



**Zoneamento Climático Local: A Geografia do
Clima em Vila Velha (ES, Brasil) como Subsídio
ao Planejamento e Ordenamento do Território**

Tese de Doutorado em Geografia Física submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGG – Ufes), como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia Física.

Orientador (a): Prof. Dr. Rafael de Castro Catão

**Vitória
2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

Fabricio Holanda do Nascimento

**ZONEAMENTO CLIMÁTICO LOCAL: A GEOGRAFIA DO CLIMA EM VILA VELHA
(ES, BRASIL) COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO E ORDENAMENTO DO
TERRITÓRIO**

Tese de Doutorado em Geografia Física
submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Geografia da
Universidade Federal do Espírito Santo
(PPGG – Ufes), como requisito parcial à
obtenção do título de doutor em
Geografia Física.

Orientador (a): Prof. Dr. Rafael de Castro
Catão

VITÓRIA/ES
2024

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

N244z Nascimento, Fabricio Holanda do, 1984-
Zoneamento Climático Local : A Geografia do Clima em
Vila Velha (ES, Brasil) como Subsídio ao Planejamento e
Ordenamento do Território / Fabricio Holanda do Nascimento. -
2024.
218 p.

Orientador: Rafael de Castro Catão.
Tese (Doutorado em História) - Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Geografia do Clima. 2. Produção do espaço urbano. 3.
Zoneamento climático local. 4. Planejamento e ordenamento do
território. I. Catão, Rafael de Castro. II. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. III.
Título.

CDU: 93/99



Secretaria Integrada de Pós-Graduação
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**ATA DE DEFESA DE TESE DO CURSO DE DOUTORADO EM GEOGRAFIA DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO CENTRO DE CIÊNCIAS
HUMANAS E NATURAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - ATA Nº
52 - 09/08/2024.**

Em sessão pública ocorrida no dia nove de agosto de dois mil e vinte e quatro, de forma remota, conforme Portaria Normativa nº 08 da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação/UFES de 01 de julho de 2021, procedeu-se a avaliação da tese do aluno **Fabricio Holanda do Nascimento**. Às 14h, o Prof. Dr. Rafael de Castro Catão (UFES), Orientador e Presidente da Comissão Examinadora de Defesa de tese, deu início aos trabalhos, convidando a compor à mesa os seguintes Professores Doutores: André Luiz Nascentes Coelho (UFES) - Examinador Interno; Emerson Galvani (USP), Aramis Cortes de Araújo Junior (UFES/ES) e José Carlos Ugeda Júnior (UFMT) – Examinadores Externos. A seguir, o presidente solicitou ao doutorando que fizesse uma explanação de seu trabalho intitulado **“Zoneamento Climático Local: A Geografia do Clima em Vila Velha (ES, Brasil) como Subsídio ao Planejamento e Ordenamento do Território”**. Terminada a apresentação, o presidente passou a palavra aos examinadores, que procederam à arguição do candidato. Ao final, a Comissão, em sessão reservada, deliberou pela **APROVAÇÃO** da referida tese nos termos do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Geografia e alertou que o aprovado somente terá direito ao título de Doutor após entrega da versão final de sua Tese, em meio digital, à Secretaria do Programa. Encerrada a sessão, eu, Prof. Dr. Rafael de Castro Catão, presidente da Comissão Examinadora, lavrei a presente ata que vai assinada digitalmente por mim e pelos demais componentes da Comissão.

Prof. Dr. Rafael de Castro Catão (UFES)
Orientador e Presidente da Banca

Prof. Dr. André Luiz Nascentes Coelho (UFES)
Examinador Interno

Prof. Dr. Emerson Galvani (USP)
Examinador Externo

Prof. Dr. Aramis Cortes de Araújo Junior (UFES/ES)
Examinador Externo

Prof. Dr. José Carlos Ugeda Júnior (UFMT)
Examinador Externo

Secretaria Integrada de Programas de Pós-Graduação – SIP
Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo situada à Av. Fernando Ferrari, 51
Goiabeiras - 29075-910 – Vitória/ES. Tel.: (27) 4009-2524 – sip.ufes@gmail.com – www.secretaria.cchn.ufes.br

Documento assinado eletronicamente nos moldes do art. 10 da MP 2200/01 e Lei 14063/20
[Hash SHA256] c7fc49523d61d4b433147ebc397a0a0b080a01ba6f36eba1f0b0f09a6aa1c234





ata de aprovação - Fabricio Holanda do Nascimento

Data e Hora de Criação: 21/08/2024 às 10:58:20

Documentos que originaram esse envelope:

- ata de aprovação - Fabricio Holanda do Nascimento (1).pdf (Arquivo PDF) - 1 página(s)



Hashs únicas referente à esse envelope de documentos

[SHA256]: c7fc49523d61d4b433147ebc397a0a0b080a01ba6f36eba1f0b0f09a6aa1c234

[SHA512]: bf3e3873ae4e50d748661156665ea8d92904b23c40e582f2e6b9a6980dde1cbfedf0670b181b1113d44da8d779a7f45a750eebe2cd58de01fd696893e0558532

Lista de assinaturas solicitadas e associadas à esse envelope



ASSINADO - André Luiz Nascentes Coelho (alnc.ufes@gmail.com)

Data/Hora: 21/08/2024 - 15:34:44, IP: 191.57.14.148

[SHA256]: c6bfc21c564a56b5a8ed32b67efb7b5f36cb046edd6d059a6e3ca1a864cfc11c



ASSINADO - Aramis Cortes de Araújo Junior (aramiscortes@gmail.com)

Data/Hora: 21/08/2024 - 11:40:03, IP: 200.137.72.4, Geolocalização: [-20.763097, -41.451250]

[SHA256]: 7d41973d4e7d661aa22c5819f395ad2e7ac0c4bb1d55191145ca1fcaba58e000



ASSINADO - Emerson Galvani (egalvani@usp.br)

Data/Hora: 21/08/2024 - 11:04:49, IP: 177.68.122.36, Geolocalização: [-23.571174, -46.732492]

[SHA256]: 46a4e737986c092c76e3c25083634e5c2aa3001710c0557994373501b6ef821e



ASSINADO - Rafael de Castro Catão (rafadicastro@gmail.com)

Data/Hora: 21/08/2024 - 11:03:00, IP: 179.183.18.47, Geolocalização: [-20.304961, -40.301832]

[SHA256]: f9f340d7823d142b33dcc02da47e2f6b3ac0cbca991b01a51534e0bd4ac49d73



ASSINADO - José Carlos Ugeda Júnior (ugedajunior@gmail.com)

Data/Hora: 22/08/2024 - 09:53:52, IP: 191.56.50.143, Geolocalização: [-15.613391, -56.068786]

[SHA256]: 28356c874b34a62233915d9532fa66fb7c9311fddc4e165de9bbc8a3aa88466

Histórico de eventos registrados neste envelope

22/08/2024 09:53:52 - Envelope finalizado por ugedajunior@gmail.com, IP 191.56.50.143
22/08/2024 09:53:52 - Assinatura realizada por ugedajunior@gmail.com, IP 191.56.50.143
22/08/2024 09:53:39 - Envelope visualizado por ugedajunior@gmail.com, IP 191.56.50.143
21/08/2024 15:34:44 - Assinatura realizada por alnc.ufes@gmail.com, IP 191.57.14.148
21/08/2024 11:40:03 - Assinatura realizada por aramiscortes@gmail.com, IP 200.137.72.4
21/08/2024 11:39:43 - Envelope visualizado por aramiscortes@gmail.com, IP 200.137.72.4
21/08/2024 11:04:49 - Assinatura realizada por egalvani@usp.br, IP 177.68.122.36
21/08/2024 11:04:27 - Envelope visualizado por egalvani@usp.br, IP 177.68.122.36
21/08/2024 11:03:00 - Assinatura realizada por rafadicastro@gmail.com, IP 179.183.18.47
21/08/2024 11:02:56 - Envelope visualizado por rafadicastro@gmail.com, IP 179.183.18.47
21/08/2024 10:58:46 - Envelope registrado na Blockchain por thayse.bomfim@ufes.br, IP 200.137.65.107
21/08/2024 10:58:46 - Envelope encaminhado para assinaturas por thayse.bomfim@ufes.br, IP 200.137.65.107
21/08/2024 10:58:20 - Envelope criado por thayse.bomfim@ufes.br, IP 200.137.65.107

Ao meu pai (*in memoriam*), que me despertou, pela primeira vez, a vontade de estudar os fenômenos climáticos, mesmo que sem saber, e à minha mãe que, diante de tantas dificuldades, ama viver e me dá coragem para ser melhor, e cuidar melhor dela. Deus abençoe sua preciosa vida mama.

Agradecimentos

Chegar ao fim de um doutorado nos faz refletir numa série de questões da vida, nomeadamente àquelas ligadas à nossa jornada acadêmica, momentos que são um compêndio de alegrias, tristezas, sucessos e derrotas, saúde e dor. Ao longo dessa jornada, quantas e quantas vezes pensei em desistir, sobretudo diante da falta de orientador, durante algum tempo, falta de recursos financeiros, perdas humanas e materiais, frustrações e frustrações que me levaram até outro país (Portugal) e lá viver em circunstâncias muito difíceis, principalmente porque não contei com bolsa de estudo, o que dificultou ainda mais a elaboração desta pesquisa.

Desde a graduação (bacharelado e licenciatura em Geografia), especialmente a partir do terceiro período, no qual tive o privilégio de estudar a disciplina de Climatologia, descobri que este ramo da Geografia seria meu alvo de investigação, muito embora a oferta de disciplinas de Climatologia Geográfica ao longo da graduação tenha sido muito reduzida, apenas uma, na verdade. No mestrado, no PPGG da UFES, fiz outra disciplina de Climatologia, aplicada aos estudos urbanos, o que me motivou ainda mais a estudar essa área do conhecimento tão interessante. Enfim, cá estou, na tentativa de contribuir com mais uma pesquisa neste ramo, e, certamente, tudo o que vivi, as pessoas que passaram por mim e as circunstâncias da vida, hoje vejo, foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Portanto, agradeço, em primeiro lugar, ao Deus trino, criador de todas as coisas, as visíveis e invisíveis, que me deu vida, saúde – tanto física como emocional e espiritual – e forças para continuar a pesquisa, mesmo diante de tantas dificuldades, sejam elas de ordem econômica, emocional, familiar, logística, dentre outras; e foram muitas, inclusive um princípio de depressão. A Ele sejam dados todo o louvor, honra e glória, amém!

Ao Prof. Dr. Rafael de Castro Catão, que aceitou a me orientar após eu ter ficado sem orientador, e por acreditar em meu trabalho. Mesmo diante de tantas dúvidas, me fez sentir vontade de terminar a pesquisa e continuar a jornada acadêmica. Certamente, o Prof. Rafael foi muito importante na realização deste trabalho.

À Ufes, pela oportunidade de conhecer, perceber e aprender um bocadinho do universo acadêmico, desde a graduação até o doutorado. Deixo aqui também meus mais sinceros agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFES (PPGG) que, mesmo com meu atraso, deu-me um prazo a mais para eu concluir a tese.

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani, da USP, que resolveu aceitar fazer parte da banca de qualificação e de defesa. Suas ponderações foram muitíssimo importantes; veja lá os resultados e discussões, tentei seguir cabalmente tuas sugestões!

Aos professores Dr. José Carlos Ugeda Júnior e Dr. Aramis Cortes de Araújo Junior, da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e do Instituto Federal de Educação Tecnológica (Ifes), respectivamente, que aceitaram, de pronto, compor a banca de defesa e pelas preciosíssimas considerações à redação final.

Ao Prof. Dr. André Luiz Nascentes Coelho, que aceitou fazer parte da qualificação e da defesa também. Desde a graduação, tem sido muito importante em minha vida acadêmica, nomeadamente como tutor no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da Ufes. As observações quanto ao Geoprocessamento sempre são muito propícias e valiosas.

Agradeço aos amigos e colegas da Geografia e do PPGG pelos diálogos e discussões que eram produtivas e realizadas sempre a cada intervalo de disciplina, ali na cantina do Honófre, a melhor cantina da UFES. Em especial ao Jonatha Liprandi Jaques, amigo de verdade, me auxiliou muito na pesquisa de campo. Obrigado, caro amigo; e perdoe-me por qualquer coisa.

Agradeço imensamente a Cristiane Ottoni de Araújo, minha futura esposa, pelos ensinamentos e por fazer-me enxergar que, na vida, é possível vivermos também para o outro e não apenas para nós mesmos. Pensar no outro é valioso demais e nos faz pessoas melhores. Obrigado imenso, meu amor, por me deixar entrar em sua vida e por tu seres um grande estímulo em minha vida.

Agradeço a toda a minha família, em especial a minha mãe, senhora Verônica Maria Q. Holanda, e minha irmã, Fabiany H. Nascimento, pois suportaram com perseverança minhas idas e vindas e ausência em casa. Minha irmã foi que cuidou e cuida de minha mãe na minha ausência. Obrigado a vocês duas.

Certamente faltam-me palavras, sejam escritas, faladas e/ou gesticuladas, para agradecer a tantas pessoas que passaram por mim ao longo desta trajetória. Há um grande mal no ser humano em esquecer-se tão fácil das pessoas e das circunstâncias que, embora nem sempre sejam boas, nos auxiliaram no amadurecimento e desenvolvimento da tese e na vida. Que Deus possa abençoar com toda sorte de bênçãos a cada um desses, mesmo eu não lembrando os nomes.

Epígrafe

“A árvore de meu jardim não florescerá jamais duas vezes nas mesmas condições de temperatura, luminosidade, estado higrométrico, etc.” Max Sorre

“Quanto ao clima, na maioria dos estudos de caso, não há mapeamento nas mesmas escalas para as quais há da drenagem, do relevo, das rochas, do solo, da vegetação e de outros aspectos. Por isso, quase sempre é necessário começar do elementar e elaborar uma hipótese para a distribuição espacial das unidades climáticas por dedução [...]” Tarik R. de Azevedo.

RESUMO

A evolução da sociedade, em função do desenvolvimento da tecnologia e da ciência, bem como o aumento populacional, acarreta aumento das áreas urbanas e, conseqüentemente, dos problemas associados à urbanização, tanto social como ambiental, nomeadamente sobre o clima de um determinado local. Assim, é de fundamental importância que se desenvolvam pesquisas que têm como finalidades perceberem essa relação sociedade-natureza. Tanto as áreas urbanas como as áreas rurais são beneficiadas pelos estudos do clima numa perspectiva geográfica, pois, por meio desses, é possível perceber os padrões climáticos que auxiliam na elaboração de políticas públicas, com vistas ao desenvolvimento de cidades e zonas rurais mais sustentáveis e resilientes. Nesse contexto, esta pesquisa teve o objetivo principal de identificar e mapear as Zonas Climáticas Locais, do inglês *Local Climate Zone* (LCZ), no município de Vila Velha, Estado do Espírito Santo, Brasil. Para tanto, foi desenvolvido um mapeamento das LCZ, de acordo com a metodologia de Stewart; Oke (2012), Demuzere *et al.* (2021), com o auxílio do LCZ Generator, uma aplicação via *web* para o mapeamento das LCZ. Para tanto, foram elaborados diversos mapas de derivados de imagens de satélites (Sensoriamento Remoto), dentre os quais modelos de temperatura de superfície terrestre (TST), Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI), considerando uma série histórica de 2018-2022, imagens de satélites Landsat-8, disponíveis no *site* da USGS. Como objetivos secundários, buscou-se conhecer os principais sistemas atmosféricos que influenciam as condições de tempo e clima da área de estudo, através da análise das cartas sinóticas e imagens de satélite meteorológico, disponíveis nos *sites* da Marinha do Brasil e do CPTEC, respectivamente, bem como a análise rítmica do clima e elaborar um material científico que possa subsidiar os tomadores de decisões do município no planejamento e ordenamento urbano municipais. Para que os objetivos fossem alcançados de forma adequada, foram ainda realizadas leituras acerca das principais teorias que nortearam esta pesquisa, quais sejam: as teorias do clima – tanto aquelas que o definem como um fator estático (Köppen) como aquelas que o compreendem como dinâmico (Max Sorre) –, a geografia do clima e a metodologia das Zonas Climáticas Locais (Stewart; Oke). Para além disso, foram desenvolvidos trabalhos de campo, por meio da técnica dos transectos móveis, a fim de registrar dados de temperatura do ar e a umidade relativa do ar, através de instrumentos de medida, o Termo-higrômetro Minipa, modelo MT-241, que foi acoplado em cano de PVC, em episódios de dias quentes, entre fevereiro-maio de 2024. Esta pesquisa é importante, pois Vila Velha carece de estudos científicos sobre a temática em apreço e, portanto, preenche uma lacuna acerca do conhecimento do clima local numa perspectiva geográfica. Os resultados foram satisfatórios e permitiram fazer uma série de conclusões. Vila Velha, por se tratar de um município tipicamente tropical, possui distintas zonas climáticas locais, ressaltando as especificidades do município; os derivados de sensoriamento remoto (TST, NDVI e NDBI) permitiram perceber uma forte correlação entre a urbanização e a ausência de espaços verdes com o aumento da temperatura superficial ao longo do período avaliado (2018-2022); o transecto móvel contribuiu significativamente para o entendimento do clima local e percepção da correlação entre as tipologias de uso e cobertura do solo e o campo térmico e de umidade em Vila Velha. Assim, espera-se que, por meio desse material teórico e metodológico, os gestores e a sociedade possam conhecer o clima local de Vila Velha e a relação existente entre a urbanização e os elementos da atmosfera local, e percebê-los como elementos chave na definição de um planejamento e ordenamento do território que considere a qualidade de vida da população que ali reside e do ambiente natural.

Palavras-chaves: Geografia do Clima; produção do espaço urbano; zoneamento climático local; planejamento e ordenamento do território.

ABSTRACT

The evolution of society, due to the development of technology and science, as well as population growth, leads to an increase in urban areas and, consequently, to the problems associated with urbanization, both social and environmental, particularly regarding the climate of a given location. Therefore, it is of fundamental importance that research be developed with the aim of understanding this society-nature relationship. Both urban and rural areas benefit from climate studies from a geographical perspective, as these studies make it possible to perceive climate patterns that help in the development of public policies, with a view to developing more sustainable and resilient cities and rural areas. In this context, this research had the main objective of identifying and mapping the Local Climate Zones (LCZ) in the municipality of Vila Velha, State of Espírito Santo, Brazil. To this end, a mapping of the LCZs was developed, according to the methodology of Stewart; Oke (2012), Demuzere et al. (2021), with the aid of the LCZ Generator, a web application for mapping LCZ. To this end, several maps derived from satellite images (Remote Sensing) were prepared, including Earth's surface temperature (TST) models, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Built-up Area Index (NDBI), considering a historical series from 2018-2022, Landsat-8 satellite images, available on the USGS website. As secondary objectives, we sought to understand the main atmospheric systems that influence the weather and climate conditions of the study area, through the analysis of synoptic charts and meteorological satellite images, available on the websites of the Marinha do Brasil and CPTEC, respectively, as well as the rhythmic analysis of the climate and to prepare scientific material that can support the municipality's decision-makers in municipal urban planning and organization. In order to achieve the objectives adequately, readings were also carried out on the main theories that guided this research, namely: climate theories – both those that define it as a static factor (Köppen) and those that understand it as dynamic (Max Sorre) –, climate geography and the methodology of Local Climate Zones (Stewart; Oke). In addition, field work was carried out using the mobile transect technique to record air temperature and relative humidity data using measuring instruments, the Minipa Thermo-hygrometer, model MT-241, which was attached to a PVC pipe, during hot days, between February and May 2024. This research is important because Vila Velha lacks scientific studies on the subject in question and, therefore, fills a gap in knowledge of the local climate from a geographical perspective. The results were satisfactory and allowed us to draw a series of conclusions. Vila Velha, as it is a typically tropical municipality, has distinct local climate zones, notwithstanding the specificities of the municipality; the remote sensing derivatives (TST, NDVI and NDBI) allowed us to perceive a strong correlation between urbanization and the absence of green spaces with the increase in surface temperature over the period evaluated (2018-2022); the mobile transect contributed significantly to the understanding of the local climate and perception of the correlation between the typologies of land use and cover and the thermal and humidity field in Vila Velha. Thus, it is expected that, through this theoretical and methodological material, managers and society will be able to understand the local climate of Vila Velha and the relationship between urbanization and the elements of the local atmosphere, and perceive them as key elements in defining planning and land use planning that considers the quality of life of the population that lives there and the natural environment.

Keywords: Climate Geography; production of urban space; local climate zoning; territorial planning and ordering.

Lista de Figuras

Figura 1: Modelo conceitual da tese	25
Figura 2: Localização da área de estudo	28
Figura 3: Situação dos setores censitários em Vila Velha, conforme o IBGE (2019).....	29
Figura 4: Sistemas atmosféricos da baixa troposfera atuantes no Brasil durante o verão	33
Figura 5: Temperaturas máxima e mínima mensal em Vitória/ES.....	35
Figura 6: Temperatura média do ar em Vitória/ES	36
Figura 7: Umidade relativa do ar em Vitória/ES.....	36
Figura 8: Precipitação média mensal em Vitória (2007-2019).....	38
Figura 9: Trecho do Rio Marinho (em azul), entre São Torquato (Vila Velha à direita), e Jardim América (Cariacica à esquerda)	39
Figura 10: Modelo Digital de Elevação (MDE) para Vila Velha/ES	40
Figura 11: Unidades geomorfológicas da área de estudo	41
Figura 12: Orientação de vertentes (graus) em Vila Velha	41
Figura 13: NDVI representativo do período chuvoso (12/01/2020).....	43
Figura 14: NDVI representativo do período seco (07/06/2020).....	43
Figura 15: Uso e cobertura do solo em Vila Velha/ES	45
Figura 16: Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios da RMGV em 2010.	47
Figura 17: Densidade demográfica por setor censitário em Vila Velha, 2022	48
Figura 18: Gravura de uma típica cidade na Inglaterra durante a primeira Revolução Industrial, século XVIII .	51
Figura 19: População urbana e rural mundial em 2018.....	56
Figura 20: Evolução da população urbana e rural do Brasil, segundo as regiões (1960-2010).....	56
Figura 21: Densidade demográfica do Espírito Santo, Brasil	64
Figura 22: Evolução da população urbana e rural do Espírito Santo (1960-2010).....	67
Figura 23: Pirâmide Etária do Espírito Santo em 2022	67
Figura 24: Região Metropolitana da Grande Vitória/ES, Brasil.	69
Figura 25: Trecho da subida da Terceira Ponte, próximo ao bairro Praia da Costa, com destaque ao canal da Costa (no centro da imagem) e uma foto do Google Street View na escala horizontal do canal	72
Figura 26: Recorte da porção nordeste de Vila Velha.....	74
Figura 27: Classificação climática de Köppen-Geiger.....	79
Figura 28: A Climatologia no bojo das ciências humanas e naturais	80
Figura 29: Gráfico exemplo de uma análise rítmica diária	83
Figura 30: Escalas do clima urbano e estratificação das camadas verticais	92
Figura 31: Esquema de classificação das 17 zonas climáticas locais	93
Figura 32: Fatores e atitudes dos diferentes grupos sociais frente ao risco	102
Figura 33: Variáveis intervenientes na definição dos riscos e vulnerabilidades	103
Figura 34: Tradições de pesquisas em vulnerabilidades	106
Figura 35: Fluxograma síntese de elaboração da tese	115
Figura 36: Página principal do Earth Explorer com o marcador no quadrante da área de estudo	119
Figura 37: Esquema de produção e obtenção de imagens de satélite	120
Figura 38: Fluxograma síntese da elaboração dos mapas de temperatura de superfície no QGIS	122
Figura 39: Processo de definição das LCZs no <i>LCZ Generator</i>	126
Figura 40: Trecho da área de estudo usada para o treinamento do <i>LCZ Generator</i>	127
Figura 41: Exemplo do SVF e o perfil a partir do <i>Sky View Factor Calculator</i>	128
Figura 42: Lente "olho de peixe" para telefone móvel.....	129
Figura 43: Termo-higrômetro utilizado na aferição de campo (A) e o cano PVC envolto de papel alumínio fixado numa haste de 1,5 metros (B)	130
Figura 44: Material utilizado para confeccionar os abrigos para o termo-higrômetro	132
Figura 45: Transecto A-B em Vila Velha, ES, Brasil	132
Figura 46: Estação meteorológica automática (EMA) de Vila Velha, ES	134
Figura 47: Temperatura de superfície em Vila Velha no período de 2018-2022	137
Figura 48: TST e perfil A – B entre o Bairro Garoto e Praia da Costa, Vila Velha/ES	141
Figura 49: Temperatura do ar média, máxima e mínima em Vila Velha, 2018-2022	143
Figura 50: TST máxima, mínima e média entre 2018-2022.....	144

Figura 51: Classes de tipologias intraurbanas, de acordo com o IBGE (2017)	145
Figura 52: Tipologias intraurbanas em Vila Velha	146
Figura 53: Confronto entre as tipologias intraurbanas e a temperatura de superfície em Vila Velha	147
Figura 54: Série temporo-espacial do NDVI para Vila Velha entre 2018-2022	149
Figura 55: Gráficos de dispersão das grandezas NDVI e TST	151
Figura 56: Série temporo-espacial do NDBI para Vila Velha entre 2018-2022.....	153
Figura 57: Gráficos de dispersão das grandezas NDBI e TST	154
Figura 58: Comparação dos derivados das imagens de satélite do período chuvoso de 2022.....	156
Figura 59: Comparação dos derivados das imagens de satélites do período seco de 2022	157
Figura 60: Local Climate Zone em Vila Velha	160
Figura 61: Fichero exemplo para Vila Velha, ES, Brasil	164
Figura 62: Distribuição geográfica das LCZs na área de estudo	166
Figura 63: Frequência de distribuição das áreas de treinamento identificadas e Vila Velha.....	168
Figura 64: Acurácia das LCZ em Vila Velha	170
Figura 65: Imagens registradas com a lente "olho de peixe" dos pontos representativos das LCZs	171
Figura 66: Fotos dos pontos 3, 4, 6 e 8.	171
Figura 67: Gráfico de obstrução do céu dos pontos de coleta	172
Figura 68: Localização das EMA de Vitória (à esquerda) e de Vila Velha, ES (à direita)	176
Figura 69: Visão panorâmica das estações meteorológicas de Vitória e de Vila Velha sobre a imagem de satélite	176
Figura 70: Temperaturas máxima e mínima de Vila Velha e Vitória entre 2018-2022	177
Figura 71: Perfil térmico e higrométrico do episódio do dia 23/2/2024 às 15h	181
Figura 72: Modelo de urban canyon (A) e trecho do transecto, no bairro Praia da Costa (B), evidenciando cânions urbanos	182
Figura 73: Perfil térmico e higrométrico do episódio do dia 24/2/2024 às 06h:30min	183
Figura 74: Recorte do bairro Itaparica destacando os edifícios elevados próximos à faixa costeira	184
Figura 75: Carta sinótica e imagem do satélite Goes 16 do dia 24/2/2024	185
Figura 76: Perfil térmico e higrométrico do episódio do dia 06/04/2024 às 15h	187
Figura 77: Perfil térmico e higrométrico do episódio do dia 13/04/2024, às 6h:30min	188
Figura 78: Perfil térmico do episódio do dia 13/04/2024, às 15:00	188
Figura 79: Médias gerais de temperatura e umidade relativa	189
Figura 80: Paisagem em torno dos pontos 12 e 13.....	190
Figura 81: Mapa síntese do campo térmico por episódio.....	191
Figura 82: Elementos que compõem um boxplot.....	192
Figura 83: Boxplot dos episódios de dias quentes.....	193
Figura 84: Boxplot por episódios de dias quentes.....	193
Figura 85: Análise rítmica de fevereiro de 2024.	195
Figura 86: Análise rítmica do mês de março de 2024.....	196
Figura 87: Carta sinótica e imagem de satélite do dia 13 de abril de 2024	197
Figura 88: Cartas sinóticas e imagens de satélite da série histórica de 2018-2022	200

Lista de Quadros

Quadro 1: População total estimada dos municípios mais populosos do Espírito Santo	47
Quadro 2: Organização das escalas temporal e espacial do clima	91

Lista de Tabelas

Tabela 1: Estatística descritiva da área de estudo.....	28
Tabela 2: Estatística de uso e cobertura do solo em Vila Velha/ES	45
Tabela 3: Imigração, emigração e saldo migratório do Espírito Santo entre 1970 a 2010	71
Tabela 4: Descrição sucinta das LCZ, considerando o uso e cobertura da terra e o sky view factor.	96
Tabela 5: Dados das imagens do satélite Landsat 8	120
Tabela 6: Dados de input do LCZ Generator	127
Tabela 7: Correlação entre os pares das grandezas NDVI _x TST e NDBI _x TST	155
Tabela 8: Sky View Factor e as LCZs equivalentes em Vila Velha, ES	172
Tabela 9: Coordenadas UTM e descrição das LCZ de cada ponto de monitoramento	179
Tabela 10: Caracterização geral da temperatura do ar ao longo dos transectos	179

Lista de siglas e abreviações

ASAS: Anticiclone do Atlântico Sul
BNH: Banco Nacional de Habitação
CGA: Circulação Geral da Atmosfera
COHABs: Cooperativas Habitacionais
CPTEC: Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
EMA: Estação Meteorológica Automática
FF: Frente Fria
FPA: Frente Polar Atlântica
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
ICU: Ilha de Calor Urbano
IJSN: Instituto Jones dos Santos Neves
INCAPER: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
INMET: Instituto Nacional de Meteorologia
INOCOOP-ES: Instituto de Orientação às Cooperativas Habitacionais no Espírito Santo
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JBN: Jatos de Baixo Nível
LCZ: Local Climate Zone
NDBI: Normalized Difference Built-Up Index
NDVI: Normalized Difference Vegetation Index
ODS: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU: Organização das Nações Unidas
PDM: Plano Diretor Municipal
PPGG: Programa de Pós-Graduação em Geografia
RMGV: Região Metropolitana da Grande Vitória
SFH: Sistema Financeiro Habitacional
SIG: Sistema de Informações Geográficas
SR: Sensoriamento Remoto
SRTM: Shuttle Radar Topography Mission
TST: Temperatura de Superfície Terrestre
WGS: World Geodetic System
UFES: Universidade Federal do Espírito Santo
USGS: United States Geological Survey
UTM: Universal Transversa de Mercator
UVV: Universidade Vila Velha
ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT: Zona de Convergência Intertropical

Sumário

TRAJETÓRIA NA GEOGRAFIA.....	xvii
INTRODUÇÃO	20
JUSTIFICATIVAS.....	22
Problemática.....	24
Hipótese.....	25
Objetivos	26
Capítulo 1: Apresentando a Área de Estudo.....	27
Localização e caracterização	28
Caracterização física da área de estudo	30
<i>Aspectos Climáticos.....</i>	<i>31</i>
<i>Aspectos do Relevo</i>	<i>39</i>
<i>Aspectos da vegetação e vigor vegetativo</i>	<i>42</i>
Caracterização socioeconômica	44
<i>Uso e cobertura do solo.....</i>	<i>44</i>
<i>Aspectos Econômicos e Demográficos</i>	<i>46</i>
Capítulo 2: Revisão do Estado da Arte.....	49
Fundamentação Teórica	50
Produção e reprodução do espaço urbano: do global ao local	50
Breve histórico da urbanização do Espírito Santo	62
Considerações acerca do processo de urbanização de Vila Velha	71
Climatologia Geográfica e Geografia do Clima: do natural ao socialmente produzido	76
As escalas do clima: um conceito basilar em estudos do clima urbano	90
Zonas Climáticas Locais: uma metodologia aplicada ao clima urbano	92
Local Climate Zone em ambiente tropical: estudos de caso	96
Riscos e vulnerabilidades: do natural ao socialmente produzido	100
Cartografia da Vulnerabilidade: Modelos de vulnerabilidades.....	109
Capítulo 3: Materiais e Métodos	113
Dos Derivados de Sensoriamento Remoto às Zonas Climáticas Locais.....	114
Cartografia e Sensoriamento Remoto	118
<i>Temperatura de superfície</i>	<i>119</i>
<i>Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)</i>	<i>124</i>
<i>Índice de áreas construídas.....</i>	<i>124</i>
<i>Mapeamento das Zonas Climáticas Locais (LCZ).....</i>	<i>125</i>
<i>Definição do Ski View Factor</i>	<i>127</i>
<i>Mensuração da temperatura do ar e umidade relativa do ar</i>	<i>129</i>
Capítulo 4: Derivados do Sensoriamento Remoto	135
Temperatura de Superfície Terrestre (TST) em Vila Velha de 2018 a 2022	136
Sobreposição da temperatura de superfície com a tipologia intraurbana em Vila Velha	144

<i>Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) em Vila Velha de 2018-2022</i>	147
<i>Índice de áreas construídas em Vila Velha de 2018 a 2022</i>	152
<i>Comparação dos derivados de imagens de satélite</i>	155
Capítulo 5: Sistema Local Climate Zones em Vila Velha	158
Estabelecimento de um zoneamento climático para o município de Vila Velha	159
<i>Distribuição espacial das LCZs em Vila Velha</i>	163
<i>Frequência de distribuição das áreas de treinamento em Vila Velha</i>	168
<i>Acurácia das LCZs em Vila Velha</i>	169
<i>O Sky View Factor em Vila Velha</i>	170
Capítulo 6: Climatologia Aplicada em Vila Velha	174
Do urbano ao rural na mesoescala	175
<i>Os pontos móveis e o clima local em Vila Velha, ES</i>	178
<i>Episódios dos dias 23 e 24 de fevereiro de 2024</i>	179
<i>Episódio do dia 06 de março de 2024</i>	185
<i>Episódio do dia 13 de março de 2024</i>	187
<i>Avaliação das médias térmicas gerais</i>	188
<i>Análise descritiva dos dados microclimáticos</i>	191
<i>Avaliação sinótica: do regional ao local</i>	198
CONSIDERAÇÕES FINAIS	201
Sugestões de trabalhos futuros	207
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	209

TRAJETÓRIA NA GEOGRAFIA

Meu percurso na Pós-Graduação em Geografia Física teve início em 2015, ano que ingressei no Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGG/UFES), logo após o término da Graduação em Geografia (Licenciatura e Bacharelado). Minha intenção, já desde a graduação, foi estudar alguma temática que envolvesse o clima, apesar de ter tido apenas uma disciplina de Climatologia ao longo da graduação.

No entanto, mesmo no bacharelado, eu, orientado pelo Prof. Dr. André Luiz Nascentes Coelho, desenvolvi um estudo sobre distribuição de chuvas numa região do Estado do Espírito Santo que, posteriormente, foi aperfeiçoado no mestrado, sob orientação da professora Dra. Cláudia Câmara do Vale, que foi finalizado em 2017.

Em 2019, ingressei no mesmo programa de pós-graduação, no curso de doutorado e sob orientação da mesma professora que me orientou no mestrado. No entanto, fiquei sem orientador alguns meses, pois a professora teve que se ausentar. No final do ano 2020, na altura do mês de dezembro, reiniciei novamente o projeto, mas agora sob a orientação do Professor Dr. Rafael de Castro Catão. Foi de grande valia para mim e para o projeto, pois inicialmente só havia a pretensão de identificar e mapear as LCZ em Vila Velha, ou seja, definir um zoneamento climático na área de estudo, e, após a entrada do prof. Rafael Catão, o projeto ganhou outra dimensão, por meio da ideia da vulnerabilidade ao calor, portanto uma relação entre a climatologia e a saúde.

Como foi dito, o projeto foi reestruturado, além da mudança de orientador, um fator extremamente relevante foi o fato de eu ter ido a Portugal, nomeadamente para a Universidade de Coimbra (UC), no início de 2020, a fim de fazer algumas cadeiras de doutoramento nesta instituição. Nesse contexto, em uma cadeira da UC, denominada Métodos de Investigação em Geografia Física (MIGF), fui orientado por uma professora de lá a desenvolver, além do zoneamento climático, um indicador de vulnerabilidade aos riscos climáticos. Por um lado, foi muito bom e produtivo, pois a pesquisa ganhou uma outra conotação e amadureceu consideravelmente. Por outro lado, eu não havia, até aquele momento, estudado nada sobre riscos e vulnerabilidades, ou seja, trata-se de um tema totalmente diferente para mim. Contudo, pelo fato de eu ter achado a ideia interessante, resolvi pesquisar sobre o tema, e fiz alguns

achados, no Brasil e no exterior, e comecei a escrever sobre o tema e a pensar no meu objeto de estudo, que, com a orientação do Prof. Dr. Rafael Catão, se desenvolveu ainda mais e tornou-se mais relevante, sobretudo se considerar que não há trabalhos sobre o tema proposto na área de estudo. Contudo, fui questionado pela banca de qualificação se eu teria condições temporais de cumprir os objetivos da tese, haja vista que o tempo já não era o suficiente, razão pela qual tive que mudar novamente os objetivos da pesquisa para que, assim, conseguisse cumpri-los a tempo.

O PPGG/Ufes, a nível de doutorado, exige que os discentes cumpram diversas atividades acadêmicas, tais como cumprimento de disciplinas, participação e apresentação em eventos e publicação de artigos. De acordo com o regimento interno do PPGG, em seu Art.11: “O Curso de Doutorado em Geografia compreende 134 créditos, sendo 4 créditos para disciplinas obrigatórias, 6 créditos para Seminário de Pesquisa/PPGG, 4 créditos para disciplinas optativas, 20 créditos para o exame de qualificação e 100 créditos para a elaboração e defesa pública de tese, e carga horária de 120 horas para atividades acadêmico-científicas”. Nesse sentido, cumpri todas as disciplinas obrigatórias e optativas do programa já no ano de 2019, ano do meu ingresso, considerando que, no mestrado, já havia cumprido uma disciplina obrigatória para o doutorado (Teoria e Método), com carga horária de 90 horas, e, àquela altura, ela foi oferecida num formato diferente e dividida entre três professores do programa. Portanto, em 2019, faltavam-me apenas mais 5 disciplinas, que foram cumpridas no ano mencionado. Por conta da pandemia, os seminários do PPGG foram desenvolvidos *online*, e, assim, haja vista que estava já em Portugal, cumpri as atividades exigidas pela disciplina, fechando o ciclo de atividades curriculares do PPGG.

As disciplinas cursadas e concluídas foram: Teoria e Método (90 horas), Sistemas Fluviais e Sociedade, Seminário de Tese I, II e III. Na Universidade de Coimbra, Portugal, fiz mais 4 cadeiras, que são: Métodos Cartográficos e Sistemas de Informação Geográfica, Seminário de Orientação em Geografia Física (2019/2020); Métodos de Investigação em Geografia e Novas Perspectivas em Geografia Física (2020/2021).

Todas essas atividades e disciplinas/cadeiras realizadas foram importantes para o desenvolvimento e amadurecimento da pesquisa.

INTRODUÇÃO

Os fenômenos da natureza são objeto de estudo do ser humano desde os tempos mais antigos, em especial aqueles originados da atmosfera e que repercutem na paisagem, sendo fundamental para o desenvolvimento das diferentes sociedades (SANT'ANNA NETO, 2004). Desde a chamada idade antiga, o ser humano busca a compreensão do clima, pois este, de maneira especial, influenciava e ainda influencia as diversas atividades humanas, sejam elas em áreas rurais e/ou áreas urbanas. De acordo com Sant'Anna Neto (2004), deve-se aos gregos as primeiras observações meteorológicas e a ruptura com as posturas teológicas da época, que atribuía aos deuses o controle do *tempo*¹. Ayoade (2013) afirma que o clima influencia a sociedade e essa influencia o clima de diversas formas, sobretudo por meio de suas atividades para a sobrevivência na Terra.

No Brasil, embora em outras décadas já houvesse estudos dessa natureza (a exemplo de pesquisas como a de Ary França, em 1946, acerca do clima na bacia de São Paulo), foi a partir da segunda metade do século XX que os estudos do clima, numa perspectiva de interação com fatores naturais e urbanos, começaram a se desenvolver. Nesse contexto, foi a partir dos anos de 1960 que os estudos relativos ao clima ganharam notoriedade ainda maior nos meios científicos e na mídia em geral, sobretudo a partir da Convenção para o Meio Ambiente, em Estocolmo, no ano de 1972 (CONTI, 2001; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; MONTEIRO, 2002; PASSOS, 2009; SANT'ANNA NETO, 2008).

Os estudos do *tempo* do clima ocupam uma posição privilegiada no amplo campo de estudos das ciências naturais. Isso porque as condições do clima constituem-se como importantes fatores a serem considerados na definição de diversos sistemas ambientais e sociais, haja vista que os elementos do clima fornecem calor, umidade e, principalmente, energia para que ocorra o desenvolvimento das plantas, do solo, da estrutura do relevo, da agricultura e da urbanização (AYOADE, 2013; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; SORRE, 2006).

É importante destacar que conhecer os conceitos de *tempo* e de clima não é suficiente para entender toda a complexidade do fenômeno climático e sua dinâmica global, regional e local. Assim, é importante que se conheça também os elementos e os fatores dos mesmos, como as

¹ Doravante, a palavra *tempo* será grafada em itálico quando referir-se ao *tempo* atmosférico

massas de ar, a umidade atmosférica, a temperatura do ar e a pressão atmosférica, entre outros, bem como os fatores que os influenciam, como a latitude, o relevo e as atividades humanas, aspectos esses importantes no conhecimento do clima e seu fator genético (NIMER, 1989). Considerando o Clima Urbano que, na perspectiva de Monteiro (1976), é definido como um clima de um dado espaço terrestre (fatores naturais) e sua urbanização (fatores sociais), a interpretação do clima deve ser de ordem sistêmica, e não da separação entre os elementos naturais e os artificiais. Assim, as questões de ordem ambiental, neste caso o clima e o urbano, devem ser vistos de forma integrada, na medida em que o clima urbano é resultado da interação de múltiplos elementos e fatores.

De acordo com Monteiro (1976), os principais impactos do clima em áreas urbanas, no que se refere a episódios extremos, em especial a precipitação (em regiões tropicais), são os mais significativos nas cidades, e trazem consequências aos mais diversos setores da economia e da sociedade, em especial, às populações mais vulneráveis (NASCIMENTO JÚNIOR, 2018). Nessa perspectiva, Monteiro (2009, p. 08-09) afirma que, diante do *modus vivendi* urbano, relativo a todo o ecossistema, em especial ao clima, “[...] diminui a capacidade de antecipar, lutar, resistir e se recuperar dos impactes negativos gerados por episódios de precipitação intensa, temperaturas elevadas e muito baixas, ventos velozes, etc.”. Nesse contexto, a vulnerabilidade aos riscos climáticos das áreas urbanas pode crescer na mesma proporção da alienação do desenho urbano face ao sítio e à posição geográfica, compreendidos como a condição geoecológica do lugar, ou seja, os elementos físicos do território e os elementos sociais, as construções e os interesses de trás das formas construídas pela sociedade (UGEDA JÚNIOR; AMORIM, 2016; MONTEIRO, 2009).

Neto (2019) afirma que o processo desigual da produção das cidades, além de causar modificações drásticas na paisagem, alterando todo o sistema de fluxo natural de outrora, traz como uma das consequências a elevação das temperaturas, em relação ao entorno rural, o que se denomina de Ilha de Calor Urbana (ICU). Esse mesmo processo desigual torna o risco mais complexo, aqui entendido como a probabilidade de ocorrência de um dano à sociedade,

[...] na medida em que ele é amenizado para determinados setores da sociedade e agravado para outros que, em função de suas características sociais, têm severas limitações no planejamento da moradia com materiais construtivos adequados ao clima quente, bem como para investir em equipamentos que garantam o conforto térmico [...] (NETO, 2019, p.24).

Ao longo da história da Climatologia, uma série de metodologias e técnicas foram desenvolvidas e utilizadas na tentativa de perceber os elementos do clima. Do ponto de vista da Geografia, em especial da escala urbana, o clima também é objeto de pesquisa, e diversas metodologias foram utilizadas na tentativa de compreender a relação do clima com as áreas urbanas. Na década de 1970, Oke (1978) desenvolveu uma metodologia, aperfeiçoada por Stewart; Oke (2012), capaz de identificar zonas padrão no contexto urbano e rural, em função do tipo de uso e cobertura do solo e as características térmicas e higrométricas, denominada *Local Climate Zone* (LCZ²), cuja a tradução é Zonas Climáticas Locais (ZCL), metodologia esta escolhida neste trabalho, pois entende-se que essa proposta nos ajuda a perceber, na escala da área de estudo, a relação dos diferentes padrões de uso e cobertura do solo com o clima local.

Face ao exposto, esta tese de doutorado tem o objetivo de elaborar um zoneamento climático, que consistiu em identificar áreas geográficas com características climáticas semelhantes (EVANS, 2004) com base na proposta das Zonas Climáticas Locais (LCZ) no município de Vila Velha (ES) e relacionar as características da atmosfera em cada LCZ com as características geográficas locais, por meio da utilização de Sensoriamento Remoto e aferição de dados climáticos em campo, pelo método dos transectos móveis em dias quentes.

JUSTIFICATIVAS

Fazendo jus à lei 6.664/1979, no seu Art. 3º, inciso I, alínea (a), é de competência do/a Geógrafo/a realizar atividades de:

reconhecimentos, levantamentos, estudos e pesquisas de caráter físico-geográfico, biogeográfico, antropogeográfico e geoeconômico e as realizadas nos campos gerais e especiais da Geografia, que se fizerem necessárias; na delimitação e caracterização de regiões, sub-regiões geográficas naturais e zonas geoeconômicas, para fins de planejamento e organização físico-espacial.

Tendo isso em vista, a finalidade deste trabalho – análise de uso e cobertura do solo com um clima local – relaciona-se diretamente àquilo que a sociedade espera de um geógrafo.

Conforme afirma Andrade (2007), a preocupação com o entendimento dos atributos físicos de uma determinada porção da superfície, seja ela de pequeno até grande porte, caracterizou-se

² Neste trabalho adotar-se-á a sigla em inglês (LCZ) ao se referir às zonas climáticas locais.

como uma evolução das sociedades. Apesar de toda evolução da tecnologia, em especial das técnicas de monitoramento dos elementos do clima, esse, como um fator importante na definição do planejamento das cidades – sejam de pequeno, médio e grande porte – ainda não é uma prioridade em projetos de planejamento e ordenamento de território (AMORIM, 2010). Neste contexto, os estudos sobre o clima urbano têm uma posição de destaque para o geógrafo, na medida em que possibilita o entendimento da relação sociedade/natureza. Além disso, o conhecimento das características climáticas de um lugar é de fundamental importância à realização de diversas atividades humanas, sejam elas ligadas à urbanização ou às atividades agropecuárias e ambientais.

Justificam-se estudos como este em Vila Velha pelo fato dos estudos do clima, numa perspectiva geográfica, possibilitar uma melhor percepção dos padrões climáticos locais e sua relação com o território, nomeadamente com o urbano. Assim, permitem aos gestores conhecimento que possa subsidiar o desenvolvimento de uma cidade mais resiliente a eventos extremos, nomeadamente ao calor.

Conforme aponta Mendonça (2003), os estudos relativos ao clima urbano requerem, como etapa primeira e fundamental do pesquisador, um conhecimento geográfico da área a ser estudada e uma base cartográfica que auxilie na divisão dessa a partir de suas características homogêneas. Diante disso, a importância desta pesquisa reside na elaboração de um zoneamento climático da área em estudo que possa contribuir para um planejamento eficiente e que leve em conta a relação do clima com os ambientes urbanizados (o desenho urbano) e rurais, a julgar pela complexidade do município.

Ademais, o atual modo de urbanização da área em estudo possivelmente implica modificações dos padrões anteriores dos elementos da atmosfera; anteriores, porque é um fator mutável, trazendo consigo graves consequências, como superaquecimento das superfícies, ilhas de calor e núcleos de calor, além de consequências à saúde humana, como, problemas ligados aos sistemas respiratório e circulatório. Por outro lado, há de se considerar também as consequências positivas da ocupação humana. Ao longo da história, é possível identificar

sociedades que só se adaptaram às intempéries da natureza devido às condições criadas pelos seres humanos para isso (DIAMOND, 2007)³.

Contudo, e considerando o fato de que a área de estudo tem um crescimento urbano que reflete o processo de produção e reprodução capitalista do espaço, acarreta consequências de ordens tanto sociais quanto ambientais, especificamente no que se refere ao clima, mormente na camada inferior ou baixa atmosfera. Nesse contexto, é possível verificar que a produção do espaço urbano de Vila Velha é desigual, o que acarreta/reforça e produz/reproduz novas desigualdades sociais e segregação social e espacial, e, possivelmente, vulnerabilidades distintas. Assim, estudos dessa natureza são importantes para que os gestores possam, a partir de um material científico, desenvolver políticas públicas que minimizem as consequências negativas da urbanização, principalmente aquelas ligadas ao ambiente e à saúde humana.

Problemática

As características geoecológicas de Vila Velha, possivelmente, acarretam reflexos aos elementos climáticos da atmosfera da cidade (REBOITA *et al.*, 2012). Assim, a problemática que norteia esta pesquisa é: a área de estudo possui distintas Zonas Climáticas Locais (LCZ) que lhe são peculiares, devido às suas características geoecológicas? Quais as consequências disso à sociedade e ao clima em Vila Velha? De que maneira o zoneamento climático auxiliaria o planejamento e o ordenamento municipais?

O município Vila Velha apresenta um amplo leque de atividades econômicas, notadamente na área urbana do município, o que acarreta também em tráfego intenso de veículos e grande fluxo de pessoas, bem como intenso uso do solo. Assim, é possível verificar diferenças expressivas no clima urbano da área de estudo.

Além disso, é observado também que, nas últimas três décadas, houve um crescimento vertical expressivo da área central e de parte do litoral do município, em especial na porção nordeste,

³ Diamond (2007) faz uma análise acurada sobre algumas sociedades que, ao longo do tempo, colapsaram, caso da Somália, e outras que não colapsaram, como Tóquio, no Japão, apesar de todos os problemas em relação aos sismos. Neste contexto, o autor menciona que, ao olhar para o passado, podemos aprender com as sociedades que entraram em colapso e com as sociedades que não entraram em colapso. No contexto atual, dada a evolução da ciência, da tecnologia, da medicina e num contexto de globalização, temos todos esses fatores a nosso favor. No entanto, ao mesmo tempo, essas evoluções também podem constituir-se em um grave problema, na medida que nem todos têm acesso, por exemplo, a essa evolução da medicina. Para mais, consultar Diamond (2007).

com ampliação de vias pavimentadas e crescente supressão das áreas verdes, as quais têm um papel importante na atenuação do calor, embora haja ocasiões em que elas atuem somente na variação das temperaturas (JARDIM, 2010). Por outro lado, também pode ser observado um crescimento elevado de residências precárias e em áreas impróprias à ocupação humana, possivelmente em consequência do processo de segregação socioespacial, ocasionado pelo modo de produção e reprodução capitalista do espaço urbano. Esse processo de “desenvolvimento” da urbanização da área de estudo produz o clima urbano, e consequentemente os riscos, nesse caso, o risco ao calor, de modo mais acentuado, e ao frio, de modo menos acentuado.

