y sus implicaciones sobre la salud y el estrés térmico en periodos cálidos. In: **Reflexiones a propósito de la revisión del Plan General de Madrid**. Ed. Grupo TRyS, Julho 2013. Pp. 229-254.

FERREIRA, Fabiana Lourenço; PRADO, Racine Tadeu Araújo. Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura-superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, p. 1-12, 2003.

FIALHO, E.S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na zona da mata mineira**. São Paulo, 2009. 259f. Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

FRAGA, N. C.; SILVA, L. F. B.; GALLINARI, T. S.; JAYME, N. S. De princesinha do noroeste paulista ao mar de cana – uma análise do espaço geográfico de Penápolis, SP. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 2, número especial, p. 467-479, jul./dez. 2014.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012, p. 001 - 009. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SReFOTO/156_4.pdf>. Acesso em 14 fev. 2015.

BELLO FUENTES, V. La isla de calor y los usos del suelo en Guadalajara. **Serie Geográfica**. Alcalá de Henares, n.4. p. 83-97, 1994.

BELLO FUENTES, V. La isla de calor nocturna y los usos del suelo en Alcalá de Henares. In: Anales de Geografía de la Universidad Complutense, vol. 15, 1995, Madrid. **Anais...**Madrid: UC, 1995, p. 119-130.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução: Sílvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.

GEIGER, Rudolf. **Manual de Microclimatologia o clima da camada de ar junto ao solo**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990. 556p.

GHIRARDELLO, NILSON. **À beira da linha: Formações urbanas da Noroeste Paulista**. São Paulo: Editora Unesp, 2002. 235p.

HECHT, Adolpho Avoglio. **História de Penápolis**. Araçatuba: Editora Somos, 2008. 100p.

GÓMEZ, A. L. (Coord.), GARCÍA, F. F., ARROYO, F., VIDE, J. M., CUADRAT, J. M. **El clima de las ciudades españolas**. Madrid: Catedra, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Censo Demográfico 2010: Sinopse**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=353730&idtema=1&search=sao-paulo|penapolis|censo-demografico-2010:-sinopse->>. Acesso em: 12 mar. 2015.

IBGE CIDADES. **Penápolis: Histórico do município**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=353730&search=sao-paulo|penapolis|infograficos:-historico>>. Acesso em: 12 de mar. 2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos: Parenteses, 2009.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academia Press, 1981. 276p.

LIMA, G. N. **Características do clima urbano de Nova Andradina – MS**. Presidente Prudente, 2011. 161f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, UNESP.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo:Hucitec, 1985. 244 p.

MARTILLI, A. Modelización del clima urbano a mesoescala. . In: FERNÁNDEZ GARCÍA.; GALÁN GALLEGU, E.; CAÑADA TORRECILLA, R. (eds.). **Clima, ciudad y ecosistemas: Ponencias y conferencias invitadas al VII Coloquio de la Asociación Española de Climatología**. Asociación Española de Climatología (AEC), serie B, p. 165175-164, 2012.

MENDONÇA, Francisco & DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 206p.

MENDONÇA, F. A. Clima e Planejamento urbano em Londrina. In: MONTEIRO, C. A de F; MENDONÇA, F. A. **O Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2009. p. 93-120.

MENDONÇA F., DUBREUIL V., 2005: Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba - PR). **Revista RA'E GA - O espaço geográfico em análise**, n.9, pp.25-35

MINAKI, C. **Clima Urbano em cidades de pequeno porte: o caso de Guararapes/SP**. 2006. p.198. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente-SP.

MINAKI, C. **O clima urbano como indicador de qualidade ambiental: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP**. 2014. 266f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP.

MONTEIRO, C. A. de F. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**. São Paulo. n. 1. p. 1-20, 1971.

_____. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p. (Série Teses e Monografias, 25).

_____. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos do clima urbano no Brasil. **GEOSUL**, Florianópolis, v.5, n.9. p. 7-19, 1990a.

_____. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **GEOSUL**. Florianópolis, v.5, n.9, p.61-79, 1990b.

_____. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano – estratégias na abordagem geográfica. **GEOSUL**, Florianópolis, v.5, n.9. p. 75-107, 1990c.

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. A. (org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2009.

MOREIRA, J. L. **A análise da temperatura e umidade relativa do ar em Nova Andradina/MS : uma contribuição aos estudos de clima urbano**. 2012. 102 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente-SP.

OKE, T. R. Inadvert Climate Modification. In: **Boundary Layer Climate**. London: Methuen & Ltd A. Halsted Press Book, 1978, p. 229-267.

OKE, T. R. **The energetic basis of the urban heat island**. Quarterly Journal Royal Meteorological Society, 108, 1982, p. 1-24.

ORTIZ, G. F. **O clima urbano de Cândido Mota: análise do perfil térmico e higrométrico em episódios de verão**. 2012. 163f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente-SP.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS. **Nossa cidade**: História. Disponível em: <<http://www.penapolis.sp.gov.br/cidade.php?codigo=1>>. Acesso em: 12 de mar. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS. **Nossa cidade**: Localização. Disponível em: <<http://www.penapolis.sp.gov.br/cidade.php?codigo=2>>. Acesso em: 12 de mar. 2015.

RAMPAZZO, Camila R. **Clima urbano em Alfredo Marcondes/SP: uma análise dos indicadores geoambientais**. Monografia de Bacharelado em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. UNESP Presidente, 2012. 220p.

RELATÓRIO TÉCNICO DO DAEP, 2004. Disponível em <<http://www.daep.com.br/principal/area.php>>. Acesso em 20 jun. 2015.

Relatório “Estado das Cidades da América Latina e Caribe”. Produzido pelo Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-HABITAT). Disponível em: <http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=362&Itemid=18>. Acesso em: 06 fev. 2016.

Relatório ‘Fato sobre as cidades’. Produzido pelo Departamento de Informação Pública das Nações Unidas, junho de 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/temas-cidades/>>. Acesso em: 06 fev. 2016.

Relatório “World cities 2016”. Produzido pelo Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-HABITAT). Disponível em: <<http://wcr.unhabitat.org/wp-content/uploads/sites/16/2016/05/Chapter-1-WCR-2016.pdf>>. Acesso em 26 de set. 2016.

ROSS, Jurandir; MOROZ, Isabel C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo** - Universidade de São Paulo - Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FFLCH/USP-IPTFAPESP, 1997.

SACRAMENTO NETO, Olívio Bahia do; ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan; SILVA, Philipp Edson Dias. 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.cbmet2010.com/anais/artigos/695_86757.pdf>. Acesso em: 05 set. 2012.

SARTORI, A. A. C.; PIANUCCI, M. N.; SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. L. Influência do período de estiagem no Índice de Vegetação (NDVI), no município de Botucatu-SP. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009, Natal-RN. SBSR -XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009. v. 14. p. 4363-4369. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.11.17.31/doc/4363-4369.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

SCARLATO, F. C. População e urbanização brasileira. In: ROSS, J. L. S. (Org.). **Geografia do Brasil**. 6. ed. São Paulo: Edusp, 2009. p. 381-463.

SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Informações dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/frontend/>>. Acesso em 15 mai. 2015.

SIDRA – Sistema IBGE de recuperação automática. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=cd&o=13&i=P&c=200>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

SITE OFICIAL DA CÂMARA DOS VEREADORES. **Sobre**. Disponível em: <<http://www.camaradenapolis.com.br/portal/sobre>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

SILVA, L. G. da; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 6, p. 1446–1456, dez. 2012.

SILVA, L.T. ; TOMMASELLI, J.T.G. ; AMORIM, M. C. C. T. . O clima urbano de Penápolis-SP: um episódio de inverno. In: João Lima Sant'Anna Neto. (Org.). **Os climas das cidades brasileiras**. Presidente Prudente: UNESP/FCT/Programa de Pós-graduação em Geografia, 2002, v. 1, p. 197-227.

SOBRINO, J. A.; OLSTRA-CARRIÓ, R. La campaña DESIREX en Madrid. Determinación de isla de calor. In: FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; GALÁN GALLEGOS, E.; CAÑADA TORRECILLA, R. (eds). **Clima, ciudad y ecosistemas: Ponencias y conferencias invitadas al VII Coloquio de la Asociación Española de Climatología**. Asociación Española de Climatología (AEC), serie B, p. 141-164, 2012.

SOUSA, M. L. de. **O desafio metropolitano: um estudo sobre a problemática sócio-espacial nas metrópoles brasileiras**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 368p.

SPOSITO, M. Encarnação. **Capitalismo e Urbanização**. São Paulo: Contexto, 1991. 80 p.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Classifying climate field sites by “local climate zones”: the case of Nagano, Japan. **The Seventh International Conference on Urban Climate**, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan. Disponível em: <http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1090515165722002.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2014.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island. Vancouver**. 2011. 368p. Thesis (Doctor of Philosophy). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia.

TEIXEIRA, D. C. **Clima urbano de Rancharia/SP**. 2015. 212f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente-SP.

UGEDA JÚNIOR, José Carlos. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. 2012. 383 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente.

VIANA, S. S. M. **Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP**. 2006. 117f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente/SP.

VICENTE, A.K. ; TOMMASELLI, J.T.G. ; AMORIM, M. C. C. T. . Conforto Térmico em Presidente Prudente/SP. In: João Lima Sant'Anna Neto. (Org.). **Os climas das cidades**

brasileiras. Presidente Prudente: UNESP/FCT/Programa de Pós-graduação em Geografia, 2002, v. 1, p. 197-227.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2013).

Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8 EUA. Disponível em: << <http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 21 de jan. 2015.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2013).

Landsat-8: Instruments. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>. Acesso em: 10 de mar. 2015.