Assim, considerando o processo de produção e reprodução do espaço urbano de Vila Velha, que ocorre de forma desigual, é possível identificar populações mais vulneráveis socialmente, que, em consequência, são mais vulneráveis ao calor e ao frio. Portanto, onde se localiza essa população mais vulnerável, do ponto de vista social e aos riscos climáticos? Quais os fatores determinantes da vulnerabilidade social? E qual ou quais os fatores determinantes da vulnerabilidade ao calor e ao frio em Vila Velha? A vulnerabilidade ao calor e ao frio é consequência das condições sociais ou somente das condições climáticas?

Para além disso, as cidades podem ser consideradas como o clímax dos desastres, devido ao modo de organização das mesmas (VEYRET, 2007). Por isso, os estudos que investigam a relação do modo de produção e reprodução das cidades e as vulnerabilidades que podem ocorrer nos espaços urbanos são de importância basilar aos gestores e à sociedade, haja vista que, a partir disso, é possível criar políticas para minimizar os impactos negativos à sociedade e ao ambiente.

Portanto, conforme Veyret (2007, p.60), ao mapear os riscos e vulnerabilidades, estamos, na verdade, afirmando o risco no espaço em questão. Em suas palavras (VEYRET, *op. cit.*), “o zoneamento e a cartografia que acompanham constituem a base de uma política de prevenção”.

Hipótese

Considerando as teorias que analisam a relação do clima com as atividades humanas, sobretudo as relativas à urbanização, é possível perceber que cada local possui características climáticas peculiares. Para além disso, face à intensificação das atividades humanas, são nas cidades que

podem ser observadas as maiores influências que o homem exerce na atmosfera e no ambiente. Essas alterações dar-se-ão por meio das elevadas concentrações de poluentes, especialmente no ar, e pela redução expressiva na velocidade do vento aliada às elevadas edificações, que são justamente os fatores que mais influenciam a vida dos cidadãos.

Nesse sentido, o clima urbano pode ser percebido como um produto da ação social sobre as paisagens de um dado território, dando origem às paisagens urbanas. Conforme Nascimento Junior (2018), “o clima urbano e o espaço urbano estão para o espaço geográfico na medida que este é produzido na combinação entre modo de produção e relações sociedade-natureza”. Assim, face a esse contexto, as hipóteses da pesquisa foram compartimentadas em três diferentes níveis que se referem ao modelo conceitual da tese, evidenciando o domínio teórico e o domínio analítico, conforme especificado abaixo.

1 – As especificidades do ambiente e sua complexidade, seu modo de produção e reprodução do espaço urbano, na área de estudo, leva a pressuposição de diferentes LCZ em Vila Velha?

2 – Se assim o for, cada LCZ, pelo fato de possuir características geoecológicas, aqui percebidas como uma associação entre elementos de ordem natural e social, e como uma associação entre fatores físicos e sociais distintos, exige uma compreensão também distinta, a fim de definir a capacidade de suporte dos ambientes e a resiliência?⁴

3 – Essas relações podem ser quantificadas e qualificadas ao se definir o zoneamento climático (unidades climáticas) e indicadores de vulnerabilidades social e aos riscos climáticos, e assim fornecerem aos gestores e à sociedade maior aporte teórico-metodológico e informações críticas acerca das características da atmosfera e sua relação com a morfologia⁵ urbana em Vila Velha?

4 – Para além disso, Vila Velha, em função do seu processo de produção e reprodução do espaço urbano, é impactada por transformações em seu quadro natural em detrimento de construções urbanas, atividades comerciais e industriais e atividades rurais. Estas atividades concebem um caráter heterogêneo à paisagem de Vila Velha, no que concerne às características

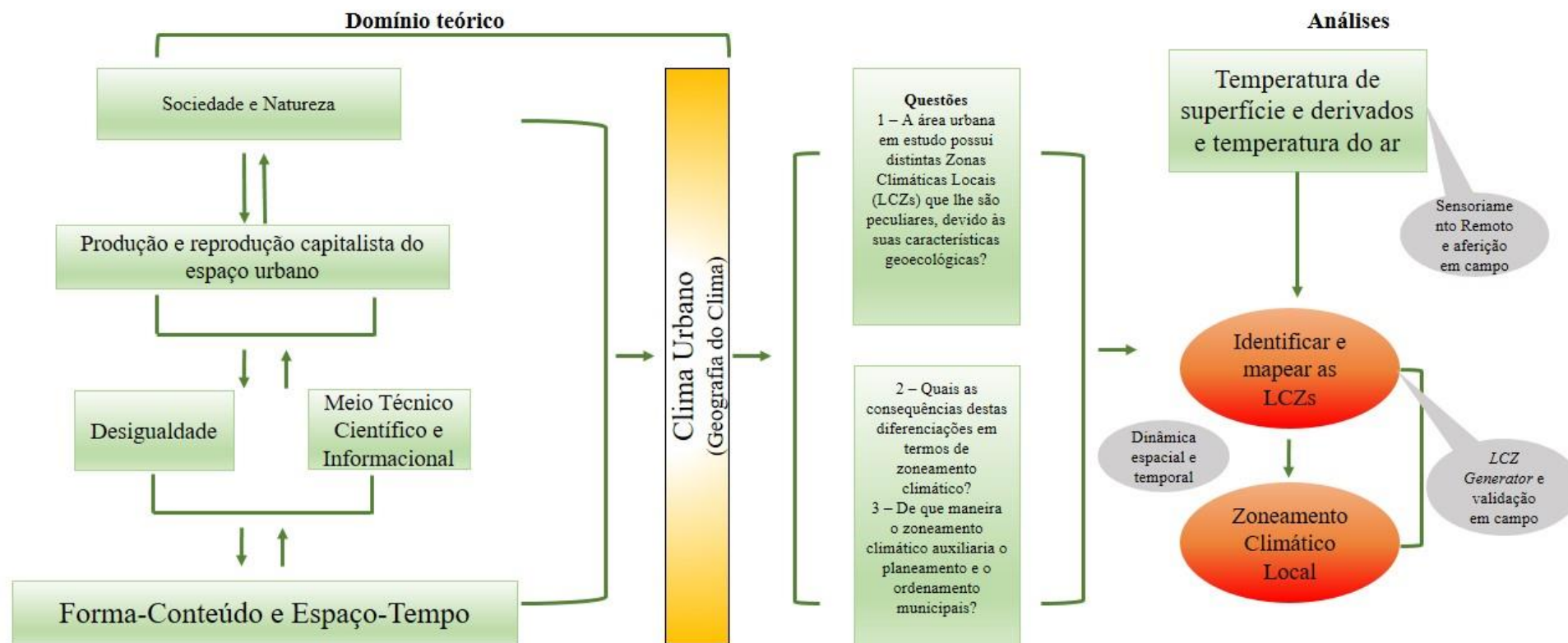
⁴ Resiliência aqui é entendida, conforme Souza; Lourenço (2015), como a capacidade de um sistema em permanecer sem ser afetado após algum distúrbio, frente aos diferentes tipos de impactos (naturais e/ou antrópicos), num caso específico os impactos de ordem climática.

⁵ Morfologia é o estudo de uma forma; no caso, estudo das formas urbanas.

socioambientais e, conseqüentemente, acarretam alterações no balanço de radiação e sobre os elementos do clima local?

Figura 1: Modelo conceitual da tese

Zoneamento climático local: a geografia do clima em Vila Velha (ES, Brasil) como subsídio ao planejamento e ordenamento do território



Elaborado pelo autor/2022.

Objetivos

Desta forma, a partir da discussão suscitada, desenvolvemos os seguintes objetivos:

O objetivo Geral desta tese consistiu em desenvolver uma adaptação metodológica com base nas propostas das Zonas Climáticas Locais (LCZ) de Stewart; Oke (2012); Demuzere *et al.* (2021) e a Geografia do Clima, proposta por Sant'Anna Neto (2001), para identificar e mapear as zonas climáticas locais em Vila Velha, Espírito Santo, Brasil (ES), em função das diferentes tipologias de uso e cobertura do solo.

Os objetivos específicos, por suas vezes, são:

- 1) elaborar documentos cartográficos analíticos e de síntese do zoneamento climático;
- 2) avaliar as situações atmosféricas favoráveis ou não ao desencadeamento de impactos climáticos, por meio da análise sinótica;
- 3) elaborar uma metodologia que possa auxiliar os tomadores de decisão de vila velha na definição do planejamento e ordenamento municipais;
- 4) identificar as características do clima local, na dependência dos sistemas atmosféricos atuantes sobre a área de estudo ao longo da série histórica escolhida para o estudo (2018-2022);
- 5) avaliar a importância desses sistemas atmosféricos na minimização ou ampliação das ilhas de calor urbano na área de estudo.

Capítulo 1: Apresentando a Área de Estudo

Localização e caracterização

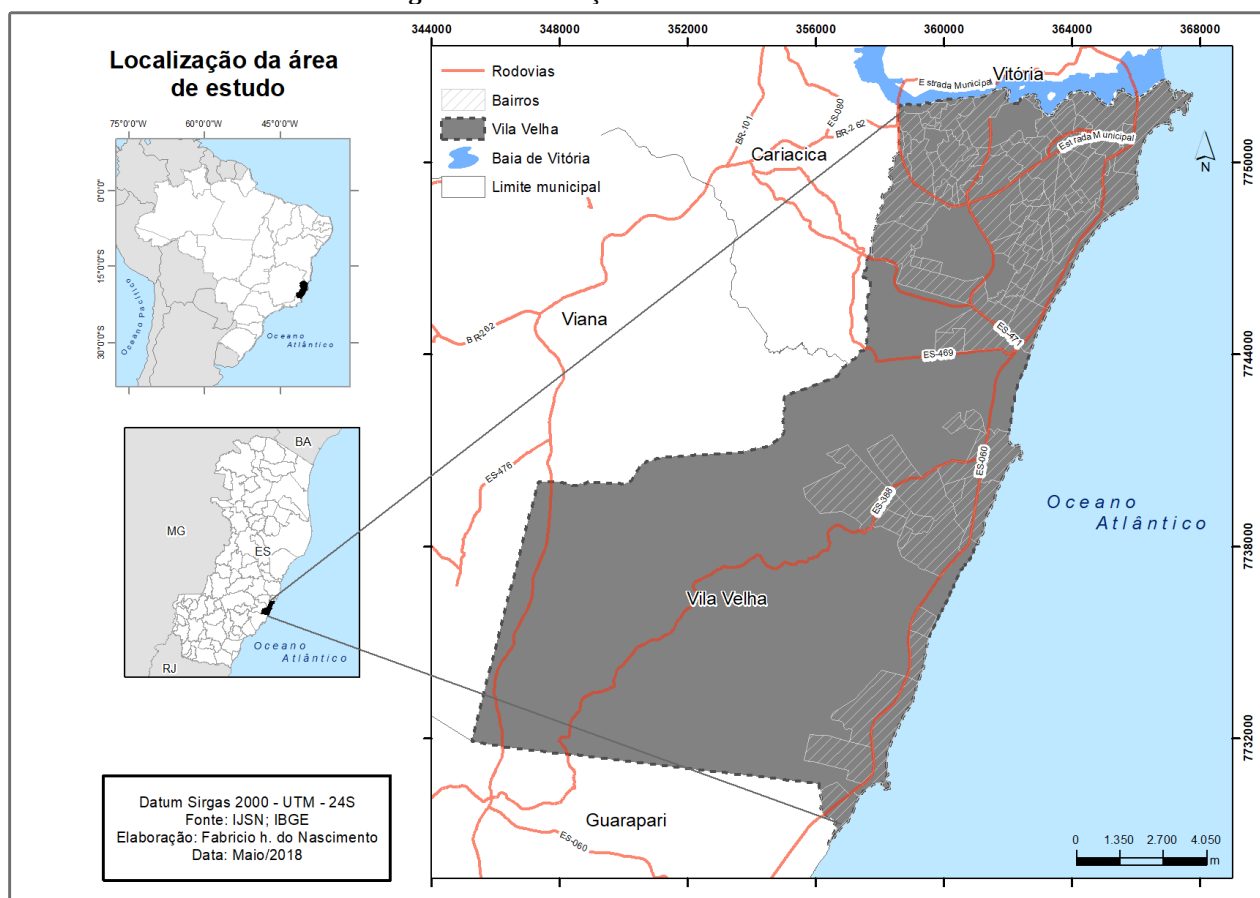
A área de estudo refere-se ao município de Vila Velha, localizada na porção leste do Estado do Espírito Santo, Brasil, área costeira do Estado, entre as latitudes 20°19' e 20°32' Sul e longitudes 40°16' e 40°28' Oeste (Tabela 1 e Figura 2). Tendo isso em vista, a escala de análise do clima desta pesquisa é a escala local, configurando a escala que as ações humanas exercem maior influência sobre os elementos da atmosfera (AYOADE, 2013; SORRE, 2006).

Tabela 1: Estatística descritiva da área de estudo

Área Geográfica	Área (km ²)	(%)
Vila Velha	210,14	---
Setor censitário	210,14	---
Área efetivamente urbana	124,83	59,41
Área rural	85,31	40,59
Parques e reservas	32,27	15,35

Elaborado pelo autor/2021.

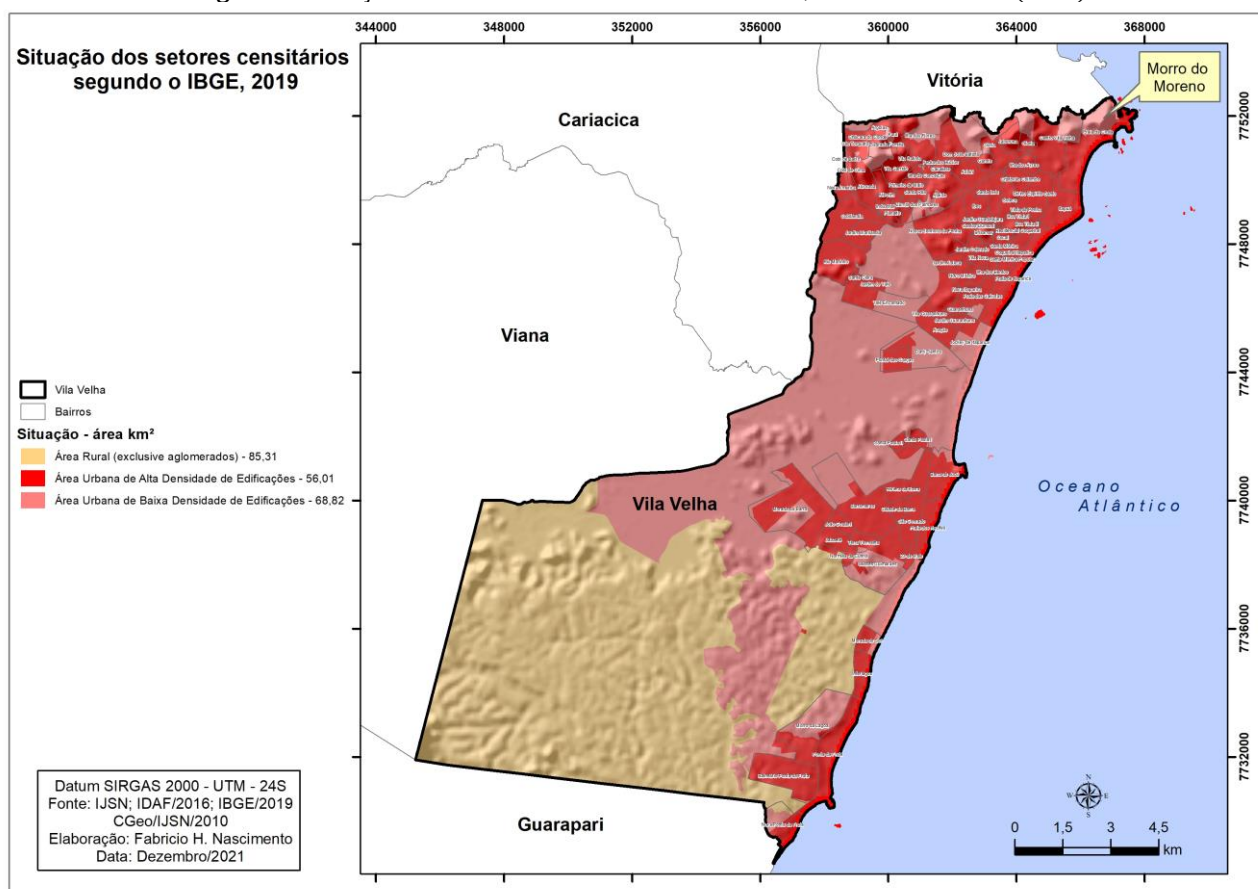
Figura 2: Localização da área de estudo



Elaborado pelo autor/2018.

Vale ressaltar que a área urbana destacada na Tabela 1 refere-se ao total de área urbana observada pelo Plano Diretor Municipal (PDM)⁶ de Vila Velha, definido pela Lei nº 65 de 09 de novembro de 2018, em seu Artigo 83, incisos I, II e III e considerada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) na atualização dos setores censitários em 2019. Nesse contexto, considera-se área efetivamente urbanizada a somatória das classes de área urbana de alta densidade de edificações e a área urbana de baixa densidade de edificações (Figura 3).

Figura 3: Situação dos setores censitários em Vila Velha, conforme o IBGE (2019)



Fonte: IBGE (2019); elaborado pelo autor/2021.

Justifica-se a escolha das unidades de agregação dos dados em termos de setores censitários devido ao fato de esses serem compatíveis com estudos mais detalhados, tanto em termos

⁶ O PDM de Vila Velha, Lei Municipal nº 65/2018, em seu Art. 83, assim o diz: “O macrozoneamento é constituído por áreas urbanas e rural, estabelecidas segundo condições de uso e ocupação do solo, e de acordo com a seguinte classificação:

I - Macrozona de Consolidação Urbana 01; II - Macrozona de Consolidação Urbana 02; III - Macrozona de Consolidação Urbana 03; IV - Macrozona de Reestruturação Urbana; V - Macrozona do Rio Jucú; VI - Macrozona de Uso Agropecuário; e VII - Macrozona de Uso Econômico Controlado”. Disponível em https://www.vilavelha.es.gov.br/legislacao/Arquivo/Documents/legislacao/HTML_IMPRESSAO/C652018.html, acesso em: 09 março 2022.

climáticos como em termos de vulnerabilidade em relação à escala intraurbana (NETO, 2019; AMORIM, 2010). Ademais, do ponto de vista temporal, os dados decenais do IBGE favorecem o planejamento, uma vez que é possível uma análise mais precisa da evolução temporal e espacial das áreas urbanas.

Considerando que a área de estudo se refere a todo o município, como já mencionado, a caracterização biofísica e socioeconômica será baseada em seu território como um todo. Nesse contexto, Vila Velha, junto com Vitória, Cariacica, Serra, Fundão, Guarapari e Viana, compõem a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), referindo-se a região mais ativa economicamente e com a maior população urbana do estado do Espírito Santo, que serão descritos a seguir.

Caracterização física da área de estudo

Considerando que o espaço geográfico necessita de um suporte biofísico – que Monteiro (2003) define como sítio, isto é, as características geoecológicas do lugar (clima, relevo e vegetação) –, faz-se necessário caracterizar a área de estudo no que se refere a seus aspectos biofísicos. Nesse sentido, considerando que, até os dias atuais, os aspectos naturais ainda são negligenciados e, de certo modo, são vistos como entidades separadas em diversos projetos de planejamento urbano, em especial o clima (ALCOFORADO *et al.*, 2006; MONTEIRO, 1993). Há uma relação direta nesse sentido: quanto mais as áreas urbanas crescem, maiores serão os impactos das atividades humanas sobre o meio natural.

Ao se avaliar as condições físicas de um determinado lugar (topografia, clima, vegetação, aspectos hidrográficos, etc.), têm-se informações precisas que impactam tanto o conhecimento científico, como a aplicação prática desses elementos em diversas áreas, a exemplo dos planejamentos urbano e ambiental, planejamento do uso e cobertura do solo, avaliação de impactos ambientais e mudanças climáticas, dentre outros.

De acordo com Monteiro (1993), a sociedade é frágil em relação ao ecossistema e, por isso, é importante conhecer as relações de dependência do homem em relação ao Ambiente, em especial com o suporte biofísico ou ambiental de uma área geográfica qualquer do Planeta.

Assim, é questão fundamental conhecer os aspectos físicos pelos quais as sociedades são fundadas, seja nas grandes metrópoles, ou mesmo nas médias e pequenas cidades:

A produção de um espaço humanizado não é feita no ar. Muito ao contrário, campos cultivados, cidades e metrópoles, estabelecimentos industriais, rodovias e caminhos são implantados sobre um suporte territorial, ou seja, sobre um suporte físico e ecológico que possui uma compartimentação topográfica, projetando-se por um chão dotado de rochas alteradas, formações superficiais e um mosaico de solos. (AB'SABER, 2002, p. 34).

De acordo com Ab'Saber (2002) o espaço geográfico pode ser compreendido e descrito como a organização da natureza sobre a qual as organizações humanas se reproduzem. Nesse sentido, o autor avalia o local e seu entorno a partir do conceito de “Espaço Total”, que é definido como: “o arranjo e perfil adquiridos por uma determinada área em função da organização humana que lhe foi imposta ao longo do tempo” (*op. cit.*, p.30). No entanto, para se compreender e perceber o espaço total, é necessário conhecer a dinâmica natural que atua nesse espaço, depois disso associá-lo à sociedade que ali se desenvolve.

Aspectos Climáticos

Tanto o regime de pluviosidade, como o de temperatura, de vento e de umidade da Região Sudeste do Brasil, e conseqüentemente da área de estudo são influenciados significativamente pela circulação geral da atmosfera, bem como pela latitude (média latitude); fator esse que influencia as altas temperaturas registradas nessas regiões, pois essas zonas do Planeta recebem radiação solar direta, isto é, a quantidade de calor absorvida pela atmosfera inferior dessas áreas do planeta é superior a quantidade de radiação de onda curta absorvida pelas áreas localizadas em latitudes médias e altas, além da proximidade com o Oceano Atlântico (maritimidade), que garante intenso processo de evaporação e condensação de vapor d'água e menor amplitude térmica (NIMER, 1989).

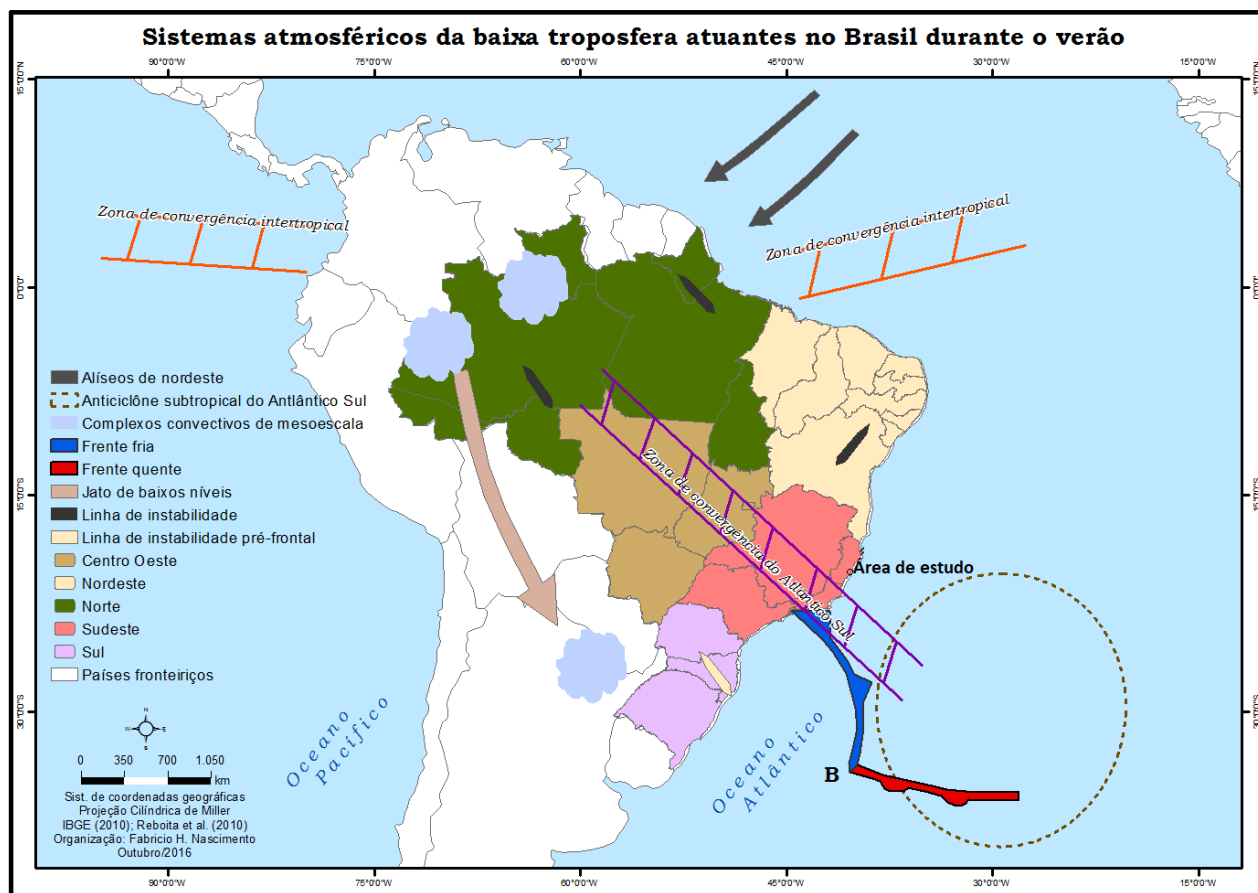
De acordo com Reboita *et al.* (2012), devido à forma da Terra, a Região Tropical recebe a maior quantidade de energia solar, pois a incidência da radiação provinda do Sol ocorre perpendicularmente nessas áreas, ao passo que nos Polos a incidência é oblíqua, o que implica em maior absorção de energia nas áreas tropicais em detrimento das áreas polares, fazendo, portanto, com que as zonas tropicais sejam mais quentes que as zonas polares.

No que se refere ao papel da Circulação Geral da Atmosfera (CGA), destaca-se o intenso aquecimento solar nas regiões equatoriais que causa ascensão de ar e formação de muitas nuvens e chuva. Além disso, é nessa porção do Planeta, caracterizada como região de Alta Pressão Subtropical, que se encontra os principais desertos do Planeta: Atacama, Sahara, Kalahari, entre outros. Ademais, na América do Sul, da qual faz parte a área de estudo, as condições de *tempo* e de clima são influenciadas pelos ventos Alísios (ventos que se dirigem das zonas de alta pressão subtropical para as zonas de baixa pressão equatorial) que, após esse percurso, dão origem às Zonas de Convergência Intertropical (ZCIT), responsáveis pela formação de nuvens e fortes chuvas (REBOITA *et al.*, 2012).

Do ponto de vista climatológico, a área de estudo recebe influência de, basicamente, todos os sistemas atmosféricos que influenciam as condições de *tempo* da região Sudeste do Brasil. Já na década de 1970, Nimer (1989) concebe a região Sudeste como a mais diversificada em termos climáticos, considerando o regime de temperatura, não significando homogeneidade em relação à umidade relativa do ar e da pluviosidade. Devido a sua posição geográfica, Vila Velha é influenciada por massas de ar úmidas provindas do oceano Atlântico e pelos sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul, como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frentes Frias (FF), Anticiclone ou Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que são importantes mecanismos da dinâmica climática do Sudeste brasileiro (COELHO *et al.*, 2013; REBOITA *et al.*, 2012; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, VAREJÃO-SILVA, 2006) (Figura 4).

A Região Sudeste, devido à posição latitudinal, pode ser caracterizada por uma região de transição entre climas quentes de latitudes mais baixas e de climas mesotérmicos temperados (NIMER, 1989; BARBIERI, 2007). Dotada de uma topografia diversificada, com a presença de planaltos, mares de morros e serras elevadas (Serras do Mar e da Mantiqueira), o Sudeste do Brasil apresenta volumes de chuvas que podem ultrapassar os 3.000 mm por ano, devido à ação do relevo em dissipar massas de ar úmidas provindas do oceano Atlântico, especificamente em sítios como o litoral norte de São Paulo (em Ilha Bela, por exemplo), e áreas que apresentam volumes de chuvas bem menor, como o Norte do Espírito Santo e parte do Estado de Minas Gerais; inclusive, no caso do Espírito Santo, algumas áreas estão susceptíveis à desertificação (MILANESI, 2007; BARBIERI, 2007; AB'SABER, 2005; ANTOGIOVANNI; COELHO, 2005). Diante desse regime diversificado de precipitação, é possível identificar dois períodos bem definidos na região em apreço, denominadas de período seco e período chuvoso.

Figura 4: Sistemas atmosféricos da baixa troposfera atuantes no Brasil durante o verão



Fonte: Reboita *et al.* (2012).

Segundo Silva (2013), os ventos predominantes do município são do quadrante nordeste (NE) durante todo o ano, praticamente sendo que, nos meses de abril a setembro, em função da atuação das massas de ar, há ocorrência de ventos dos quadrantes sudeste (SE) e sul (S).

Entre os meses de dezembro e março (verão), ocorrem os valores de temperatura do ar mais elevados, 28°C ou mais, e, entre junho e agosto (inverno), ocorrem os valores mais baixos, 23°C, sendo que, em função da latitude e proximidade com o Mar, a amplitude térmica é relativamente baixa. Nesse contexto, os valores de temperatura do ar, estão, muito provavelmente, associados à atuação das massas de ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica (mTa e mPa, respectivamente) (SILVA, 2013; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

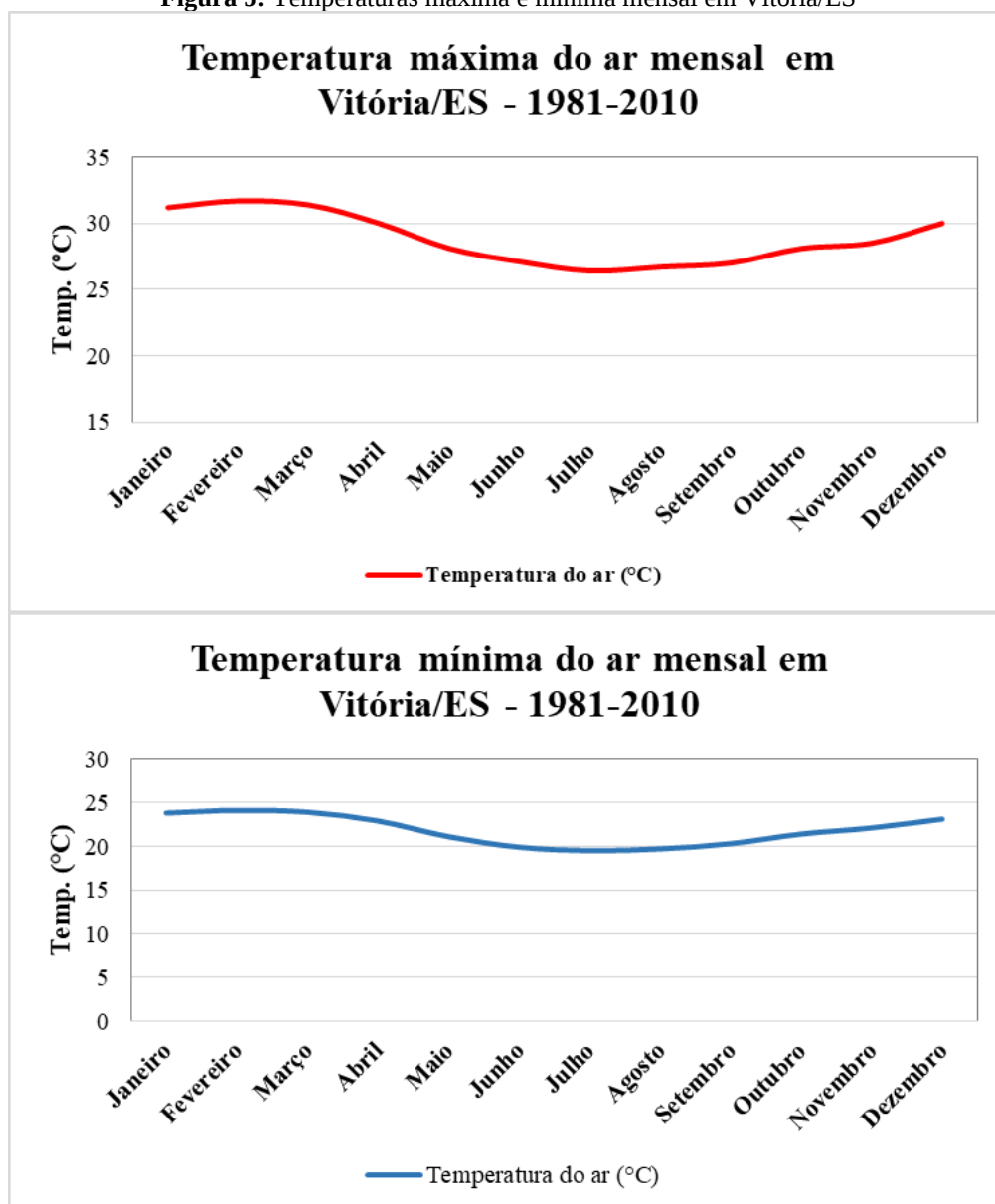
No que se refere à pluviosidade, a área de estudo é caracterizada por, fundamentalmente, dois períodos bem distintos, um chuvoso e um seco, seguindo o comportamento da Região Sudeste – entre novembro e janeiro e entre junho e setembro, respectivamente. No período chuvoso (primavera - verão), Vila Velha é basicamente controlada pela Zona de Convergência do

Atlântico Sul (ZCAS), que traz consigo volumes de chuvas que podem ultrapassar os 200mm mensais, mormente nos meses de novembro e dezembro, conquanto que, no inverno, há ocorrências de frentes frias e baixa precipitação (SILVA, 2013; REBOITA *et al.*, 2012; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

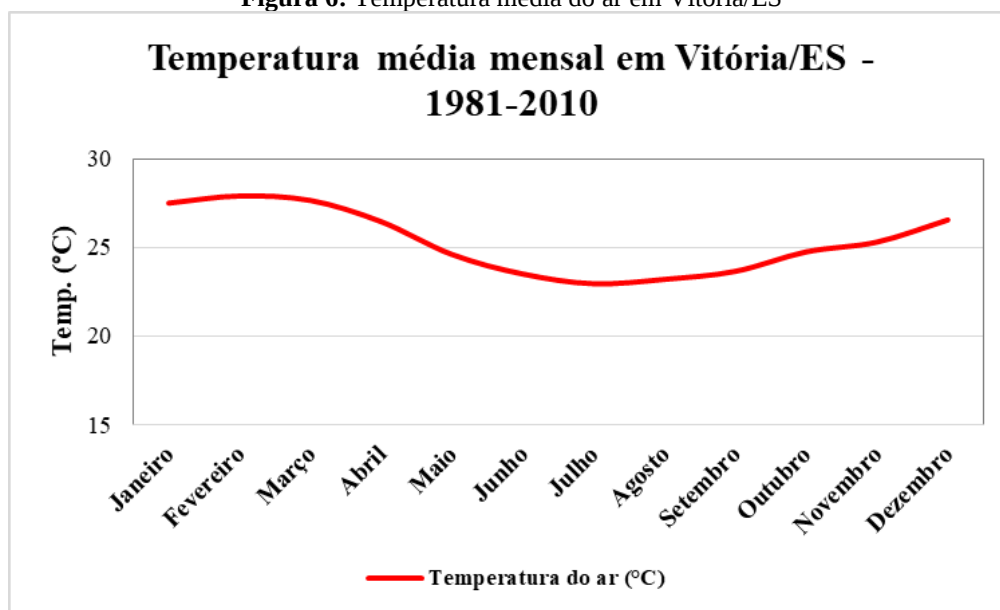
Segundo a classificação desenvolvida pelo IBGE e analisada por Sant'Anna Neto (2005), da qual considera quatorze subtipos climáticos na região Sudeste do Brasil, Vila Velha é caracterizada pelo subtipo climático quente super-úmido sub-seca (sem estação seca), com temperatura média em torno dos 18°C.

Em Vila Velha, pelo menos até o ano de 2017, não havia estação meteorológica oficial, nem a estação convencional, nem tampouco a estação automática. Por isso, considerando os fatores geográficos semelhantes, a normal climatológica utilizada nesta pesquisa, para descrever alguns elementos da atmosfera, refere-se à normal climatológica do município de Vitória, capital do Espírito Santo. Essa estação foi fundada em 2006, e está localizada a 9 metros de altitude, dentro do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), nas coordenadas Latitude e Longitude -20°27' e -40°31', respectivamente. Para além disso, ela está localizada em uma área predominantemente urbana, próximo à avenida Fernando Ferrari, que, ao longo do dia dispõe de um intenso fluxo de veículos automotores e pessoas.

Segundo os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), os meses mais quentes de Vitória referem-se aos meses de outubro a abril, considerados os meses do período chuvoso da região Sudeste do Brasil, enquanto que os meses de maio a agosto e início de setembro (período seco), são considerados os meses mais frios, conforme pode ser observado nas Figura 5 e Figura 6.

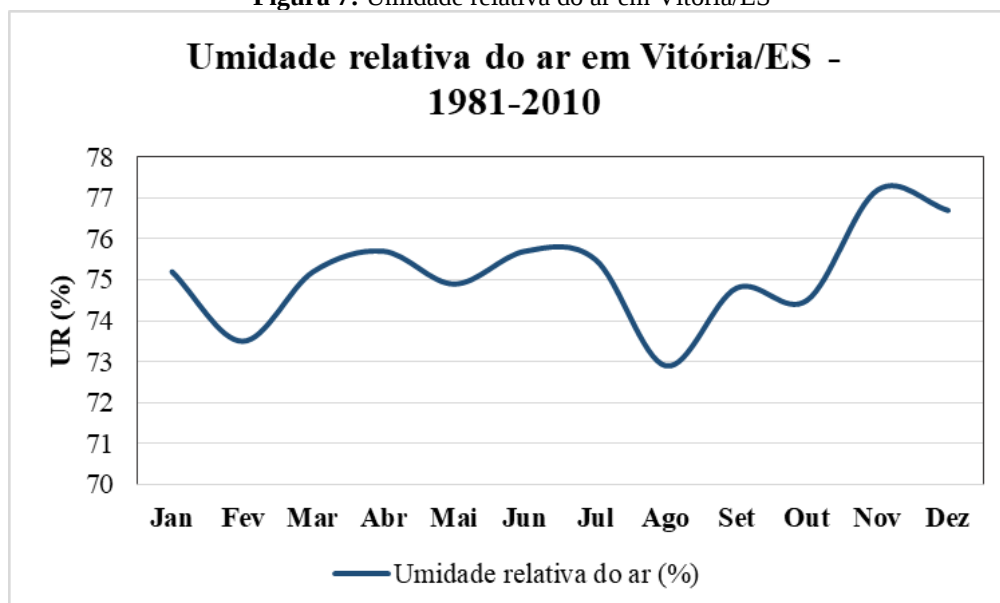
Figura 5: Temperaturas máxima e mínima mensal em Vitória/ES

Fonte: INMET (2021). Organizado pelo autor/2021.

Figura 6: Temperatura média do ar em Vitória/ES

Fonte: INMET (2021). Organizado pelo autor/2021.

A Figura 7 apresenta o gráfico da normal da umidade relativa do ar. Como já mencionado, os dados também são da estação automática do Vitória/ES, administrada pelo INMET, de 1981 a 2010. A partir da figura, é possível perceber que os valores de umidade estão acima dos 70%. Um dos fatores desse padrão está relacionado com o fato de Vitória estar localizada na região litorânea do Espírito Santo, sendo influenciada diretamente por massas de ar úmidas provindas do Oceano Atlântico, o que garante ao município um balanço de umidade mais elevado ao longo do ano.

Figura 7: Umidade relativa do ar em Vitória/ES

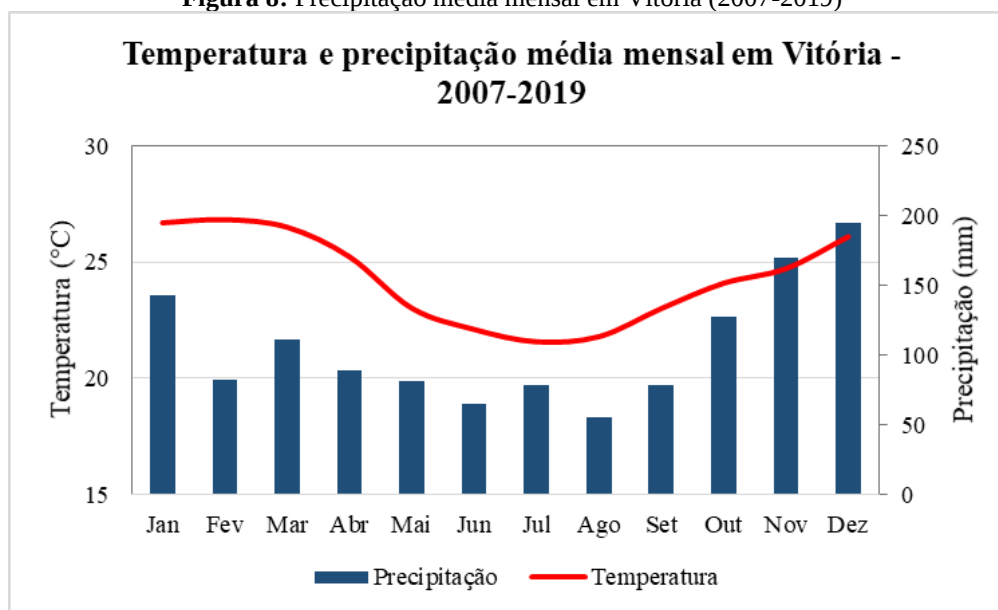
Fonte: INMET (2021). Organizado pelo autor/2021.

Para a avaliação da precipitação, a série histórica considerada refere-se ao período de 2007 a 2019. O uso dessa série histórica é justificado devido ao fato de ser a única disponível no banco de dados meteorológicos do INMET sem falhas. Também se refere ao município de Vitória, pois, em Vila Velha, conforme já mencionado, os registros meteorológicos, por meio de estações automáticas, começaram em 2017, impossibilitando uma avaliação mais longa da precipitação da área de estudo.

Conforme a Figura 8 (abaixo), os meses mais chuvosos referem-se aos meses de outubro a maio (período chuvoso), exceto o mês de fevereiro, que na série representada apresentou média mensal de menos de 100mm. Os meses menos úmidos referem-se aos meses de junho a setembro (período seco). Essa característica da pluviosidade⁷ registrada na estação meteorológica automática (EMA) de Vitória, reflete bem as características da região Sudeste do Brasil verificada por Reboita *et al.* (2010; 2012), que afirmam que esse comportamento da precipitação é reflexo do sistema de monção. Ademais, os autores ainda salientam que é no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil que “[...] o escoamento de noroeste dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) pode convergir com o de nordeste induzido pela circulação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e ainda com os alísios de nordeste, resultando em uma banda de nebulosidade e intensificação da precipitação nestas regiões” (REBOITA *et al.*, 2010, p.194).

Embora os meses de julho a setembro sejam considerados como o período seco para o município, percebe-se que, mesmo nesses meses, os volumes de chuva são relativamente elevados, isso devido à proximidade com o oceano Atlântico, à atuação dos ventos alísios e do Anticiclone Tropical Atlântico. Nos meses de verão (período chuvoso), as chuvas são fortemente influenciadas pela Frente Polar Atlântica (FPA) e pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (REBOITA, *et al.*, 2012; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; SANT’ANNA NETO, 2005).

⁷ Considerando a definição de Ayoade (2013) – que entende que o termo precipitação se refere a toda forma de água precipitada, seja em forma de gelo, neve ou chuva –, o termo precipitação, em regiões tropicais e equatoriais, pode ser usado para se referir a chuva ou pluviosidade, embora em algumas áreas geográficas possa haver precipitação em forma de neve, como nos Andes, na América do Sul, em alguns locais do Sul do Brasil, como em São Joaquim, em Santa Catarina, dentre outros. Por isso, neste trabalho o termo precipitação é usado de forma sinônima ao termo pluviosidade (chuva).

Figura 8: Precipitação média mensal em Vitória (2007-2019)

Fonte: INMET/2021; Organizado pelo autor/2021.

Aspectos Hidrográficos

A área de estudo possui uma rede de drenagem relativamente complexa, possivelmente em virtude da estrutura geomorfológica do local, caracterizada em sua maioria como planície costeira e pela declividade relativamente plana. Além disso, ela é influenciada pela bacia hidrográfica do rio Jucu, que, junto à bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, é responsável pelo abastecimento de, praticamente, toda RMGV. Neste contexto, destacam-se o Rio Jucu, localizado na porção centro-sul do município, sendo o maior corpo d'água de Vila Velha, o Rio Aribiri e o Rio Marinho.

Além dos rios citados, destacam-se também os Rios Formate, do Congo, Aribiri e o Rio Marinho, esses totalmente modificados pelas ações humanas, pois encontram-se, quase que totalmente, em área urbana. De acordo com Silva (2013), Vila Velha é o município do Estado que possui o maior número de canais fluviais, com um total de 72 km de extensão. No entanto, boa parte dos Rios encontra-se em processo de degradação ambiental, sobretudo em áreas cuja urbanização deu-se sem o devido planejamento, a exemplo dos Rios Aribiri e Marinho, onde é possível observar lançamentos de esgotos domiciliares e efluentes de indústrias, fato que

corroborar para que ocorra o assoreamento dos rios⁸, o aumento de doenças e inundações, em especial nos períodos de chuvas intensas no período chuvoso, entre os meses de novembro a março (SILVA, 2013).

Figura 9: Trecho do Rio Marinho (em azul), entre São Torquato (Vila Velha à direita), e Jardim América (Cariacica à esquerda)



Fonte: Google Earth (2023).

Aspectos do Relevo

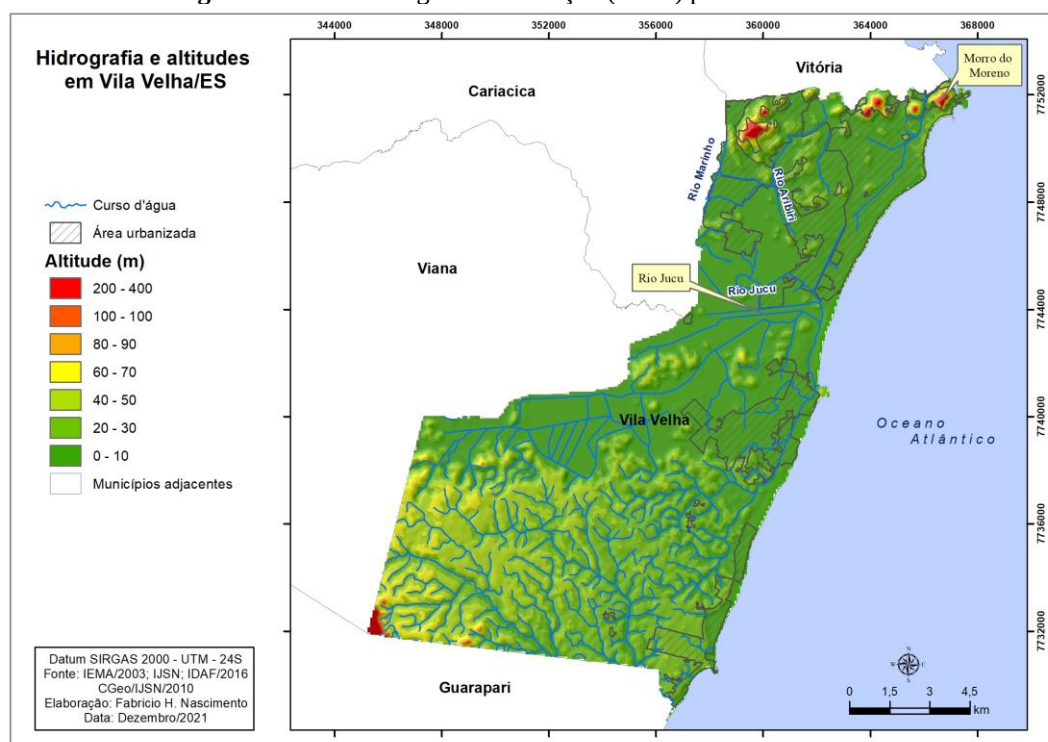
Vila Velha é caracterizada por altitudes que variam de 0 a, no máximo, 386 metros (Morro do Moreno). Segundo o Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN, 2012), o município estudado é caracterizado por, pelo menos, quatro compartimentos de relevo, quais sejam: Planície Costeira (maior parte urbanizada), Patamares Escalonados, Acumulação Fluvial e Tabuleiros Costeiros. Conforme já mencionado, o ponto mais elevado do município é de 386 metros, situado no Morro do Moreno, porção nordeste do município (Figura 10 e Figura 11).

Segundo Rosa *et al.* (2018), o município de Vila Velha é caracterizado por um complexo de formações rochosas às margens da Baía de Vitória (norte do município). Dentre esses, destaca-

⁸ O professor José Carlos Mierzwa, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), afirma que, a ocupação de áreas de mata ciliar, sua retirada e o processo de canalização, deteriora a qualidade estética dos rios, contribui para a proliferação de algas e diminuição da capacidade do rio fluir e, consequentemente, contribui para que ocorram processos de inundação. Para saber mais, ver: Diminuir assoreamento, recompor a mata ciliar e não poluir: ações para ressuscitar um rio. Entrevista de José Carlos Mierzwa ao Jornal da Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/diminuir-assoreamento-recompor-a-mata-ciliar-e-nao-poluir-acoes-para-ressuscitar-um-rio/>. Acesso em 23 agosto 2024.

se o Morro do Boa Vista, localizado no bairro São Torquato, que, além de constituir-se numa área naturalmente de risco, apresenta como principal característica um tipo de ocupação que, de acordo com os autores, denomina-se ocupação espontânea, sem planejamento, acentuando ainda mais os riscos e as vulnerabilidades do local (ROSA *et al.*, 2018).

Figura 10: Modelo Digital de Elevação (MDE) para Vila Velha/ES

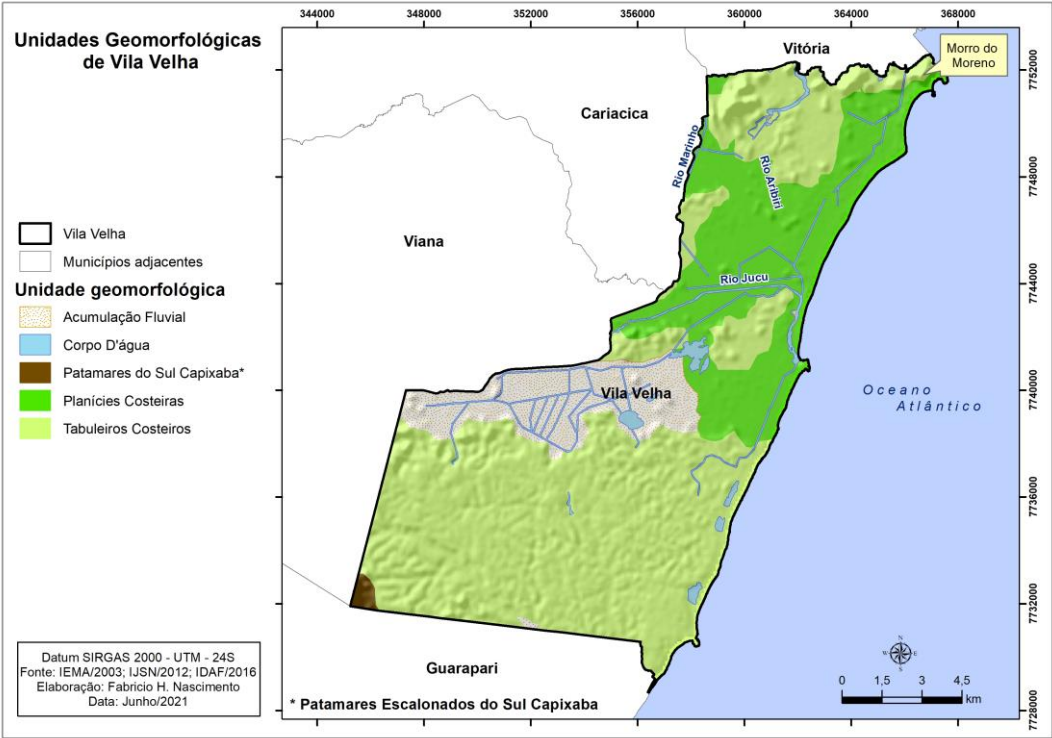


Elaborado pelo autor/2021.

Orientação de vertentes

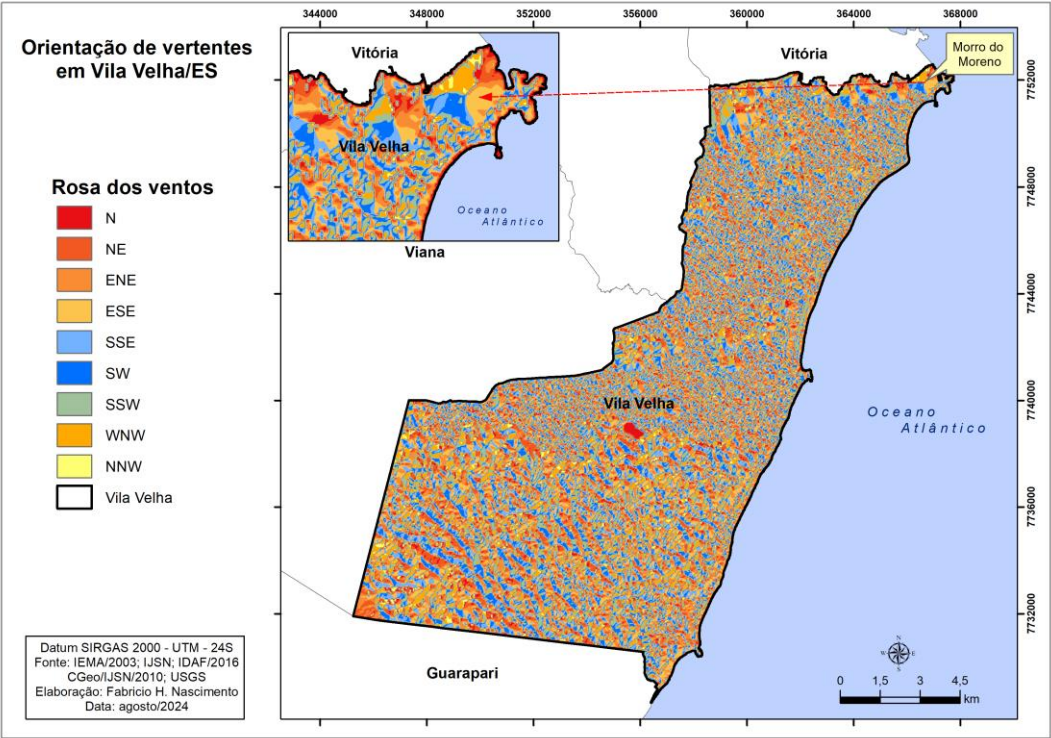
A orientação de vertente é um aspecto do relevo de muita importância em estudos ambientais e urbanos. Através da orientação do relevo, é possível identificar a direção dos canais de drenagem e planejar as atividades humanas em função da radiação solar (Figura 12). De acordo com Oliveira (1984), a orientação de vertente tem uma função importante em estudos do clima na medida em que fornece informações sobre o grau de insolação que uma superfície recebe em função da movimentação do Sol ao longo do dia. A partir desse dado, é possível estabelecer critérios de localização de diversos equipamentos em uma cidade, como, por exemplo, parques, edificações, posição de janelas, dentre outros.

Figura 11: Unidades geomorfológicas da área de estudo



Elaborado pelo autor/2021.

Figura 12: Orientação de vertentes (graus) em Vila Velha



Elaborado pelo autor/2021.

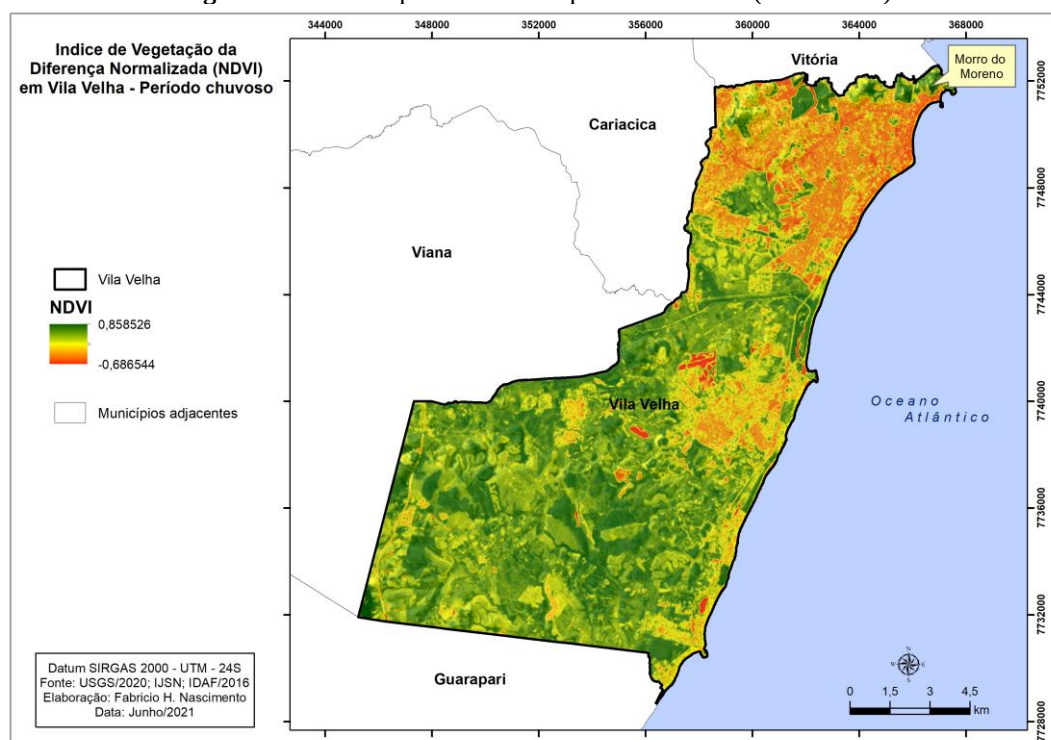
Como pode ser observado na Figura 12, a porção centro-norte do município é, predominantemente, ocupada por relevos com vertentes orientadas para os quadrantes norte-nordeste e sul-sudeste, ou seja, trata-se de uma área cuja intensidade da radiação solar é mais elevada ao longo do dia, contribuindo, dessa forma, para um maior aquecimento da superfície e elevação da temperatura do ar, situação ainda mais grave, pois essa porção da área de estudo refere-se à área mais densamente ocupada de Vila Velha.

Aspectos da vegetação e vigor vegetativo

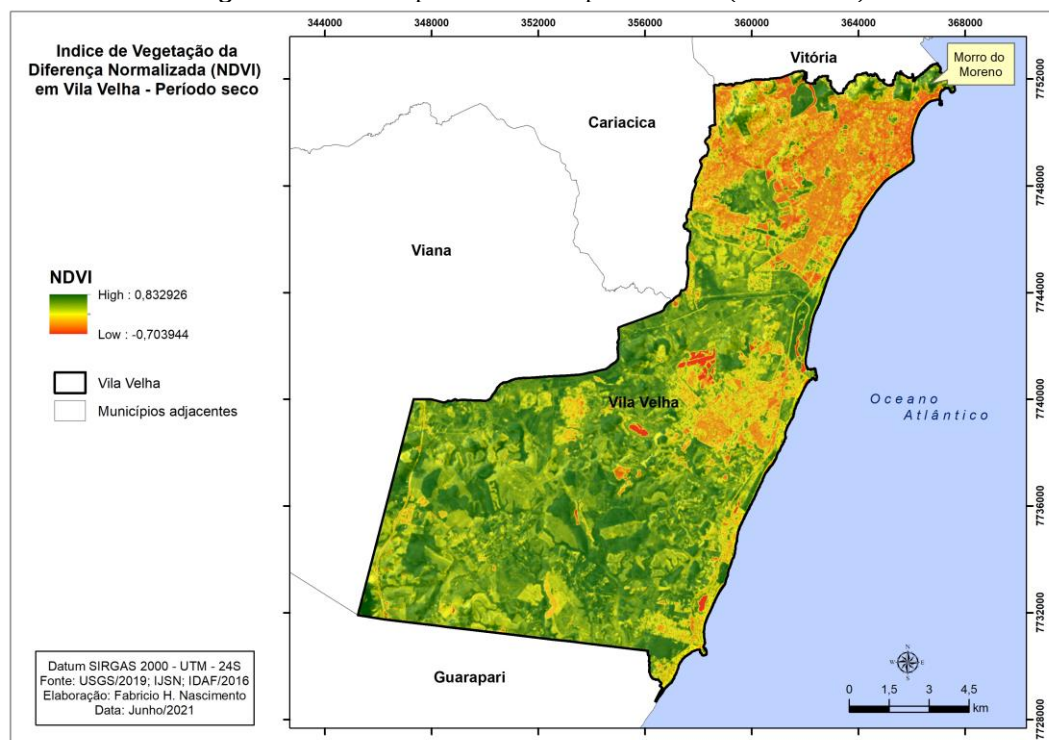
No que se refere aos aspectos da vegetação, o Espírito Santo é privilegiado, pois é possível encontrar diversos tipos de vegetação no Estado, isso graças às condições naturais nas quais se insere. Em Vila Velha, por seu turno, é possível perceber espécies de vegetação da Mata Atlântica (a exemplo do que ocorre no Morro do Moreno), vegetação de restinga (em Itaparica, Praia da Costa e Itapoã) e manguezal (em bairros como Cobilândia e em trechos da avenida Carlos Lindemberg), além de ocorrência de brejo e mata paludosa (PINHEIRO, 2010; VALE, 2004). De acordo com o Atlas Histórico e Geográfico do Espírito Santo (2011), o maior grupo de vegetação encontrado no estado do Espírito Santo, e em Vila Velha, refere-se à Floresta Ombrófila, típicas de áreas tropicais, com copas altas e frondosas.

As Figura 13 e Figura 14 demonstram o NDVI para Vila Velha: para o período chuvoso, 20 de janeiro do ano de 2020; e seco, dia 07 de junho de 2020. De acordo com os mapas, as áreas mais urbanizadas possuem valores de NDVI mais próximos de -1, indicando ausência de vegetação verde e vigorosa. Situação semelhante pode ser observada nas porções central e sudoeste do município, áreas densamente ocupadas e pavimentadas e de pastagens e com a presença marcante de áreas de agricultura e solo exposto.

De acordo com o NDVI, representado pela Figura 13, representativo do período chuvoso, do dia 12/01/2020, as áreas que apresentaram índices baixos de vigor vegetativo são exatamente as áreas localizadas na porção central e norte do município, indicando baixa densidade de vegetação, exceto no extremo nordeste da área de estudo, no Morro do Moreno. Nas áreas localizadas na porção sul e na porção oeste, próximas aos municípios de Guarapari e Viana, o indicador demonstrou melhor vigor vegetativo. No entanto, vale ressaltar que, de acordo com o mapeamento do uso e cobertura do solo, realizado pelo IJSN (2018), as áreas mencionadas são caracterizadas, majoritariamente, por culturas agrícolas.

Figura 13: NDVI representativo do período chuvoso (12/01/2020)

Elaborado pelo autor/2021.

Figura 14: NDVI representativo do período seco (07/06/2020)

Elaborado pelo autor/2021.

Caracterização socioeconômica

Numa tentativa de abordar a temática de forma sistêmica, é de fundamental importância que os estudos geográficos, nomeadamente da Geografia do Clima, percebam a relação existente entre os diferentes modos de produção e reprodução do espaço com o ambiente e, com isso, subsidiar os planejadores na elaboração de políticas públicas mais eficazes, tanto no planejamento urbano, como no rural. Num caso particular, Sant’Anna Neto (2001) destaca a relação do clima e da organização do espaço, e esse, por sua vez, depende do grau de desenvolvimento tecnológico de uma determinada sociedade. Portanto, os aspectos socioeconômicos possuem uma importância basilar na medida em que oferecem um aporte de conhecimentos de como as sociedades se organizam e interagem no espaço geográfico e no território (Sant’Anna Neto, 2001).

Uso e cobertura do solo

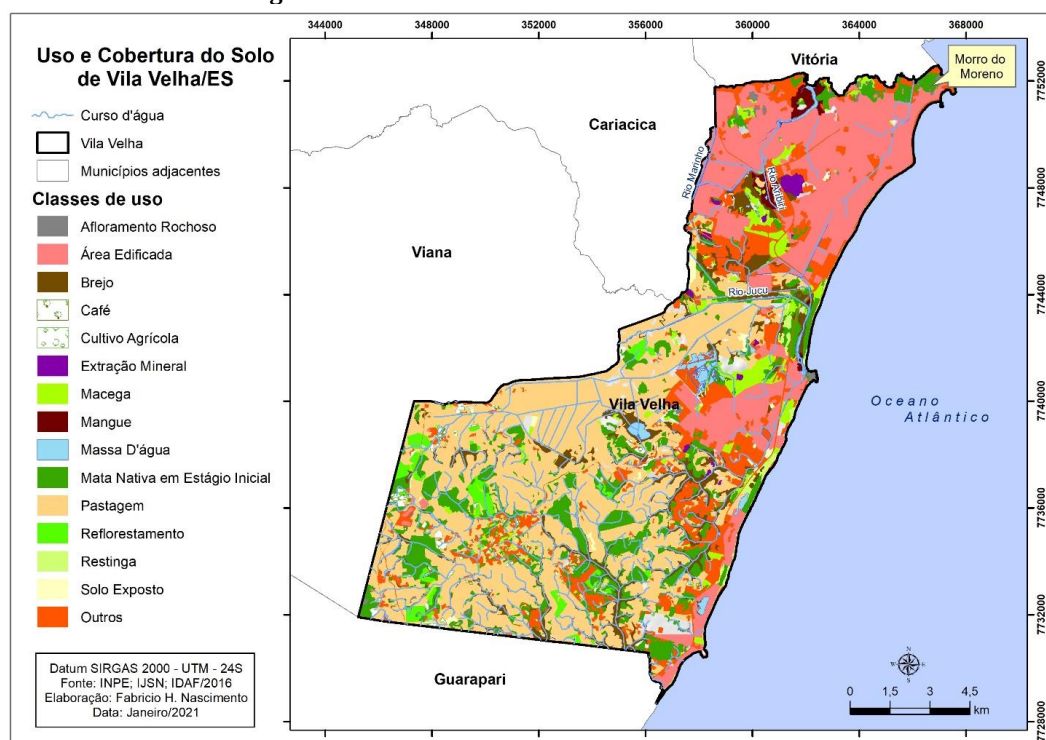
A Figura 15 e a Tabela 2 referem-se ao mapa de uso e cobertura do solo⁹ e a uma estatística descritiva simples das respectivas classes de uso. Conforme pode ser observado na Figura 15 e Tabela 2, 35% do território de Vila Velha é caracterizado por pastagens e cerca de 20% correspondem a área efetivamente urbanizada contra apenas 8% de área de vegetação nativa. A classe outros, representando 13% do município, refere-se às categorias que não foram identificadas durante o mapeamento da base cartográfica.

Dentre vários usos que são importantes analisar, ressalta-se a classe “Mangue”, com apenas 1,59 km², correspondendo a menos de 1% do território. Esse ecossistema se tornou tão diminuto diante da forte pressão urbana (em especial nas porções nordeste e noroeste) exercida pela população de baixa renda, que, não tendo acesso à habitação adequada, constrói casas em áreas, muitas das vezes, impróprias à ocupação humana, como em unidades de conservação e em áreas de preservação permanente (SILVA, 2013).

⁹ O mapeamento do uso e cobertura do solo do Estado do Espírito Santo foi realizado pela HIPARC, por meio do edital nº 002/2011, tendo o IEMA como a instituição pública contratante. Nesse contexto, em relação aos valores em km² da classe área urbana, esse mapeamento possui uma diferença significativa, pois, no mapeamento de 2015, com base em ortofotomosaicos, o critério da empresa contratada não considerou o perímetro urbano, apenas as áreas construídas.

De acordo com os dados do Censo Demográfico (IBGE, 2022), 43,3% das vias públicas têm algum tipo de arborização, o que significa menos da metade do município. Situações como essas podem favorecer a sensação térmica elevada no contexto urbano, tendo em conta o importante papel da vegetação na atenuação do calor.

Figura 15: Uso e cobertura do solo em Vila Velha/ES



Elaborado pelo autor/2021.

Tabela 2: Estatística de uso e cobertura do solo em Vila Velha/ES

Classe	Área (km²)	Percentual
Afloramento Rochoso	1,04	0,50
Área Edificada	41,67	19,93
Brejo	13,06	6,25
Café	0,15	0,07
Cultivo Agrícola	1,97	0,94
Extração Mineral	1,14	0,55
Macega	6,91	3,31
Mangue	1,59	0,76
Massa D'água	3,62	1,73
Mata Nativa	16,78	8,03
Mata Nativa em estágio de regeneração	11,78	5,63
Outros	28,26	13,52
Pastagem	75,08	35,92
Reflorestamento - Eucalipto	1,51	0,72
Reflorestamento - Seringueira	2,05	0,98
Restinga	1,36	0,65
Solo Exposto	1,09	0,52
Total	209,03	100

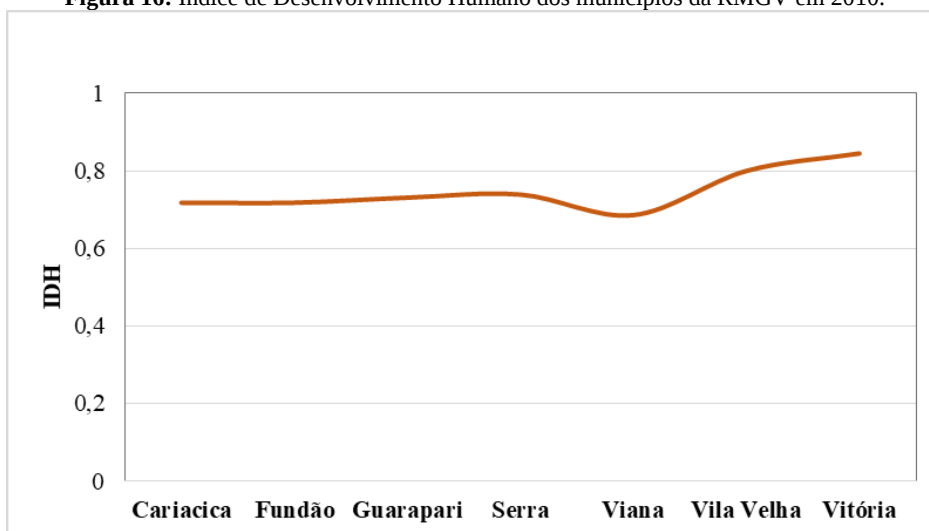
Fonte: IDAF/2016. Organizado pelo autor/2021.

Aspectos Econômicos e Demográficos

Segundo o IBGE, a população estimada de Vila Velha para o ano de 2020 era de cerca de 442.000 habitantes, com densidade demográfica de 1.973,59 habitantes por quilômetro quadrado (hab./km²), considerando uma área total de 210.225 km² e um PIB per capita de R\$ 24.936,10. Contudo, de acordo com os recentes dados divulgados do último censo demográfico, de 2022, a população de Vila Velha deu um salto para 467.722 habitantes, distribuídos por uma densidade demográfica de 2.224,86 hab./km², ou seja, houve um acréscimo de, pelo menos 25.000 habitantes em 10 anos.

Na classificação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o município é classificado em 0,8, considerando a escala de 0 a 1 (Figura 16). Tendo em vista a população total estimada do Estado do Espírito Santo, que, de acordo com o IBGE (2022), é de 3.833.712 habitantes, Vila Velha ocupa o segundo lugar, atrás apenas do município de Serra (Quadro 1). Pode-se dizer que, em relação a outros municípios do estado, nomeadamente alguns municípios do interior, e do Brasil, Vila Velha encontra-se em uma situação socioeconômica relativamente boa.

A população do município vila velhense nem sempre foi expressiva, pelo menos até a década de 1980 (IBGE, 2022). Seu crescimento populacional deu-se, principalmente, em função dos altos saldos migratórios ocorridos nos últimos 30 anos, em especial da população que vinha do interior do Estado. Para se ter uma ideia, esses saldos migratórios foram responsáveis por um crescimento, pelo menos, 8 vezes maior em 1980 do que em relação a 1950. Nesse contexto, Vila Velha e Cariacica possuíam o maior saldo migratório de todo o Espírito Santo, correspondendo a cerca de 65% dos migrantes que chegavam à RMGV, enquanto Vitória recebeu menos que 5% do total de migrantes.

Figura 16: Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios da RMGV em 2010.

Fonte: IBGE/2010. Elaborado pelo autor/2022.

Esse fator histórico é importante, pois uma parte considerável desses migrantes era de baixa renda e, com a especulação imobiliária atuando no município, elevando os preços de propriedades e imóveis nas áreas mais privilegiadas, essa população ocupou áreas impróprias para a ocupação humana, como Áreas de Preservação Permanente (APP), próximas a cursos d'água, declividade acentuadas e topos de morros, tal como em bairros como Boa Vista, São Torquato, Cobilândia, Aribiri, dentre outros.

Quadro 1: População total estimada dos municípios mais populosos do Espírito Santo

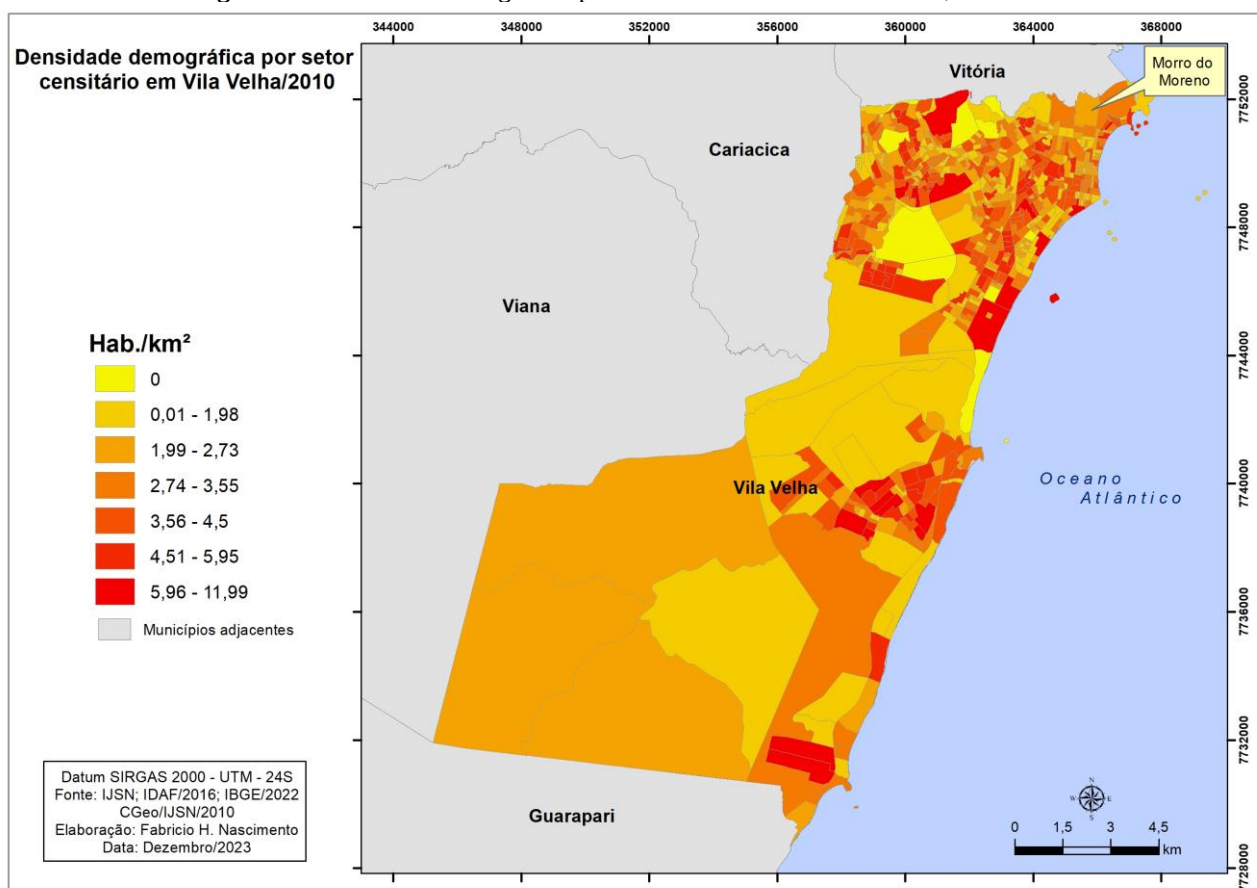
Posição	Município	População estimada em 2020
1	Serra	520.649
2	Vila Velha	467.722
3	Cariacica	353.510
4	Vitória	322.869
5	Cachoeiro de Itapemirim	185.784

Fonte: IBGE (2022). Organizado pelo autor/2021.

Do total da área do município, 210.225 km², 60,91%, referem-se ao perímetro urbano, embora apenas 31% sejam ocupadas de fato (MORAIS, 2015). Considerando a área total de Vila Velha, a área efetivamente urbanizada é relativamente pequena. No entanto, de acordo com o Plano Diretor Municipal (PDM), é possível verificar uma proposta de aumento da área urbanizada, inclusive a implantação de projetos de instalações portuárias e de aeroportos.

A densidade demográfica da área de estudo distribui-se de maneira irregular ao longo do território. Conforme os dados por setor censitário do IBGE (2022), o indicador varia de 0 a 160 habitantes por quilômetro quadrado, sendo que as porções norte, nordeste e noroeste do município são as mais densamente ocupadas (Figura 17).

Figura 17: Densidade demográfica por setor censitário em Vila Velha, 2022



Fonte: IBGE (2010). Elaborado pelo autor/2021.

Em termos educacionais, 96,8% da população de 6-14 anos é escolarizada, situação que coloca o município em uma situação relativamente boa em relação aos outros municípios do estado. No que se refere à população residente por cor, considerando o último censo demográfico do IBGE (2022), 181.278 se declararam de cor branca, 195.475 se declararam de cor parda e 33.859, 3.061, 896 e 17 se declaram de cores, preta, amarela, indígena e sem declaração, respectivamente.

Capítulo 2: Revisão do Estado da Arte

Fundamentação Teórica

Produção e reprodução do espaço urbano: do global ao local

A urbanização é um processo importante para entender uma infinidade de fenômenos ligados à relação sociedade e natureza, especificamente sobre o clima das cidades (LANDSBERG, 2006). Conforme menciona Sposito (2002, p. 10):

A urbanização como processo, e a cidade, forma concretizada deste processo, marcam tão profundamente a civilização contemporânea, que é muitas vezes difícil pensar que em algum período da História as cidades não existiram, ou tiveram um papel insignificante.

Ainda neste contexto da importância dos estudos históricos da urbanização, Sposito (2002, p. 02), ao ser questionada sobre a importância de se estudar a história das cidades, assim responde:

Parece-me fundamental recuperar a História não apenas para a reflexão sobre o urbano, mas para se fazer uma Geografia para além da paisagem, para além do que os nossos sentidos podem perceber. O corte no tempo, sem a recuperação histórica, conduz ao estudo de um espaço estático, de uma cidade apenas formal. É preciso considerar todas as determinantes econômicas, sociais, políticas e culturais, que, no correr do tempo, constroem, transformam e reconstróem a cidade, se queremos entendê-la na dinâmica de um espaço que está em constante estruturação, respondendo e ao mesmo tempo dando sustentação às transformações engendradas pelo fluir das relações sociais.

A origem da cidade tem uma forte relação com a intensificação e aprimoramento das atividades humanas, sobretudo se considerar a evolução da sociedade e as técnicas utilizadas para modificar a Natureza. Embora os aglomerados humanos sejam muito mais antigos, de forma mais intensa, a urbanização tem um marco histórico na Primeira Revolução Industrial, ocorrida na Inglaterra em meados do século XVIII, que culminou em cidades industriais e, posteriormente, pós-industriais. Nesse contexto, as cidades já eram percebidas como o meio que traria às sociedades a melhoria das condições de vida e a segurança. No entanto, *a priori*, o ambiente urbano tão almejado pela população da época era de extrema precariedade, havendo problemas de diversas ordens, tais como ambiental e social. Ademais, não poucas vezes, eram perceptíveis problemas relacionados à falta de infraestruturas, saneamento básico, insalubridade e violência (Figura 18), que, na verdade, ainda são muito comuns, em especial nos países do sul (SPOSITO, 2002; GARCIA, 2013).

Figura 18: Gravura de uma típica cidade na Inglaterra durante a primeira Revolução Industrial, século XVIII



Fonte: <https://rededageo.wordpress.com/2015/04/07/revolucao-industrial-e-o-impacto-nas-cidades-parte-ii/>, acesso em 23/3/2024.

Vale ressaltar aqui a diferença dos conceitos de cidade e área urbana. Ao longo da história, diversos conceitos de cidades foram propostos. De acordo com Vasconcelos (2015), a discussão do conceito de cidade leva em consideração uma série de fatores, inclusive políticos. Nessa conjuntura, o autor destaca os conceitos de cidades que surgiram em tempos históricos diferentes, do período pré acadêmico (1810-1869) ao período atual (1995-2015). O autor ainda destaca que a cidade sofreu uma série de metamorfoses, passando pelo conceito de concentração de população e de instrumentos de produção até o conceito que a percebe como um conjunto de formas e ocupação do solo com funções especializadas (VASCONCELOS, 2015).

O espaço urbano, e esse capitalista, de acordo com Corrêa (2004), refere-se a, basicamente, um conjunto fragmentado, articulado, reflexo de condicionante social, símbolos e campo de lutas entre agentes sociais. O espaço urbano é produto de ações acumuladas através do tempo e engendradas por agentes que produzem e consomem o espaço.

A compreensão do processo de produção do espaço urbano é importante para que se tenha uma percepção adequada das distintas vulnerabilidades que ocorrem no espaço urbano, tanto do ponto de vista social como do natural. Nesse sentido, Neto (2019, p. 33) menciona que:

As origens dos problemas urbanos estão diretamente relacionadas ao sistema econômico que produz não somente a mercadoria, cabe dizer, mas produz também o desemprego e subemprego que, por sua vez, contribui para o aumento da pobreza e das vulnerabilidades de natureza social e espacial que crescem na mesma proporção do crescimento urbano.

Nesse sentido, o processo de segregação social, impulsionado pelo desenvolvimento das áreas urbanas, acaba por gerar mais segregação espacial e diversos outros impactos à sociedade, em especial no atual estágio de desenvolvimento do processo de globalização, iniciado a partir da década de 1980, em países desenvolvidos em primeiro lugar (EUA e Inglaterra), e posteriormente estendendo-se aos países subdesenvolvidos. Sobre este assunto, Marisco (2020, p. 45-46) afirma que:

Dentre alguns dos efeitos promovidos por essa globalização, podemos perceber, por um lado, o aumento significativo da exclusão social entendido como um processo associado a perdas gradativas dos direitos fundamentais a todo ser humano (o direito à saúde, à educação, à habitação, ao emprego, aos direitos civis, aos direitos políticos etc.), enfim, aos direitos garantidos pela Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948. Por sua vez, o impacto da globalização sob os processos de reestruturação da economia e no padrão de estruturação das cidades vem acentuando a segregação e a exclusão resultando em um tecido urbano cada vez mais desigual.

Ainda sobre essa questão, Campos; Canavezes (2007, p. 81) assim expressam:

Neste debate, questiona-se em que medida é que a integração nos mercados globais tem conduzido à convergência ou à divergência entre os rendimentos dos países ricos e dos países pobres, e mesmo ao aumento de divergências entre regiões no interior dos próprios países.

A era da Globalização tem sido marcada por enormes avanços tecnológicos, pelo acentuado desenvolvimento do comércio internacional e pela transnacionalização do investimento e do capital; aparentemente, estar-se-ia num clima de prosperidade econômica.

No entanto, os ganhos em termos de desenvolvimento humano foram bastante menos impressionantes.

Áreas consideráveis do mundo menos desenvolvido estão a ser deixadas para trás. As diferenças em termos de desenvolvimento humano entre países ricos e pobres, já de si grandes, aumentaram.

Essa análise é importante, pois a compreensão de um fenômeno geográfico deve ser vista a partir das diferentes escalas de análise. De acordo com Neto (2019), embora a urbanização constitua-se em um fenômeno de escala global, esse processo não se explica apenas por números e estatísticas, mas também pelo papel de cada cidade e/ou país frente à divisão internacional do trabalho e nas diversas escalas: global, regional e local. Corroborando com essa ideia, Sposito (2017) afirma que nada pode ser explicado apenas por uma escala, mas, sim,

se analisando as diversas escalas, do local, perpassando pelos níveis intermediários, até o nível global.

Sobre isso, Dollfuss (1973, p. 23, grifo nosso) assim expressa:

A análise de qualquer **espaço geográfico**, de qualquer elemento que intervenha em sua composição assim como a de qualquer combinação de processos que atuem no interior desse espaço ou sobre ele, só se torna inteligível quando realizada no interior de um sistema de escalas de grandeza.

Puebla (2001) afirma que, embora seja de extrema importância, as escalas têm sido fonte de problemas mais do que como uma noção que permite análises mais ricas e diferenciadas da realidade. Ainda segundo esse autor (*op. cit.*), esses problemas são advindos da confusão existente da consideração da escala como uma categoria epistemológica e ontológica. No entanto, o autor ressalta que: “certamente cada investigação geográfica se realiza em uma determinada escala e os resultados dessas investigações não podem ser valorizados sem considerar à escala adotada” [trad. nossa] (PUEBLA, 2001, p. 90)¹⁰.

Portanto, independente do fenômeno geográfico a ser estudado, as escalas de análise, bem como suas conexões são de importância fundamental para uma compreensão das diferentes realidades geográficas. Diante disso, os subcapítulos subsequentes têm a pretensão de verificar, mesmo que de forma pormenorizada, os processos de urbanização do Brasil e do Estado do Espírito Santo.

De acordo com Corrêa (2004), o espaço urbano é formado por vários agentes a que o autor denomina agentes produtores do espaço, quais sejam: os proprietários dos meios de produção (industriais), os proprietários fundiários, os promotores imobiliários, o Estado e os grupos sociais excluídos.

Em primeiro lugar, os proprietários dos meios de produção atuam em função de suas atividades, e que, por isso, “precisam” de extensas áreas de terras, tornando-se grandes consumidores de terras. Aqui entra a questão da isenção fiscal concedida a essas empresas pelo Estado, bem como investimentos que são direcionados a um determinado lugar em função das atividades econômicas, como obras de infraestruturas de transportes. Os proprietários de terras atuam no

¹⁰ “Ciertamente cada investigación geográfica se realiza a una determinada escala y los resultados de esas investigaciones no pueden ser valorados sin considerar la escala de análisis adoptada” (PUEBLA, 2001, p. 90).

sentido de obterem uma renda mais elevada de suas propriedades (capitalizadas), em especial a partir dos usos ou residencial de *status*. Assim, o valor de uso é subjugado pelo valor de troca. Os promotores imobiliários atuam na construção de habitações, às vezes em terras concedidas pelo Estado, e essas habitações possuem valor de uso superior às antigas. Geralmente, os promotores imobiliários se organizam em grandes empresas que realizam diversas atividades, por exemplo, incorporação, financiamento, construção e comercialização. Por fim, os grupos sociais excluídos, caracterizados pela população que não possui condição de pagar o aluguel de uma habitação que lhe garanta dignidade, tampouco possui condição de comprar um imóvel.

Para essa população, que faz parte dos grupos sociais excluídos, não resta outra possibilidade que não seja ocupar áreas inadequadas à habitação – os cortiços, os sistemas de autoconstrução, as favelas, e essas, muita das vezes, com pouca ou nenhuma infraestrutura, com saneamento deficiente, drenagem inexistente, exposição a todo o tipo de violência, dentre outros males. Além disso, são provavelmente os mais vulneráveis, social e ambientalmente, pois, além de suas condições financeiras serem insuficientes para lhes proporcionar vidas mais seguras, em muitos casos as habitações em que moram não lhes proporcionam a proteção necessária às intempéries do clima (CORRÊA, 2004; MARICATO, 2003).

De acordo com Carlos (2011), o espaço urbano é a materialização da cidade enquanto totalidade. Dessa forma, a cidade é percebida não apenas por um conjunto de construções e número populacional, mas também por relações de produção, principalmente industrial, e uma concentração cumulativa de funções, sendo essas responsáveis pelo processo de reprodução espacial.

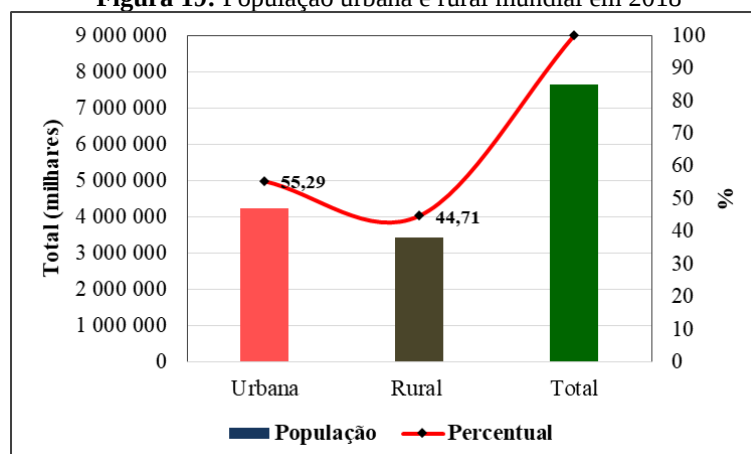
Não obstante aos diversos impactos socioeconômicos advindos do processo de produção e reprodução capitalista do espaço urbano, as áreas urbanas também desempenham um importante contributo na alteração dos elementos da atmosfera, em especial na escala local. Nesse cenário, o processo de urbanização produz profundas modificações na natureza, alterando as características físicas e químicas da superfície, das propriedades térmicas dos materiais, das características da radiação solar, da temperatura do ar, das características hídricas e aerológicas (MILLS, 2014; AYOADE, 2013; OKE, 1987; LOMBARDO, 1985).

De acordo com Sant'Anna Neto (2011, p. 47), a compreensão do espaço urbano é importante na identificação de diversos problemas sociais, notadamente diante da produção capitalista do espaço:

Como a produção do espaço urbano segue a lógica da reprodução capitalista, portanto gerador de espaços segregados e fragmentados, longe de se produzir um sistema que respeite e se adapte às condições ambientais e naturais, é de se esperar que esta contradição resulte em impactos altamente sensíveis aos diversos grupos sociais que habitam a cidade, também de forma desigual, tornando as desigualdades sociais ainda mais agudas.

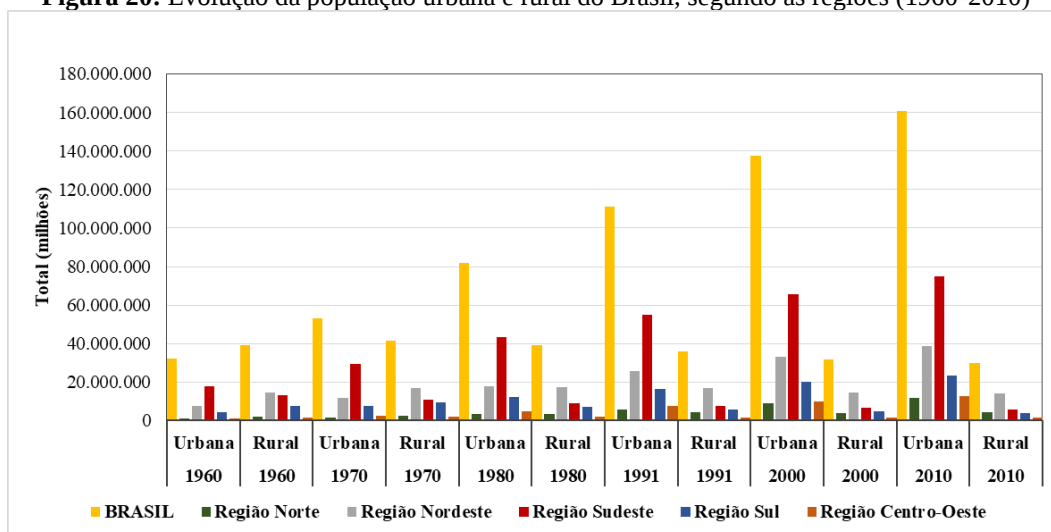
Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), já em 2018, mais da metade da população mundial vivia em áreas urbanas, contabilizando pelo menos 55% da população, sendo que, em 1950, essa mesma população era de cerca de 30%, isto é, houve um aumento de quase 100% em menos de 60 anos (Figura 19). A projeção para 2050 é ainda mais alarmante, pois as cidades irão abrigar, pelo menos, 70% da população mundial (UNITED NATIONS, 2019). Nesse contexto, cenários como esse, sem as devidas medidas do poder público, oferece às sociedades e ao ambiente um aumento significativo de impactos, riscos e vulnerabilidades, especialmente em cidades localizadas em latitudes tropicais que, ainda nos dias de hoje, a atual conjuntura política e econômica faz com que os problemas associados à urbanização acelerada sejam ainda mais intensos. Além disso, mesmo diante de avanços das ciências, as pesquisas sobre o tema ainda não são suficientes (VEYRET, 2007; MONTEIRO, *et al.*, 2003; BARROS; LOMBARDO, 2013).

De acordo com Sant'Anna Neto (2011), a expansão territorial e a grande concentração da população mundial em áreas urbanas, considerando o modo de produção capitalista do espaço, diminui a possibilidade das populações em fixar novos territórios, diferentemente dos sistemas econômicos que são globais.

Figura 19: População urbana e rural mundial em 2018

Fonte: <https://population.un.org/wup/Download/>, acesso em 26 abril 2021.
Elaborado pelo autor/2021.

Nesse enquadramento, mais de 60% da população brasileira vive em áreas urbanas segundo o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), tendo o Sudeste como a região com o maior percentual de pessoas vivendo em áreas urbanas, 93,14% (Figura 20). Infelizmente, esse grande percentual de população urbana não é acompanhado por uma política de desenvolvimento sustentável. Segundo o órgão (*op. cit.*), as condições de moradias de boa parte da população urbana brasileira caracterizam-se por moradias irregulares e com infraestruturas inadequadas, que podem potencializar os problemas urbanos do país e corroborar para que ocorra uma série de problemas de ordem ambiental e socioeconômico (IBGE, 2017).

Figura 20: Evolução da população urbana e rural do Brasil, segundo as regiões (1960-2010)

Fonte: IBGE (2010). Elaborado pelo autor/2021.

Em relação à urbanização do Brasil, Santos (1993, p. 09) propõe que:

Alcançamos, neste início de século, a urbanização da sociedade e a urbanização do território, depois de longo período de urbanização social e territorialmente seletiva. Depois de ser litorânea (antes e mesmo depois da mecanização do território), a urbanização brasileira se tornou praticamente generalizada a partir do terceiro terço do século XX, evolução quase contemporânea da fase atual de macrourbanização e metropolização.

O autor (*op. cit.*, p. 26) prossegue:

O Brasil foi, durante muitos séculos, um grande arquipélago, formado por subespaços que evoluíam segundo lógicas próprias, ditadas em grande parte por suas relações com o mundo exterior. Havia, sem dúvida, para cada um desses subespaços, polos dinâmicos internos. Estes, porém, tinham entre si escassa relação, não sendo interdependentes.

De acordo com Monteiro (2003), a produção do espaço urbano brasileiro deve também ser percebida, levando em consideração uma diversidade de problemas, de ordem social, econômica, política e ambiental. Assim, de acordo com o autor:

O que deve ser ressaltado é que, desse jogo campo-cidade, resultou um exacerbado processo de urbanização que, na visão oficial, geraria regiões metropolitanas, em torno de uma dezena, onde o improvisado (ilegal), superava muito o planejado (legal). Em termos genéricos, o caos superou a ordem (p.10).

Diante desse cenário, em que o caos superou a ordem, e isso, num certo sentido, por convivência do Estado, não é incoerente pensar que uma série de vulnerabilidades surgiram, pois os vetores social, econômico e ambiental foram negligenciados nesse processo de produção do espaço urbano brasileiro. Nessa conjuntura de crescimento das áreas urbanas no Brasil, cresce também os contrastes sociais, a exemplo da pobreza, que tem nesse espaço urbano o centro da exclusão social, ou seja, trata-se do lugar que tem a capacidade de atrair e manter a pobreza (MONTEIRO, 2003; SANTOS, 1993).

Na literatura específica, o processo de aceleração da urbanização do Brasil pode ser compreendido como um fenômeno relativamente recente, datando da segunda metade do século XX, embora desde o período colonial é possível identificar a organização de uma parte da sociedade brasileira em cidades. No entanto, somente no final do século XVIII é que pode ser percebida a organização da sociedade brasileira em áreas urbanas, em que a casa da cidade se torna a residência do fazendeiro; é, entretanto, apenas no final do século XIX que o fenômeno é, de fato, acelerado (SANTOS, 1993). Nessa circunstância, o crescimento da população do

país, em especial da população urbana, influenciada por uma urbanização moderna. Conforme aponta Maricato (2001, p. 17), mesmo embrenhada de segregação territorial,

Realizavam-se obras de saneamento básico para a eliminação das epidemias, ao mesmo tempo em que se promovia o embelezamento paisagístico e eram implantadas as bases legais para um mercado imobiliário de corte capitalista. A população excluída desse processo era expulsa para os morros e franjas da cidade. Manaus, Belém, Porto Alegre, Curitiba, Santos, Recife, São Paulo e especialmente o Rio de Janeiro são cidades que passaram por mudanças que conjugaram saneamento ambiental, embelezamento e segregação territorial, nesse período.

Nessa perspectiva, não seria incoerente pensar que, no modo de produção urbana do Brasil, desde seu início, já podia ser evidenciada uma camada considerável da população vivenciando processos de vulnerabilidades, tanto social como ambiental.

Neste mesmo sentido, Veyret (2007, p. 83) assevera que os riscos naturais, por exemplo, catástrofes, estão intimamente correlacionados com o processo de urbanização dos países em desenvolvimento, caso do Brasil, processo esse que a autora vai denominar de “urbanização acelerada”.

É importante ressaltar que, embora a urbanização do Brasil tenha ocorrido tardiamente, isso não deve levar a crer que as cidades, no passado, não eram dotadas de certa importância. Como afirma Maricato (2003, p. 151), “as metrópoles tinham uma importância especial por seu papel como lugar de financiamento e comercialização dos bens primários exigidos pelo mercado europeu”. Não obstante, mesmo diante dessa importância ditada pela Europa até o final do século XIX, a população era, em sua maioria, rural.

A dinâmica da urbanização brasileira possuiu uma integração limitada, tanto do ponto de vista espacial como de mercado, e esteve ligada à divisão internacional do trabalho, que era o motor dessa urbanização, mas que gerava, ao mesmo tempo, diferenciações no território brasileiro. De acordo com Santos (1993), a urbanização brasileira passou por dois regimes, basicamente, em diferentes períodos da história do Brasil. De modo especial, no entanto, entre os anos de 1940 e 1950, em que “[...] os nexos econômicos ganharam enorme relevo, e se impõem às dinâmicas urbanas na totalidade do território” (*op. cit.*, p.24). Nesse quadro, por que não dizer que o econômico se sobrepôs ao social? Sobre isso, Maricato (2003, p. 152), ao analisar a questão urbana no Brasil, afirma que

A extensão das periferias urbanas (a partir dos anos de 1980 as periferias crescem mais do que os núcleos ou municípios centrais nas metrópoles) tem sua expressão mais concreta na segregação espacial ou ambiental configurando imensas regiões nas quais a pobreza é homogeneamente disseminada. Pela primeira vez na história do país registram-se extensas áreas de concentração de pobreza, a qual se apresentava relativamente esparsa nas zonas rurais antes do processo de urbanização. A alta densidade de ocupação do solo e a exclusão social representam uma situação inédita.

Desse ponto de vista, a urbanização brasileira foi, e ainda é, um processo excludente, não somente do ponto de vista social, mas também espacial e ambiental. Nesse sentido, ainda em Maricato (2003, p. 152):

A segregação urbana ou ambiental é uma das faces mais importantes da desigualdade social e parte promotora da mesma. À dificuldade de acesso aos serviços e infraestrutura urbanos (transporte precário, saneamento deficiente, drenagem inexistente, dificuldade de abastecimento, difícil acesso aos serviços de saúde, educação e creches, maior exposição à ocorrência de enchentes e desmoronamentos etc.) somam-se menos oportunidades de emprego (particularmente do emprego formal), menos oportunidades de profissionalização, maior exposição à violência (marginal ou policial), discriminação racial, discriminação contra mulheres e crianças, difícil acesso à justiça oficial, difícil acesso ao lazer. A lista é interminável.

De acordo com Santos (1993, p. 10), as cidades, nomeadamente as cidades brasileiras, tornam-se intrinsecamente as gestoras da desigualdade:

A cidade em si, como relação social e como materialidade, torna-se criadora de pobreza, tanto pelo modelo socioeconômico do que é o suporte como por sua estrutura física, que faz dos habitantes das periferias (e dos cortiços) pessoas ainda mais pobres. A pobreza não é apenas o fato do modelo socioeconômico vigente, mas também, do modelo espacial.

Como já foi mencionado, a lógica da industrialização foi o motor da urbanização brasileira. Nesse contexto, a lógica de industrialização caracterizou-se como um processo social complexo, que, de acordo com Neto (2019, p. 31), “tanto inclui a formação de um mercado nacional, quanto os esforços para equipar o território para torná-lo integrado”. Assim, diante de um aumento do mercado consumidor, que dinamizou o setor terciário, o processo de urbanização se alavancou. No entanto, os contrastes desse desenvolvimento urbano brasileiro já eram visíveis desde então. Uma das razões que pode ser mencionada é o próprio modo de desenvolvimento da economia brasileira que estava sob a égide da divisão internacional do trabalho e, consequentemente, dando origem a territórios distintos em relação à tecnificação e desenvolvimento (NETO, 2019).

O Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) de 1975-1979 atribui ao Brasil o papel de supridor mundial de alimentos e matérias-primas. Nessa perspectiva, o governo brasileiro daquele período investiu na indústria de bens de capital e de eletrônica pesada, o que faz com que a indústria tenha uma participação acentuada no PIB nacional. Associado ao desenvolvimento industrial, à mudança do paradigma agrícola, que agora é visto pela agropecuária, boa parte da população que vivia nos campos migraram em direção aos grandes centros da época, nomeadamente São Paulo e Rio de Janeiro. O desenvolvimento industrial é um fator importante para se compreender o crescimento expressivo das áreas urbanas nesses dois estados e em outras unidades da federação, como o Espírito Santo. Nesse último, tal crescimento é, no entanto, menos expressivo, refletindo, regionalmente, a realidade brasileira, uma vez que a concentração industrial em âmbito nacional é também desigual, uma vez que se concentra, sobretudo, no Sudeste e Sul. A realidade capixaba será tratada mais adiante.

Além de territórios distintos, o processo de urbanização brasileira acarretou também a pobreza no seu sentido mais cruel. Nesse contexto, Santos (1993, p. 10) menciona que:

Ao longo do século, mas sobretudo nos períodos mais recentes, o processo brasileiro de urbanização revela uma crescente associação com o da pobreza, cujo lócus passa a ser, cada vez mais, a cidade, sobretudo a grande cidade. O campo brasileiro moderno repele os pobres, e os trabalhadores da agricultura capitalizada vivem cada vez mais nos espaços urbanos. A indústria se desenvolve com a criação de pequeno número de empregos e o terciário associa formas modernas a formas primitivas que remuneram mal e não garantem a ocupação.

Se naquele momento o professor Milton Santos já percebia essa contradição, o que diria no momento atual, em que as grandes empresas imobiliárias se apropriaram da habitação, encarecendo cada vez mais o valor das moradias e, com isso, cada vez menos trabalhadores, sobretudo os mal remunerados, não têm condições de comprar moradias adequadas que possam protegê-los das intempéries ambientais. Consequentemente, essa parcela expressiva da população brasileira, dentre outros fatores, mas principalmente o financeiro, busca sua morada nas áreas mais vulneráveis do território, maiormente nas áreas metropolitanas, conforme aponta Maricato (2003, p. 154):

A relação legislação/mercado restrito/exclusão talvez se mostre mais evidente nas regiões metropolitanas. É nas áreas rejeitadas pelo mercado imobiliário privado e nas áreas públicas, situadas em regiões desvalorizadas, que a população trabalhadora pobre vai se instalar: beira de córregos, encostas dos morros, terrenos sujeitos a enchentes ou outros tipos de riscos, regiões poluídas, ou... áreas de proteção ambiental (onde a vigência de legislação de proteção e ausência de fiscalização definem a desvalorização).

Carlos (2011, p. 107), ao analisar a organização do espaço urbano, menciona que a complexidade das funções que as cidades desempenham está associada com o grau de desenvolvimento do processo produtivo, “baseado na diferenciação das classes sociais”. Nesse contexto, a cidade exerce uma função de comando da produção, não somente em sua área, mas também do espaço agrário, que se torna subordinado às áreas urbanas, e, conseqüentemente, por conta desse processo, as desigualdades são ampliadas.

Nesse interim, não é difícil constatar que, devido a essa conjuntura em que o mercado imobiliário tomou posse daquilo que era e ainda é de prerrogativa do Estado, ou seja, a habitação, não poucas vezes a população mais vulnerável, por falta de condições básicas e acesso, ocupou as áreas ditas “ilegais” ou áreas de riscos, acentuando ainda mais a vulnerabilidade. E isso com a omissão do Estado, como aponta Maricato (2003, p. 157):

É notável a tolerância que o Estado brasileiro tem manifestado em relação às ocupações ilegais de terra urbana. Esse processo é significativo em suas dimensões, se levarmos em conta, especialmente, a grande massa de migrantes que rumou para as cidades neste século e que se instalou ilegalmente, já que não teve acesso ao mercado imobiliário privado e nem foi atendida pelas políticas públicas de habitação. Aparentemente constata-se que é admitido o direito à ocupação, mas não o direito à cidade.

A autora (*op. cit.*) ainda afirma que, em função da competência atribuída, o poder municipal é o maior responsável pela produção “ilegal” do espaço urbano. Assim, é possível perceber que, na escala municipal, os riscos e vulnerabilidades podem ser ainda mais acentuados, caso esse que se tenta perceber em Vila Velha, nomeadamente ao que se refere à produção do clima urbano.

Santos (1993), ao analisar o processo de urbanização brasileira, menciona que as contradições do espaço urbano do Brasil se deram a partir da lógica de produção do espaço em função do processo de urbanização corporativa. Essa, por sua vez, gera uma urbanização contraditória, “opondo parcelas da cidade, frações da população, formas concretas de produção, modos de vida, comportamentos” (*op. cit.*, p.111).

Das formas concretas, a mais expressiva, nomeadamente no litoral brasileiro, é a verticalização, constituindo uma das principais formas da lógica da urbanização brasileira e um alvo lucrativo para a especulação imobiliária. Mesmo que haja particularidades em cada região do país, esse processo ainda ocorre de forma semelhante em Vila Velha (HOLZ, 2020; RAMIRES, 2011).

De acordo com Ramires (2011), o processo de verticalização colocou o Brasil numa posição de destaque a nível internacional, destacando o exemplo do Edifício Copan, em São Paulo, considerado o maior da América Latina. No entanto, o que se verificou desde o início desse processo de verticalização no Brasil, já na década de 1950, era a construção dessas edificações para a classe média alta, em outras palavras, não eram e não são uma opção de moradia para a população de renda mais baixa – a maioria no Brasil –, fator importante na diferenciação social e espacial.

Seguindo a tendência de urbanização do Brasil, no Espírito Santo também foi observada a verticalização como um alvo da especulação imobiliária, iniciada na década de 1970, especialmente na Praia do Canto, em Vitória, capital do Estado. Contudo, somente a partir de 1980 é que esse processo se intensifica na Praia do Canto e se estende para outros municípios da RMGV, notadamente em Vila Velha, sobretudo no bairro Praia da Costa, com a construção de edifícios acima de 10 pavimentos. Esse modelo de urbanização tem causado, e ainda causa, uma série de transformações nos padrões de uso e cobertura do solo e trazido consequências para o ambiente e para atmosfera, afetando, principalmente, a circulação de ar em diversas áreas do Espírito Santo, em especial as áreas litorâneas, que será visto nos subcapítulos adiante (HOLZ, 2020; SANTOS; SAUER, 2020).

Breve histórico da urbanização do Espírito Santo

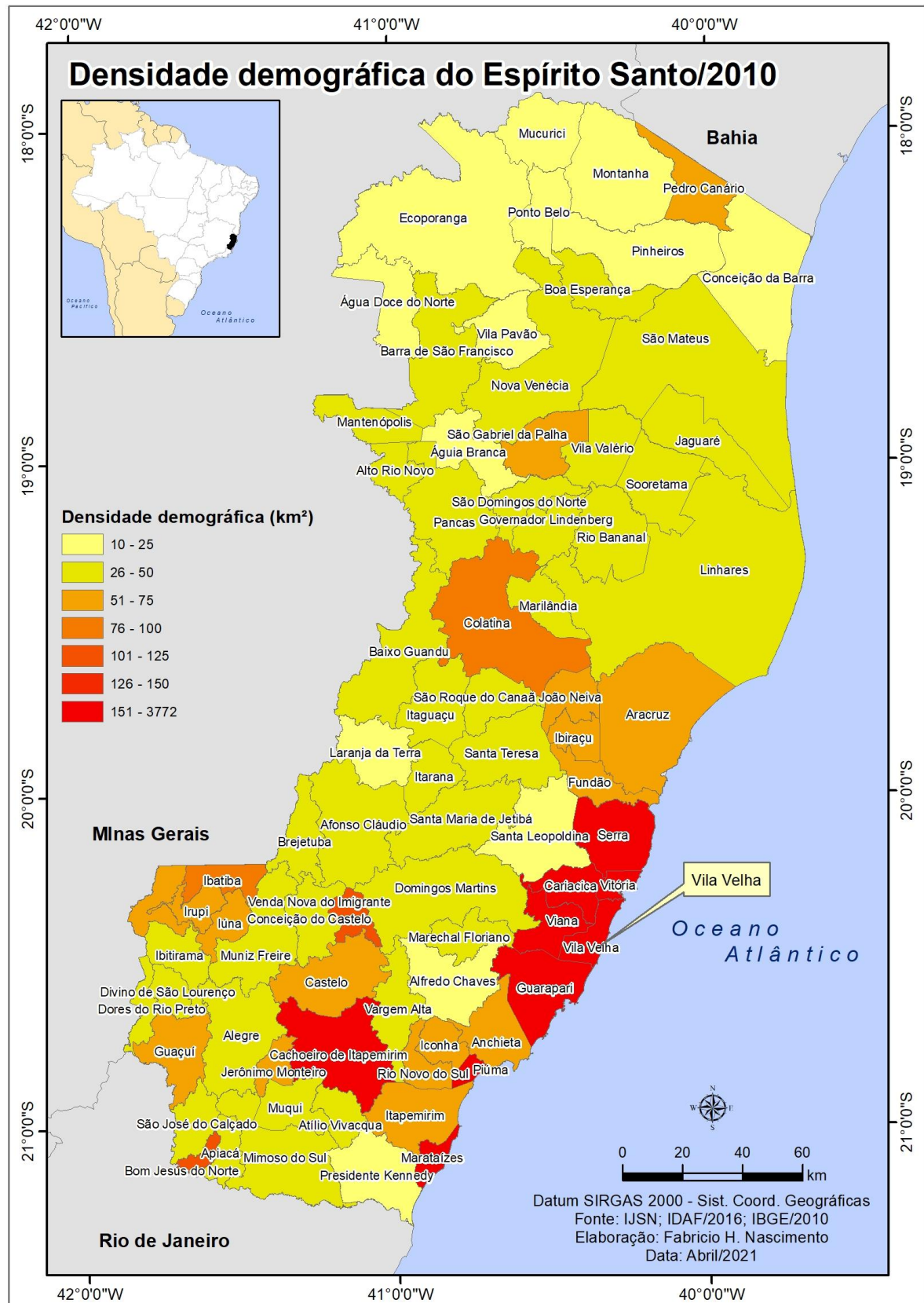
O Estado do Espírito Santo, localizado na Região Sudeste do Brasil, possui um total populacional da ordem de 3.833,712 habitantes, de acordo com o último Censo Demográfico de 2022, sendo que, em 2010, sua população era de 3.514,9 habitantes, distribuída numa densidade demográfica de 83,21 habitantes/km², considerando uma área territorial de 46.074,448 km², com área urbanizada em torno dos 730, 73 km² (IBGE, 2010) (Figura 21). De acordo com o IJSN (2011), o estado apresentou a maior taxa de crescimento entre os estados que compõem a região Sudeste do Brasil e, entre 2000 e 2010, esse crescimento foi de 13,6%, enquanto a média nacional foi de 12,5%.

Semelhante ao que ocorre no país, a maioria da população do Espírito Santo está concentrada na faixa litorânea, em especial nos municípios da RMGV. Esse é fator importante para que haja uma forte pressão social e ambiental dessas áreas e também importante para a especulação

imobiliária, haja vista que, na faixa litorânea da RMGV, é predominante o modo de crescimento urbano vertical (IJSN, 2011).

Considerando o contexto geográfico do Estado do Espírito Santo, é possível afirmar que o processo de urbanização do Estado reflete, em muito, o processo de urbanização do Brasil, nomeadamente o da Região Sudeste. De acordo com os dados do IBGE (2010), até meados de 1970, a população do Espírito Santo era majoritariamente rural, enquanto, em 2010, a população urbana ultrapassava os 80% do total populacional.

Figura 21: Densidade demográfica do Espírito Santo, Brasil



Elaborado pelo autor/2021.

No Espírito Santo, em especial entre as décadas de 1950 e 1960, houve uma transição econômica da agroexportação (café) à grande siderurgia. Nesse contexto, a década de 1960, sobretudo, pode ser considerada como um marco histórico da urbanização do Espírito Santo, em especial por causa da política de erradicação do café no Brasil. Assim, verifica-se uma mudança de paradigma no qual prevalece a indústria em detrimento da produção do café e posterior aglomeração urbana, abrindo precedentes para a formação, um pouco mais tarde, da RMGV (BOTECHIA; MENDONÇA; PEGORETTI, 2020; GARCIA, 2013).

De acordo com Garcia (2013, p. 58), “as alterações econômicas ocorridas desde então estiveram presentes, em especial, nos municípios mais próximos à capital Vitória, como Vila Velha, Cariacica, Serra e Viana, culminando, em meados da década de 1990, na fundação da RMGV”.

De modo análogo ao que ocorreu no Brasil, em especial na Região Sudeste, o processo de urbanização do Espírito Santo seguiu a mesma lógica, ou seja, primeiro a industrialização, depois a urbanização. Nesse sentido, Sposito (2002, p. 04) afirma que:

A industrialização dá o “tom” da urbanização contemporânea. Embora historicamente tenha resultado dos avanços técnicos necessários ao desenvolvimento do capitalismo, a industrialização marca predominantemente as relações entre a sociedade e a natureza e é a forma dominante de produção até mesmo nos países socialistas. A cidade é o território-suporte para a atividade industrial, por se constituir num espaço de concentração e por reunir as condições necessárias a esta forma de produção. Contudo, o desenvolvimento da urbanização não é apenas condição para o desenvolvimento industrial, mas também este mudou o caráter da cidade, ao lhe dar, de forma definitiva, um traço produtivo e transformá-la no “centro” de gestão e controle da economia capitalista, subordinando até mesmo a produção agrícola que se dá no campo.

As mudanças observadas na conjuntura econômica e social do Estado, que era caracterizado por uma economia majoritariamente agroexportadora, fizeram com que o Espírito Santo passasse a uma economia industrial/exportadora, em especial da indústria do minério e siderurgia e implantação de grandes projetos industriais e de engenharia civil. Aliado ao processo de intensificação industrial, assim como nas regiões Sul e Sudeste, especialmente, foi percebido uma crescente urbanização do território capixaba¹¹, nomeadamente a partir da década de 1970, conforme já mencionado anteriormente e ilustrado na Figura 22. No entanto, essa urbanização foi sentida, de forma majoritária, apenas na Região da Grande Vitória, situação

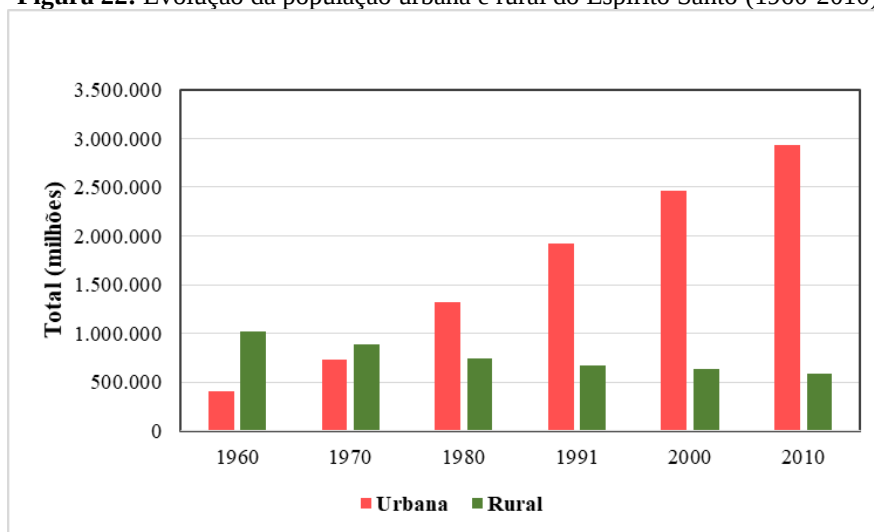
¹¹ Segundo o IBGE (2021), capixaba ou espírito-santense, refere-se a quem nasce no Espírito Santo, Brasil.

essa que corroborou com a disparidade econômica e social do estado e um intenso uso dos recursos naturais dessas áreas (GARCIA, 2013).

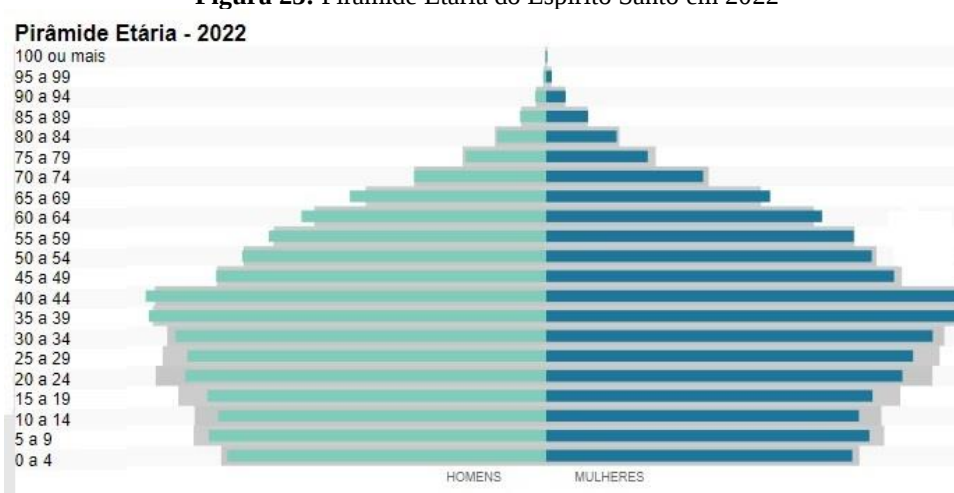
É importante ressaltar que a distribuição desigual das indústrias e da consequente urbanização refletiu em um intenso fluxo migratório para a RMGV, principalmente da população provinda dos espaços agrários do Espírito Santo, mas também Minas Gerais, Bahia e Alagoas. Não somente o Estado não possuía infraestrutura suficiente para receber toda essa população, nem tampouco os migrantes possuíam condições financeiras que garantisse uma habitação adequada que garantisse a essa população uma vida decente, dando origem a ocupações em áreas ambientalmente mais frágeis (encostas de morros, áreas de manguezais, área sujeitas a processos de inundações, etc.), pois as áreas de alto padrão de renda foram ocupadas pela população de renda mais elevada (embora nem sempre essa população de alto poder aquisitivo tenha ocupado, de fato, as áreas mais adequadas).

Ao avaliar o processo de urbanização da América Latina, Veyret (2007) conclui que a pobreza tem uma relação direta com os riscos, já que boa parte dos que habitam as grandes metrópoles dessa região é constituída por pobres, e esses, por suas vezes, dadas as condições financeiras insuficientes, não conseguem ocupar áreas mais seguras do ponto de vista dos riscos sociais e ambientais. As razões para isso são diversas, por exemplo, a desregulamentação do direito fundiário e das normas de construção e da preponderância do setor informal.

Esse processo é importante para se perceber a degradação ambiental e as alterações no clima local que, em grande parte, são potencializadas pelo processo de urbanização do Espírito Santo, e que vai se reverberar em Vila Velha, nossa área de estudo, considerando ser esse município um dos principais da RMGV. A distribuição etária da população, considerando o censo demográfico de 2010, encontra-se ilustrada na Figura 23.

Figura 22: Evolução da população urbana e rural do Espírito Santo (1960-2010)

Fonte: IBGE (2010). Elaborado pelo autor (2021).

Figura 23: Pirâmide Etária do Espírito Santo em 2022

Fonte: IBGE (2022).

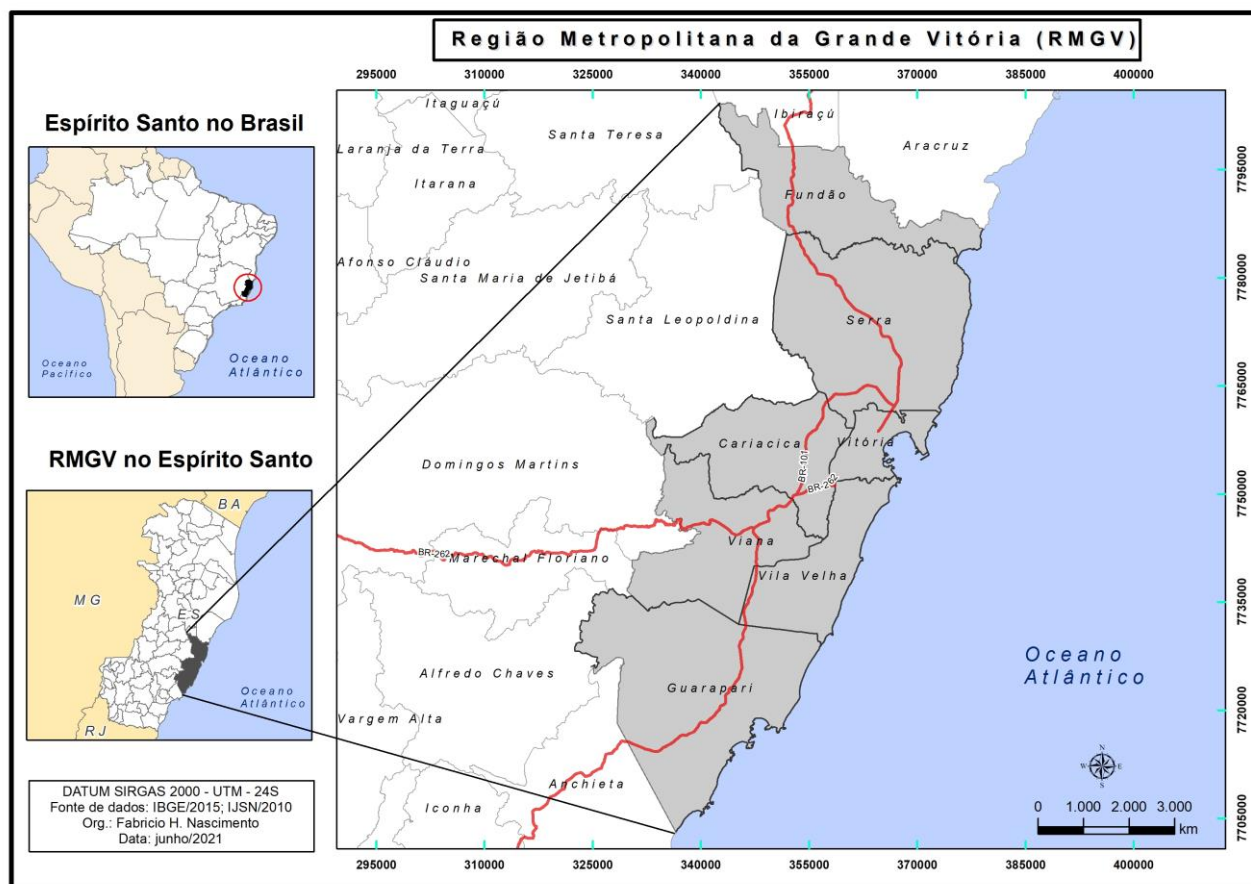
De acordo com a pirâmide etária, representada pela Figura 23, pode-se perceber que a população economicamente ativa e o perfil demográfico do Espírito Santo são bastante significativos, possivelmente reflexo de altas taxas de natalidade e fecundidade. Essa característica demográfica contribui significativamente para o desenvolvimento econômico do estado, na medida em que a população economicamente ativa é fundamental para a dinâmica econômica e industrial do Espírito Santo.

Sobre o processo de industrialização e urbanização do Espírito Santo, o IJSN (2011, p. 08) afirma que:

Com uma estrutura demográfica formada por uma população predominantemente rural e uma estrutura econômica fundada nas bases da cafeicultura, o Espírito Santo passou por intensos processos de industrialização e urbanização a partir da década de 1970. As mudanças estruturais capixabas aconteceram de maneira brusca, tendo seu início com a desestruturação do setor agrário e se consolidando com a reestruturação da economia, estimulada pela nova ótica de acumulação do capital que se instaurava no estado, a industrialização.

As alterações ocorridas no Estado foram percebidas, de forma mais intensa, nos municípios de Vitória, Cariacica, Serra e Vila Velha, que fazem parte da RMGV, formada por esses e outros três municípios: Fundão, Guarapari e Viana, que foi formalmente instituída pela Lei Complementar nº 58 (Figura 24). Ainda nesse contexto, a nova forma de acumulação que caracterizou o estado baseou-se na instalação de grandes projetos de impactos, conforme já mencionado, e que trouxe consigo diversas indústrias do setor siderúrgico, de mineração e celulose – casos da Samarco Mineração (Anchieta) e da Aracruz Celulose (atual Suzano, em Aracruz), ambas localizadas num raio de, pelo menos, 100 km da capital Vitória –, bem como a Arcelor Mital (indústria do aço) e a Vale (mineradora), localizadas em Serra e Vitória, respectivamente. Esse fato torna-se importante, pois, a partir disso, foi possível perceber toda uma infraestrutura urbana em função das indústrias recém-chegadas ao estado.

Figura 24: Região Metropolitana da Grande Vitória/ES, Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor/2021.

Diante de um processo de “desenvolvimento industrial e urbano” relativamente rápido, tanto em escala nacional quanto estadual, os gestores negligenciaram o futuro e não consideraram que, aliado a esse acelerado “crescimento”, diversos problemas foram desencadeados, sejam de ordem urbana, social e/ou ambiental (IJSN, 2011). Nesse âmbito, o que se verificou foi que:

A súbita transformação da estrutura econômica implicou em alterações na estrutura demográfica, como a intensificação dos fluxos migratórios destinados ao centro urbano capixaba. Isso propiciou um incremento abrupto no número de pessoas que se fixavam na Grande Vitória em busca de novas oportunidades de emprego. Com base nos registros censitários do IBGE, constata-se que a taxa de variação populacional entre 1960 e 1970 no Espírito Santo registrou um aumento de 13%. Em Cariacica, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória o referido acréscimo populacional foi de respectivamente 156%, 88%, 60%, 123% e 60%. Do início da década de 60 ao início década de 70, os demais municípios capixabas apresentaram redução de 2% na taxa de variação populacional. (IJSN, 2011, p. 08).

Portanto, em função do desenvolvimento industrial, a RMGV recebe maior parte da população provinda, principalmente, do interior do Estado, o que gera uma alta densidade demográfica e

pressão social e ambiental, em especial na dita Região da Grande Vitória¹², da qual faz parte o município de Vila Velha, que têm o território caracterizado pela ocupação não planejada, pois grande parte desses migrantes era composta por trabalhadores informais e desempregados, com recursos insuficientes para ocuparem as áreas mais adequadas da RGV (GARCIA, 2013) (Tabela 3).

Segundo Beck (2011), esse modelo de “desenvolvimento urbano”, caracterizado pelo apego à indústria, constitui-se como um fator de risco acentuado, seja pela pauperização de grande parte da população (os riscos da pobreza), seja pelas consequências à saúde, em especial os impactos da indústria sobre o sistema respiratório, nomeadamente por conta da poluição do ar.

De acordo com Castiglioni (2019), na segunda metade do século XX e início do século XXI, observou-se uma alteração no comportamento demográfico do Espírito Santo, em especial na RMGV, alteração essa que reverberou no processo de produção do espaço urbano do estado, decorrentes de uma evolução em conjunto entre o processo de desenvolvimento econômico e das transições demográficas.

Essas alterações no comportamento demográfico do Espírito Santo alteraram significativamente o modelo de distribuição da população, bem como contribuiu consideravelmente para um rápido crescimento urbano do estado, designadamente da RMGV, trazendo consigo também uma forte concentração populacional nos grandes centros urbanos do estado, problemas de ordem ambiental e um esvaziamento do espaço rural (CASTIGLIONI, 2019).

Considerando o modo de produção e reprodução do espaço urbano do Brasil, o litoral foi a área geográfica mais densamente ocupada, que, por sua própria natureza, constituía-se, e ainda se constitui, como área de fragilidade ambiental. Além disso, haja vista que esse modelo de ocupação ocorreu sem um planejamento adequado, é possível estabelecer uma conexão com esse modo de ocupação do território com muitos riscos, sejam de ordem natural e/ou ambiental, mormente os riscos climáticos (NASCIMENTO-JÚNIOR, 2018; SANTOS, 1993).

¹² Segundo o IJSN (2011), a Região da Grande Vitória (RGV) refere-se ao conjunto dos municípios mais ativos economicamente no Espírito Santo, quais sejam: Cariacica, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória.

Tabela 3: Imigração, emigração e saldo migratório do Espírito Santo entre 1970 a 2010

Período	Imigração	Emigração	Saldo migratório
1970 - 1980	155.114	163.028	-7.914
1986 - 1991	135.421	90.909	44.512
1995 - 2000	129.169	95.168	34.001
2005 - 2010	130.820	70.120	60.700
Total	550.524	419.225	131.299

Fonte: IBGE (2010); Castiglioni (2019). Modificado pelo autor/2021.

Nesse sentido, Vila Velha, a área de estudo escolhida à realização desta pesquisa, em muito, assimilou o processo de urbanização verificado no território brasileiro e do Estado do Espírito Santo.

Considerações acerca do processo de urbanização de Vila Velha

O processo histórico de formação de Vila Velha, de certo modo, confunde-se com o do Estado do Espírito Santo desde o início da colonização, quando a caravela de Vasco Fernandes Coutinho aportou no local denominado de Prainha de Vila Velha, hoje denominada apenas Prainha. Seu nome oficial foi estabelecido por volta de 1550, quando Vasco Coutinho decidiu transferir a sede da capitania para outra ilha denominada Nossa Senhora da Vitória. Essa mudança ocorreu, entre outros fatores, sobretudo devido aos conflitos existentes entre os colonizadores e os nativos indígenas que ocupavam Vila Velha.

Embora seja historicamente antiga¹³, o desenvolvimento urbano do município é relativamente recente. Nesse sentido, é possível inferir que o desenvolvimento urbano e econômico de Vila Velha esteve, de certo modo, dependente de Vitória, a capital do Estado, que até os dias atuais refere-se ao principal centro polarizador da economia capixaba (TAGARRO, 2018).

De acordo com Holz (2020), até a década de 1960, Vila Velha era, basicamente, constituída por terrenos alagadiços, em especial em áreas onde fluía o Rio da Costa, alterado de forma significativa, por meio de obras de canalização, após uma enchente ocorrida no ano 1960. Nesse

¹³ Há na paisagem de Vila Velha arquiteturas que remontam ao século XVI, que podem ser observadas nas igrejas antigas, a exemplo da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (a mais antiga do Espírito Santo, construída em 1535), ou mesmo através de eventos e festas que denotam esse passado de Vila Velha, a exemplo da Festa da Penha, que atrai milhares de fiéis de todo o estado, bem como de outras regiões do Brasil ao Convento da Penha.

contexto, embora atualmente a faixa costeira do município esteja densamente ocupada, o início de seu processo de urbanização deu-se sobretudo no Centro de Vila Velha (HOLZ, 2020) (Figura 25).

Figura 25: Trecho da subida da Terceira Ponte, próximo ao bairro Praia da Costa, com destaque ao canal da Costa (no centro da imagem) e uma foto do Google Street View na escala horizontal do canal



Fonte: Google Earth e Google Street View (2024).

É no final do século XIX que começaram os primeiros planos de urbanização de Vila Velha, que, *a priori*, era apenas um distrito da capital do Espírito Santo, Vitória, ligada ao Projeto do Novo Arrabalde, conforme aponta Campos Junior (1996), com o nome de Vila do Espírito Santo, que, somente em 1958, foi emancipada à categoria de município, cujo nome passa a ser Vila Velha.

A expansão urbana de Vila Velha deu-se de maneira tardia em relação a Vitória, por diversas razões, como, por exemplo: a existência de áreas alagadiças e sujeitas à propagação de doenças, a distância em relação ao Centro de Vitória e a separação de Vila Velha da capital pelo mar, algo que foi minimizado após a construção da Ponte Deputado Darcy Castello Mendonça (popularmente conhecida como Terceira Ponte) em 1989, tornando-se um elemento de grande importância para o crescimento da malha urbana, expansão do território e diversificação do uso e cobertura do solo (HOLZ, 2020; GARCIA, 2013; CAMPOS JUNIOR, 1996).

Ao longo do tempo, outros projetos foram surgindo na tentativa de expandir o município capixaba, como, por exemplo, o projeto desenvolvido pelo engenheiro Antônio Francisco de Athayde, a partir da Vila Antiga, estendendo-se da Prainha até o bairro Coqueiral. Esse projeto de engenharia só foi efetivado, de fato, em meados do século XX, com algumas poucas ocupações entre o bairro Centro de Vila Velha, a Rua Sete de Setembro, Itapuã e Coqueiral. O

que se percebe é um vetor de expansão do Centro para o Litoral, mas que, de fato, o Centro de Vila Velha manteve-se, por muito tempo, como o mais densamente ocupado.

A ocupação do Litoral de Vila Velha deu-se, de maneira mais efetiva, somente a partir de 1940, mais precisamente na Praia da Costa, pelas terras da Família Motta, localizadas entre o Morro do Moreno, um dos pontos mais altos do município (acima de 360 metros de altitude), e a Praia da Sereia, que atualmente refere-se à região do Canal da Costa (HOLZ, 2020; SANTOS, 2011).

De fato, a ocupação do litoral do município em análise deu-se, sobretudo, a partir de 1980, quando, pelo declínio da economia baseada no cultivo agrícola, diversas terras foram vendidas. Nesse contexto, Holz (2020, p. 54) afirma que:

Por alguns anos o lugar foi uma grande plantação de cocos, o que explica o nome pelo qual parte da região ficou conhecida: Coqueiral de Itaparica. Com o declínio do cultivo, as terras foram vendidas e a região hoje conhecida por Itapuã e Itaparica recebeu os primeiros conjuntos habitacionais, primeiro de casas, na década de 1970, e depois de prédios, já por volta de 1980.

Percebe-se uma predileção das construções verticais e de auto padrão na orla de Vila Velha, enquanto em bairros mais afastados do litoral, como São Torquato, Paul, Aribiri, Cobilândia, dentre outros, as construções são basicamente de um pavimento, ou construções horizontais, e com uma diferenciação tanto do ponto de vista social quanto do espacial muito mais acentuada. Nessa conjuntura, na década de 1990, percebeu-se a inserção de grandes empreendimentos privados no município, bem como em boa parte da RMGV, com a construção de faculdades privadas, a exemplo da Novo Milênio, UVV, *shopping centers*, hipermercados, entre outros, maiormente nos bairros Itapoã e Itaparica (Figura 26).

Figura 26: Recorte da porção nordeste de Vila Velha

Fonte: Google Earth (2023).

No entanto, se por um lado esses grandes empreendimentos contribuíram para alavancar Vila Velha como um espaço dinamizador em relação à Região Metropolitana, por outro lado contribuíram também para acentuar ainda mais as desigualdades sociais e estruturais existentes no lugar. Isso se dá, em especial, devido à negligência do poder público em propor políticas de controle do uso e cobertura do solo e de políticas que buscassem minimizar os impactos sociais e ambientais associados à expansão urbana (GARCIA, 2013).

Nesse sentido, de acordo com Garcia (2013), em Vila Velha, ainda foi percebida uma urbanização se consolidando sobre um território frágil ambientalmente. Assim, as estruturas urbanas foram sendo adaptadas e modificando os ambientes naturais, em muitos casos, de forma permanente, em especial a partir da década de 1960. Para além disso, o aumento da população urbana do Espírito Santo verificado, sobretudo a partir de 1970, corroborou para que ocorresse uma ocupação do território do município sem o devido planejamento por parte do Estado, tanto do ponto de vista urbano como ambiental, desencadeando uma série de conflitos entre espaços construídos e “livres” (MORAIS, 2015).

Segundo o IJSN (2001), os principais vetores da expansão e adensamento da ocupação do município de Vila Velha foram os projetos de implantação da Terceira Ponte, já mencionada

anteriormente, e a construção da Rodovia do Sol, ambas no final da década de 1980. A Rodovia do Sol, por exemplo, serviu e ainda serve como uma importante via de ligação entre a Região Norte do Estado e o Litoral Sul Capixaba. Todavia, embora essas estruturas de engenharia tenham sido importantes para o “desenvolvimento” da municipalidade, ainda é possível encontrar nessas áreas geográficas imensos “vazios urbanos” e áreas com baixíssima densidade de ocupação, que se tornaram verdadeiros objetos da especulação imobiliária (MORAIS, 2015; IJSN, 2001).

Como já brevemente explicado, foi a partir de 1980 que a população de Vila Velha aumentou substancialmente, principalmente devido aos elevados saldos migratórios de população provinda de outras localidades mais afastadas da RMGV, em especial da população que trabalhava nos cafezais. Entretanto, foi a partir da década de 1970 que a questão da habitação começa a ser debatida. Inicialmente, as novas estruturas implantadas no Espírito Santo privilegiaram as formas industriais. Antes desses empreendimentos, porém, foi criado o Banco Nacional da Habitação (BNH), em 1964, pelas esferas estadual e federal, as Cooperativas Habitacionais (COHABs) e a instituição do Sistema Financeiro de Habitação (SFH), pela Lei Federal nº 4.380, cujo objetivo principal era diminuir o déficit habitacional em todo o Brasil (TAGARRO, 2018).

Este fato histórico foi importante para Vila Velha, pois, a partir desse momento, o município passou a receber diversos programas habitacionais na tentativa de diminuir o déficit habitacional, tanto através da COHAB como através do INOCOOP-ES, originando novos bairros, a exemplo os bairros Araçás, Jardim Colorado, Guaranhuns e Novo México. Em vista disso, já era possível perceber habitações de características mais distintas, pois as construções eram baseadas de acordo com a renda de cada habitante. Nesse sentido, por um lado, em bairros como Praia da Costa, Itapoã e Itaparica (litoral), as habitações eram e ainda são, em sua maioria, por edificações de 10 pavimentos ou mais, por outro lado, em bairros como Glória, Cobi (de Cima e de Baixo), São Torquato, por exemplo, boa parte da população residia, e ainda reside, em favelas, construções precárias e insalubres e, não poucas vezes, em habitações construídas de tábuas (barracos).

Situação como a descrita acima já havia sido discutida por autores como Maricato (1997) ao afirmar que, esses trabalhadores, sobretudo os provindos de áreas rurais vislumbrando melhores condições de vida nas grandes metrópoles, frustravam-se com a realidade de que os recursos

angariados nas cidades não lhes permitiam acesso à moradia decente e recorriam, por isso, às moradias irregulares, muitas das vezes sem nenhuma infraestrutura básica. Esse processo acentuou de maneira expressiva as desigualdades existentes no Brasil, e não foi diferente em Vila Velha.

De acordo com Sant’Ana Neto (2001), esse modo de produção e reprodução do espaço, que é capitalista, produz alterações sobre o ambiente natural e cria novos ambientes, em especial, com características climáticas específicas, na medida em que avança na conquista e ocupação do território. Nessa conjunção, nos subcapítulos subsequentes, serão abordadas as principais teorias do clima que norteiam esta pesquisa, bem como a relação existente entre a urbanização e as alterações das características da atmosfera intraurbana.

Climatologia Geográfica e Geografia do Clima: do natural ao socialmente produzido

Conforme Landsberg (2006), os abrigos humanos servem para os protegerem das adversidades e intempéries do tempo e do clima. No entanto, diante do aumento populacional e a consequente ampliação das áreas urbanas, os abrigos humanos, cada vez mais, ficam próximos um dos outros, aumentando demasiadamente a densidade das ocupações, fator que corrobora, de maneira substancial, em alterações do clima local. O autor (*op. cit.*, p. 96), menciona, pelo menos, três causas básicas das mudanças do clima local em função da urbanização:

A primeira é a alteração na superfície. No caso extremo, uma floresta densa terá sido substituída por um complexo de substâncias rochosas, como pedra, tijolo e concreto; naturalmente, locais úmidos, como charcos e pântanos, terão sido drenados e a rugosidade aerodinâmica terá sido aumentada por obstáculos de variados tamanhos. A segunda causa de mudança climática é a produção de calor pela própria cidade, indo desde aquele proveniente do metabolismo da massa de seres humanos e animais ao calor liberado por fornos nas residências e indústrias, ampliada nos anos recentes por milhões de motores de combustão interna em função do grande aumento de veículos motorizados. A terceira maior influência da cidade sobre o clima, frequentemente chegado muito longe das áreas densamente povoadas, é a alteração da composição da atmosfera.

Diversos são os problemas, para além dos anteriormente mencionados, que são advindos do processo de urbanização, tanto do ponto de vista ambiental como do ponto de vista social. Contudo, aqueles observados no clima podem ser considerados os mais graves, uma vez que há graves consequências negativas para o ambiente e a sociedade, em especialmente nas áreas da saúde (NETO, 2019; LANDSBERG, 2006; MILLS, 2014). No que se refere à relação do clima

com a urbanização, tanto no Brasil como no mundo, há diversos estudos, desde pelo menos o século XIX, interessados por essa temática. De tal modo, na tentativa de compreender essa evolução nos estudos do clima, numa perspectiva geográfica, este capítulo fará uma análise, de forma pormenorizada, das principais teorias do clima que são fundamentais no desenvolvimento desta pesquisa.

Diante disso, as teorias do clima que norteiam esta pesquisa são aquelas que o entendem como dinâmico, a exemplo de Sorre (1951) e Monteiro (1976), contradizendo a visão estática do clima de Julius Hann e Köppen, em “*Handbuch der klimatologie*”, que concebem o clima como um conjunto de fenômenos meteorológicos e estatísticos, enfatizando, sobretudo, as médias.

É possível pensar que, ao longo da história, o conhecimento acerca da realidade é reflexo do momento político, em mitos e, em muitos casos, da religião, como ocorreu durante a Idade Média (séculos V a XV). De acordo com Ely (2006), é relativamente recente o processo de acumulação de conhecimento a partir da razão humana. Esse conhecimento é produzido como uma resposta aos desafios vivenciados pelas diferentes sociedades.

No entanto, no que se refere ao conhecimento, eram proeminentes as explicações dos fenômenos a partir das concepções místicas. Nesse contexto, o entendimento da relação homem/natureza era concebido a partir de revelações divinas, como pode ser verificado em obras como as de Homero – *Ilíada* e *Odisseia* – e de Hesíodo – *Teogonia* (ELY, 2006).

No que se refere aos estudos do *tempo* e do clima, os primeiros estudos surgiram bem antes da era cristã, durante a, frequentemente denominada, Idade Antiga (4.000 a.C. a 476 d.C.), com os trabalhos de: Anaxímenes, que, por volta de 575 a.C., acreditava que a origem da vida estava relacionada ao ar; Hipócrates, que, em 400 a.C., produziu a obra intitulada *Ares, Mares e Lugares*; e Aristóteles, que, em 350 a.C., escreveu a obra *Meteorológica*. Nesse sentido, Mendonça; Danni-Oliveira (2007, p. 12) afirmam que

Muitos dos princípios que regem o atual conhecimento sobre a atmosfera surgiram entre os pensadores gregos de então, que elaboraram conceitos válidos para a Terra como um todo. A divisão do planeta em zonas Tórrida, Temperada e Fria vem dessa época.

No entanto, o conhecimento intelectual da natureza foi prejudicado devido ao domínio do Império Romano sobre os gregos, pois, para os romanos, a preocupação central era o expansionismo dos seus territórios em detrimento do conhecimento intelectual. Mais tarde, após o expansionismo do cristianismo como religião oficial do ocidente e posterior difusão pelo mundo, o obscurantismo científico tornou-se ainda mais proeminente, pois somente o clero possuía as prerrogativas para a leitura e interpretação da natureza, sobretudo pela metafísica (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Por outro lado, a partir do Renascimento, entre meados do século XIV e fim do século XVI, os estudos e preocupações com a atmosfera retomaram. Alguns exemplos desse fato podem ser citados, como Galileu Galilei que, em 1593, inventou o termômetro, e Torricelli, em 1643, com a invenção do barômetro (ELY, 2016; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

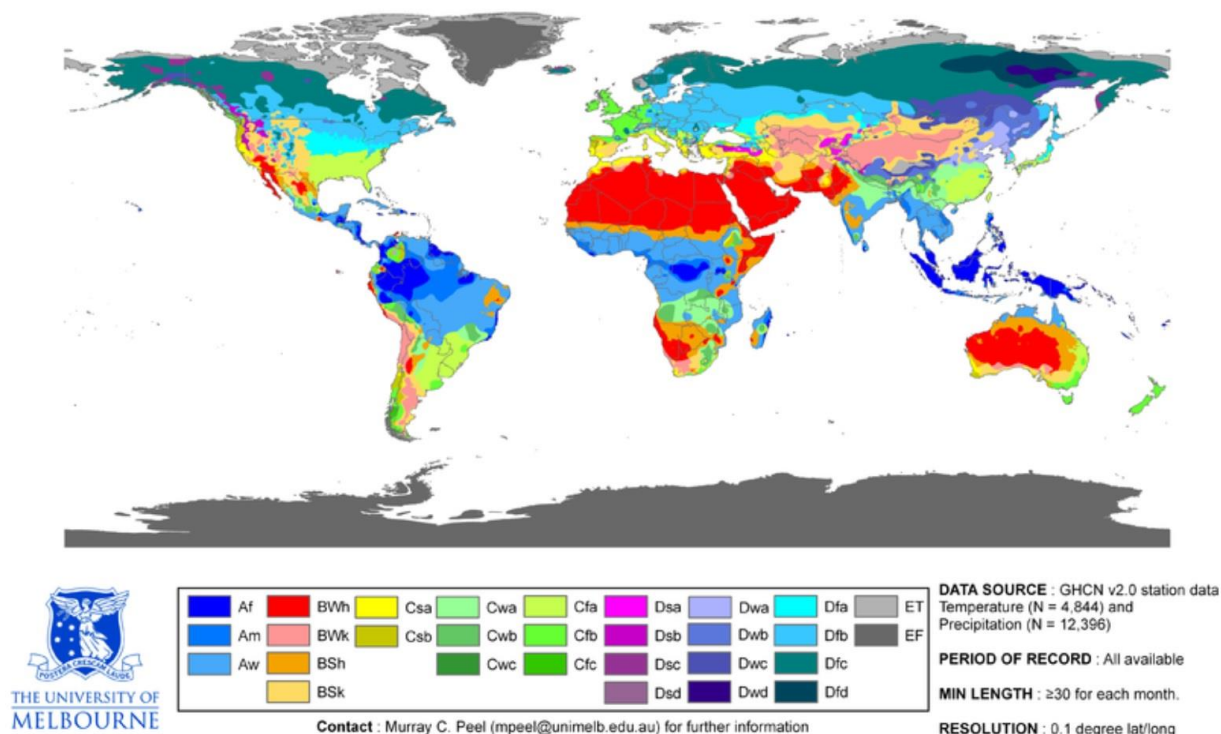
Embora o período citado seja relevante, foi a partir do século XIX que surgem, juntamente com o início da Geografia como ciência, as mais significativas teorias acerca do *tempo* e do clima. De acordo com Jesus (2008), foi somente no final do século XIX, na Alemanha, que a Climatologia surgiu como um campo específico do conhecimento científico, após a sistematização da Meteorologia.

Nesse contexto, o meteorologista austríaco Julius Von Hann, usando o método separativo, desenvolve o conceito clássico de clima como o estado médio da atmosfera de um dado lugar. Essa classificação, do ponto de vista geográfico, é insuficiente na medida em que é uma média e mascara a realidade de um lugar, consistindo em uma abstração da realidade (UGEDA JUNIOR; AMORIM, 2016). Uma média não permite compreender, por exemplo, a distribuição exata de um elemento no tempo e no espaço. Pensemos na distribuição anual da precipitação, por exemplo. Numa localidade onde a média anual é de 2.000 milímetros, não é possível identificar a distribuição e a frequência desse quantitativo ao longo do ano (CONTI, 2001). Nesse sentido, esse conceito de clima não permite ao pesquisador identificar o ritmo dos fenômenos que ocorrem na atmosfera, mas que é um elemento de grande importância para o entendimento do clima.

Na mesma linha de pensamento, o climatologista alemão Wladimir Köppen, em 1900, desenvolveu uma classificação climática, que foi aperfeiçoada em 1936, com a ajuda de Rudolf Geiger, que considera a distribuição média, anual e mensal da precipitação e das temperaturas

(Figura 27). Não é pretensão deste trabalho negar a importância dessas teorias e classificações, porém nota-se que elas são insuficientes no entendimento dos ritmos dos fenômenos da atmosfera. Em se tratando da Climatologia Geográfica, elas não levam em conta as relações complexas que ocorrem entre a atmosfera e o espaço subjacente.

Figura 27: Classificação climática de Köppen-Geiger



Fonte: Melbourne University.

Na primeira metade do século XX, os geógrafos franceses Emmanuel de Martonne, Pierre Pédelaborde e Maximilien Sorre propuseram uma nova perspectiva de abordagem da climatologia praticada pelos geógrafos. Neste contexto, é possível afirmar que houve uma mudança de paradigma no que se refere à compreensão do clima enquanto fato geográfico.

Inicialmente, De Martonne, com a sua obra clássica intitulada “*Traité de Géographie Physique*”, em 1909, além de admitir uma concepção geográfica do clima, criticava os estudos que lançavam mão de normais e médias anuais para explicar os fenômenos climáticos. Assim, segundo o autor:

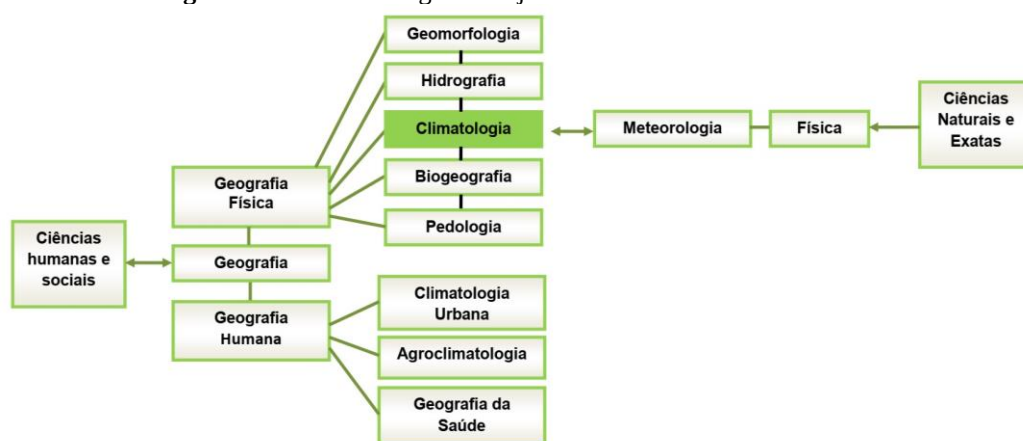
O estudo do tempo durante um certo período coloca-nos em presença de realidades concretas. As relações entre os diversos fenômenos ressaltam com clareza e podem neste caso, discernir toda a engrenagem do mecanismo e acompanhar sua marcha. O tempo não varia de maneira desordenada. Podemos reconhecer situações

características, que se repetem muitas vezes e se mostram durante períodos mais ou menos longos, constituindo autênticos tipos de tempo. Estamos, pois, na presença de conjunto de fenômenos característicos de certas regiões e, portanto, de realidades verdadeiramente geográficas (De MARTONNE, 1925, p.184-185).

Maximilien Sorre, da Escola Francesa, é considerado o maior crítico do método analítico e introduziu, um conceito novo de clima (em 1934), ao qual o define, em sua obra “*Traité de climatologie biologique et medicale*”, como “[...] a série de estados atmosféricos sobre determinado lugar em sua sucessão habitual” (SORRE, 2006, p. 90). Desse ponto de vista, o clima é compreendido não mais através das médias, mas pela frequência de um determinado elemento no tempo e no espaço. O termo sucessão habitual leva-nos a pensar no ritmo, termo mais bem trabalhado pelo professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, no final da década de 1960 e início de 1970, que será visto mais adiante.

Conti (2001), ao avaliar a questão do método em estudos do clima, afirma que a análise geográfica do clima não invalida os procedimentos clássicos de análise do clima, como a estatística, desde que o investigador adeque os métodos à sua investigação. Nesse âmbito, o pesquisador deve analisar o fenômeno, que em sua origem é físico, e relacioná-lo às características geográficas de cada lugar (Figura 28).

Figura 28: A Climatologia no bojo das ciências humanas e naturais



Fonte: Mendonça; Danni-Oliveira (2007), modificado pelo autor/2023.

Assim, para Sorre (2006, p. 89),

meteorologistas e climatólogos podem fazer observações com os mesmos instrumentos, sobre os mesmos fenômenos como a temperatura, por exemplo. Eles elaboram séries registradas nos mesmos arquivos. Todavia, a apreciação da justeza e

sensibilidade dos aparelhos, a crítica matemática das séries, o estudo das variações tendo em vista a previsão, tudo isso é essencialmente da alçada do meteorologista. Ele é preparado para essa tarefa, pois a sua formação é a do físico. Aos olhos do climatólogo, a variação termométrica aparece primeiro como um elemento da particularidade climática de um lugar ou de uma região.

Corroborando a ideia acima, Jardim (2012) afirma que uma das peculiaridades de se estudar o clima pela ótica da Geografia refere-se ao fato de entendê-lo e compreendê-lo a partir da interação desse com a superfície terrestre, como o relevo, a vegetação, as áreas urbanas e rurais e os corpos hídricos e as atividades humanas.

Ainda neste sentido, Conti (2001) ressalta que a climatologia feita pelos geógrafos deve se preocupar, fundamentalmente, com seu papel na elaboração dos mosaicos de paisagens no espaço, considerando nesse processo a história, a cultura e os processos econômicos do lugar. Logo, a climatologia deve se preocupar com as conexões dos processos atmosféricos, geomorfológicos, hidrológicos, biológicos e sociais.

Portanto, é perceptível que, embora pareça que os elementos do clima sejam abordados de forma separada, eles atuam em conjunto, influenciando e sendo influenciados por fatores diversos da paisagem, proporcionando ao *tempo* e ao clima um dinamismo peculiar e pulsante (SARAIVA, 2014).

Sorre (1951), ao criticar a ênfase dada às médias, em especial à temperatura do ar, sugere a substituição por um método que seria mais adaptável aos biólogos. Nesse sentido, se o clima é a série dos estados da atmosfera e suas sucessões habituais, o *tempo* seria cada um desses estados isoladamente. Além disso, o autor concebe cinco regras de sua proposta metodológica e conceitual que influenciam a saúde humana:

1. Os valores numéricos que devem ser guardados para as escalas são os valores críticos para as principais funções orgânicas;
2. Uma definição climatológica deve abranger a totalidade dos elementos do clima suscetíveis de agir sobre o organismo;
3. Os elementos climáticos devem ser considerados em suas interações;
4. Qualquer classificação climática deve acompanhar de perto a realidade viva;
5. O fator tempo (duração) é essencial na definição dos climas.

(SETTE; RIBEIRO, 2011, p.39).

É a Pierre Pédélaborde – o principal estudioso da chamada Climatologia Dinâmica – que se atribui a unidade básica dos estudos de climatologia numa perspectiva geográfica, qual seja o

tempo. Assim, conforme assevera Conti (2001, p. 93), “o estudo da frequência e sucessão dos tipos de *tempo* constitui a base de sua metodologia de pesquisa, a qual, obviamente, está associada ao movimento das massas de ar”. Nesse domínio, as massas de ar são um fator fundamental na compreensão dos tipos de tempo de uma dada região do planeta e se constitui como um importante conhecimento da Climatologia Dinâmica (NIMER, 1989).

A mais importante contribuição de Pédélaborde foi sua tese de doutoramento, intitulada "*Le Climat du Bassin Parisien*", de 1957, em que consta uma análise acurada dos tipos de *tempo* da bacia parisiense. Entretanto, embora o autor tenha se apartado do conceito de clima como média, o conceito de ritmo (essencial na climatologia geográfica) só foi desenvolvido por Max Sorre (JUNIOR; AMORIM, 2016).

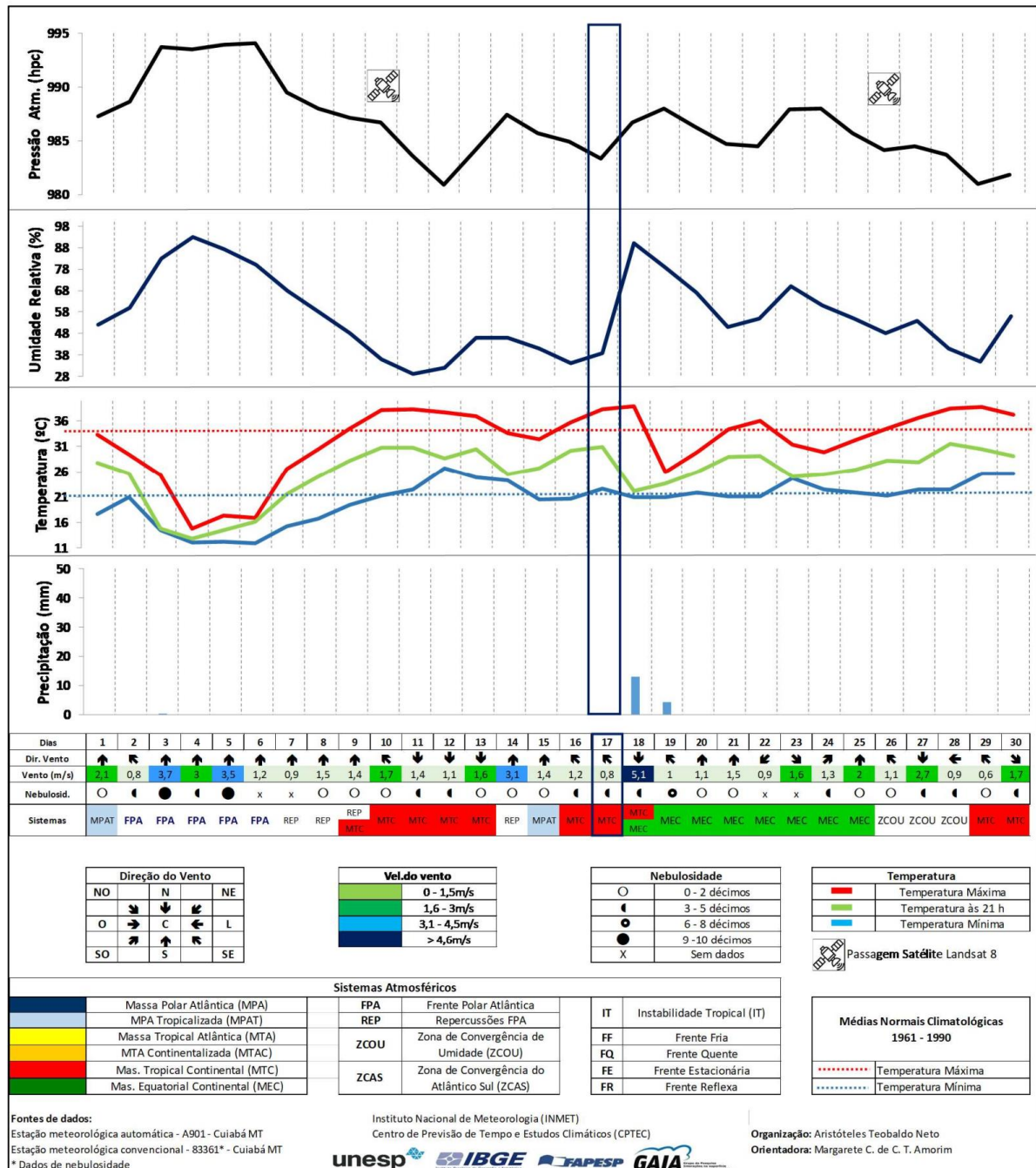
Na década de 1950, o professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, apropriando-se do conceito de Sorre sobre a sucessão habitual dos tipos de *tempo*, desenvolveu o conceito de Análise Rítmica do Clima, que se configura na representação por meio de gráficos dos elementos do clima numa escala diária ou, no máximo, mensal. Conforme Monteiro (1971), “[...] é a sequência que conduz ao ritmo, e o ritmo é a essência da análise dinâmica”. Assim, o conceito de clima desenvolvido pela World Meteorological Organization (WMO), que considera o clima como uma síntese do *tempo* em um período de, pelo menos, 30 anos, não é mais tão relevante considerando a análise rítmica. Nesse sentido, o autor ainda enfatiza que o ritmo, sucessão habitual dos tipos de tempo, conduz ao conceito de habitual, isto é, as variações e desvios que, juntos, geram diferentes graus de distorções até atingir padrões extremos (MONTEIRO, 1971). Assim, segundo o autor,

o ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo (MONTEIRO, 1971, p. 09).

O autor (*op. cit*) considera ainda que há critérios que devem ser levados em conta na noção de ritmo. O primeiro deles são as variações anuais, que devem ser avaliadas através das variações mensais dos elementos do clima. A segunda, e essa ainda mais precisa, são as análises dos elementos do clima por meio da escala diária, a partir da qual é possível verificar as variações dos elementos, dos tipos de *tempo* e associá-los aos mecanismos de circulação geral da

atmosfera. Como já foi mencionado, esse tipo de análise só é possível a partir do uso de gráficos representativos, conforme a Figura 29.

Figura 29: Gráfico exemplo de uma análise rítmica diária



Fonte: Neto (2019).

Além da análise rítmica, que é o fundamento da climatologia geográfica, preconizada por Monteiro, e considerando o clima das cidades como um fenômeno complexo e um sistema aberto, o autor (*op. cit.*) desenvolve também o conceito de Clima Urbano, denominado de Sistema Clima Urbano (S.C.U.), que se refere ao “clima de um dado espaço terrestre e sua

urbanização” (MONTEIRO, 1976, p.95). Embora Sorre tenha dado o salto inicial dos estudos sobre o clima na perspectiva geográfica, Monteiro (2003, p. 12) aprofunda a análise e afirma que, enquanto na Meteorologia se estuda o “*air over city*” (“o ar sobre a cidade”), a preocupação geográfica deve levar em conta o “*air within the city*” (o ar dentro da cidade). Para isso, o autor lança dez enunciados básicos que elucidam melhor sua teoria, conforme assim se verifica:

1. O clima urbano é o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização;
 2. O espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere;
 3. O SCU importa energia através de seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos;
 4. As entradas de energia no SCU são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia da terra – o Sol), implicando componentes dinâmicas inequívocas determinadas pela circulação atmosférica, e decisivas para a componente hídrica englobada nesse conjunto;
 5. A avaliação dessa entrada de energia no SCU deve ser observada tanto em termos quantitativos como especialmente em relação ao seu modo de transmissão;
 6. A estrutura interna do SCU não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas;
 7. O conjunto-produto do SCU pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificatória que deve ser constituída através de canais de percepção humana;
 8. A natureza urbana do SCU implica em condições especiais de dinamismo interno consoante ao processo evolutivo do crescimento e desenvolvimento urbano, uma vez que várias tendências ou expressões formais de estrutura se sucedem ao longo do processo de urbanização;
 9. O SCU é admitido como passível de auto regulação, função essa conferida ao elemento homem urbano que, na medida em que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções e, pode, através de seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo à dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas;
 10. Pela possibilidade de interferência autorreguladora, acrescentam-se ao SCU, como sistema aberto, aquelas propriedades de entropia negativa pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificados, assim, como um sistema morfogenético.
- (MONTEIRO, 1976, p. 95-102).

O clima das cidades é dinâmico e complexo, bem como um sistema aberto e adaptativo. O estudo do clima na perspectiva monteriana – que concebe o clima como dinâmica da natureza, a partir da ótica da produção social do espaço – auxilia na compreensão dos riscos e das vulnerabilidades, os limites dessas nas cidades e as contradições que existem dentro do sistema urbano (MONTEIRO, 1976; RAMPAZZO, 2019).

Com base na perspectiva geográfica e sistêmica, Monteiro (1976) definiu clima urbano em função de sua relação com a superfície subjacente, em especial com a superfície urbanizada e a camada limite da atmosfera. Nesse cenário, a cidade possui uma centralidade analítica, já que o clima urbano passa a ser percebido como um sistema peculiar que abrange o clima de um determinado local (fator natural) e sua urbanização (fator social).

De acordo com Rampazzo (2019, p. 40), essa perspectiva do clima representa um salto teórico e um grande avanço:

Este avanço na abordagem geográfica do clima demonstra, e não nega, seu fator natural como elemento da natureza ou lei universal, mas explica num salto qualitativo teórico e metodológico que na cidade, como expressão da forma e conteúdo do fenômeno urbano, o clima, assim como a cidade, é, na mesma medida, socialmente produzido.

Vale ressaltar que, no S.C.U., não há uma regra considerada “ideal” para se perceber o clima urbano. Em outras palavras, os casos podem ser diferentes, independente da dimensão da cidade. Uma cidade, mesmo que grande, mas que passa por um critério de planejamento com vegetação e corpos d’água, pode não apresentar um clima urbano. No entanto, uma cidade de dimensões menores, sem a presença de qualquer destes itens, pode apresentar características em sua atmosfera que condizem com um clima urbano. Portanto, não é uma questão apenas de planejamento, mas de um equilíbrio entre atividades humanas e conservação e preservação dos elementos da natureza.

O estudo do clima foi concebido por Monteiro (1976) a partir de três subsistemas, quais sejam: o termodinâmico, o físico-químico e o hidrometeorológico. Segundo o autor, a sociedade constituiu-se em referencial dos problemas e valores dos fatos geográficos que juntos objetivam o planejamento e ordenamento dos territórios. Nesse quadro, foram definidos três canais de percepção:

- a) Conforto térmico: englobando as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a esta noção. É o filtro perceptivo bastante significativo, pois afeta a todos permanentemente. Constitui, seja na climatologia médica, seja na tecnologia habitacional, assunto de investigação de importância crescente.
- b) Qualidade do ar: a poluição é um dos males do século, e talvez aquela que, por seus efeitos mais dramáticos, atrai mais a atenção. Associada às outras formas de poluição (água, solo, etc.), a do ar é uma das mais decisivas, na qualidade ambiental urbana.
- c) Meteoros de impactos – aqui estão agrupadas todas aquelas formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiros), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestades), que assumindo, eventualmente, manifestações de intensidade são capazes de causar

impactos na vida da cidade, perturbando-a ou desorganizando-lhe a circulação e serviços (MONTEIRO, 1976, p.100).

A partir dessa proposta teórica-metodológica, diversos trabalhos foram desenvolvidos, e ainda são, nessa linha de pensamento, originando uma “escola brasileira de climatologia”, e boa parte deles visando a mitigação de problemas decorrentes do modo de produção urbana (MENDONÇA, 2015; AMORIM, 2015).

A partir dos anos 2000, em especial no ano de 2001, o professor João Lima Sant’Anna Neto, diante de uma “insatisfação intelectual” acerca do paradigma da análise geográfica do clima, preconizada por Sorre (1951) e Pédélaborde (1959), propôs uma outra leitura acerca do clima como fenômeno geográfico. Nessa circunstância, Sant’Anna Neto (2008), a partir de leituras de teóricos da produção do espaço urbano (como Manuel Castells, David Harvey, Michel Foucault, Milton Santos, etc.), desenvolve o conceito de Geografia do Clima, que segundo o autor, assim se percebe:

Nesta perspectiva, esta reflexão apresenta uma proposta de revisão conceitual do clima como fenômeno geográfico substanciado pelas aplicações de seu conhecimento no entendimento do **território**, não apenas como elemento natural, determinado pelas leis físicas, mas, também, pelo significado de sua repercussão nas relações entre a sociedade e a natureza mediadas pela ação dos agentes sociais, que produzem espaços concretos nos mais variados níveis de segregação e **vulnerabilidade** (SANT’ANNA NETO, 2008, p.52, grifos do autor).

O autor concebe, a partir dessa premissa, a “geografia do clima”, que se trata de uma proposição teórica e prática a partir da compreensão do território e do processo de produção do espaço, o que permite uma análise crítica do objeto a ser estudado. Nessa perspectiva, conforme Sant’Anna Neto (2008), faz-se necessário compreender que os fenômenos da atmosfera se dão na superfície terrestre e sobre um território, transformado e produzido pelas diferentes sociedades, e, nesse enquadramento, segundo o interesse de grupos sociais dominantes, que, em consequência disso, criam espaços segregados e com diferentes níveis de vulnerabilidades.

Além de ser uma proposição teórica, a geografia do clima tenta identificar a influência do clima na estruturação do território. E, para tal tarefa, procura discutir os principais temas que influenciam a sociedade, nas dimensões socioeconômicas e ambientais afetadas pelo clima a partir das seguintes premissas:

- Clima urbano: na perspectiva de se analisar a qualidade de vida e o conforto ambiental, considerando a apropriação e fragmentação do espaço urbano;
- Clima e agricultura: objetivando considerar o grau de interferência na rentabilidade agrícola, incorporando os aspectos de políticas públicas do setor e das novas tecnologias, que tendem a minimizar (ou não) o papel dos elementos do clima como insumo no processo de produção;
- Clima e saúde: discutir a influência dos tipos de tempo na morbidade epidemiológica e nos casos de enfermidades, condicionados aos aspectos culturais (enquanto hábitos e costumes), da segregação socioespacial e do planejamento da saúde pública;
- Mudanças climáticas: dialogar com as proposições oficiais do IPCC (*International Panel on Climate Change*) para além da dimensão estritamente científica, investigando o que há por trás do discurso catastrofista, que sugere uma governança internacional, através de uma “pseudo” emergência global. Desvendar os conteúdos que se travestem de tragédia, mas que podem configurar-se como farsa. Ou seja, problematizar este discurso, à luz da contribuição de uma Geografia do Clima.

(SANT’ANNA NETO, 2008, p.52-53).

Nessa perspectiva, a geografia do clima busca entender o clima como produto social nos mais distintos setores de atividades humanas, das áreas rurais às áreas urbanas. Nesta pesquisa, a premissa adotada refere-se àquela que disserta acerca do clima urbano. Nesse contexto, é condição *sine qua non* que, ao estudar o clima urbano, considerem-se também a dimensão social e as contradições existentes no processo de produção capitalista do espaço que faz com que a apropriação do espaço seja seletiva e gere exclusão social e segregação espacial de acordo com os interesses dos agentes produtores do espaço (RAMPAZZO, 2019). Se a apropriação do espaço é desigual, não é equivocado afirmar que os efeitos do clima sobre os diferentes grupos sociais também sejam desiguais (ANDRADE; NOGUEIRA; CANÁRIO, 2011).

De acordo com Sant’Anna Neto (2008, p. 52), os estudos do clima, na perspectiva geográfica, levam-nos a entender o território não apenas como um agregado de elementos naturais e artificiais, mas também os significados da relação sociedade e natureza, mediadas pela ação dos agentes sociais, “que produzem espaços concretos nos mais variados níveis de segregação e vulnerabilidade”. No contexto atual, frente ao debate dos problemas advindos da urbanização, nomeadamente aos problemas ambientais, o estudo dos diferentes aspectos do clima está ganhando notoriedade maior entre os planejadores urbanos ao incorporá-los ao projeto de planejamento e ordenamento do território, na tentativa de mitigar os impactos negativos da urbanização sobre o clima, sobre o ambiente e sobre a sociedade (WANG; JUSUF; TAN, 2011).

Conforme Ayoade (2013), o clima influencia o homem de diversas formas, e o homem, por sua vez, influencia o clima através de suas diversas atividades, principalmente a urbanização. Mills (2014) afirma que as áreas urbanas têm um efeito profundo sobre a atmosfera, resultante das

mudanças na natureza da cobertura das superfícies (formas urbanas), da emissão de calor, do vapor d'água e dos materiais que atendem às atividades humanas (funções urbanas). Nesse sentido, os efeitos do clima sobre a sociedade, em especial das ondas de calor e de frio, são distintos de acordo com fatores individuais (idade, cor, sexo) e de fatores sociais, econômicos e culturais, conforme apontam Andrade; Nogueira; Canário (2011, p. 262):

Fatores como o sexo, a capacidade respiratória e cardiovascular, o tamanho e a composição corporal (percentagem de gordura corporal) têm também sido implicados na relação temperatura-mortalidade [...]. Para a sensibilidade individual contribuem ainda fatores culturais, sociais e econômicos, como o isolamento/suporte social e o estatuto socioeconômico; a sensibilidade aumenta para indivíduos e grupos da base da hierarquia social, o que se compreende atendendo a fatores como o tipo de ocupação (predominantemente manual, envolvendo esforço físico), as piores condições de trabalho, o mais difícil acesso à informação e o menor acesso aos serviços de saúde, entre outros.

Landsberg (2006, p. 95), dissertando acerca da relação da organização da sociedade com o clima, menciona que o propósito inicial de proteção dos abrigos humanos acaba por ser alterado:

Um dos principais propósitos dos abrigos humanos é a proteção contra as influências climáticas biologicamente adversas. Mesmo que muitas casas sejam comprometedoras, elas cumprem este propósito numa primeira aproximação [...]. No entanto, quando os homens são gregários, a necessidade de defesa e a tendência ao aumento da divisão do trabalho levam muitas casas a ficarem próximas. Isto causa modificações no **clima local** com resultados muitas vezes distantes do agradável.

O autor (*op. cit.*) ainda assevera que nem sempre foi fácil de identificar e avaliar as modificações do clima em função dos abrigos humanos, pois, em determinadas situações, a depender do contexto biofísico do local, o clima pode ser distinto naturalmente do seu entorno. Nesse contexto, “[...] o desenvolvimento das cidades pode tender a acentuar ou eliminar estas diferenças causadas pela posição topográfica” (LANDSBERG, 2006, p. 95).

De acordo com a literatura, Luke Howard (1833) fez os primeiros levantamentos e foi considerado o primeiro a documentar as diferenças de temperatura entre campo e cidade, em Londres, 1918. Nesse estudo, comparando áreas rural e construída, foi identificado um excesso de calor artificial nas áreas construídas. Além disso, o estudo foi considerado como revolucionário em climatologia (GARTLAND, 2010).

Em Paris, França, no século XIX, Emilien Renou descobriu situações semelhantes às de Howard em diversos estudos empreendidos em 1855, 1862 e 1868. Na Itália, em Viena, foi a vez de Schmidt, no século XX. E, nos Estados Unidos da América (EUA), as pesquisas acerca das diferenças térmicas entre áreas rurais e urbanizadas começaram em 1953, com os estudos de Mitchell. É nesse contexto que surge o conceito de ilha de calor (NETO, 2019; GATLAND, 2010).

Embora esses trabalhos sejam importantes, vale lembrar que a base de dados utilizada pelos autores se referia apenas aos dados provindos de estações meteorológicas instaladas nas cidades e nas áreas rurais. No entanto, devido à quantidade reduzida de estações, esses dados meteorológicos eram limitados e restritos no tempo e no espaço (FIALHO, 2009). O ponto aqui é que esse problema talvez ainda não tenha sido superado em vários países, seja por falta de recursos financeiros e tecnológicos, seja por falta de vontade política.

Diante dos avanços no campo da ciência e da tecnologia, é plausível pensar que as sociedades evoluem de forma acelerada e que novos métodos que possam auxiliar na compreensão das relações entre a sociedade e a natureza sejam importantes. Nesse contexto, Sant'Anna Neto (2004, p. 19) afirma que:

Todo o arcabouço teórico e metodológico que nos foi legado por Monteiro nas últimas décadas se, de um lado, propiciou o nascimento de uma Climatologia Geográfica, hoje área reconhecida no meio científico nacional, como pode ser notado pela vasta produção científica, por outro, tem demonstrado indícios de que novas possibilidades de análise, tanto no sentido técnico propriamente dito, quanto no sentido teórico de uma releitura do clima e dos fenômenos atmosféricos poderiam trazer novas perspectivas para o contexto da ciência geográfica.

[...]

O problema da análise geográfica do clima na atualidade, a nosso ver, se refere à forma e ao trinômio característico das abordagens que se tem praticado. Ou seja, estas análises têm se sustentado a partir do tripé: ritmo climático – ação antrópica – impacto ambiental. Nesta perspectiva, tem se utilizado a análise episódica, que comparece como o fundamento básico no desenvolvimento da Climatologia Geográfica, tentando dar conta da explicação, da gênese e dos processos de natureza atmosférica intervenientes no espaço antropizado. Entretanto, esta análise não tem sido suficientemente esclarecedora dos mecanismos de feedback, nem das projeções futuras que deveriam ser incorporadas às propostas de gestão e monitoramento dos fenômenos atmosféricos.

Corroborando o que foi dito acima, é de grande valia adotar novas técnicas e novas metodologias na atualidade, considerando o período da história no qual vivemos, um mundo globalizado, que exige não só dos países posturas diferentes do passado em relação aos fatores sociais, econômicos e ambientais, mas também da sociedade e das pesquisas científicas em

climatologia geográfica, em especial a partir do uso das geotecnologias, conforme aponta Fialho (2013).

Diante do que foi exposto, o estudo do clima na perspectiva da Geografia do Clima permite analisar o clima como uma construção social, que, por natureza, faz parte do processo de produção do espaço urbano e, dessa forma, compreender como esse modo de produção do espaço urbano gera diferentes impactos e formas de riscos e de vulnerabilidades. De acordo com Rampazzo (2020, p. 62), risco e vulnerabilidade são “categorias síntese da realização contraditória da sociedade-natureza com suas formas e conteúdos”.

Para Sant’Anna Neto (2011, p. 47),

Se a cidade é o habitat da modernidade, se os sistemas urbanos são altamente complexos e desiguais e, se a atmosfera urbana é o produto da interação entre as variáveis do clima e as intervenções socioeconômicas, então os diversos grupos sociais não experimentam nem se relacionam com o tempo e o clima urbano da mesma forma. Espaços desiguais potencializam os efeitos do clima, que se manifestam, também, de forma desigual. Nesta perspectiva, tem-se que admitir que o clima urbano possa ser interpretado como uma construção social.

De acordo com Andrade (2005), os estudos do clima, na perspectiva geográfica, caracterizam-se por uma relativa confusão, confusão essa que pode ser explicada, por um lado, pela natureza da estrutura do clima urbano, por outro lado em virtude da forma como o clima local se articula com as outras escalas do clima, nomeadamente a escala regional. De tal modo, no tópico seguinte, será desenvolvida uma abordagem das diferentes escalas do clima.

As escalas do clima: um conceito basilar em estudos do clima urbano

Mendonça; Danni-Oliveira (2007) afirmam que a escala de análise nos estudos do clima é de vital importância na compreensão dos fatos climáticos, pois conduz o pesquisador à exata dimensão dos fenômenos¹⁴. Assim, a escala macroclimática refere-se a fenômenos que ocorrem em vastas áreas do planeta, numa dimensão zonal, em faixas ou em climas regionais. A escala mesoclimática refere-se aos fenômenos que ocorrem entre as escalas macro e micro, como em

¹⁴ O professor Henrique Andrade (2005) menciona outras categorias escalares, além das três principais escalas (*macro*, *meso* e *micro*). Essas unidades menores dizem respeito às escalas mais frequentes nos estudos do Clima Urbano, que são: o topoclima e o clima local. Para saber mais sobre essas categorias de análise, ler: ANDRADRE, H. O Clima Urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, XI, 80, 2005, p. 67-91.

extensas áreas de florestas, em desertos e/ou em continentes. Já a escala microclimática refere-se aos fatos do clima que abarcam a menor unidade espacial, que pode variar de alguns centímetros a algumas dezenas de quilômetros quadrados, conforme Quadro 2.

Quadro 2: Organização das escalas temporal e espacial do clima

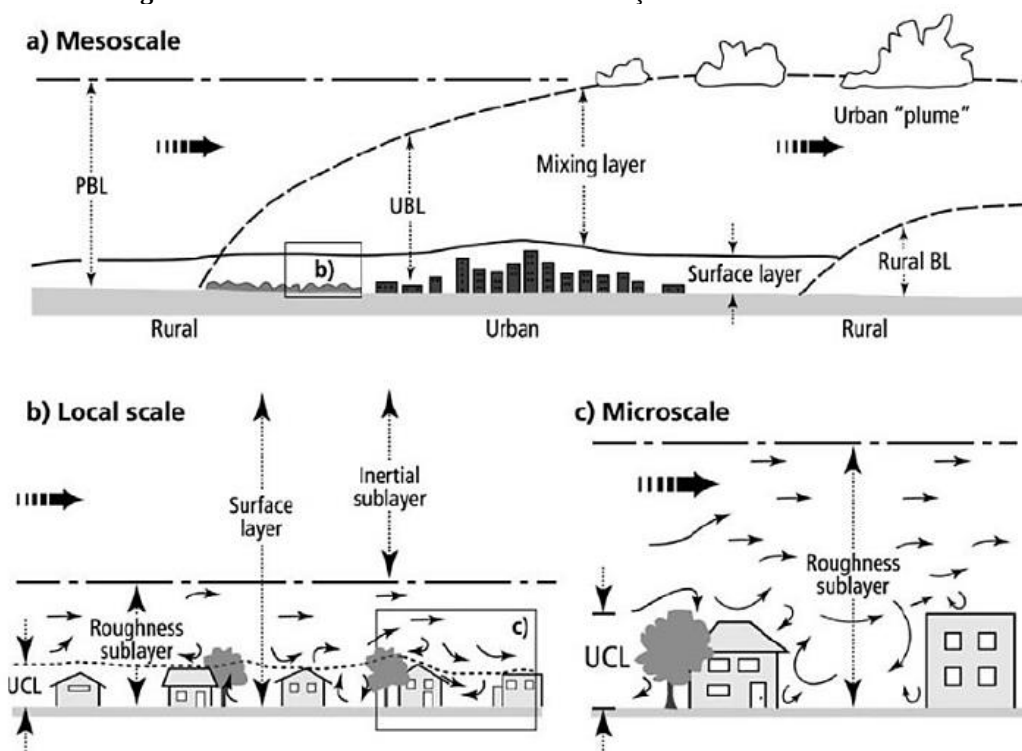
Ordem de Grande	Subdivisões	Escala horizontal	Escala vertical	Temporalidade das variações mais representativas	Exemplos espaciais	Métodos de mensuração
Macroclima	Clima zonal e regional	> 2.000km	De 3 a 12km	Algumas semanas a vários decênios	O Globo, oceanos e mares e continentes	Imagens de satélites, radar, cartas sinóticas
*Mesoclima	Climas regional, local e topoclima	De 10km a 2.000km	De 100m a 12km	Várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade, etc.	Imagens de satélites, cartas sinóticas, estações meteorológicas termo-higrômetro, datalogger (abrigos meteorológicos); transectos móvel e fixo
Microclima		De 10 a alguns metros	< de 100m	De minutos ao dia	Bosque em uma rua, edificação/casa	Termo-higrômetro, datalogger

Fonte: Mendonça; Danni-Oliveira (2007) (adaptado).

*Refere-se à escala de análise escolhida para este trabalho.

Na escala urbana, outras escalas são possíveis de se observar. Oke (2004) apresenta uma distinção entre as escalas dos processos climáticos urbanos, a saber são o *Planetary Boundary Layer* (PBL), referente à camada limite atmosférica, o *Urban Boundary Layer* (UBL), a camada limite urbana, e o *Urban Canopy Layer* (UCL), a camada do nível das coberturas (considerada a camada mais baixa da atmosfera urbana (Figura 30).

O modelo apresentado por Oke (2004) passou por diversas modificações e aperfeiçoamentos ao longo dos anos. No início da década de 1970, o pesquisador avaliou a intensidade da ilha de calor às dimensões da cidade e da população. Contudo, a partir da década de 1980, o modelo mostrou-se insuficiente para explicar o que ocorre nas áreas urbanas, o que levou o autor a perceber outras situações que confirmam as diferenciações térmicas entre áreas urbanizadas e não urbanizadas, a exemplo dos cânions urbanos (relação entre altura dos edifícios, largura das vias e obstrução do céu), denominada *Sky View Factor* (SVF), numa tradução livre para o português, é o fator de obstrução do céu. Este parâmetro pode ser avaliado através de um registro fotográfico feito na vertical, por uma máquina fotográfica e uma lente tipo “olho de peixe”, que possibilita uma visão em 360° da abóboda atmosférica (SVF) (FERREIRA, 2019; OKE, 2004).

Figura 30: Escalas do clima urbano e estratificação das camadas verticais

Fonte: Oke (2004).

De acordo com Neto (2019), na escala local ou urbana, os efeitos das alterações climáticas são manifestados, sobretudo, pela Ilha de Calor Urbana (ICU) – desconforto térmico e diversos outros problemas relacionados ao processo de urbanização, a exemplo de variações climáticas em função de estruturas, como parques urbanos, grandes edifícios, dentre outras. Além desses, outros problemas ambientais ocorrem em função do processo de urbanização, como, por exemplo, as inundações urbanas, que Monteiro (1976) denominou de impactos meteóricos. Nesse sentido, ao longo do tempo, diversos métodos e técnicas surgiram na tentativa de identificar e mapear o clima das cidades; dentre essas metodologias, pode ser citada a teoria das Zonas Climáticas Locais, ou *Local Climate Zone* (LCZ), mais bem detalhada a seguir.

Zonas Climáticas Locais: uma metodologia aplicada ao clima urbano

As Zonas Climáticas Locais é uma metodologia associada aos estudos de clima urbano, desenvolvida pelos pesquisadores canadenses Stewart; Oke (2012), que estabelece pelo menos 17 tipos de paisagens padrão em ambientes urbanos que possuem características térmicas e higrométricas distintas, de acordo com cada padrão de uso e cobertura do solo (Figura 31). Dispostas em pelo menos dois grupos, as LCZ são codificadas por números e letras, sendo que

aquelas numeradas de 1 a 10 referem-se ao grupo de zonas construídas e edificadas, e as classificadas com letras de A a G são tipos de cobertura do solo (STEWART; OKE, 2012; FERREIRA; UGEDA-JÚNIOR, 2020).

Figura 31: Esquema de classificação das 17 zonas climáticas locais



Fonte: Stewart; Oke (2012); Demuzere *et al.*, (2020a).

Os estudos que se referem ao mapeamento das zonas climáticas locais consideram também a existência de núcleos de calor nas cidades e/ou ilhas de calor. No entanto, essa classificação, por si só, não dá conta de compreender o clima das cidades em uma perspectiva geográfica, pois os atributos sociais e geográficos são fundamentais para que possa ser compreendido.

Ademais, na perspectiva de Monteiro (1990, p.68), também é importante avaliar as condições geoecológicas da cidade. Nesse enquadramento, as condições geoecológicas da cidade referem-se aos elementos físicos, que se evidenciam tanto nas condições morfológicas como também “pelas derivações, acréscimos (represas, [canais], aterros, etc) e supressões (arrasamento de morros, deflorestamentos etc.)”. Ainda sobre isso, o autor afirma que:

Qualquer análise introdutória para o estudo de um clima urbano requer uma acurada observação tanto da tipologia do sítio como dos modelos de morfologia urbana e do imenso espectro de combinações que se podem configurar. E acima de tudo a ordem de grandeza observável entre o “porte” do sítio e aquele da cidade (MONTEIRO, 1990, p.83).

Para Oke (2006), deve-se avaliar a estrutura urbana como a dimensão das edificações, os espaçamentos entre elas (cânions urbanos), a largura e o comprimento das estruturas viárias e os diferentes tipos de cobertura do solo que são implantados sobre a superfície, além do nível de obstrução do céu (*sky view factor*), todos resultantes do processo de urbanização.

O sistema de classificação das LCZ foi desenvolvido, inicialmente, por Douglas Stewart, em sua tese de doutorado, defendida em 2011, na Colúmbia Britânica, sob orientação do professor Timothy Oke. Em dezembro de 2012, um artigo foi publicado no *Bulletin of the American Meteorological Society*. De lá para cá, as LCZ têm sido amplamente utilizadas em estudos de clima urbano, porém de maneira mais tímida no Brasil, embora a caminho de uma maior difusão, pois esse método apresenta um sistema de classificação para análises de ilha de calor que está para além da classificação de urbano e rural, mostrando ser mais eficaz em sua aplicação (FERREIRA, *et al.*, 2022).

É importante ressaltar que o sistema de classificação proposto por Stewart; Oke (2012) refere-se a um modelo que, inicialmente, foi aplicado e testado em três cidades distintas das áreas tropicais, que são Vancouver (Canadá), Nagano (Japão) e Uppsala (Suécia). Portanto, para se trabalhar com as LCZ em ambientes tropicais, é necessário adaptá-las em algumas ocasiões. Para isso, em função das diferenças física, social e cultural das paisagens, os autores lançaram

mão de uma subclassificação a partir da classificação original (b, s, d, w), representativas de árvores em folhas, terra coberta de neve, terra seca e terra úmida, respectivamente (STEWART; OKE, 2012).

A Tabela 4 apresenta a descrição das LCZ considerando os diferentes tipos de uso e cobertura do solo, as subclasses e o *sky view fator*.

Para Stewart; Oke (2012), um dos principais objetivos da classificação das LCZ está no fato de serem bem detalhadas em relação às propriedades de cada local, devido a sua influência no clima da camada do dossel urbano, ou atmosfera inferior, que se refere a rugosidade superficial, na fração de superfície impermeável, no desempenho térmico das edificações, dentre outros (CARDOSO; AMORIM, 2017).

De acordo com Ferreira; Ugeda-Júnior (2020), as LCZ agrupam características das edificações e da vegetação urbana potenciais em promover alterações no clima intraurbano. Nessa conjuntura, para além da clássica noção urbano-rural, designadamente advinda do conceito de ilhas de calor urbano, as LCZ permitem um melhor detalhamento do espaço a ser analisado em estudos de climatologia urbana.

Tabela 4: Descrição sucinta das LCZ, considerando o uso e cobertura da terra e o *sky view factor*.

Site number	Classification	Photographs Eye level	Properties ^a	
1	 LCZ 24: <i>compact mid-rise with open high-rise</i>		SVF % Built-up z_H	0.7 >95 20–30
2	 LCZ 3: <i>compact low-rise</i>		SVF % Built-up z_H	0.6 80 7
3, 4	 LCZ 6 : <i>open low-rise</i>		SVF % Built-up z_H	0.8–0.9 55 5
5, 6	 LCZ D: <i>low plants</i>		SVF % Built-up z_H	>0.9 <5 <1
7–10	 LCZ B: <i>scattered trees</i>		SVF % Built-up z_H	0.6–0.7 <5 3

Fonte: Feliciano *et al.* (2012) (adaptado).

Local Climate Zone em ambiente tropical: estudos de caso

As Zonas Climáticas Locais (ZCL) são uma metodologia que permite identificar áreas padrão em função da forma urbana e do uso e cobertura do solo de um determinado local, capazes de modificar os padrões do clima das áreas urbanas (FERREIRA; UGEDA JÚNIOR, 2020; CARDOSO; AMORIM; 2018; STEWART; OKE, 2012; STEWART, 2011). Nesta tese de doutorado, acredita-se que essa metodologia é adequada, pois permite uma análise mais detalhada acerca da relação existente entre a morfologia das áreas urbanas, do uso e cobertura do solo e os efeitos sobre os elementos da atmosfera e permite sua comparação com os existentes em diversas partes do mundo.

Por se tratar de uma metodologia desenvolvida em ambientes de latitudes altas, inicialmente, sua aplicação em ambientes tropicais merece alguma atenção e cuidado, uma vez que há diferenças significativas em termo climáticos e urbanos. Do ponto de vista climático, naturalmente, as zonas tropicais são dotadas de temperaturas médias mais elevadas e maior

volume de precipitação, bem como a urbanização em ambientes tropicais é diferente, com densidade populacional, geralmente maior, em relação aos países localizados em altas latitudes.

No caso brasileiro, um país de latitude tropical, os estudos do clima urbano geralmente estão associados à ilha de calor urbano. No entanto, há alguns anos, é possível perceber algumas pesquisas que estão utilizando a metodologia das LCZ na avaliação da relação das áreas urbanas com a atmosfera na tentativa de identificar a ilha de calor urbano.

Ferreira *et al.* (2021), realizaram um trabalho cujo título é “Fatores associados à distribuição da temperatura das superfícies em áreas urbanas: zonas climáticas locais e características espectrais” no qual o objetivo geral dos autores foi identificar padrões do tecido urbano que produzem retroalimentação negativa do sistema climático urbano naturalmente. Nessa conjuntura, os autores utilizaram imagens do satélite Landsat-8 para avaliar a temperatura de superfície. De acordo com os resultados, as áreas que apresentaram efeitos de retroalimentação negativa, que produzem resfriamento das superfícies urbanas, são as superfícies ocupadas por corpo d’água, vegetação e sombra (geralmente sombras naturais). A área de estudo dessa pesquisa refere-se a uma macrozona urbana de São José dos Campos, São Paulo, Brasil. Foram identificadas, pelo menos 11 LCZ, entre áreas mais densamente ocupadas e não ocupadas por área urbana.

Em São Carlos, São Paulo, Fernandes; Masiero (2020) analisaram a relação da forma urbana por meio das LCZ com o conforto térmico dos usuários dos espaços públicos da área de estudo. A pesquisa foi realizada em quatro espaços abertos em São Carlos, considerando apenas o perímetro urbano da cidade. Para a definição das LCZ, os autores utilizaram imagens de satélites e o conforto térmico foi definido por meio de aferição de dados microclimáticos em campo, em ambiente interno, sem vento e sem radiação solar. O indicador utilizado pelos pesquisadores foi o índice de conforto térmico “Temperatura Fisiológica Equivalente” (PET). Diante dos resultados encontrados, os autores concluíram que o conforto térmico estava intimamente relacionado aos parâmetros urbanos de cada LCZ. Para além disso, de acordo com Fernandes; Masiero (2020, p. 13), o “sistema das LCZ permite compreender as variações no nível de conforto térmico, podendo ser adotada para proposição de espaços urbanos com maior qualidade”.

Gobo; Bibiano; Galvani (2019) desenvolveram um estudo com base na proposta das LCZ para cidades de pequeno porte. A área de estudo refere-se ao município de Espírito Santo do Pinhal, em São Paulo, e o objetivo dos autores foi analisar a relação da temperatura e da umidade absoluta do ar com as diferentes LCZ definidas para a área de estudo, 4 no total. Os autores investigaram a temperatura e umidade a partir de aparelhos de medição *datalogger* em abrigos meteorológicos. A partir dos resultados encontrados, os autores afirmam que a metodologia das LCZ é satisfatória e apresentou resultados relevantes. Por exemplo, o bairro que apresentou maior vulnerabilidade térmica era caracterizado por vegetação e poucas construções. O fator fundamental para que essa vulnerabilidade térmica seja associada a este bairro, localizado em Espírito Santo do Pinhal/SP, não são altas temperaturas, mas, sim, o padrão social e construtivo do bairro que, segundo os pesquisadores, são de baixo padrão. Estes resultados dialogam bem com a proposta do professor Sant'Anna Netto ao mencionar o papel da sociedade e os diferentes territórios na alteração do clima das cidades.

Ferreira; Ugeda Júnior (2020) desenvolveram um trabalho em Cuiabá, Mato Grosso, no qual o objetivo principal era identificar a variabilidade temporal e espacial da temperatura de superfície por meio da metodologia das LCZ e imagens do satélite ASTER. Os autores analisaram uma série de imagens em diferentes datas e horários e em diferentes estações do ano. Por meio dessa pesquisa, os autores identificaram diversas LCZ na área de estudo e as confrontaram com a temperatura de superfície em duas estações: seca e chuvosa. Na estação chuvosa, as áreas edificadas se mostraram mais aquecidas, enquanto na estação seca e fria, as áreas edificadas e com vegetação apresentaram temperaturas semelhantes, provavelmente devido à ação de frentes frias que minimizam o papel da cidade no clima urbano.

Ademais, Ferreira; Ugeda Júnior (2020) avaliaram a metodologia das LCZ como satisfatória, na medida em que ela permite um melhor detalhamento do espaço analisado em climatologia urbana, para além da noção de urbano-rural. Nesse sentido, é destacado o fato da LCZ permitir a diferenciação de áreas intraurbanas por meio da identificação de espaços físicos relativamente homogêneos, e estes, por suas vezes, serem capazes de gerar efeitos na atmosfera inferior (FERREIRA; UGEDA JÚNIOR, 2020).

Aguilar (2019), em uma dissertação de mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), desenvolveu uma pesquisa intitulada “Forma Urbana, densidade da população e zonas climáticas locais: influências e avaliação de ilha de calor urbana

em Bogotá, Colômbia”. O autor teve como objetivo identificar a influência da forma urbana criada pelo tamanho populacional e a concentração da população (densidade) na geração de ilha de calor urbana na cidade de Bogotá, Colômbia. Nesse ambiente, para se avaliar as mudanças térmicas que ocorrem dentro do espaço urbano da área de estudo, o autor se apoiou na proposta das LCZ com base nos parâmetros da forma urbana. Por meio dos resultados encontrados, concluiu-se que há uma correlação forte entre a forma urbana e a densidade populacional com as ilhas de calor em Bogotá, Colômbia, conquanto que as áreas com baixa densidade urbana apresentaram temperaturas mais baixas.

Hoppe *et al.* (2022), em trabalho publicado pela revista internacional *Climate*, realizaram uma pesquisa e identificaram e mapearam LCZ em Balneário Camboriú, Santa Catarina, Brasil. Nessa pesquisa, os autores realizaram a classificação das LCZ para a área de estudos com base na proposta do WUPDATE, aperfeiçoada por Demuzere *et al.* (2021), na qual foram identificadas 14 LCZ, das 17 tipologias de Stewart; Oke (2012). Em cada uma delas, os autores fizeram registros de temperatura e umidade relativa do ar por meio de pontos fixos e também o registro do SVF a partir de uma câmera olho de peixe de um telefone celular. Os resultados apontaram para uma correlação direta entre altas temperaturas com as LCZ de estruturas compactas e elevadas e baixo fator de visão do céu.

Dadas as particularidades geográficas, nomeadamente as relativas ao clima, o trabalho acima mencionado é de grande importância para este trabalho, pois se trata de uma pesquisa cuja área de estudo é bem semelhante à aqui empreendida, por se tratar de uma cidade litorânea e com aspectos ambientais e socioeconômicos análogos a Vila Velha.

Embora, nos trabalhos avaliados até o momento, a maioria se refira ao estado de São Paulo, o que se percebe é que as formas urbanas são elementos chaves na interpretação das LCZ e se constituem como fundamentais na compreensão dos impactos das atividades humanas sobre os elementos da atmosfera (FERREIRA *et al.*, 2021). Por isso, a importância de se estudar o clima urbano está no fato de esse poder constituir-se em um risco, em especial para as populações que vivem em áreas litorâneas, conforme assevera Veyret (2007).

Riscos e vulnerabilidades: do natural ao socialmente produzido

Ao longo do tempo, diversos conceitos de Risco, Perigo e Vulnerabilidade surgiram, seja na literatura internacional, seja na nacional. Nesse contexto, as diferentes visões conceituais se devem a uma série de fatores, como o campo científico – se se trata da perspectiva das Ciências Humanas, Exatas ou Biológicas (embora seja nas Ciências Sociais que os estudos sobre vulnerabilidade têm ganhado maior notoriedade) –, o contexto histórico, o cultural e o político (NETO, 2019; MARANDOLA JR., 2004).

De acordo com Souza; Lourenço (2015, p. 32), os primeiros estudos acerca dos Riscos surgiram na literatura a partir de 1921 por meio de um trabalho desenvolvido por Frank Knight que propunha: “se você não sabe ao certo o que vai acontecer, mas as chances existem, isso é risco. Caso você não saiba quais são as chances, então é incerteza”. No entanto, embora o termo Risco já houvesse sido mencionado na década de 1920, atualmente o conceito é bem distinto, pois as características da sociedade daquele momento (basicamente rural, sujeita a diversas intempéries naturais como o frio, o calor, a seca, as inundações, os furacões, etc.) seja bem diferente da sociedade atual, cuja maioria da população é urbana.

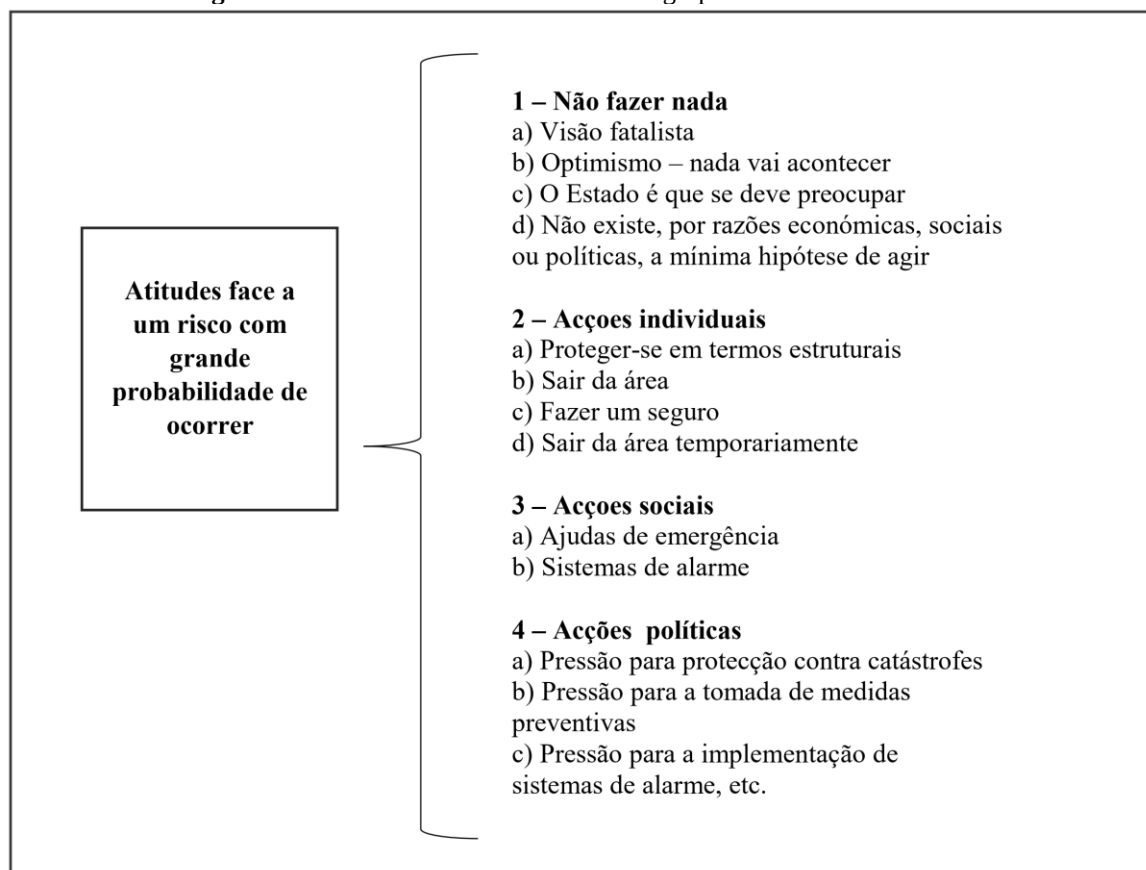
Segundo Lagrange (1993), o ser humano era mais susceptível a catástrofes, fomes, epidemias; inclusive, na maioria das vezes, eram percebidas e concebidas como “signos naturais” ou até mesmo como castigos divinos (VEYRET, 2007). Nessa conjuntura, frente ao posicionamento das causas dessas catástrofes, a ciência tinha dificuldades até mesmo na investigação das reais causas das catástrofes.

Com o passar do tempo, os problemas que acometiam a sociedade começam a serem vistos de outra perspectiva, inserindo a sociedade e suas diversas atividades como uma das causas relevantes no desencadeamento de diversos processos naturais, havendo com isso uma mudança de paradigma da relação sociedade-natureza (SOUZA; LOURENÇO, 2015). Nessa perspectiva, Veyret (2007) afirma que, na sociedade atual, o Risco pode ser percebido em toda parte, pois a sensação de insegurança parece ser alimentada pelo desenvolvimento da ciência e da tecnologia, o que parece contraditório, pois muitos acreditam que tanto a ciência como a tecnologia são “suficientes” para manter uma sociedade “segura”.

Monteiro (2009) salienta que os Riscos aumentam na mesma proporção em que o suporte biofísico (elementos naturais) foi sendo omitido do desenho urbano. E essa omissão faz com que a capacidade de suporte e resiliência das populações de antecipar, lutar, resistir e se recuperar dos impactos negativos que a natureza pode trazer, em especial, os impactos de ordem climática, diminua.

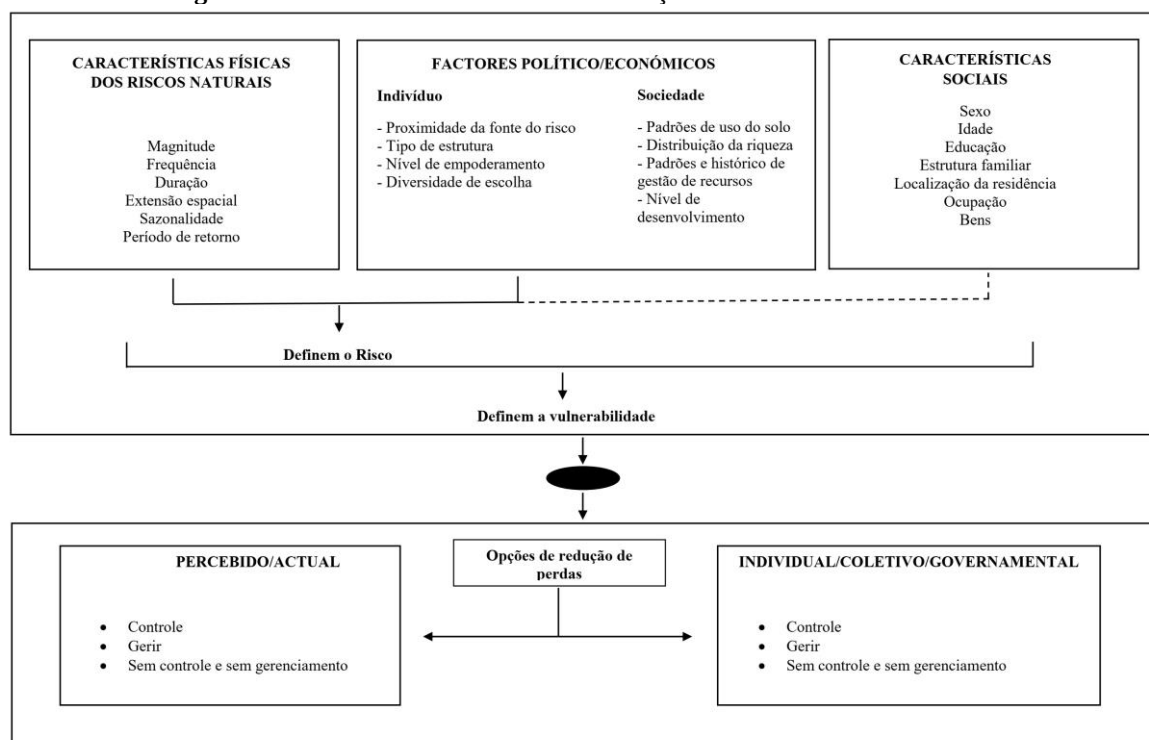
Em face à atual fase do desenvolvimento da sociedade, aliado ao desenvolvimento brutal da tecnologia e da ciência, parece contraditório que os riscos tenham se tornado mais preocupantes, mesmo se se considerar eventos climáticos não tão intensos (SANT'ANNA NETO, 2011). Para Monteiro (1997), os riscos variam em função de diversos fatores, como a cultura, o grupo social e políticos (Figura 32).

De acordo com a Figura 32, adaptada de Monteiro (1997), os fatores e atitudes dos diferentes grupos em relação aos riscos são divididos em 4 situações: a primeira é caracterizada por uma situação na qual predomina a atitude de “não fazer nada”, tanto o Estado como a sociedade podem praticar esse tipo de ação; a segunda, refere-se ao âmbito individual, ou seja, um sujeito tem a consciência que deve se proteger; a terceira e quarta fases referem-se às ações promovidas, ou que deveriam ser, pela sociedade e pelo governo (políticas públicas). Esses dois últimos itens devem ser destacados, pois, no que se refere ao papel da sociedade, as atitudes da população em relação aos riscos dependem da percepção de cada indivíduo; por exemplo, um trabalhador de uma indústria química, muitas vezes, não tem uma percepção adequada dos riscos devido a sua atividade e necessidade do trabalho. Os políticos, por suas vezes, estão no coração do dispositivo, no que concerne à gestão dos riscos, pois eles devem fornecer respostas à sociedade civil, apoiados em conhecimentos científicos (VEYRET, 2007).

Figura 32: Fatores e atitudes dos diferentes grupos sociais frente ao risco

Fonte: Monteiro (1997, p. 04) (adaptado).

De acordo com Monteiro (2009), a tolerância e a elasticidade social, económica e política a um evento extremo, como um evento climático, condicionam ainda mais a gravidade do risco. A Figura 33 apresenta as variáveis dos riscos e das vulnerabilidades, de acordo com Tobim (1997). Nessa conjectura, o autor argumenta que o conhecimento dos riscos e vulnerabilidades passa por uma série de fatores, de ordem natural, social e política. No entanto, a vulnerabilidade pode ser percebida pelo indivíduo e/ou pela coletividade, sendo possível reduzir as perdas provenientes de uma catástrofe ou desastre.

Figura 33: Variáveis intervenientes na definição dos riscos e vulnerabilidades

Fonte: Tobin; Montz (1997) (adaptado).

Não é tarefa fácil conceituar Risco, haja vista a diversidade de conceitos existentes sobre o tema. Segundo Souza; Lourenço (2015), o termo Risco pode ser percebido de diversas formas. A problemática gira em torno da área do conhecimento, da língua ou mesmo da semântica do termo. O termo *Hazard* é o mais utilizado na literatura da área, até mesmo pelo fato de não haver uma palavra sinônima na língua latina (SOUZA; LOURENÇO, 2015). Além do *Hazard*, há no meio acadêmico outros termos sendo utilizados, como *Risk*, *Danger* (inglês), *Álea* (francês), *Ameñaza* (espanhol), *Perigo/Azares* (português do Brasil) e *Perigosidade* ou *Perigo* (português de Portugal) (NETO, 2019; SOUZA; LOURENÇO, 2015). Esse último é o mais adotado no Brasil, em função, sobretudo, da proximidade com o idioma.

De acordo com Tobin; Montz (1997), o Risco ou Perigo é uma situação potencialmente prejudicial, enquanto o desastre é a materialização do Risco. Nesse âmbito, o desastre “é uma função no processo de risco que traduz uma combinação entre processos perigosos, vulnerabilidade e incapacidade de conter os impactos negativos da manifestação do risco” (SOUZA; LOURENÇO, 2015, p.32).

Veyret (2007) define o risco como sendo a percepção de uma potencialidade de crise ou perigo, de um acidente e/ou de uma catástrofe possível, mas, não necessariamente, o acontecimento

catastrófico propriamente dito. Nesse contexto, ele existe em relação a um indivíduo ou a um grupo social (comunidade) ou até mesmo profissional.

A fim de minimizar os problemas causados pelas distintas visões de Risco ou *Hazard*, nesta tese o conceito utilizado é aquele entendido pela *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNDRR) que o concebe como é, isto é, um evento de natureza física ou um fenômeno resultante da atividade humana que pode causar um potencial prejuízo e perdas às estruturas sociais, econômicas e ambientais. Esses, por suas vezes, podem ser: de origem natural (predominantemente associados a fenômenos naturais); antropogênicos (riscos induzidos pelo homem, i.e., aqueles que estão associados, predominantemente às atividades humanas); e os riscos socionaturais (resultados de uma combinação de fatores naturais e antrópicos, a exemplo das mudanças climáticas e a degradação ambiental) (UNDRR, 2021).

De acordo com a UNDRR (2021), os Riscos ou Perigos podem ser únicos, sequenciais ou combinados e, de acordo com sua origem, são classificados em Riscos Hidrometeorológicos (de origem atmosférica, oceânica ou hidrológica); Riscos Geológicos ou Geofísicos (originam-se a partir de processos internos da Terra); Riscos Ambientais (podem ser químicos, naturais e biológicos); e os Riscos Tecnológicos (originam-se a partir das condições tecnológicas ou industriais, comumente associados à falhas de infraestruturas ou atividades humanas específicas).

Veyret (2007) também contribuiu muito com a definição dos diferentes tipos de riscos. Para a autora, os riscos se inscrevem num quadro de relações natureza/sociedade e podem ser divididos em riscos ambientais (resultantes da associação entre riscos naturais e riscos agravados pelas atividades humanas), riscos industriais ou tecnológicos, riscos econômicos, geopolíticos e sociais.

É importante ressaltar que os fenômenos naturais fazem parte da dinâmica da natureza e que, portanto, o risco só ocorre quando acomete um sistema social, trazendo consigo uma situação potencial de prejuízos e perdas, tanto humanas como materiais e tecnológicas (SOUZA; LOURENÇO, 2015).

Assim, conforme Souza; Lourenço (2015, p. 33):

Para fazer a análise de risco é necessário estabelecer uma metodologia que determine a natureza e extensão do risco, analisando os processos potencialmente perigosos e as condições preexistentes de vulnerabilidade, que podem representar uma ameaça potencial e causar danos às pessoas, propriedades, meios de vida e ambiente de que dependem. O processo de avaliação dos riscos deve se basear em uma revisão das características inerentes aos processos envolvidos como sejam a sua localização no espaço (susceptibilidade) e no tempo (probabilidade), bem como a sua intensidade; além desta análise relativa à severidade (que alguns autores designam de perigosidade) deve ser tida em conta a vulnerabilidade, analisando os aspetos físicos, sociais, económicos e as dimensões ambientais associados à exposição, sensibilidade/fragilidade e capacidade (de antecipação e de resposta), tendo especialmente em conta o enfrentamento de recursos pertinentes aos cenários de risco.

Segundo Neto (2019), o conceito de Risco foi sendo tratado pelas mais diversas áreas do conhecimento. Na Sociologia, por exemplo, é posta uma diferença entre risco e catástrofe, sendo que o risco é considerado como uma previsão ou possibilidade, enquanto a catástrofe é “conceituada, espacial, temporal e socialmente, o risco (antecipação da catástrofe) é uma abstração” (NETO, 2019, p.39). Nessa visão, o risco é uma incerteza, enquanto a catástrofe é uma realidade. Além da abordagem sociológica, há também a abordagem da Economia sobre o risco, que tem como objetivo básico entender o risco e a incerteza no âmbito da economia capitalista, em especial após a crise capitalista de 1929.

Uma outra abordagem sobre os riscos refere-se àquela utilizada pelas Geociências e que também pode ser observada na Política Nacional de Defesa Civil (PNDEC, 2012)¹⁵. Nesse âmbito o risco é entendido, frequentemente, pela ótica da matemática, ou seja, por meio de uma relação de probabilidade estatística de um fenómeno de ordem natural ocorrer ou não. De acordo com Neto (2019), a maneira como o fenómeno é expresso pelas Geociências é expressa pela Equação 1, a seguir.

¹⁵ A PNDEC foi instituída pela Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, e serve de referência a todos os órgãos de Defesa Civil do Brasil. No documento, podem ser observados alguns avanços e inovações, tais como:

- Integração das políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável;
- Elaboração e implantação dos Planos de Proteção e Defesa Civil nos três níveis de governo, estabelecendo metas de curto, médio e longo prazo;
- Sistema Nacional de Informações e Monitoramento de Desastres; Profissionalização e a qualificação, em caráter permanente, dos agentes de proteção e defesa;
- Cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos; e
- Inclusão nos currículos do ensino fundamental e médio dos princípios da proteção e defesa civil e a educação ambiental, entre outras.

Para mais detalhes, acesse o site http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm.

$$R = P \times C$$

Equação. 1

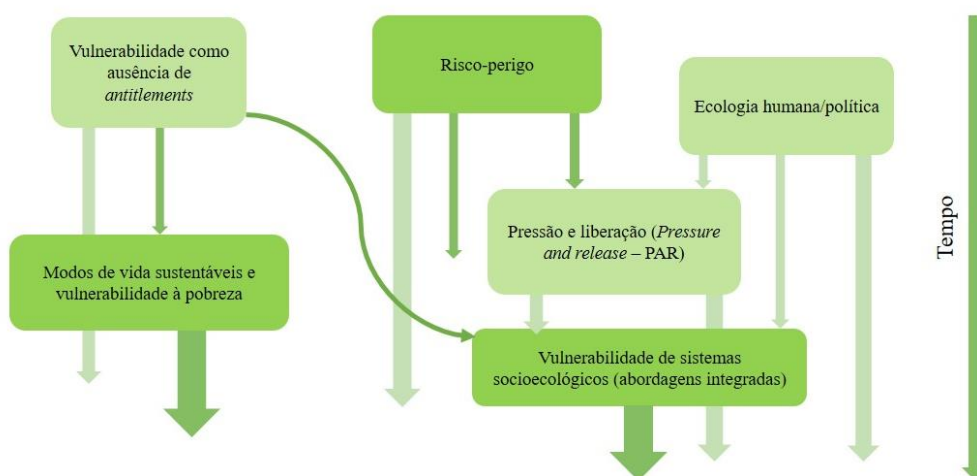
R = Risco

P = Probabilidade de ocorrência

C= Consequência

Nesse contexto, as pesquisas de risco-perigo, em especial as abordagens em clássicos, como White; Haas (1975), Burton; Kates; White (1978), percebem vulnerabilidade apenas como a medição de efeitos causados por eventos naturais (Figura 34). Nesse sentido, primeiro se procurava identificar as características biofísicas do risco e, somente após isso, era avaliada a potencial perda das populações, o que segundo Feitosa; Monteiro (2012, p. 293), refere-se a uma “*proxi da vulnerabilidade*”.

Figura 34: Tradições de pesquisas em vulnerabilidades



Fonte: Adger (2006) (adaptado).

Dentro do campo da Geografia, os estudos de Risco também são desenvolvidos. No entanto, sua abordagem vai além das abordagens matemáticas, pois, do ponto de vista geográfico, é necessária uma análise integradora que procure explicar

as complexas relações entre sistemas sociais, naturais e artificiais. Embora seja importante entender os sistemas e processos naturais que dão origem aos riscos, não é possível compreender completamente o impacto de tais processos ou acontecimentos naturais, a menos que se examine a forma como esses sistemas interagem com a sociedade (CUTTER, 2011, p. 60).

Para Veyret (2007), os riscos, os acidentes, as catástrofes não se constituem como um campo científico novo de estudos, em especial para a Geografia. A autora afirma que a Geografia tem lugar nos estudos dos riscos e vulnerabilidade na medida em que esses também possuem faces social e espacial. E se essas questões, sociais e espaciais são interrogadas, os riscos e vulnerabilidades podem, sim, ser estudados pela Geografia.

Para além das nuances do conceito de risco, a vulnerabilidade também enfrenta o mesmo problema, tanto do ponto de vista da ciência como da língua, por isso não é fácil defini-la. Nessa pesquisa, a vulnerabilidade será inserida no contexto urbano, dando ênfase, fundamentalmente, à vulnerabilidade social e aos riscos climáticos.

O conceito de vulnerabilidade já havia sido tratado paralelamente ao conceito de risco. No entanto, foi no início da década de 1990 que ele ganhou mais notoriedade, em especial dentro do campo da Sociologia e Demografia; em outras palavras, o perigo só existe onde há população (SOUZA; LOURENÇO, 2015).

De acordo com Cutter (2011), a vulnerabilidade refere-se, essencialmente, ao potencial de perda, tanto humana como material, e inclui elementos de exposição ao risco, por exemplo, as circunstâncias que colocam as pessoas e os diferentes lugares em perigo, e de propensão – as circunstâncias que aumentam ou diminuem a capacidade da população em responder ao risco, como a infraestrutura, habitação, renda, entre outros elementos.

Cutter (1996), após uma exaustiva revisão da bibliografia sobre vulnerabilidade, desenvolveu uma contribuição significativa acerca do tema, em especial por meio de pesquisas realizadas no *Hazards & Vulnerability Research Institute* (HVI), localizado na Califórnia, EUA. Nessa conjunção, a autora percebeu que a vulnerabilidade até então era tratada como o “potencial para a perda” e que, em maioria, eram tratadas em pesquisas sobre riscos. A questão trazida pela autora era, essencialmente, a ausência de informação acerca do tipo de perda e a localização daqueles que são susceptíveis à perda. Nesse sentido, segundo a autora (*op.cit.*), esse potencial para perda perpassa por uma interação entre a sociedade e os elementos biofísicos da paisagem, que afetam direta e indiretamente a resiliência do ambiente.

Embora a vulnerabilidade seja amplamente discutida atualmente, durante muito tempo os riscos naturais centraram-se, fundamentalmente, em processos físicos ou geofísicos, desconsiderando

as resiliências dos diferentes grupos sociais existentes na superfície terrestre (MENDES *et al.*, 2011). Nesse âmbito, é importante considerar a capacidade e estratégias que cada grupo social possui para enfrentar o risco.

Nesse enquadre, Cutter (2011) salienta que as condições socioeconômicas subjacentes tornam as populações mais ou menos vulneráveis aos riscos. Para isso, a autora se utiliza de dois exemplos importantes da história. O primeiro diz respeito ao sismo de magnitude 7.0 na escala Richter ocorrido no Haiti em 2010, em que o número de vítimas fatais chegou a quase 250.000 habitantes. Por outro lado, no Chile, um pouco mais tarde, um sismo de magnitude de 8,8 deixou um número de vítimas de aproximadamente 500 habitantes. Para a pesquisadora (*op. cit.*, p. 60), uma “[...] explicação possível para esta disparidade ao nível do impacto humano nos dois países está relacionada com a vulnerabilidade do Haiti e da sua população em comparação com o Chile e a população chilena”.

Nessa mesma linha de pensamento, Mendes *et al.* (2011) afirmam que a vulnerabilidade está associada ao grau de exposição aos perigos naturais e tecnológicos e aos acontecimentos extremos. Dessa forma, a vulnerabilidade depende da capacidade de resiliência da população afetada e das condições sociais e econômicas de uma sociedade (SETTE; RIBEIRO, 2011).

Cutter (2011) afirma ainda que a ciência da vulnerabilidade auxilia na compreensão de como os mesmos acontecimentos produzem impactos diferentes nos locais afetados. Além disso, permite também investigar como os fatores sociais interferem na natureza e no ambiente construído, fazendo com que os riscos sejam redistribuídos e gerando uma série de prejuízos de ordens econômica, social e ambiental.

Sant’Anna Neto (2011), por seu turno, afirma que as vulnerabilidades são acentuadas nos espaços urbanos devido ao desequilíbrio que há entre os sistemas urbanos e o sistema climático, acometendo sobretudo as populações que vivem nas periferias dos países em desenvolvimento, caso das cidades tropicais do Brasil.

Wisner *et al.* (2004), por suas vezes, afirmam que a vulnerabilidade aos riscos é um processo composto por uma série de fatores que produzem desigualdades, tais como: históricos, culturais, políticos, econômicos, ambientais e demográficos. Uma outra dimensão é a rápida urbanização que, em muitos casos, gera conflitos sociais e segregação socioespacial, fatos que contribuem

com a vulnerabilidade aos riscos, mormente dos grupos sociais mais vulneráveis socialmente. Nessa mesma perspectiva, Veyret (2007, p. 86) propõe que

O sistema urbano traz os germes da vulnerabilidade. Os efeitos da concentração e da densidade urbanas, a desigual mobilidade dos cidadãos, mais marcante nas cidades dos PED¹⁶, e o impacto das práticas de urbanismo desregrado induzem as interações entre os agentes destruidores e as construções. A rede urbana regional e nacional, na qual se inscreve uma cidade, também pode engendrar efeitos em cadeia externos a um desastre natural.

Para Cunha; Leal (2012), a vulnerabilidade está associada às consequências previsíveis sobre uma determinada área geográfica, em função do perigo (*perigosidade*), podendo ser subdividida em: população exposta ao perigo; valor dos bens; e a vulnerabilidade social. Assim, conforme Mendes *et al.* (2011), a análise da vulnerabilidade deve conter a compreensão das interpelações culturais, sociais e naturais. Dessa maneira, os desastres são compreendidos como produto social, e não da natureza, pois a transformação da natureza em áreas urbanas, e essa de forma desigual, origina e facilita os desastres.

Tanto os riscos quanto as vulnerabilidades podem e devem ser mapeadas. Neste sentido, Veyret (2007, p. 27) afirma que, para o geógrafo, “a tradução espacial do risco constitui um tema de estudo indispensável”. Assim, no item a seguir, serão tratados os diferentes modelos de vulnerabilidades e os métodos de representação dos riscos e vulnerabilidades.

Cartografia da Vulnerabilidade: Modelos de vulnerabilidades

De acordo com Cutter (2011), a ciência da vulnerabilidade auxilia na compreensão de como um acontecimento produz impactos e como os diferentes fatores sociais interferem na natureza e no ambiente construído e redistribuem o risco. Para essa tarefa, ao longo do tempo, surgiram diversos modelos que permitiram, e permitem, cartografar as vulnerabilidades.

Para se fazer um mapeamento sobre vulnerabilidades, deve-se considerar uma série de fatores de ordem ambiental e socioeconômica. Nesse contexto, Cutter (2011, p. 61) propõe que

As condições naturais ou ambientais que ajudam a compreender a exposição ao risco têm geralmente por base informação proveniente das ciências naturais. A análise do ambiente construído ou das infraestruturas está adstrita às ciências da engenharia, incluindo medições das infraestruturas críticas (oleodutos, redes de transporte,

¹⁶ PED, sigla que se refere a Países em Desenvolvimento.

sistemas de comunicação), assim como do edificado (residencial, comercial, industrial, institucional). Por último, é necessário efectuar a medição das condições sociais, geralmente com recurso a dados socioeconómicos e a outros dados demográficos. A unidade de medida pode ser individual (uma pessoa, um agregado familiar, uma estrutura), um grupo (grupos sociais, como estudantes universitários, bairros e infraestruturas), ou uma entidade espacial (um município, uma freguesia ou outra unidade administrativa) em que o ambiente social e construído e os dados físicos estejam integrados.

Considerando a proposta da autora (CUTTER, 2011), do ponto de vista da Geografia, é possível desenvolver um mapeamento sobre vulnerabilidades considerando todos esses critérios, em especial no atual momento em que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR) são muito mais difundidos e possibilitam a delimitação e zoneamento de áreas em exposição a riscos em qualquer escala de análise (JENSEN, 2009).

Conforme já foi mencionado, há diversos modelos que visam o mapeamento de riscos e vulnerabilidades, cada um de acordo com um objetivo. Nos EUA, por exemplo, existe uma infinidade de modelos específicos para o mapeamento de riscos naturais, como sismos, cheias e inundações, ventos ciclônicos (HAZUS), e modelos que avaliam somente inundações provocadas por tempestades em zonas costeiras (SLOCH) (CUTTER, 2011).

Além desses, há também outros exemplos de modelos de representação de vulnerabilidade, que são utilizados em associação com os SIG, a exemplo do *Environmental Vulnerability Index* (EVI) da *South Pacific Applied Geoscience Commission* (SOPAC)¹⁷ e o *Prevalent Vulnerability Index* (PVI) do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BIRD).

Para Cutter (2011), embora haja um esforço sistemático para se quantificar as vulnerabilidades em diversos países, as pesquisas que existem não são suficientes para dar conta de perceber o que ocorre em lugares específicos. Nesse contexto, o *Social Vulnerability Index* (SOVI®) surge com o propósito de auxiliar na avaliação quantitativa das características que influenciam as vulnerabilidades e aos riscos, além de ser um modelo que facilita a comparação entre unidades geográficas distintas. O SOVI®, de origem estadunidense, já foi amplamente replicado nesse país e em alguns outros países, como Noruega, Vietnã, Portugal e Brasil (CUNHA *et al.*, 2011; NETO, 2019; RAMPAZZO, 2019; NASCIMENTO JR., 2018).

¹⁷ Para saber mais sobre a Comissão de Geociências Aplicadas do Pacífico Sul (SOPAC), acesse o *site* da instituição em: <https://un-spider.org/links-and-resources/institutions/south-pacific-applied-geosciences-commission-sopac>.

O Índice de Vulnerabilidade Social é representado a partir de um mapa que demonstra os extremos da distribuição estatísticas dos resultados do índice, considerando um desvio-padrão da média. Nesse contexto, é gerado um mapa que representa áreas que são caracterizadas por vulnerabilidades elevadas e áreas que são caracterizadas por vulnerabilidades baixas. Nem sempre a localização geográfica representará maior ou menor vulnerabilidade, de acordo com Cutter (2011), a vulnerabilidade está muito mais associada aos recursos que uma população possui para se recuperar de um evento do que a localização. Para ilustrar, a autora se utiliza de dois exemplos nos EUA, como se segue:

O nível mais baixo de concentração de vulnerabilidade social encontra-se ao longo da faixa costeira oriental, de Washington D.C. a Nova Iorque e na área metropolitana de Boston. Trata-se de uma região rica, sem níveis extremos de envelhecimento e de feminização da população. Os condados costeiros da Califórnia também registam níveis relativamente baixos de vulnerabilidade social. Por outro lado, os condados representados a vermelho caracterizam-se por uma combinação de factores que resultam em elevados níveis de vulnerabilidade social. Por exemplo, o troço inferior do Rio Mississippi atravessa uma região historicamente pobre, de população maioritariamente afro-americana. Nestes condados há pouco emprego, baixos níveis de escolaridade, acesso limitado aos serviços de saúde pela sua natureza rural e um número significativo de agregados familiares chefiados por mulheres. Todos estes factores contribuem para níveis elevados de vulnerabilidade (CUTTER, 2011, p. 64).

Fica evidente, a partir dessa premissa, que é necessário que se perceba os vários fatores, de ordem socioeconômica e natural, que influenciam as vulnerabilidades, social e aos riscos climáticos. Considerando a perspectiva de Mendes *et al.* (2011, p. 101), a vulnerabilidade social é compartimentada em duas variáveis, a saber, a criticidade e a capacidade de suporte.

Neste contexto, o conceito de criticidade é entendido como o conjunto de características e comportamentos dos indivíduos que podem contribuir para a ruptura do sistema e dos recursos das comunidades que lhes permitem responder ou lidar com cenários catastróficos. No entanto, o sistema territorial possui igualmente um conjunto de recursos que permitem enfrentar uma eventual crise. Neste sentido, a par da criticidade, considera-se necessário contemplar aquilo que foi denominado de capacidade de suporte, ou seja, o conjunto de infraestruturas territoriais que permite à comunidade reagir em caso de desastre ou catástrofe. O conceito de vulnerabilidade social é, assim, definido como o nível de resiliência ou resistência dos indivíduos e comunidades quando expostos a processos ou acontecimentos danosos e resulta da conjugação da criticidade e da capacidade de suporte.

Portanto, para a criticidade, as variáveis associadas a gênero, etnia, raça, cor, estrutura etária e escolaridade serão consideradas nesta pesquisa, conquanto que, se tratando da capacidade de suporte, dar-se-á ênfase às condições socioeconômica (renda média mensal, tipos de habitação, infraestrutura, saneamento, coleta de lixo, abastecimento e iluminação pública). Para tanto, no

capítulo seguinte (materiais e métodos), serão considerados detalhadamente as diversas fases para a execução desta pesquisa.

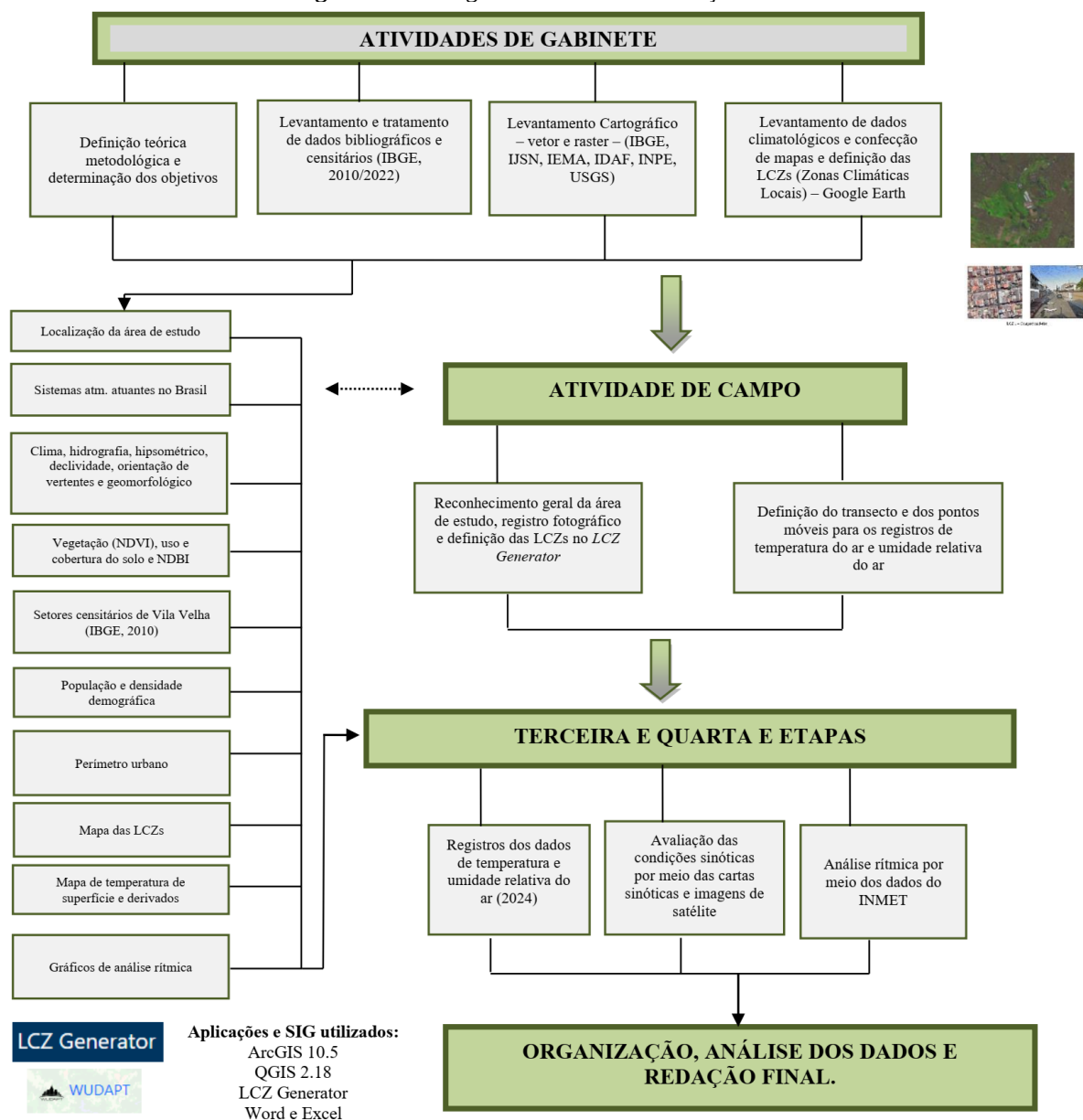
Dos Derivados de Sensoriamento Remoto às Zonas Climáticas Locais

O objetivo central desta tese foi realizar um zoneamento climático no município de Vila Velha, Espírito Santo, por meio da proposta das Zonas Climáticas Locais (ZCL), desenvolvida pelos pesquisadores canadenses Stewart; Oke (2012). É objetivo também desta pesquisa elaborar um material científico que possa subsidiar o planejamento e ordenamento municipais, na medida em que contribui com a identificação de áreas críticas em relação ao calor, em termos de conforto térmico, do planejamento e manutenção de áreas verdes e corpos d'água, dimensão das edificações, espaçamento entre elas, largura das redes viárias, características dos materiais construtivos, dentre outros aspectos importantes da urbanização.

A construção do conhecimento científico, ao longo da história do ser humano, baseou-se na racionalidade e na objetividade. Nesse contexto, o conhecimento científico assume um caráter analítico e holístico, posto que exige do pesquisador exatidão e fidelidade da investigação, por meio de métodos rígidos e sistematizados (RAMPAZZO, 2019). No entanto, embora seja a racionalidade uma premissa básica da construção da ciência, ao longo do tempo, a aquisição de conhecimentos, em especial das áreas naturais, baseou-se em mitologias e aspectos religiosos, em boa medida, em tendências doutrinárias e métodos científicos que pautaram a forma de interpretação da realidade por meio de correntes metodológicas que se adequaram aos respectivos momentos da história (SPOSITO, 2004).

Esta pesquisa tem como área de estudo uma cidade típica tropical brasileira e seu objeto é centrado na relação sociedade/natureza. Assim, para que os objetivos sejam alcançados, foram desenvolvidas as seguintes etapas, que estão detalhadas a seguir e ilustradas no fluxograma da Figura 35.

Figura 35: Fluxograma síntese de elaboração da tese



Fonte: Elaborado pelo autor/2022.

1 – Aquisição e leitura do referencial teórico-metodológico acerca dos conceitos abordados na pesquisa, como Climatologia Geográfica, Geografia do Clima, Análise Rítmica do Clima, Clima Urbano, Zonas Climáticas Locais, Escalas do Clima e a relação entre o Clima e o Planejamento, Riscos e Vulnerabilidades.

2 – Confecção do banco de dados geográfico (arquivos *raster* e vetorial) e mapeamento cartográfico, como parte da caracterização do suporte biofísico da área de estudo. Os mapas gerados foram: hipsometria, orientação de vertentes e declividade, com base na imagem de radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução de 30 metros; Unidades

Geomorfológicas, por meio da classificação desenvolvida pelo IJSN; uso e cobertura do solo, por meio do mapeamento do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF, 2016) e Índice da Diferença Normalizada de Vegetação (NDVI) e o índice de áreas construídas, a partir das imagens do satélite Landsat-8, com 30 metros de resolução espacial, disponível para *download* no *site* da USGS, *Earth Explorer*; mapa de subtipos climáticos, através da classificação do IBGE (2006) e mapa da rede hidrográfica, dentre outros mapas de temas físicos e humanos.

3 – Para a caracterização dos aspectos urbanos e populacionais, foram desenvolvidos mapas de área urbanizada de Vila Velha, por meio da base de dados em *shapefile* (SHP) do IJSN; mapa dos setores censitários, mapa de população (densidade demográfica), bem como os mapas de tipos de edificação, ambos através dos dados censitários do IBGE (2022).

4 – As LCZ foram definidas com base na metodologia de Stewart; Oke (2012) e foram estabelecidas, num primeiro momento, a partir das imagens de satélites do *Google Earth* e confirmadas em campo (mais bem detalhado a seguir). De acordo com Stewart; Oke (2012) e Oke (2017), a classificação de tipos de superfícies em LCZ estabelece uma metodologia capaz de organizar, dentro de um sistema de classes padrão, as diferentes condições físicas dos elementos do espaço urbano. Para além disso, elas também permitem agrupar as características de edificações, vegetação urbana, que possuem potencialidade em promover alterações climáticas no interior da cidade, formando regiões uniformes, em termos de cobertura do solo, estrutura, materialidade e atividade humana, que podem abranger dimensões de centenas de metros a alguns quilômetros na escala horizontal.

Num segundo momento, com o propósito de perceber a distribuição das LCZ no território de Vila Velha, foi desenvolvido o mapeamento das LCZ através da aplicação *Web LCZ Generator*, de acordo com a metodologia de Demuzere; Bechtel (2021), explicada de forma pormenorizada mais adiante.

5 – Para o mapeamento das séries de temperatura de superfície (TST) entre 2018 e 2022, bem como do NDVI e NDBI, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat-8, que correspondem aos dois períodos em análise (chuvoso e seco). As imagens de satélites têm sido amplamente utilizadas em trabalhos científicos que visam identificar ilhas de calor urbano. As imagens selecionadas são apenas diurnas, considerando o dia/hora da passagem do satélite próximos

umas das outras. O método aqui empreendido visa criar um modelo espacial capaz de representar as TST dentro do território de Vila Velha e correlacioná-las com os padrões de uso e cobertura do solo que podem produzir efeitos negativos ao sistema climático do município.

6 – Trabalhos de campo (realizados na área de estudo), em que foram coletados dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, por meio de instrumentos registradores, como o termo-higrômetro, modelo Minipa MT-241 (pontos móveis), acoplados em cano de PVC envolto de papel alumínio, para minimizar os efeitos de aquecimento da radiação solar sobre os aparelhos de medição e fixado em uma haste de 1,5 metros, em pontos de coleta representativos de cada LCZ (definidas à partir de imagens de satélite), nos horários das 15:00h e às 06:00h da manhã, na tentativa de perceber a capacidade da cidade de dissipar o calor armazenado ao longo do dia.

A coleta de dados *in situ* foi realizada em episódios de dias quentes, entre fevereiro e abril de 2024. Os dados microclimáticos de campo foram tratados em planilha Excel e representados por meio de gráficos deste mesmo *software*, com um perfil esquemático da configuração da paisagem ao longo do transecto e gráficos de *boxplot*. Assim, eles são importantes, uma vez que permitem compreender as características da temperatura e da umidade relativa do ar, assim como comparar a temperatura do ar com a temperatura de superfície, pois são duas grandezas que possuem relação entre si.

7 – Produção de gráficos de análise rítmica dos meses representativos da coleta de dados em campo, com base nos dados diários dos elementos do clima, da estação automática de Vila Velha, pertencente ao INMET. Para além disso, serão avaliadas as cartas sinóticas e imagens de satélites da área de estudo, por meio dos *sites* da Marinha do Brasil e do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), com o objetivo de identificar as condições sinóticas do local. De acordo com Ribeiro (1993), o uso das cartas sinóticas em estudos do clima tem trazido benefícios consideráveis, já que permitem a compreensão da participação dos sistemas atmosféricos na definição dos climas regionais e locais.

8 – Produção de gráficos *boxplot*, a fim de perceber a distribuição das temperaturas ao longo das aferições de campo e comparar os episódios. Este tipo de gráfico tem sido utilizado com frequência em estudos de clima urbano. Nesse, é possível perceber a variabilidade das amostras, por meio do primeiro, segundo e terceiro *quartis* (Q1, Q2 e Q3, respectivamente).

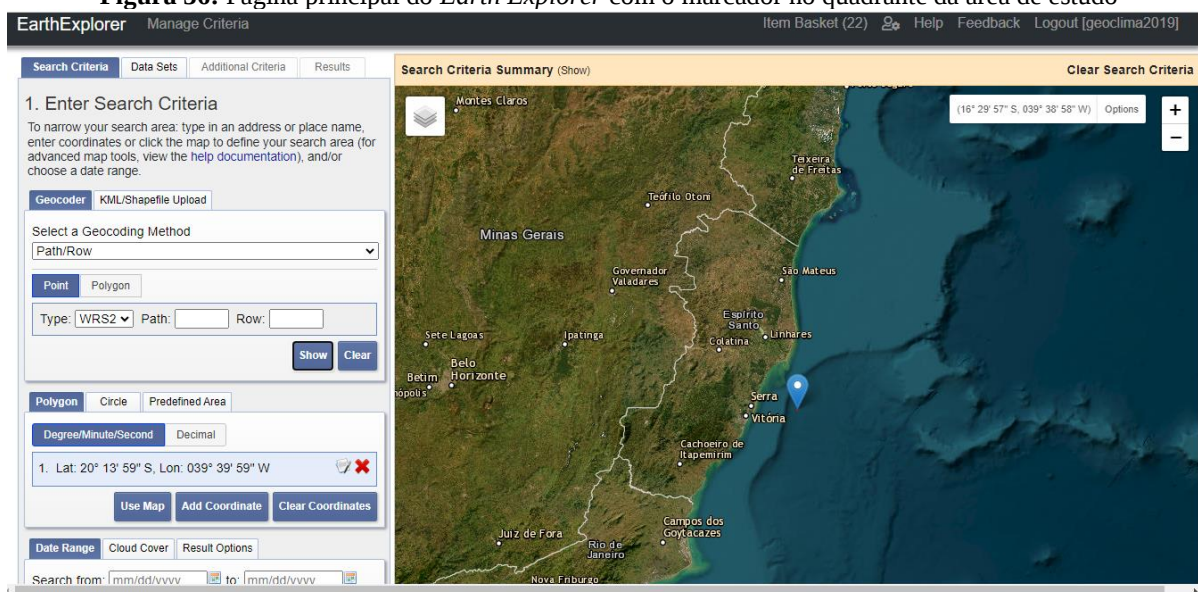
9 – A fim de perceber a relação da sociedade com o clima, foi gerado um mapa de confronto entre as Tipologias intraurbanas¹⁸, desenvolvido pelo IBGE em 2017 com a temperatura de superfície em 2022. Dessa forma, têm-se uma dimensão exata onde está a população mais vulnerável socialmente e que está sujeita aos efeitos negativos do calor. De acordo com Sant’Anna Neto (2011), os impactos do clima não são percebidos da mesma forma em ambientes urbanizados, principalmente em espaços altamente segregados, social e espacialmente, como é o caso das cidades brasileiras.

8 – Análises, discussões, redação final, defesa e término da tese. Este item considera também a escrita e a organização de, pelo menos, quatro artigos científicos, que serão submetidos *a posteriori* para a publicação: Sobre a literatura (zonas climáticas locais em contexto tropical); Zoneamento climático em Vila Velha/ES por Sensoriamento Remoto; As LCZ e o ordenamento do território em Vila Velha/ES; e Climatologia aplicada ao município de Vila Velha, ES, Brasil.

Cartografia e Sensoriamento Remoto

Para a caracterização do suporte biofísico da área de estudo foram acessados *sites* específicos, afim de obter os dados cartográficos necessários, como o *site* da *United States Geological Survey* (USGS), que é o Serviço Geológico dos Estados Unidos, do qual foi feito o *download* da imagem de radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução de 30 metros, utilizada no mapeamento do relevo, da declividade, da orientação de vertente e do modelo sombreado do relevo, além das imagens do satélite Landsat-8, dentro do *Earth Explorer* (Figura 36).

¹⁸ Em 2017, o IBGE publicou um estudo que tem como objetivo retratar as condições de vida da população de diversos municípios do Brasil, totalizando, pelo menos, 435 municípios do país com 300 mil ou mais habitantes, incluindo, então, Vitória e Vila Velha, Espírito Santo. Esse estudo, que levou em consideração as formas de organização interna das cidades no que se refere às condições de moradias e condições socioeconômicas, visa colaborar com os gestores municipais no planejamento urbano. Para mais informações acerca do projeto, ver: IBGE. **Tipologia intraurbana:** espaços de diferenciação socioeconômica nas concentrações urbanas do Brasil. IBGE, Coordenação de Geografia, 2017.

Figura 36: Página principal do *Earth Explorer* com o marcador no quadrante da área de estudo

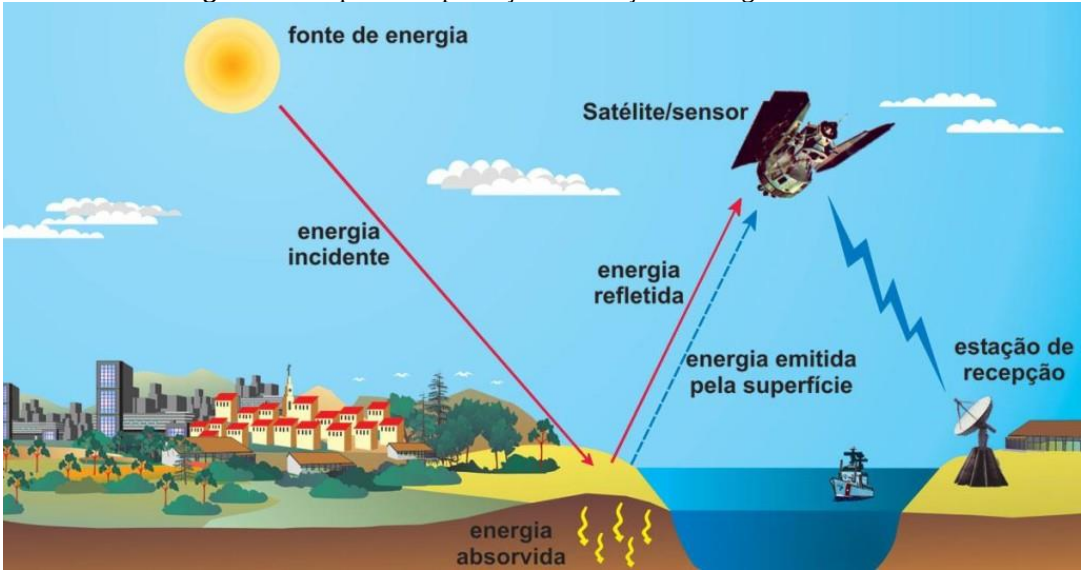
Fonte: Earth Explorer (2023). Organizado pelo autor/2023.

Temperatura de superfície

O Sensoriamento Remoto (SR) pode ser considerado como a arte e a ciência de se obter informações de um dado objeto sem entrar em contato físico com o mesmo e possibilita medir e monitorizar importantes características dos meios físico e social da Terra. As informações capturadas dos objetos constituintes do espaço geográfico provêm da energia do sol refletida e/ou absorvida pela superfície, incluindo a temperatura emitida pelos materiais por meio dos sensores do infravermelho termal (FITZ, 2008; JENSEN, 2009) (Figura 37).

Na Climatologia Urbana, o sensoriamento remoto constitui-se como uma ferramenta valiosa, na medida em que permite analisar grandes áreas de modo contínuo, onde, geralmente, não é possível por meio de métodos de coleta de dados climatológicos através de instrumentos registradores, especificamente da temperatura do ar (PORANGABA; AMORIM, 2019; JENSEN, 2009).

Figura 37: Esquema de produção e obtenção de imagens de satélite



Fonte: Florenzano (2011).

Para o mapeamento das temperaturas de superfície, foram utilizadas as bandas 10 das imagens do satélite Landsat (L8), equivalentes aos dois períodos (seco e chuvoso), considerando uma série histórica de imagens, de 2018 – 2022. Portanto, foram desenvolvidas as seguintes etapas. Na primeira etapa, foram obtidas as imagens por meio do *site* da *United States Geological Survey* (USGS), *Earth Explorer*. As imagens selecionadas referem-se aos períodos chuvoso e seco, considerando a classificação climática da Região Sudeste do Brasil. Os dados referentes a data e hora de passagem do satélite estão demonstrados na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Dados das imagens do satélite Landsat 8

Ano da imagem	Satélite	Data/hora	Fonte	Path/Row	Cobertura de nuvens
2018	Landsat 8	22-01-2018/12:38:49; 01-07-2018/12:37:53	https://earthexplorer.usgs.gov/	215/74	20%
2019	Landsat 8	14-03-2019/12:38:26; 04-07-2019/12:38:45	https://earthexplorer.usgs.gov/	215/75	20%
2020	Landsat 8	12-01-2020/12:38:58; 06-07-2020/12:38:44	https://earthexplorer.usgs.gov/	215/76	20%
2021	Landsat 8	30-01-2021/12:38:58; 09-07-2021/12:38:44	https://earthexplorer.usgs.gov/	215/77	20%
2022	Landsat 8	30-03-2022/12:38:47; 28-07-2022/12:39:03	https://earthexplorer.usgs.gov/	215/78	20%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

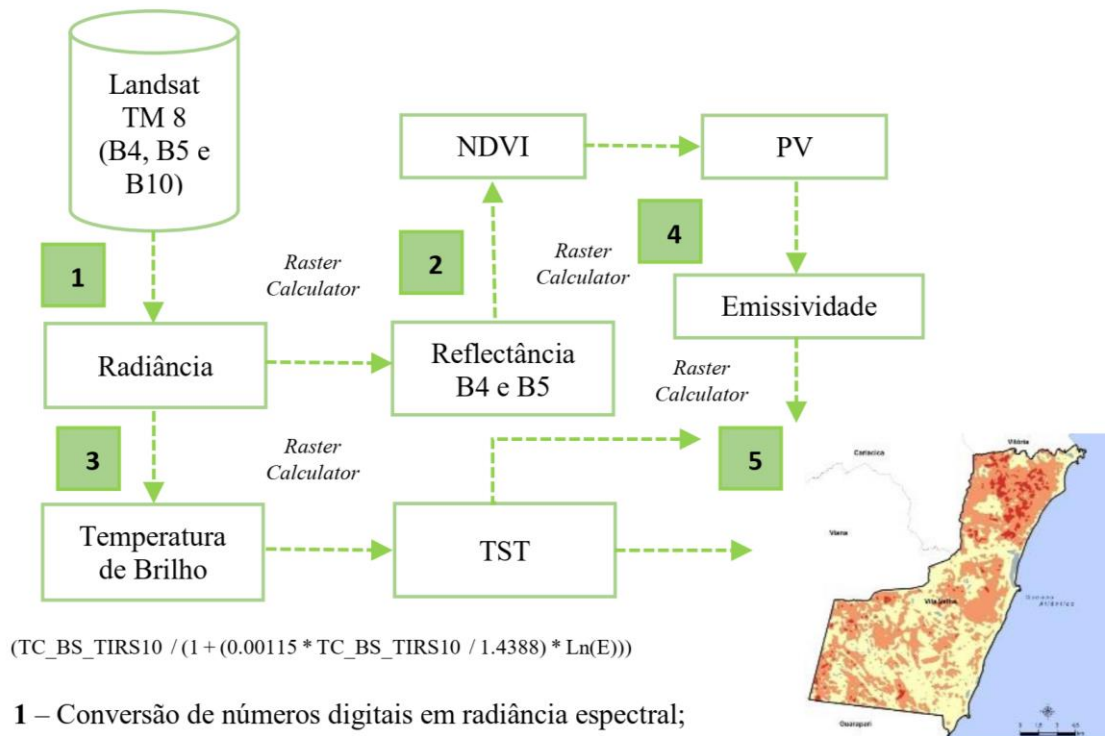
De acordo com o *site* da USGS, todas as imagens de satélites, por serem originalmente projetadas com a projeção WGS UTM zone 24N, devem ser reprojetadas para a projeção local, que, no caso de Vila Velha, deve ser o Datum SIRGAS 2000 UTM zone 24S, escolhido para o mapeamento, conforme a determinação do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)¹⁹. Após essa etapa, foram recortadas as imagens com base na camada máscara, em formato *shapefile*, referente ao município de Vila Velha.

As temperaturas de superfície foram obtidas através da banda termal 10, correspondente à faixa do infravermelho termal, entre 10.6 e 11.19 μm , e resolução espacial de 30 metros. Os *softwares* de SIG que foram utilizados são o QGIS, versão 3.18, através da ferramenta *Orfeo Toolbox* e a calculadora raster e o ArcGIS 10.5.1, extensão ArcMap e a ferramenta *Raster Calculator* (Figura 38).

Dentro do QGIS 3,18, de acordo com a metodologia disponível no *site* do *Earth Explorer* e adaptada por Santos et al (2017), foram executados diversos comandos até chegar ao modelo de temperatura de superfície, conforme a Figura 38. Assim, foram realizados os seguintes comandos dentro do SIG já mencionado, após, evidentemente, a reprojeção das imagens para um sistema de projeção mais adequado à área de estudo, conforme já referido anteriormente.

¹⁹ Desde 2015, especificamente a 25 do mês de fevereiro, no Brasil, o Datum oficial a ser adotado em mapeamentos no Brasil é o SIRGAS 2000 e projeção Universal Transversa de Mercator, de acordo com a resolução 01/2015.

Figura 38: Fluxograma síntese da elaboração dos mapas de temperatura de superfície no QGIS



O primeiro passo executado dentro do *software* QGIS foi a conversão dos números digitais das bandas 4, 5 e 10 em radiância espectral, conforme as fórmulas indicadas pela USGS e Chandler et al. (2009). Os parâmetros de conversão dos números digitais²⁰ das bandas 4, 5 e 10 estão disponibilizadas no *site* do *Earth Explorer*, juntamente com as imagens selecionadas. A fórmula utilizada para a conversão dos números digitais em radiância está demonstrada e traduzida a seguir.

²⁰ Na prática, as imagens de satélites são obtidas por meios de sinais que atravessam a atmosfera, e um valor é registrado em um dado local da superfície da terra, denominado *pixel*. Contudo, o *pixel* não se refere ao valor exato da imagem, devido a alterações que podem ocorrer quando um sinal interage com a atmosfera. Se tratando de imagens Landsat, do sensor OLI e TIRS, utilizados nesta pesquisa, esses valores são disponibilizados em formato de números digitais (DN), que devem ser convertidos em radiância e reflectância (EPIPHANIO; FORMAGGIO, 2008; LIRA *et al.*, 2016).

$$L = \lambda ML \times Q_{cal} + AL$$

Equação 2

Em que, $L\lambda$ = Resultado da Radiância Espectral;
 ML = Valor de referência multiplicativo da banda em questão;
 Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo *pixel* em DN;
 AL = Valor de referência da Banda 10.

A segunda etapa consiste em obter a temperatura de brilho do sensor a partir da radiância espectral, conforme a fórmula apresentada abaixo.

$$T_c = (K2 / \ln(K1/L\lambda) + 1) - 273$$

Equação 3

Em que, T_c = Temperatura de Brilho da Atmosfera (°C);
 $K1$ = Constante de calibração contida nos metadados da imagem;
 $K2$ = Constante de calibração 2 contida nos metadados da imagem;
 $L\lambda$ = Radiância Espectral.

O terceiro passo refere-se à obtenção da proporção da vegetação (P_v) e emissividade (ε) e somente após este passo é possível se chegar ao cálculo da temperatura de superfície terrestre (TST). Vale ressaltar que a etapa de obtenção do NDVI será explicada mais adiante. Contudo, ele é um modelo importante nesta etapa, conforme as fórmulas apresentadas a seguir.

$$P_v = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})$$

Equação 4

Em que, NDVI = imagem gerada em cálculo descrito anteriormente;
 $NDVI_{\min}$ = valor mínimo da imagem em questão e;
 $NDVI_{\max}$ = valor máximo da imagem obtida do modelo.

$$\varepsilon = 0.004 \times P_v + 0.983$$

Equação 5

Em que, ε = Resultado da Emissividade;
0.004 = Variável padrão;
0.983 = Variável padrão.

Por fim, chega-se ao passo seguinte, referente à obtenção da temperatura de superfície terrestre (TST), conforme a fórmula a seguir.

$$LST = T_c / 1 + (\lambda * T_c / \rho) * \ln(\varepsilon)$$

Equação 6

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) é uma medida quantitativa (baseada em valores digitais), utilizada para medir a biomassa ou o vigor vegetativo de um determinado local. De acordo com Santos; Peluzio; Saito (2010), esse índice é formado pela combinação de bandas espectrais que podem ser adicionadas, subtraídas, divididas ou multiplicadas, resultando em um valor único que indica a quantidade e/ou o vigor vegetativo. Esse valor varia de -1 a +1, em que, quanto mais próximo de 1, maior é a quantidade de vegetação e maior é o vigor da vegetação.

Embora sua utilização, na maioria das vezes, tenha sido na agricultura, o uso desse método em áreas urbanas tem sido largamente utilizado e de maneira bem satisfatória (BAYMA; SANO, 2015), inclusive em pesquisas de clima urbano, a exemplo de Rosa *et al.* (2017), Neto (2019), Macedo; Almeida; Fialho (2023). Neste contexto, sua utilização neste campo de pesquisa pode ser útil, uma vez que a vegetação urbana, sua presença ou ausência, tem impacto direto no clima local. Para a geração do NDVI da área de estudo, utilizou-se o método proposto por Rouse *et al.* (1974), o qual tem o objetivo de separar a vegetação verde do solo utilizando imagens de satélite Landsat (Equação 7). As imagens Landsat-8 utilizadas foram as bandas 4 e 5, referentes ao infravermelho próximo e ao vermelho, respectivamente.

$$NDVI = \frac{IV - VM}{IV + VM}$$

Equação 7

Em que,

NDVI: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada;

IV: Banda do infravermelho próximo (banda 5 do sensor OLI do Landsat-8);

VM: Banda do vermelho (banda 4 do sensor OLI do Landsat-8).

Índice de áreas construídas

O índice de áreas construídas, do inglês *Normalized Difference Built-up Areas Index*, permite analisar a densidade de áreas construídas, porque essas têm maior refletância no infravermelho de ondas médias do que no infravermelho de ondas curtas, conforme afirmam Souza; Júnior (2012). Esse indicador foi proposto por Zha *et al.* (2003) com o objetivo de identificar e quantificar áreas urbanas. De acordo com Morato; Kawakubo; Martines (2007), esse índice apresenta uma acurácia satisfatória, a depender da escala de análise.

A fórmula aplicada para gerar o indicador, a partir de imagens Landsat-8, é descrita a seguir. Esse índice tem como ponto de partida os níveis digitais existentes nas bandas 4 e bandas 5 do satélite Landsat 8 (Equação 8). As bandas utilizadas foram as do infravermelho médio e a do infravermelho próximo.

$$NDBI = \frac{IVM - IV}{IVM + IV} \quad \text{Equação 8}$$

Em que,

NDBI: Índice de áreas construídas por diferença normalizada;

IVM: Banda do infravermelho médio;

IV: Banda do infravermelho próximo.

Mapeamento das Zonas Climáticas Locais (LCZ)

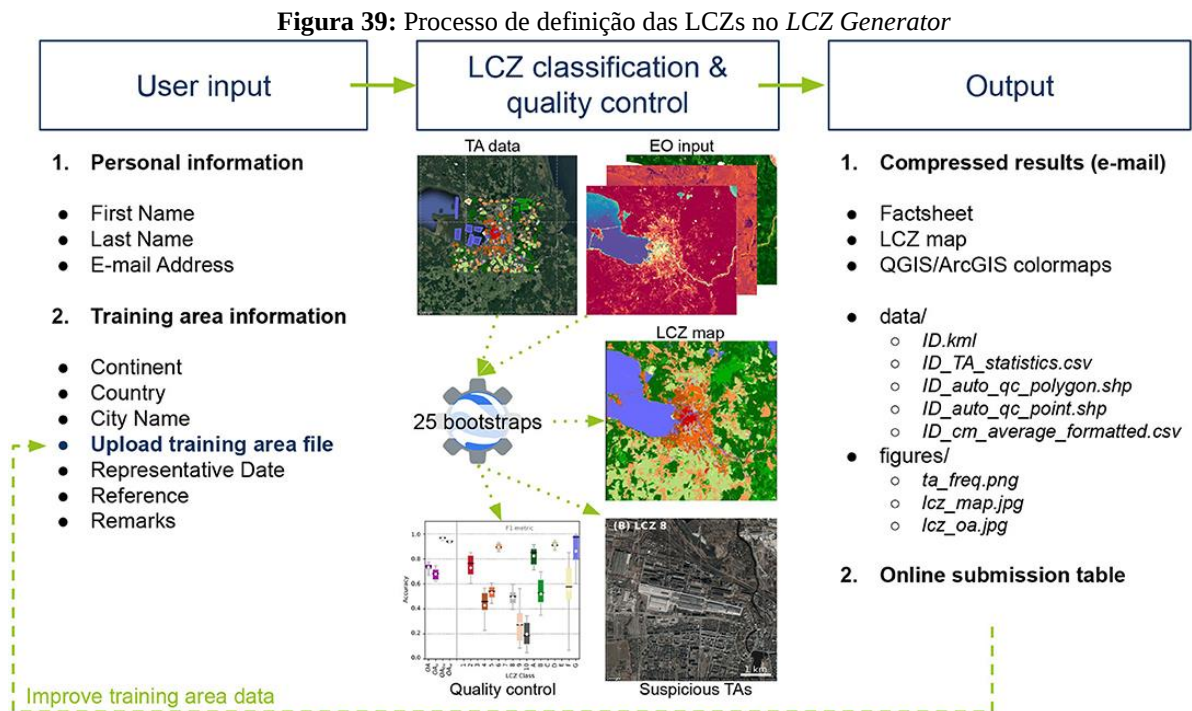
Para o mapeamento das Zonas Climáticas Locais, do inglês *Local Climate Zone (LCZ)*, preconizada por Stewart; Oke (2012), foram necessárias duas etapas. A primeira etapa consistiu em uma classificação visual e manual. Assim, foram utilizadas as imagens de satélites do *Google Earth* e confirmadas em campo. Esse procedimento foi importante, pois serviu de base para a escolha dos pontos de medição das temperaturas e umidade relativa do ar, por meio do transecto móvel e na identificação de padrões de temperatura de superfície, o que permite relacionar os dados com os diferentes tipos de uso e cobertura do solo, bem como a existência de zonas críticas em relação ao calor.

A segunda etapa consiste em uma classificação semiautomática dentro de uma aplicação *Web* denominada *LCZ Generator*. Para a realização do procedimento de definição das LCZ com base na metodologia de Stewart; Oke (2012) e Demuzere *et al.* (2021), inicialmente, foi necessário acessar o *World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT)*, em que está disponível o *LCZ Generator*, que permite desenvolver o mapeamento de cidades através das LCZ. Após acessar o site, foi feito o *download* de uma base de treinamento do *Google Earth* e digitalizados os polígonos sobre a localidade escolhida. A partir disso foi feita a seleção dos polígonos relacionados a cada LCZ presente no local.

No site do WUDAPT, é possível observar as diretrizes para digitalizar áreas corretas de treinamento. O método de classificação do WUDAPT é baseado em imagens de satélite e refere-se a um tipo de classificação supervisionada, que considera os *pixels* das imagens dentro

do LCZ Generator (Figura 39). Nesta tese de doutorado, optou-se em trabalhar com um número entre 10-15 polígonos de cada LCZ identificada, com área de, no mínimo, 1km².

Para finalizar o processo, as informações pessoais e de treinamento são enviadas pela *Web* e, a partir disso, é gerado um mapa de LCZ com estatísticas de metadados e rótulos para polígonos suspeitos, a fim de controlar a qualidade do produto obtido. Por último, os resultados são enviados ao *e-mail* do autor e submetidos de forma *online*. A fim de melhorar a qualidade cartográfica do mapa de LCZ, foi utilizado o *software* de SIG ArcGIS 10.5.1 em que foi dado o acabamento ao mapa e seus elementos, como a legenda, escala cartográfica, título, informações, dentre outros.



Fonte: WUDAPT (2022).

De acordo com Demuzere *et al.* (2021), ao acessar o LCZ Generator, o usuário deve inserir dois atributos importantes ao mapeamento das LCZ: as informações pessoais e as informações acerca da área de treinamento (TA), conforme está descrito na Tabela 6. Considerando que a metodologia das LCZ permite uma interpretação acurada do espaço geográfico principalmente do espaço urbano e as implicações sobre o clima intraurbano, as LCZ tornam-se uma metodologia muito adequada para se investigar a relação entre o clima e as atividades humanas nessas áreas e é de grande valia aos gestores do município de Vila Velha.

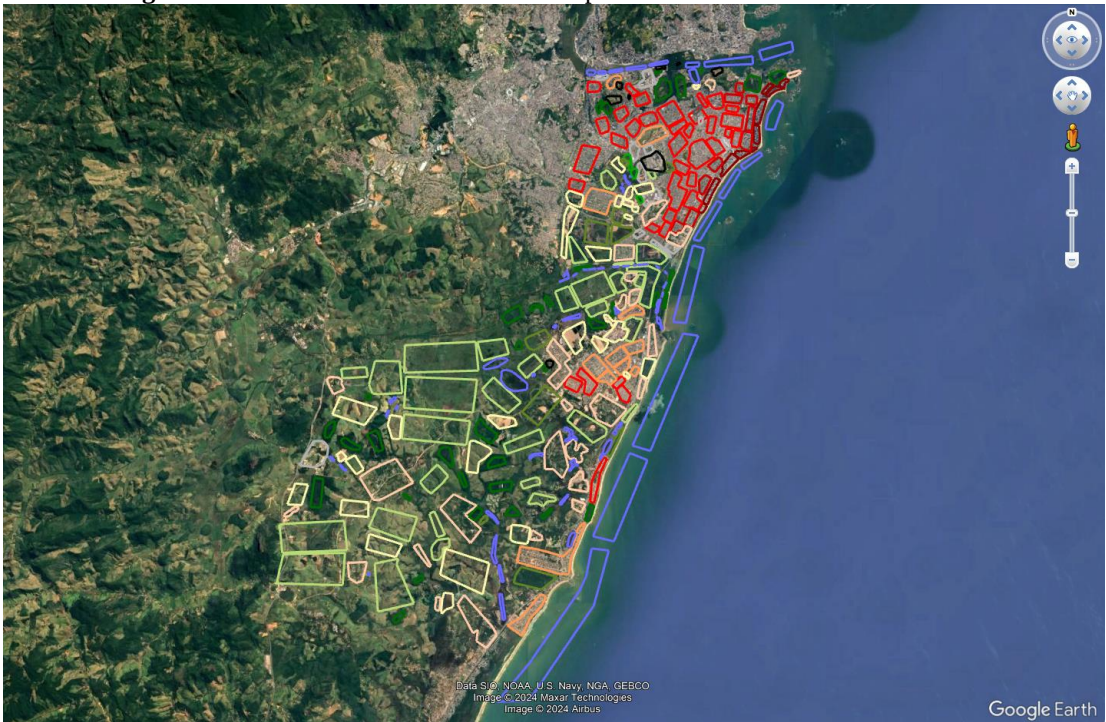
A Figura 40 apresenta um trecho da área de treinamento referente a Vila Velha usada para mapear as etiquetas que foram introduzidas no *LCZ Generator*.

Tabela 6: Dados de *input* do *LCZ Generator*

	Field	Explanation
Personal information	First Name*	First name of the author of the TA set
	Last Name*	Last name of the author of the TA set
	E-mail Address*	Author e-mail address. Required, since results are send by e-mail.
TA information	Continent*	Drop down menu listing seven continents: Africa, Asia, Europe, North America, Oceania, South America
	Country*	Drop down menu with the world's countries
	City name*	Official name of the city to be mapped.
	Upload file*	Button to upload a Keyhole Markup Language (.kml) file or its zipped version (.kmz). The back-end expects a file with a format similar to WUDAPT's official TA template ¹ .
	Date*	Date for which the TA polygons are representative
	Reference	Reference for TA file: - DOI of published paper if available - if not, full reference including link that points to the online resource - blank in case no reference is available
	Remarks	Additional information on potential co-authors for the TA file (<i>firstname, lastname</i>) or any other information that supports the interpretation of the TAs.

Fonte: Demuzere (2021).

Figura 40: Trecho da área de estudo usada para o treinamento do *LCZ Generator*



Fonte: Google Earth (2023).

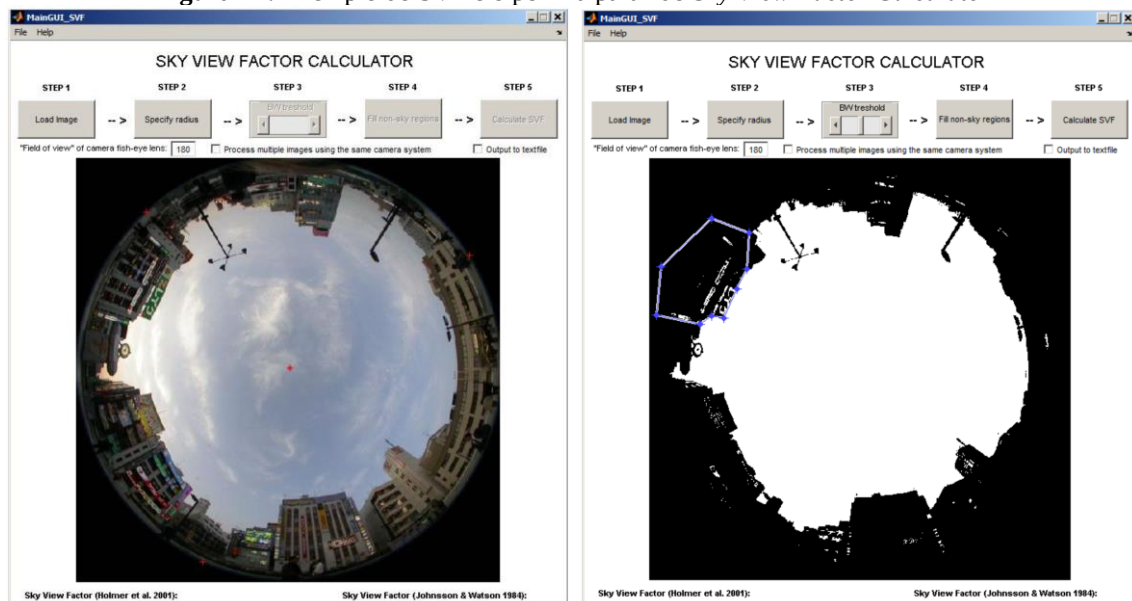
Definição do *Ski View Factor*

O *Ski View Factor* (SVF) (fator de visão do céu, numa tradução livre) tem sido amplamente utilizado por vários pesquisadores ao redor do mundo a fim de obterem informações acerca da morfologia das áreas urbanas, especificamente para medir a geometria dos cânions urbanos que

podem obscurecer o céu e, conseqüentemente, obstruir a radiação solar que chega à superfície da terra, bem como diminuir a circulação de ventos na cidade, e, assim, é possível verificar o aquecimento e/ou resfriamento dos cânions urbanos (MIDDEL *et al.*, 2018; STEWART; OKE, 2012).

Nesta pesquisa, para determinar o SVF, foi utilizado, de modo gratuito, o *software* de cálculo de SVF denominado *Sky View Factor Calculator*, MatLab, desenvolvido pelo *Göteborg Urban Climate Group, Department of Earth Sciences*, ligado à Universidade de Gotemburgo, Suécia. O *software* em questão tem como base de entrada a imagem olho de peixe da abóboda do céu (Figura 41).

Figura 41: Exemplo do SVF e o perfil a partir do *Sky View Factor Calculator*



Fonte: Lindberg; Holmer (2012).

Assim, por meio de uma lente “olho de peixe”, acoplada em um telefone móvel, foram registradas fotografias da abóboda de pontos referentes às LCZ encontradas em Vila Velha (Figura 42).

Figura 42: Lente "olho de peixe" para telefone móvel

Fonte: <https://www.magazineluiza.com.br>.

Mensuração da temperatura do ar e umidade relativa do ar

De acordo com Rampazzo (2019), é fundamental que se desenvolvam metodologias capazes de estimar e mensurar a configuração, a intensidade e a magnitude da ilha de calor urbano. Para tanto, a climatologia recorre a diversas metodologias, dentre as quais está o uso do Sensoriamento Remoto (SR), bem como a aferição de dados climatológicos em campo (microclimatologia), em especial da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, por meio de instrumentos registradores em pontos fixos e/ou móveis, instalados em diferentes contextos geográficos de um determinado local. Para além disso, no entendimento da ilha de calor urbano, a temperatura de superfície possui uma importância fundamental, pois evidencia pontos em áreas urbanas que estão intimamente ligados ao tipo de uso e cobertura do solo e as condições do clima local (GARTLAND, 2011).

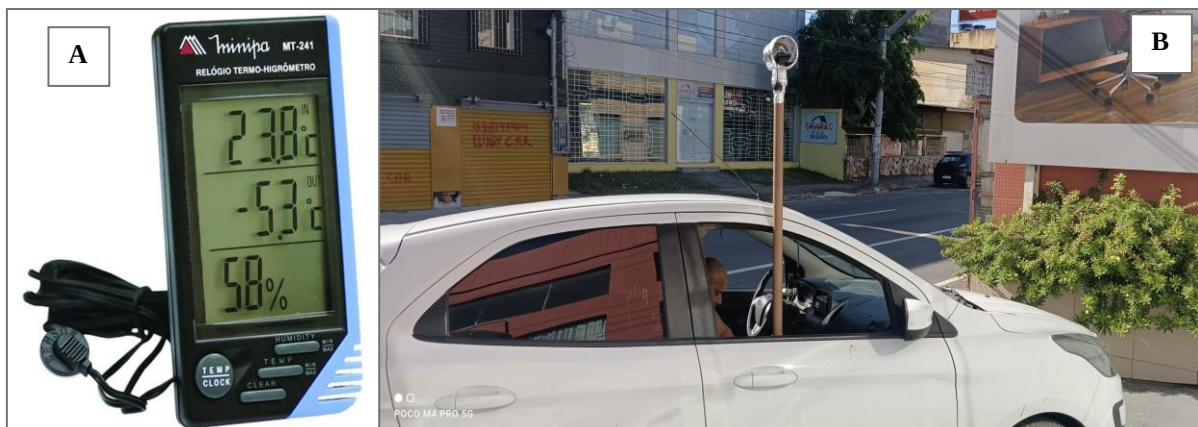
Dessarte, a aferição de dados em campo é de fundamental importância para que se tenha uma percepção detalhada do clima de um determinado lugar. Dessa forma, os dados climatológicos de campo podem ser úteis na validação de dados provindos das imagens de satélite, já que possuem alta resolução temporal e espacial e permitem a monitorização em tempo real, dentre outras vantagens.

Nesse contexto, esta pesquisa fez uso também de amostragens em campo, por meio de pontos móveis, em episódios de dias quentes, nos horários de 15:00h e às 06:00h, entre fevereiro-abril de 2024. Foram selecionados 14 pontos amostrais com registros em diversos dias e, de maneira geral, as características de uso e cobertura do solo segue o mesmo padrão de cidades médias a grandes, conforme Stewart; Oke (2012), García (2010) e Neto (2019). Sendo assim, há uma tendência de diminuição da temperatura quanto mais se afasta de áreas mais urbanizadas.

Portanto, para mensurar os dados climatológicos, optou-se em trabalhar com a metodologia dos transectos móveis, conforme Cardoso; Amorim (2017) e Neto (2019). Neste contexto, foram mensurados dados de temperatura e umidade relativa do ar em diferentes pontos representativos das LCZ identificadas em Vila Velha. O instrumento utilizado para a medição foi o termo-higrômetro de modelo Minipa MT-41, acoplado em um cano de PVC envolto de papel alumínio e fixado em haste de cano de 40 mm (Figura 43).

De acordo com o livro do usuário, esse instrumento de medição mede a umidade relativa do ar e a temperatura do ar (temperatura instantânea, temperatura mínima e temperatura máxima), tanto a interna como a externa. A temperatura interna (T1) é medida na faixa de 0° a +50°C, enquanto a temperatura externa é medida da faixa de 0° a +70°C. A umidade relativa está na faixa de 20 a 90%. A resolução do equipamento, considerando as temperaturas T1 e T2, é de 0,1°C, considerada uma resolução muito boa para trabalhos em clima urbano²¹.

Figura 43: Termo-higrômetro utilizado na aferição de campo (A) e o cano PVC envolto de papel alumínio fixado numa haste de 1,5 metros (B)



Fonte: Foto do autor/2024.

²¹ Para mais informações, acessar <<https://www.minipa.com.br/temperatura-e-ambiente/termo-higrometros/462-mt-241a>>. Data de acesso: 19 de agosto de 2024.

Assim, o trabalho de campo foi compartimentado em três etapas, a saber: o planejamento, a execução, o tratamento e a análise dos dados. Nesse contexto, a etapa de planejamento foi dedicada à definição prévia do trajeto a ser percorrido com base nas imagens de alta resolução do *Google Earth*, que considera diferentes tipos de paisagens representativas das LCZ e os diferentes tipos de uso e cobertura do solo, com sentido norte/sul.

Para confeccionar os equipamentos (abrigos), foram necessários dois canos de PVC de 100 mm com redução para 50 mm, dois anéis de 50 mm com redução para 40 mm, dois canos de 40 mm e um rolo de papel alumínio (Figura 44).

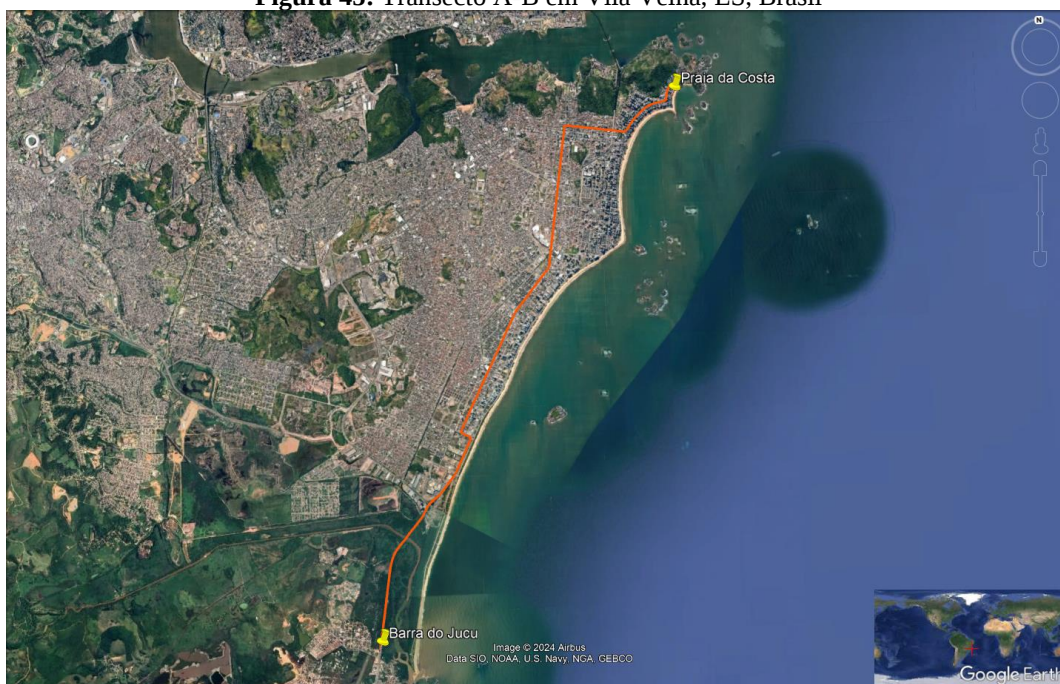
Como já mencionado, as medições ocorreram por meio de transectos móveis diurnos às 15:00h e às 6:00h ou 06:30h da manhã, em cinco episódios de dias quentes. O transecto foi definido previamente sobre a imagem de satélite disponível no *Google Earth* (Figura 45). O ponto inicial do trajeto é o bairro Praia da Costa, a nordeste do município, finalizando-se na altura do bairro Barra do Jucu, porção centro norte do município. O transecto tem aproximadamente 15 km de extensão e foi percorrido em uma hora. Foram feitas leituras de temperatura do ar e umidade relativa do ar em 14 pontos representativos das LCZ encontradas em Vila Velha, desde zonas mais densamente ocupadas (Praia da Costa) às zonas mais rurais (Barra do Jucu), conforme sugerem Stewart; Oke (2012).

Figura 44: Material utilizado para confeccionar os abrigos para o termo-higrômetro



Fonte: Foto do autor/2024.

Figura 45: Transecto A-B em Vila Velha, ES, Brasil

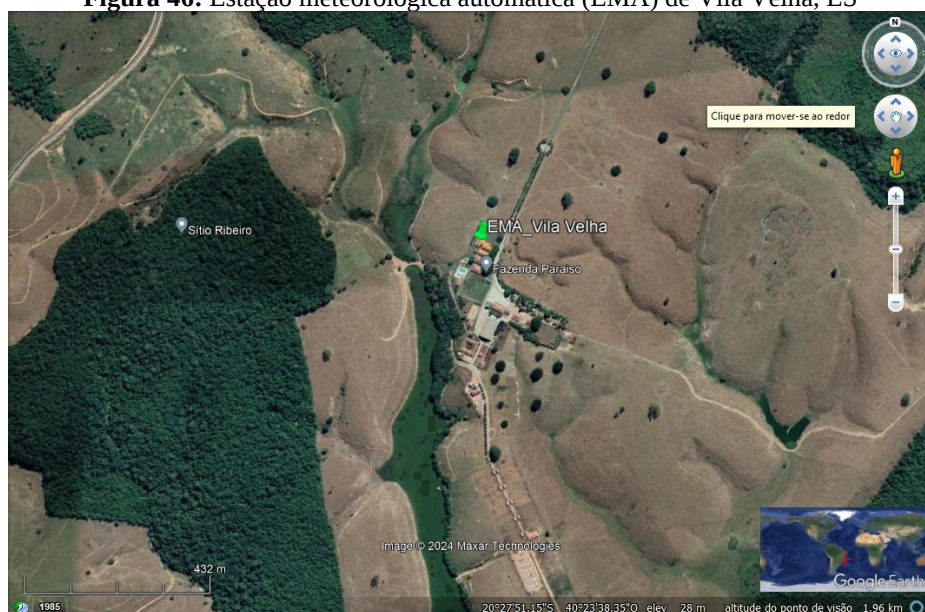


Fonte: Google Earth/2024.

Tanto no Brasil, como no mundo, diversos são os trabalhos que se utilizam dos transectos móveis para a aferição de dados microclimáticos em pesquisas de climatologia urbana. Neto (2019) fez uso dos transectos móveis para aferir dados de temperatura do ar em sua tese de doutorado em Cuiabá, Mato Grosso, e associou-os aos dados de temperatura de superfície terrestre para avaliar o fenômeno da ilha de calor urbano e construir um indicador de vulnerabilidade ao calor. Cardoso; Amorim (2017) também fizeram uso da metodologia, associada a cálculos de regressão linear na modelagem de ilhas de calor urbano e na definição de zonas climáticas locais em Presidente Prudente, São Paulo. Santos *et al.* (2013) fizeram uma análise do clima urbano em Cuiabá, Mato Grosso, por meio dos transectos móveis; Amorim (2010) fez uso da metodologia para avaliar as diferenças térmicas entre espaço urbano e espaço rural, a fim de desenvolver uma metodologia de suporte à gestão do espaço urbano em diferentes cidades de São Paulo de pequeno, médio e grande porte. Na escala internacional, pesquisas que se utilizaram dos transectos móveis podem ser vistas em Voogt (2002), Oke; Maxwell (1975), quando desenvolveram estudos acerca da ilha de calor urbano e zonas climáticas locais.

Tanto os pontos fixos como os pontos móveis podem ser utilizados em pesquisas de clima urbano. Nesse contexto, Ugeda-Junior (2012) afirma que os pontos móveis podem ser utilizados para monitorar a temperatura e umidade relativa do ar em um determinado ponto e seu entorno, assim como o ponto fixo, desde que sejam calibrados corretamente. Diante disso, como referência para a calibração dos dados obtidos por meio da técnica do transecto móvel, foi utilizada a estação INMET de Vila Velha, de código A634, localizada a 25 metros de altitude, sendo que o entorno da estação é caracterizado por pastagens e algumas áreas de florestas de médio a grande porte, nas coordenadas latitude e longitude 20°28'1.00"S e 40°24'14.00"O, respectivamente, em operação desde o ano de 2017 (Figura 46).

No que se refere à correção dos dados, essa ocorreu a cada aferição de um determinado ponto, a partir dos registros de temperatura da estação automática de Vila Velha. Por conta disso, a cada mudança de temperatura observada na estação de Vila Velha, foi possível retirar o aquecimento ou resfriamento das leituras de campo, conforme Fialho (2009).

Figura 46: Estação meteorológica automática (EMA) de Vila Velha, ES

Fonte: INMET (2024).

No entanto, a utilização dos transectos móveis, embora seja bastante difundida em pesquisas de climatologia urbana e muito empregada para avaliar os padrões de temperatura e umidade relativa do ar, especialmente com os padrões de uso e cobertura do solo, devem ser consideradas uma série de fatores, como, por exemplo, a velocidade do automóvel, que deve ser de 20 ou 30 km/h (caso este seja utilizado), o tempo de coleta não pode ser superior a uma hora, o equipamento de coleta (termo-higrômetro) deve ser instalado no abrigo em, pelo menos, 10 minutos antes de iniciar o percurso, entre outros fatores (VALIN JR.; SANTOS, 2020; PORANGABA *et al.*, 2017). Além disso, o horário deve ser padronizado levando-se em conta a recomendação da *World Meteorological Organization* (WMO). Nesse sentido, os horários mais recomendados, considerando o GMT (Greenwich Meridian Time) ou (UTC) (*Coordinated Universal Time*), podem ser às 00:00h, 06:00h, 12:00h e 18:00h.

Tal procedimento é importante para que as leituras de campo sejam efetivadas de forma simultânea e padronizadas em todo o mundo. Nesse caso específico, a considerar que Vila Velha está a 3 horas a menos em relação a *Greenwich*, os horários locais recomendados são 3:00h, 9:00h, 15:00h e 21:00h. Optou-se, contudo, em fazer as aferições às 15:00h e às 06:00h, horário de Brasília, a fim de perceber a resposta da cidade em relação à dissipação do calor armazenado ao longo do dia, preferencialmente aos fins de semana, pois entende-se que o movimento de automóveis e pessoas é menor nesses horários, viabilizando o trabalho de campo.

Capítulo 4: Derivados do Sensoriamento Remoto

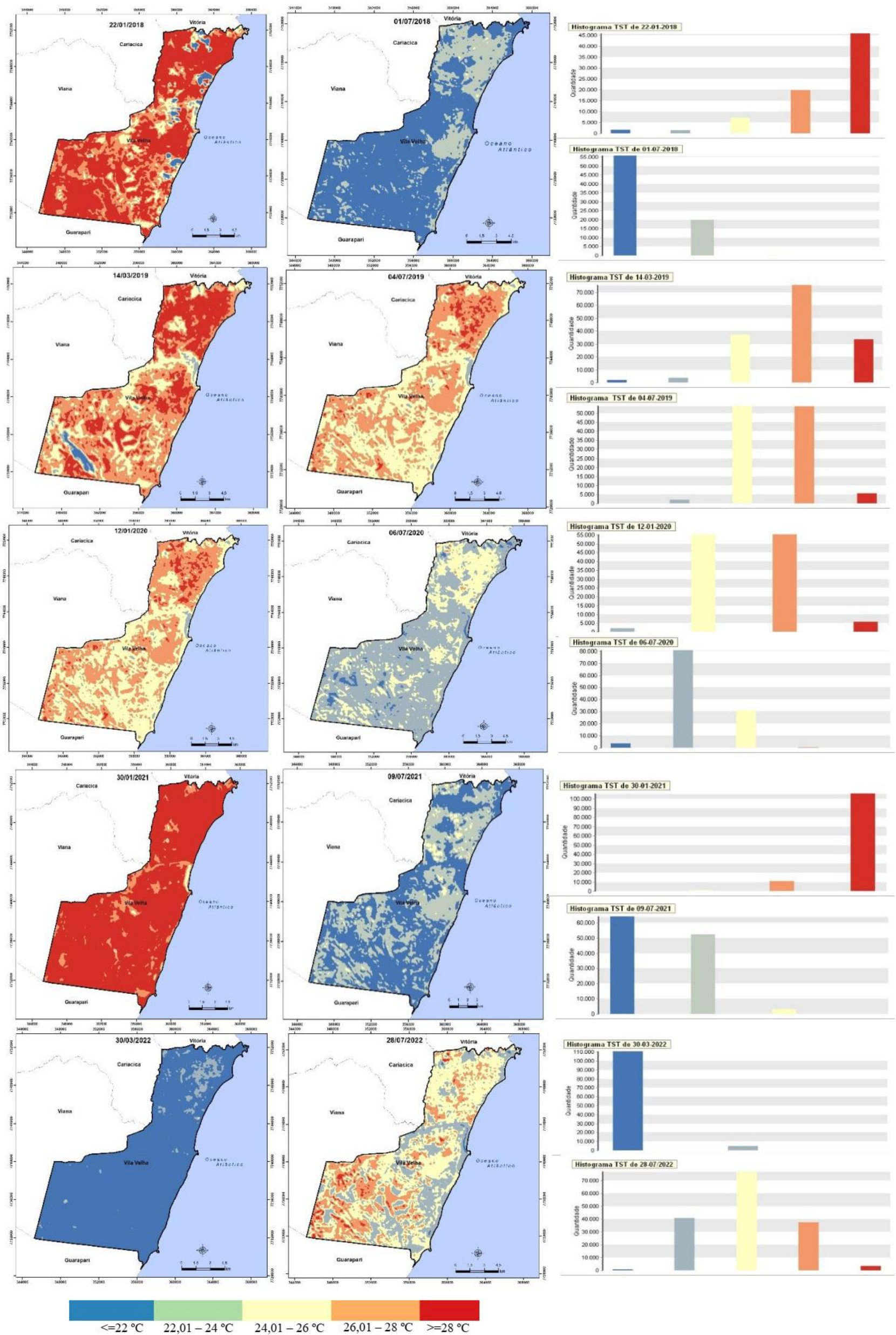
Temperatura de Superfície Terrestre (TST) em Vila Velha de 2018 a 2022

O Sensoriamento Remoto (SR) constitui-se em um grande aliado em estudos de clima urbano, a exemplo da monitorização da qualidade do ar, da superfície terrestre e em estudos que objetivam a identificação e espacialização de Ilhas de Calor Urbano (ICU). De acordo com Neto (2019), os sensores remotos possuem capacidade de registrar a radiação emitida pelos diferentes alvos da superfície terrestre e, aliado ao uso dos SIG, é possível traduzir os índices de radiação em valores de temperaturas em graus Célsius (°C). Além disso, as imagens de satélites, tanto à escala temporal como à escala espacial, favorecem um acompanhamento contínuo de uma infinidade de fenômenos que ocorre no espaço geográfico. Portanto, o SR tem vantagens em relação a área espacial que ele abrange, que é muito maior e o baixo custo financeiro (PORANGABA *et al.*, 2017).

Para a realização dos mapas de temperatura de superfície em Vila Velha, foram selecionadas as imagens termais do satélite L8 com, no máximo, 20% de cobertura de nuvens, entre as faixas espectrais de 10,3 a 11,3 μm . A Figura 47 apresenta uma série de imagens termais para o período de 2018-2022, considerando o período chuvoso e seco para a região Sudeste. As datas de passagem das imagens de satélite, bem como outras informações técnicas estão mencionadas no capítulo anterior, referente aos procedimentos metodológicos utilizados na elaboração dos derivados de SR.

Para cada mapa de TST, é apresentado um histograma de frequência de distribuição das faixas de temperatura. Tendo isso em vista, as classes que mais apareceram no período chuvoso, época mais quente para a região Sudeste do Brasil, foram as classes de 26 a $\geq 28^{\circ}\text{C}$ em praticamente todo o município de Vila Velha, designadamente nas áreas mais urbanizadas – as porções noroeste, norte e nordeste. Contudo, nas porções mais a sudoeste e centro-sul, também é possível perceber temperaturas elevadas em ambos os períodos avaliados. Nessas últimas áreas mencionadas, o solo exposto apresenta temperatura superficial mais alta do que as áreas urbanas, principalmente em períodos menos chuvosos e com temperaturas do ar mais elevadas. De acordo com Ugeda Júnior (2012), isso ocorre devido ao fato de o solo coberto por vegetação perder energia por meio da evaporação e transpiração das plantas, havendo transformação de calor sensível em calor latente, que é exportado para a atmosfera, evitando o aumento de temperatura, o que não ocorre quando o solo está exposto, corroborando para com o aumento da temperatura superficial.

Figura 47: Temperatura de superfície em Vila Velha no período de 2018-2022



De maneira geral, observa-se que as faixas de temperaturas que mais aparecem no período chuvoso referem-se à classe entre 26°C - $\geq 28^{\circ}\text{C}$, especificamente nas áreas mais comerciais, industriais, área de intensos fluxos de transportes e pessoas, como os bairros Garoto e Glória, este último onde fica localizado o Polo de Confecções da Glória, o maior *shopping center* a céu aberto do Espírito Santo (JENSEN, 2009).

De acordo com os mapas, foram encontrados valores de TST da ordem de $\leq 22^{\circ}\text{C}$ a temperaturas $\geq 28^{\circ}\text{C}$. É possível observar também, por meio de uma análise visual, que as áreas mais urbanizadas, localizadas nas porções central e norte do município, apresentaram característica de temperatura elevada, em comparação com o entorno rural, em praticamente todo o recorte temporal, tanto no período chuvoso (primavera-verão) como no período seco (outono-inverno), evidenciando ilha de calor urbano nessas porções de Vila Velha.

Para os anos de 2018 e 2021, no período chuvoso, a classe de temperatura predominante foi de $\geq 28^{\circ}\text{C}$, enquanto, no período seco, a classe predominante foi de $\leq 22^{\circ}\text{C}$ em praticamente todo o município, exceto as áreas onde a presença de espaços verdes e corpos d'água é mais marcante, a porção nordeste, onde se localiza o Morro do Moreno, espaço coberto por vegetação e de área de conservação e preservação.

Tanto nos meses de janeiro e de julho de 2020 as áreas mais quentes e favoráveis à existência ICU referem-se as áreas localizadas na porção norte do município, com temperaturas de superfície que podem ultrapassar os 28°C. Essa porção da área de estudo é caracterizada, em sua maioria, por superfícies altamente urbanizadas, com estruturas acima dos 10 ou 15 pavimentos, o que dificulta a circulação de ventos frescos que provêm do Oceano Atlântico. Essas áreas, denominadas áreas de bloqueio de brisas marítimas (superfícies altamente pavimentadas, sobretudo por asfalto), absorvem muito calor e possuem pouca capacidade de dissipação do mesmo, e, com pouca vegetação e densidade populacional alta, ajudam a explicar as altas temperaturas nessa porção de Vila Velha.

Em contrapartida, as áreas localizadas mais a sul do município caracterizam-se por temperaturas mais baixas, entre 22 °C e 26 °C, e podem ser explicadas por serem áreas com maior densidade de cobertura vegetal e com construções mais baixas e espaçadas, fator que colabora com uma melhor circulação dos ventos e que, por sua vez, atenuam o calor.

Observa-se também que, nas áreas a sudoeste e central, há ocorrências de temperaturas mais elevadas, que podem ser explicadas pela ausência de vegetação, em detrimento de áreas de pastagem – solo exposto e superfícies com intenso uso da agricultura e pecuária. De acordo com Oke (1987), a retirada da vegetação pode alterar, de maneira significativa, as propriedades térmicas da superfície e modifica o balanço de energia, que resulta na variação não apenas da temperatura superficial e do ar, mas também do balanço hídrico, pois a função de interceptação do dossel das águas das chuvas é diminuída e/ou perdida, assim como a evapotranspiração é diminuída e/ou perdida, favorecendo o aquecimento da superfície.

A Figura 48 apresenta as imagens termais com um perfil A – B correspondente a cada data em análise. Os perfis têm cerca de 3.000 metros de distância, com início no bairro Garoto, LCZ 3 e finalizando no bairro Praia da Costa, LCZ 1, logo compreende diversas tipologias de uso e cobertura do solo. Nesse sentido, distinguir as respostas das diferentes estruturas urbanas é de muita importância para o clima urbano, principalmente aos estudos voltados ao planejamento e ordenamento do território (FERREIRA *et al.*, 2022).

De maneira geral, as áreas cobertas por edificações compactas acima de 10 pavimentos, a exemplo do bairro Praia da Costa, Praia de Itapoã e Itaparica, nas porções nordeste e leste de Vila Velha (ao menos aquelas mais distantes do litoral), apresentam temperaturas superficiais mais elevadas em relação às áreas cobertas por estruturas mais esparsadas e abaixo de 3 pavimentos e com mais espaços livres e vegetação, caso dos bairros São Torquato, Alvorada e Cobilândia, porção noroeste da área de estudo. Embora os bairros Praia da Costa, Itaparica e Itapoã estejam sujeitos a temperaturas de superfície mais elevadas, na borda leste, próximo ao litoral, percebe-se zonas de temperaturas mais baixas, que podem ser elucidadas pela proximidade do Oceano Atlântico, consequentemente são áreas sujeitas à ação das brisas marítimas, sobretudo responsáveis pela diminuição das temperaturas, tanto do ar como da superfície.

Resultados semelhantes foram encontrados por diversos pesquisadores em escala nacional e internacional, ao demonstrarem que, áreas densamente ocupadas, com ausência de vegetação e de espaços livres, normalmente, apresentam comportamento termal elevado (HOPPE *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2018; STEWART; OKE, 2012), respectivamente em Balneário de Camboriú, Santa Catarina, Hong Kong, na China e Vancouver, Canadá. Ao utilizarem a metodologia das LCZ e mapas de temperatura de superfície, identificaram que as áreas cujas

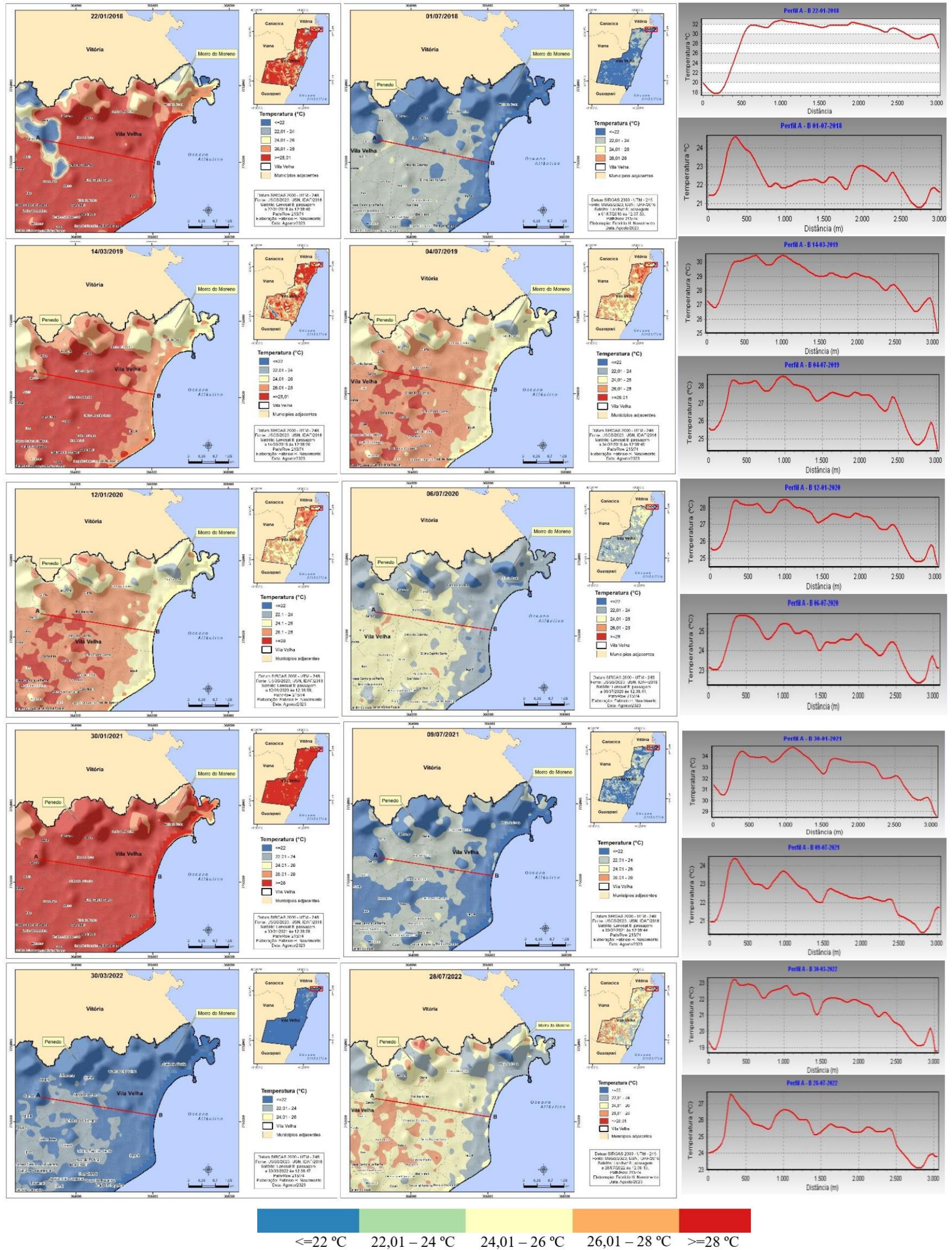
estruturas compactas e acima de 10 pavimentos apresentaram temperatura média superficial mais elevada em relação as áreas menos urbanizadas.

Isso pode ser explicado pelo fato de, geralmente, os materiais de construção apresentarem características térmicas mais elevadas, com baixo calor específico; aquecem-se mais rapidamente em relação às áreas naturais de florestas e com a presença de corpos d'água e apresentam baixa capacidade de dissipar calor, o que faz com que as áreas urbanizadas tendam a apresentar temperaturas mais elevadas em relação ao entorno rural.

Aqui, ressalta-se a importância do SR em estudos do clima urbano, mormente na identificação de ICU. Jensen (2009), por exemplo, disserta acerca da utilização de imagens de satélites em estudos do clima urbano em diversos trabalhos. De maneira geral, zonas comerciais, de serviços, industriais, com intenso fluxo de transportes, tendem a apresentar temperaturas mais elevadas durante o dia, caso verificado nesta pesquisa. Por outro lado, em zonas com a presença de vegetação, corpos d'água e zonas mais rurais tendem a apresentar temperaturas mais baixas, caso observado também na área de estudo.

Destaca-se aqui as características de temperatura superficial de 2022, o único ano que os valores de TST do período chuvoso são menores em relação ao período seco. Em 30 de março de 2022, as condições atmosféricas do Espírito Santo estavam sendo influenciadas por um sistema de baixa pressão, seguido de uma frente fria, responsável pela queda de temperatura naquele momento. Já em Julho, na altura do dia 28, as condições de tempo do Espírito Santo foram influenciadas por um sistema de alta pressão, responsável pelo aumento das temperaturas médias e da diminuição das chuvas no estado.

Figura 48: TST e perfil A – B entre o Bairro Garoto e Praia da Costa, Vila Velha/ES



Fonte: Elaborado pelo autor/2023.

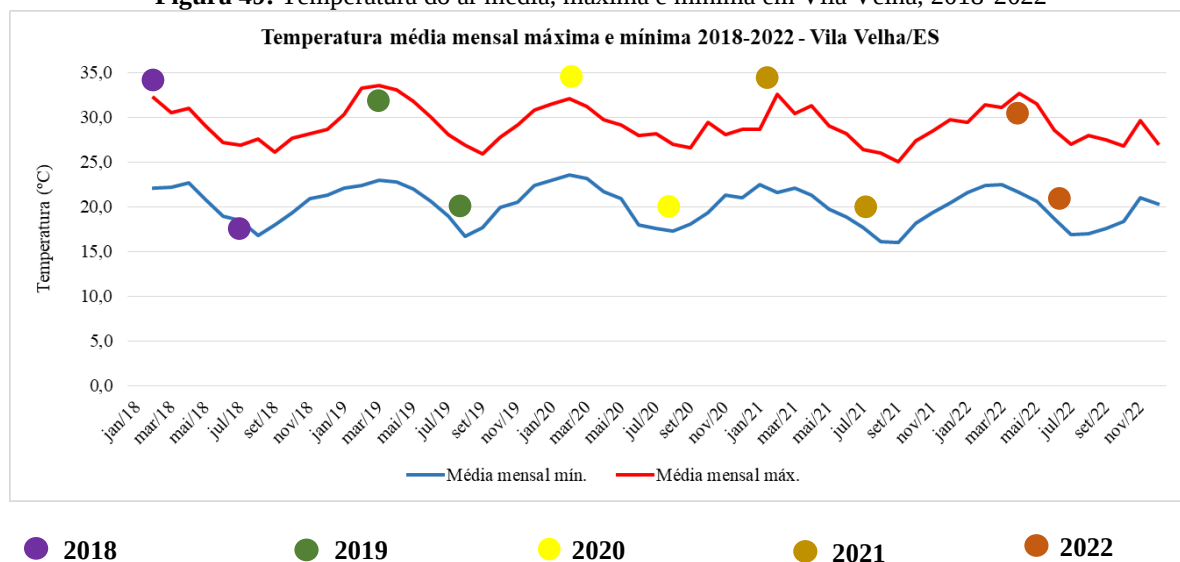
Nota-se, por meio da Figura 48 que, à medida em que se afasta das áreas de maior densidade de ocupação, a linha de temperatura tende a diminuir, pois superfícies como concreto e asfalto negro possuem um albedo menor, comparativamente a superfícies claras e menos pavimentadas (que absorvem mais calor ao longo do dia), e baixo calor específico, porém pouca capacidade de dissipar calor, razões estas que corroboram com elevadas temperaturas em ambientes construídos ou ocupados, sobretudo naqueles pouco arborizados e com pouco espaços livres e corpos d'água, como pode ser notado nas imagens em que as zonas menos urbanizadas e com maior densidade de vegetação tendem a apresentar temperatura de superfície mais baixa (CHRISTOPHERSON, 2012). Ainda neste contexto, vale destacar que, apesar da área urbanizada ter apresentado valores de temperatura de superfície mais elevados em praticamente todo o período de análise, essas temperaturas não se comportaram de forma homogênea, apresentando distintas temperaturas, necessitando de caracterizar as diferentes formas urbanas existentes em Vila Velha, que será mais bem detalhada na discussão das LCZ.

Resultados semelhantes ao que foi verificado acima, podem ser observados em Guilherme *et al.* (2020) e Odununga; Badru (2015), ao estudarem a relação entre uso e cobertura do solo e temperatura de superfície no município de Coari, estado do Amazonas, Brasil, e a Região de Plateau, Central-Norte da Nigéria, respectivamente. No primeiro caso, os autores perceberam que, entre 2015 e 2017, as áreas urbanizadas, ainda que tenham apresentado valores mais elevados de albedo, portanto refletem mais o calor, caracterizaram-se por elevados valores de temperatura superficial. No segundo caso, apesar de densidade de ocupação menor, as áreas com albedo mais elevado também apresentaram temperaturas mais elevadas. Esses exemplos estão de acordo com as teorias do clima urbano que dão conta de explicar que, embora a vegetação absorva mais radiação, o processo de evapotranspiração por ela desenvolvido ajuda a atenuar o calor nas áreas em torno.

A Figura 49 refere-se à distribuição temporal da temperatura do ar da área de estudo, considerando uma série de 2018-2022. Os dados meteorológicos são da estação automática de Vila Velha, sob a gestão do INMET. O objetivo central dos dados de temperatura do ar é estabelecer uma correlação entre essas duas variáveis, que, embora sejam distintas, possuem relação direta. Nesse enquadramento, avaliar as condições de tempo, especificamente da temperatura do ar, é importante para compreender a dinâmica da temperatura de superfície, na medida em que alguns materiais, por conta das características do albedo, reflectância e capacidade de reter e/ou dissipar calor, tais como concreto e asfalto, tendem a reter mais calor.

Além disso, em dias mais claros e com temperatura do ar mais elevada, a temperatura superficial tende a ser mais elevada, ao passo que, em dias mais nublados e com temperatura média do ar mais baixa, a TST apresenta valores mais baixos normalmente (GARTLAND, 2010; JARDIM, 2010).

Figura 49: Temperatura do ar média, máxima e mínima em Vila Velha, 2018-2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

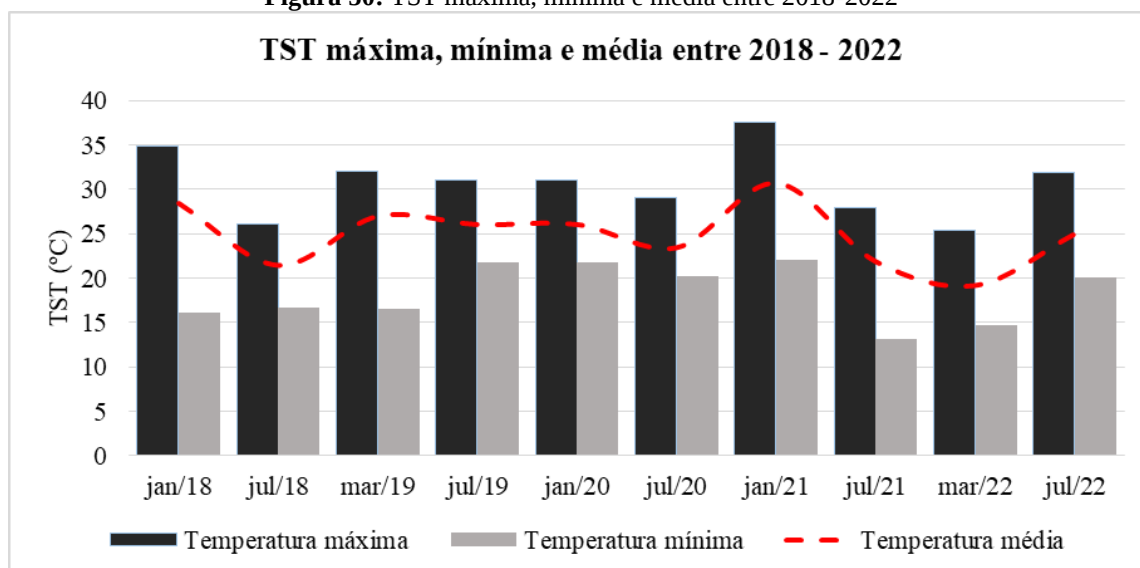
Também é possível perceber uma correlação direta entre as duas categorias de temperatura, de superfície e do ar, quando se analisa o gráfico das máximas, mínimas e médias de TST ao longo do período em análise (Figura 50). Nesse domínio, os valores máximos de TST foram observados nos anos de 2018 e 2021, ambos em janeiro, período chuvoso, com valores de 34,8°C e 37,5°C respectivamente, que coincide também com as máximas de temperatura do ar, conforme a Figura 49. No entanto, observa-se que, de acordo com Gartland (2010), os efeitos da urbanização sobre o clima são mais perceptíveis em dias claros e calmos, o que não foi percebido aqui. Se tomarmos essa afirmação da autora como verdade absoluta, dadas as características da atmosfera neste período do ano, para Vila Velha, é possível afirmar que as altas temperaturas registradas nas áreas urbanas e as temperaturas mais baixas no entorno rural, não caracteriza a ilha de calor.

Resultado semelhante pode ser observado em Santos *et al.* (2024) ao avaliarem a relação da urbanização com o aumento da TST em função da urbanização no município de Paracatu, Minas Gerais, Brasil, em cinco anos de décadas diferentes, em 1990, 1995, 2005, 2014 e 2019. Os

autores perceberam que, ao longo dos anos analisados, em função do crescimento das áreas urbanas, das atividades ligadas à mineração e consequentemente da diminuição de áreas verdes, as temperaturas de superfícies tenderam a aumentar. Ademais, conforme Landsberg (2006), a urbanização causa impactos significativos no microclima das cidades e sobre o ambiente, pois em função das estruturas humanas, não somente o clima é afetado, mas também os recursos florestais, hídricos e o solo.

Vale destacar que, o que se esperava era uma linha ascendente da temperatura superficial nos anos avaliados. No entanto, percebe-se que, ao longo das séries analisadas, especialmente a partir de julho de 2021, os valores médios da TST diminuem, assim como ocorrido com a temperatura do ar, no mesmo período.

Figura 50: TST máxima, mínima e média entre 2018-2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

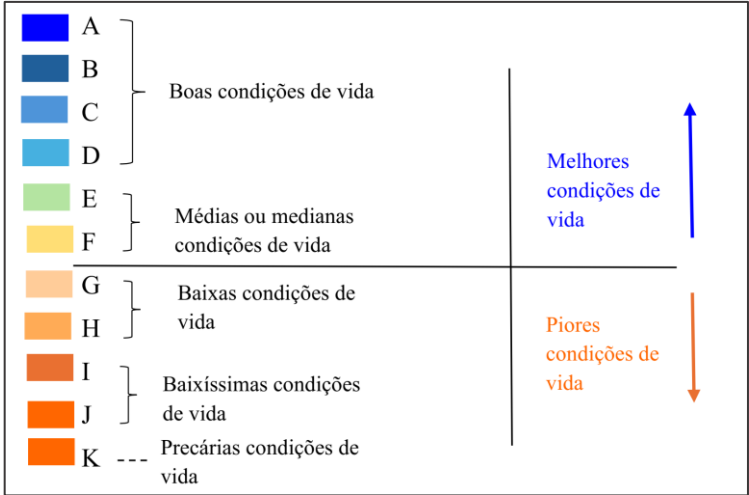
Sobreposição da temperatura de superfície com a tipologia intraurbana em Vila Velha

Dada a complexidade do território de Vila Velha, fundamentalmente no que se refere aos aspectos socioeconômicos, é de se esperar que o aquecimento da superfície e suas consequências para o clima local e à saúde humana são sentidos de maneiras distintas. Conforme Sant'Anna Neto (2011, p. 47):

Se a cidade é o *habitat* da modernidade, se os sistemas urbanos são altamente complexos e desiguais e, se a atmosfera urbana é o produto da interação entre as variáveis do clima e as intervenções socioeconômicas, então os diversos grupos sociais não experimentam nem se relacionam com o tempo e o clima urbano da mesma forma.

Dessa forma, na tentativa de perceber onde está localizada a população mais vulnerável socialmente e onde estão localizadas as temperaturas mais elevadas, foram desenvolvidos dois mapas: o primeiro diz respeito às classes das tipologias intraurbanas de acordo com a proposta do IBGE (2017), já explicada no capítulo de materiais e métodos; o segundo mapa refere-se à representação das tipologias intraurbanas para Vila Velha. Nesta classificação, o indicador varia de A-K, cada um com um significado diferente, de boas condições de vida a precárias condições de vida, conforme demonstram as Figura 51 e Figura 52.

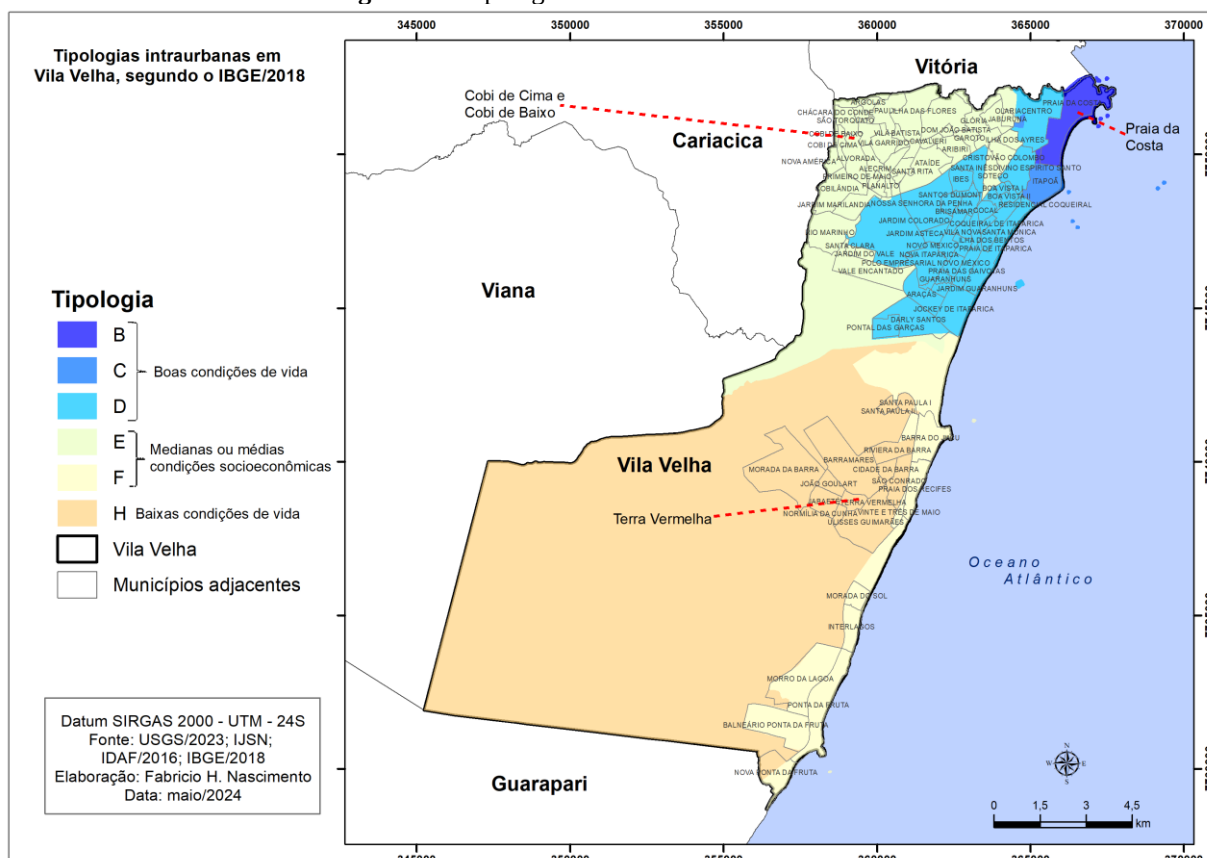
Figura 51: Classes de tipologias intraurbanas, de acordo com o IBGE (2017)



Fonte: IBGE (2017); organizado pelo autor/2024.

Como pode ser observado na Figura 52, os bairros localizados mais a leste, sul e sudoeste do município possuem classificação entre médias condições de vida a precárias condições de vida, a exemplo de bairros como Cobi de Cima, Cobi de Baixo, Ataíde, Santa Rita, e outros, localizados na porção nordeste do município. Nos bairros citados, boa parte da população vive com baixos salários, moradias inadequadas, com pouco ou nenhum saneamento, dentre outras questões, fato que confirma que esta população, possivelmente, sofra mais com as intempéries do clima, especificamente o calor.

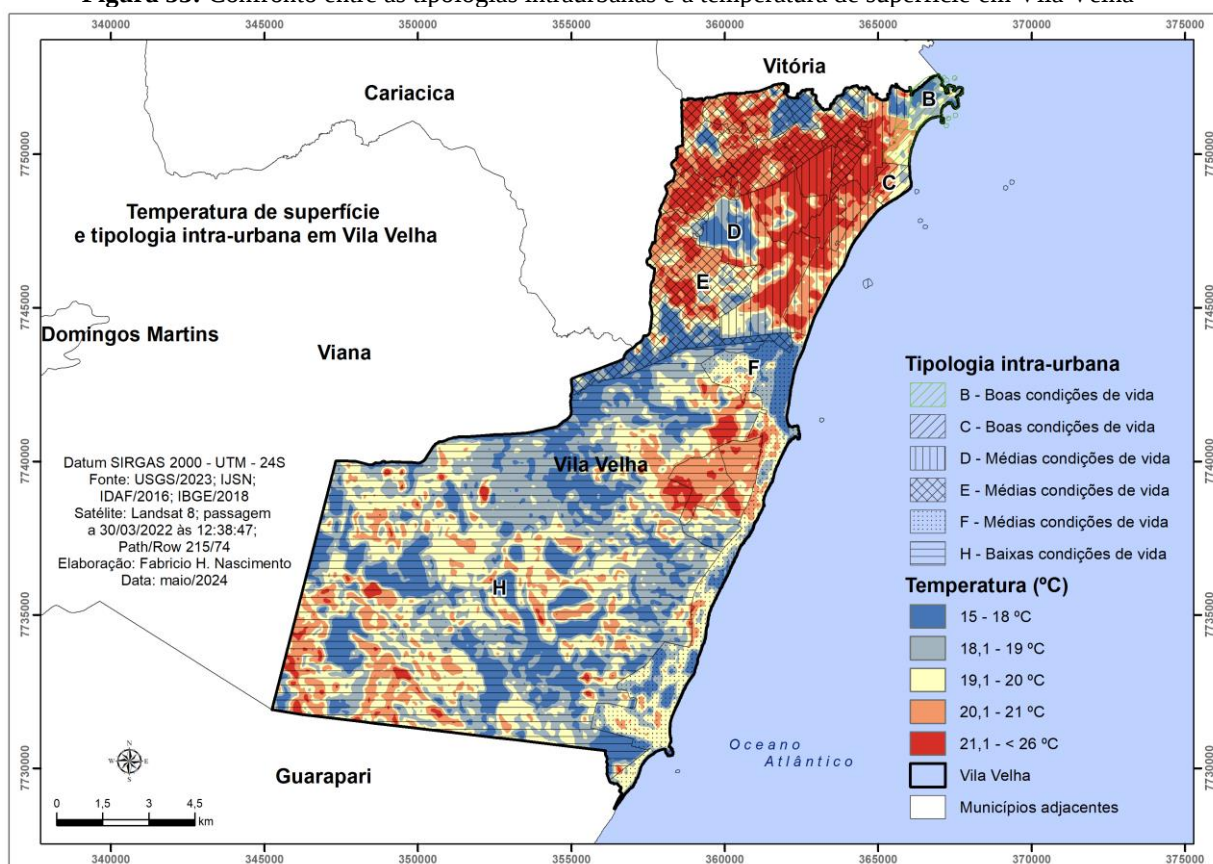
Figura 52: Tipologias intraurbanas em Vila Velha



Fonte: IBGE (2017); organizado pelo autor/2024.

A Figura 53 apresenta um confronto das tipologias intraurbanas com o mapa de temperatura de superfície, do período chuvoso e quente do ano de 2022. Evidentemente, o mapa é utilizado aqui para facilitar a percepção de onde estão as faixas de temperaturas mais elevadas e localizar a população mais vulnerável ao calor.

Pela observação do mapa, representado pela Figura 53, as tipologias B a D, de acordo com a classificação do IBGE (2017) são consideradas como boas condições socioeconômicas, enquanto as tipologias E e F são consideradas como medianas ou médias condições socioeconômicas e, por fim, a categoria H, considerada de baixa condição de vida. No primeiro caso, os únicos bairros considerados como boas condições econômicas são os bairros Praia da Costa, Itapoã e Itaparica, situados mais a nordeste e oeste (estão sujeitos a ação das brisas marítimas) do município, que, embora apresentem TST elevada, ao menos nas porções mais ao interior dos bairros, sob efeito de barreiras para os ventos oceânicos, causadas pela altura dos prédios, as estruturas econômicas ou o nível socioeconômico (condições estruturais), permitem resiliência maior, frente as intempéries do clima (MENDES *et al.*, 2011; CUTTER, 2011).

Figura 53: Confronto entre as tipologias intraurbanas e a temperatura de superfície em Vila Velha

Fonte: Organizado pelo autor/2024.

Nas porções mais ao centro, a leste, a noroeste, a sul e a sudoeste são bairros de baixas condições econômicas, como, por exemplo, o bairro de São Torquato, Cobi de Cima, Cobi de Baixo e João Goulart, Ilha dos Aires, Cristóvão Colombo, dentre outros, que são influenciados com faixas de temperatura superficial mais elevadas. A porção mais a sudoeste é basicamente rural, com áreas expressivas de solo exposto, justificando, pelo menos nos dias e horas da passagem do satélite, temperaturas superficiais mais elevadas, como pode ser observado nos mapas da Figura 47.

Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) em Vila Velha de 2018-2022

O NDVI é uma variável importante para se avaliar a presença de vegetação em um determinado espaço geográfico. Este índice varia de -1 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, há indicação de que existe vegetação densa e com maior vigor. Entretanto, valores de NDVI mais próximo de -1 significam ausência de vegetação e presença de solo em estado exposto, água ou vegetação menos vigorosa (NETO, 2019). É importante destacar que a análise do NDVI deve ser criteriosa e associada ao bom conhecimento da área de estudo a ser avaliada, pois, em certos

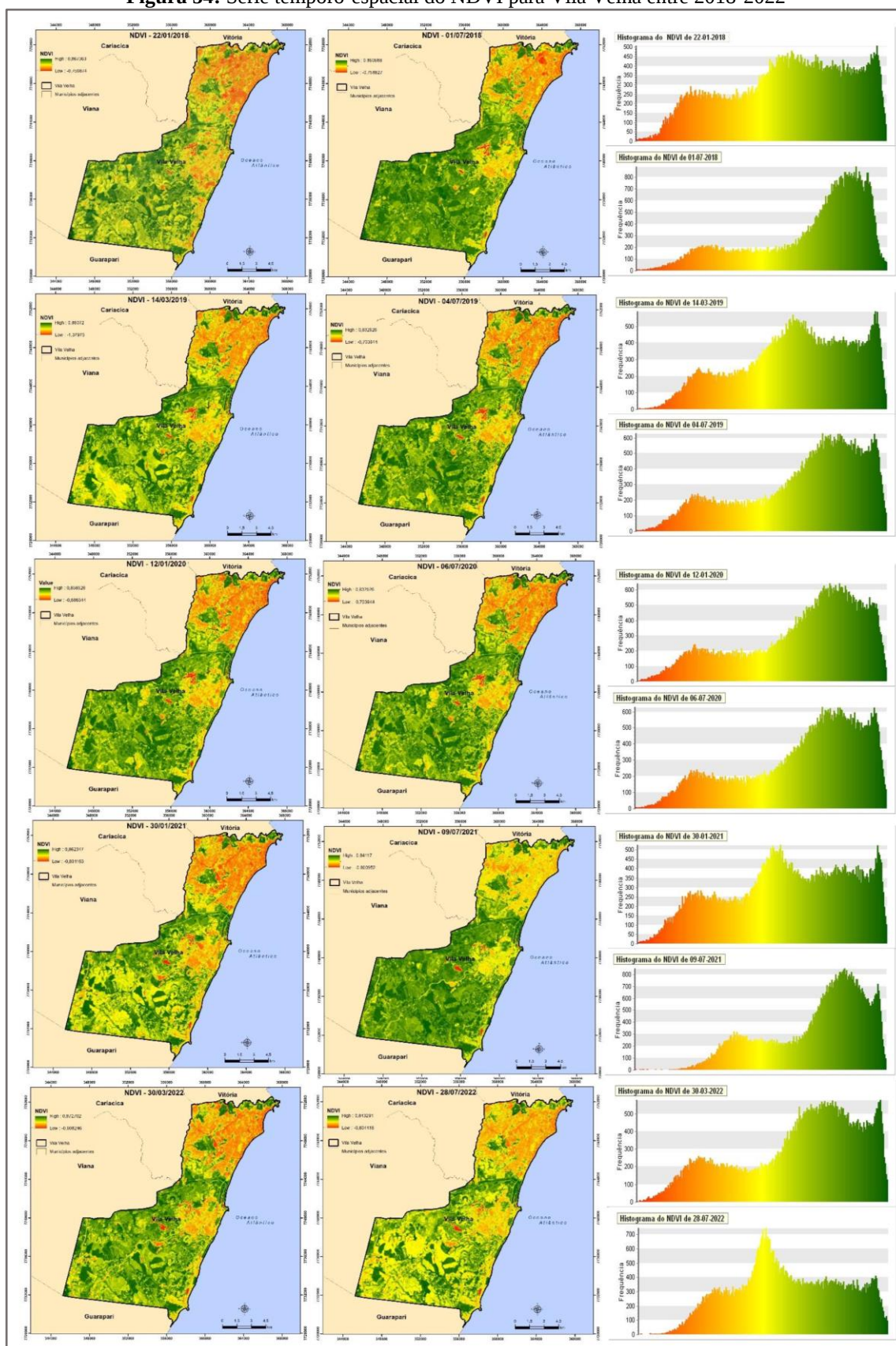
casos, a depender do período a ser analisado, o NDVI pode demonstrar maior vigor e em outro período não. Uma área coberta por pasto, por exemplo, no período mais seco, pode apresentar menor vigor vegetativo, e, no período úmido, se estiver em repouso, pode apresentar maior vigor vegetativo, como ocorre em Vila Velha, designadamente nas porções sul e sudoeste, áreas que predomina o uso do solo agrícola (FERREIRA; FERRETO; DUARTE, 2023).

A Figura 54 apresenta uma série do NDVI, de 2018-2022, para o município de Vila Velha, considerando a classificação das estações seca e chuvosa da região Sudeste do Brasil. Por meio da análise visual da Figura 54, é possível afirmar que as áreas que estão localizadas nas porções sul e sudoeste do município possuem vegetação mais vigorosa em relação às áreas que estão localizadas nas porções mais a norte, centro e no litoral. Essa configuração da vegetação do município pode ser explicada pela densidade de áreas urbanas verificada nas porções norte, centro e litoral da área de estudo, exceto no Morro do Moreno, uma área de preservação permanente, que ainda se encontra preservada em meio às áreas construídas.

Nas porções mais a sul e sudoeste do município, pode-se observar que, no período mais chuvoso e quente, o NDVI era relativamente baixo, pois se trata de uma área que, embora pouco urbanizada, é basicamente ocupada por pastagens, solo exposto e agricultura. Situações como essas podem ocorrer em áreas cuja vegetação é esparsa e de solo exposto, pois geralmente apresentam solo impermeável, favorecendo o aumento da temperatura superficial e diminuição do vigor vegetativo, conforme afirma Ferreira (2019).

Do ponto de vista temporal, observa-se que no período seco, outono-inverno, o maior vigor da vegetação é mais frequente, conforme indica os histogramas representativos dos dois períodos avaliados. Isso pode ser explicado pelo fato de, no período mais chuvoso, as áreas de pasto e solo exposto receberem umidade e tendo tempo necessário, florescem e adquirem um aspecto de maior vigor vegetativo, não significando acréscimos de áreas de florestas.

Figura 54: Série temporo-espacial do NDVI para Vila Velha entre 2018-2022



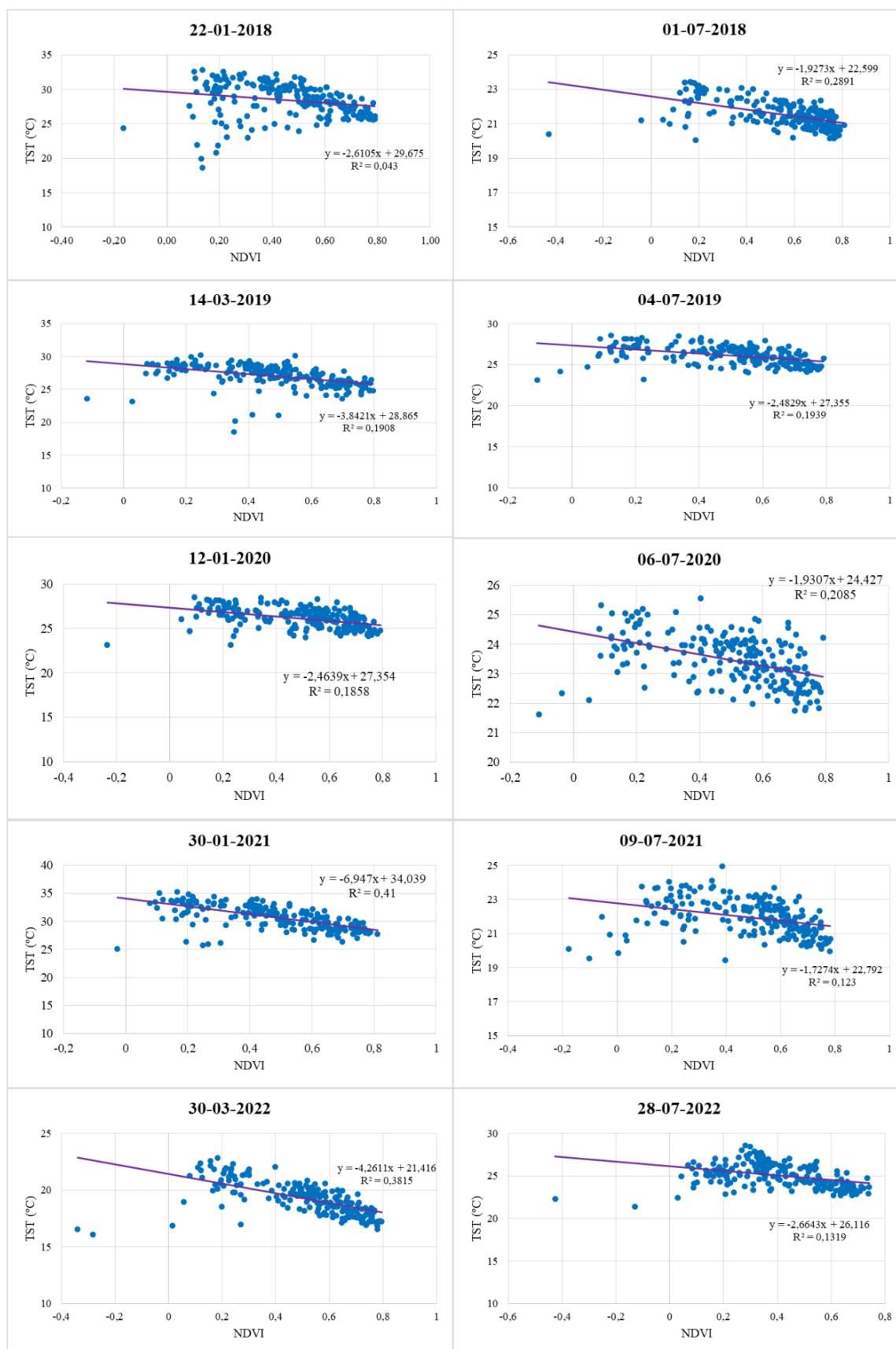
Fonte: Elaborado pelo autor/2023.

Com o propósito de não discutir os resultados apenas de forma visual, foram gerados gráficos de dispersão entre as grandezas NDVI e TST – Figura 55 –, bem como a estatística descritiva das grandezas, como a correlação de Pearson e o coeficiente de determinação (Tabela 7). De forma isolada, os gráficos de dispersão não possibilitam grandes conclusões. Porém, é possível verificar uma tendência entre as variáveis analisadas: quanto maior o vigor de vegetação, menor é a temperatura de superfície.

A análise do gráfico de dispersão torna-se importante, no contexto do zoneamento climático, com base nas LCZ e para o planejamento também, à medida em que fornece informações acerca da importância da vegetação no espaço urbano, maiormente no que se refere ao papel da vegetação na atenuação e variação da temperatura, pois o processo de evapotranspiração ajuda no controle térmico, quando se compara com a refletividade das diferentes superfícies (JARDIM, 2010; GUILHERME *et al.*, 2020).

Resultados semelhantes foram encontrados por Guilherme *et al.* (2020) e Cardoso; Amorim (2017), ao analisarem a correlação existente entre as grandezas NDVI e TST, em Coari, Amazonas, e em Presidente Prudente, interior de São Paulo, respectivamente. Em ambos os casos, a correlação existente entre as grandezas mencionadas foi inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o vigor da vegetação, menores foram os valores de temperatura superficial, o que permite afirmar que a vegetação em espaços urbanos possui um papel fundamental na regulação térmica e atenuação do calor. Com isso, é possível afirmar que é de significativa importância, no âmbito do planejamento municipal, a identificação de áreas críticas em relação ao calor e na manutenção de áreas verdes dentro das cidades, com a implantação de parques e jardins e corpos d'água artificiais.

Figura 55: Gráficos de dispersão das grandezas NDVI e TST



Fonte: Elaborado pelo autor/2023.

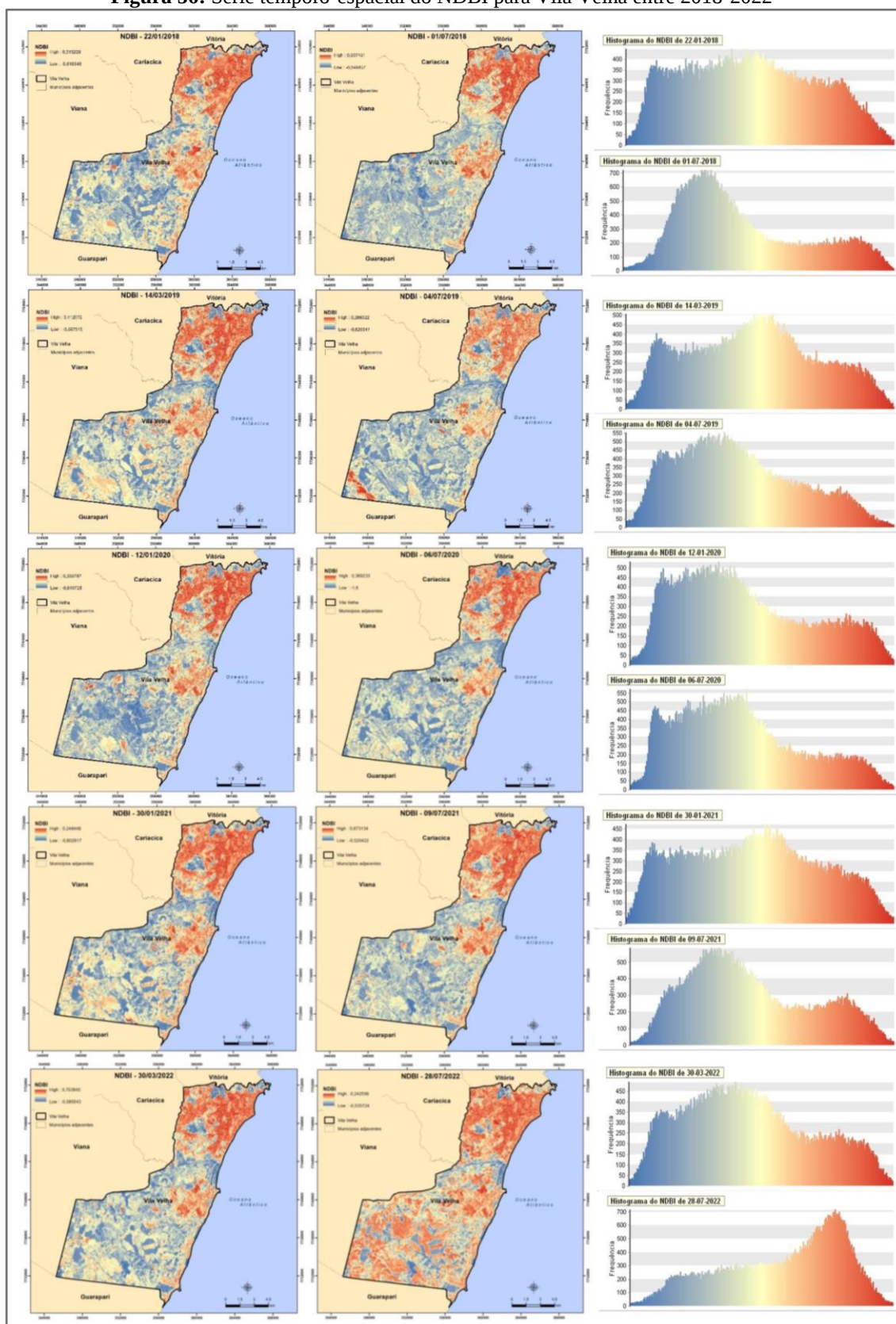
Índice de áreas construídas em Vila Velha de 2018 a 2022

A Figura 56 representa uma série de mapas do índice de áreas construídas (NDBI) de Vila Velha do período de 2018-2022, equivalentes aos períodos chuvoso e seco. Percebe-se que as áreas mais ocupadas são as localizadas nas porções norte, central e litoral do município. No litoral, predominam construções de alto padrão e edifícios acima de 10 pavimentos, e geralmente compactas. Ao comparar os mapas de NDVI e os mapas de NDBI, de forma visual, é possível estabelecer uma correlação entre as áreas com menor vigor vegetativo com as áreas mais densamente ocupadas, o que pode contribuir com consequências nos padrões de temperatura superficial e do ar dessas áreas, a exemplo da porção norte do município, que se encontra quase que totalmente urbanizada e onde foram verificados os valores mais elevados de temperatura superficial, tanto no período chuvoso, como no período seco, ao longo dos anos avaliados (2018-2022).

É importante ressaltar que todas as variáveis trabalhadas nesta tese, que foram elaboradas a partir de imagens de satélites (TST, NDVI e NDBI), foram criadas após o procedimento de correção atmosférica. Esse procedimento foi importante, pois evitaram-se distorções dos resultados, especialmente da TST. De acordo com Guilherme *et al.* (2020), em um estudo em Coari, Amazonas, quando se compara a TST sem correção atmosférica e a TST com a correção, é possível encontrar diferenças significativas de temperatura. No caso específico, os autores observaram diferenças de até 8°C nos anos avaliados, 2015 e 2017.

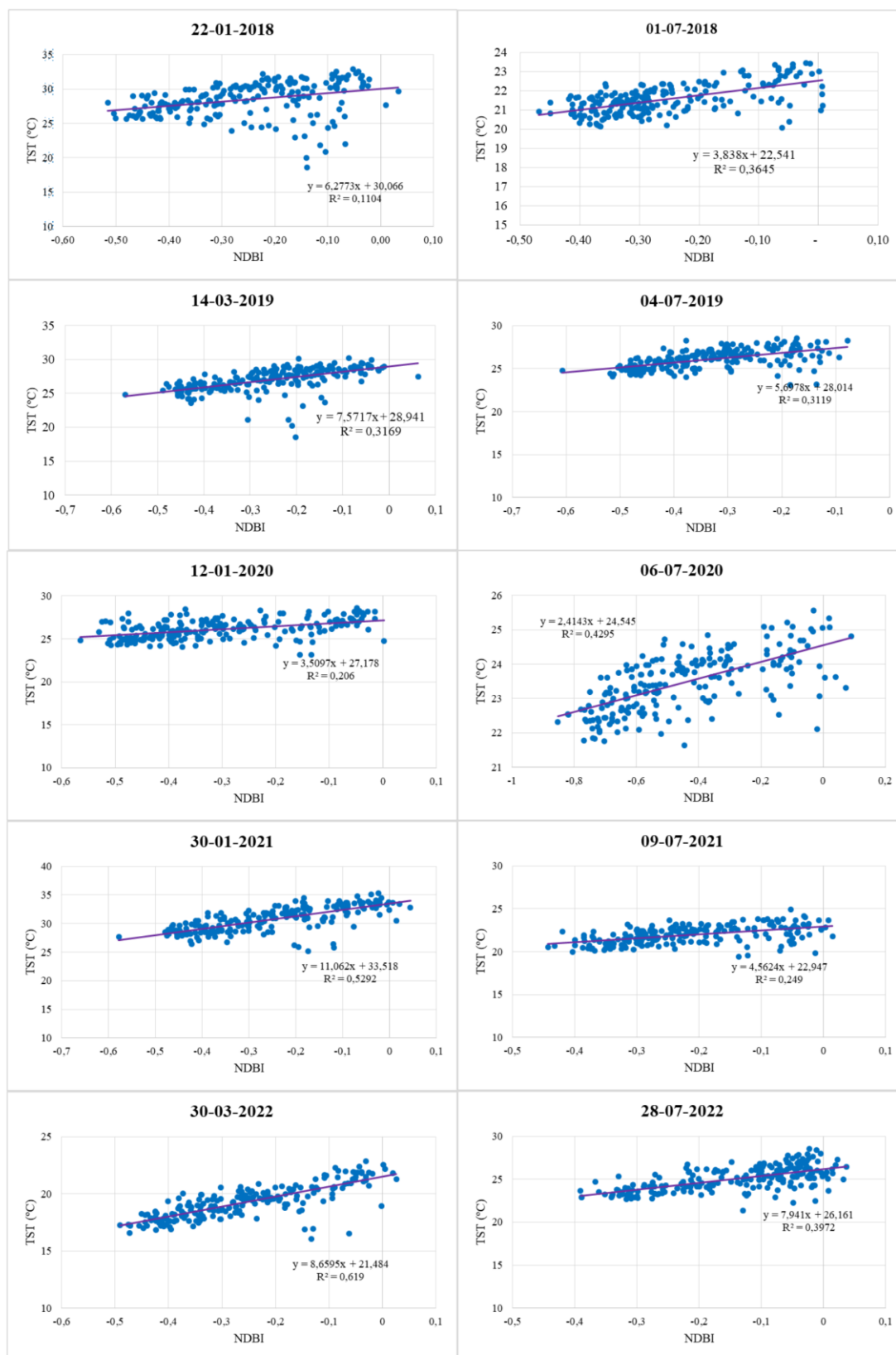
Como ocorre com o NDVI e a TST, na tentativa de evitar uma discussão apenas visual, foram elaborados gráficos de dispersão entre o NDBI e o TST a fim de perceber a correlação entre as duas grandezas de análise. Diante disso, conforme pode ser observado, é possível estabelecer uma correlação positiva entre essas duas variáveis, porque, quanto mais alto o valor do NDBI, mais elevadas são as temperaturas de superfície terrestre (Figura 57).

Figura 56: Série temporo-espacial do NDBI para Vila Velha entre 2018-2022



Fonte: Elaborado pelo autor/2023.

Figura 57: Gráficos de dispersão das grandezas NDBI e TST



Fonte: Elaborado pelo autor/2023.

A Tabela 7 apresenta o resultado da estatística extraída dos gráficos de dispersão, a saber os valores de R^2 e de R . De forma isolada, os gráficos de dispersão e os coeficientes de correlação e determinação não permitem grandes conclusões. Todavia, conforme já mencionado, há uma clara tendência de que, quanto maior o vigor vegetativo, menores são os valores de temperatura de superfície e, quanto maior o índice de áreas construídas, maiores são os valores de temperatura superficial. Desse modo, a correlação entre o par das grandezas, NDVI x TST é negativa enquanto o par das grandezas NDBI x TST comporta-se de modo positivo.

Tabela 7: Correlação entre os pares das grandezas NDVIxTST e NDBIxTST

Data	Coefficientes	NDVI x TST	NDBI x TST
Jan/18	R^2	0,043	0,11
	R	0,21	0,33
Jul/18	R^2	0,28	0,36
	R	0,52	0,60
Mar/19	R^2	0,19	0,32
	R	0,44	0,57
Jul/19	R^2	0,19	0,31
	R	0,44	0,56
Jan/20	R^2	0,18	0,20
	R	0,42	0,45
Jul/20	R^2	0,21	0,43
	R	0,46	0,66
Jan/21	R^2	0,41	0,53
	R	0,64	0,73
Jul/21	R^2	0,12	0,25
	R	0,35	0,50
Mar/22	R^2	0,38	0,62
	R	0,62	0,79
Jul/22	R^2	0,13	0,40
	R	0,36	0,63

Fonte: Elaborado pelo autor/2023.

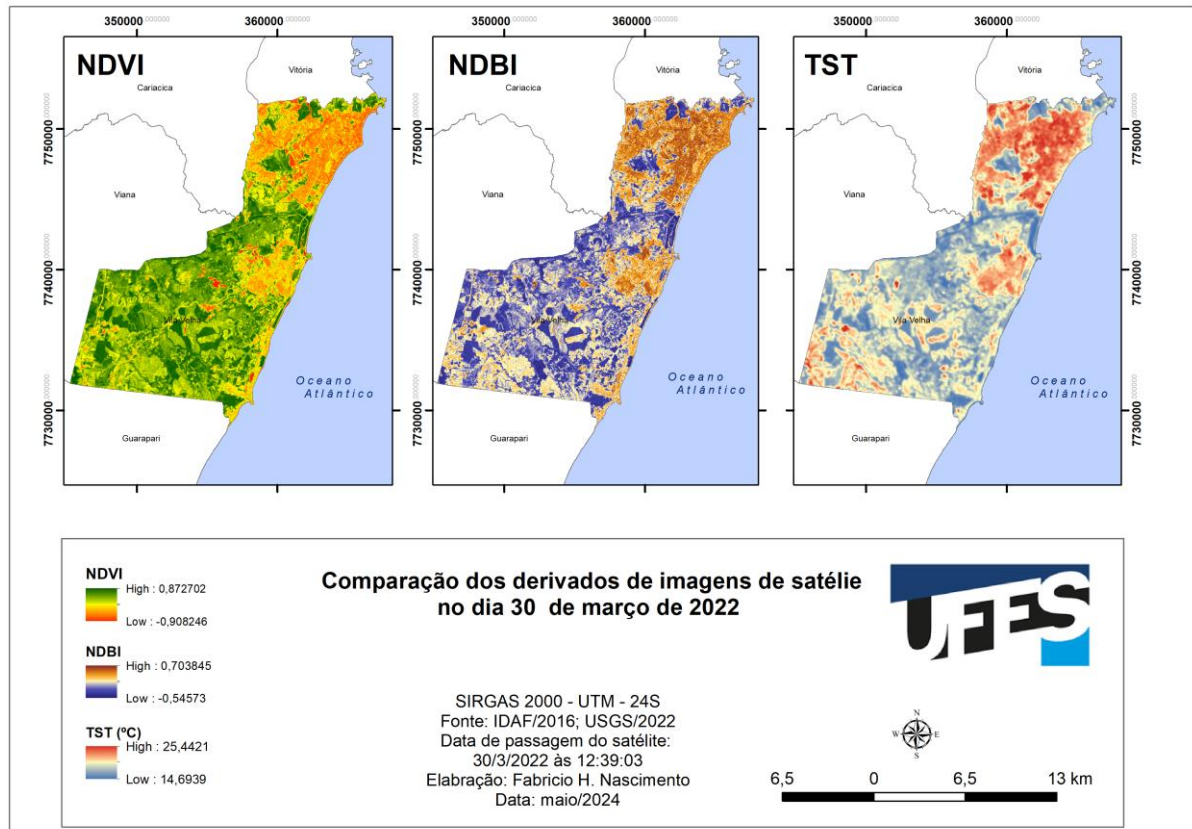
Comparação dos derivados de imagens de satélite

O que se percebe ao analisar os derivados das imagens de satélite? Nota-se que há uma tendência de aumento da temperatura superficial em função da alta densidade de construções, observada no modelo de NDBI e menor vigor de vegetação, observado no modelo de NDVI. As áreas localizadas mais a norte, centro e nordeste do município apresentaram, em toda série, temperaturas superficiais elevadas, evidenciando uma forte influência da urbanização no aquecimento da cidade. Nos bairros Praia da Costa, Itaparica e Itapoã, embora próximos à costa (logo, influenciados pelas brisas oceânicas), apresentaram temperaturas elevadas, fundamentalmente nas áreas ao abrigo dos ventos, em função da altura dos edifícios, maioria residencial. Para além disso, nota-se também, na porção mais ao sul e sudoeste, faixas de temperatura superficial elevada, com baixo vigor de vegetação e baixo índice de construção. Essas zonas constituem-se em áreas rurais, com expressivas áreas de solo exposto e

afloramentos de rocha. Nota-se que nas porções mais ao sul e sudoeste do município, pelo modelo de NDBI, apresentam um elevado valor. Contudo, essa característica não se refere às construções, mas às zonas rurais, com solo exposto e, em algumas áreas, a presença de afloramento rochoso que, no modelo de NDBI, vai apresentar indicador elevado. Isso evidencia também que solos expostos, afloramentos rochosos e áreas de pastagem também tendem a apresentarem TST elevada.

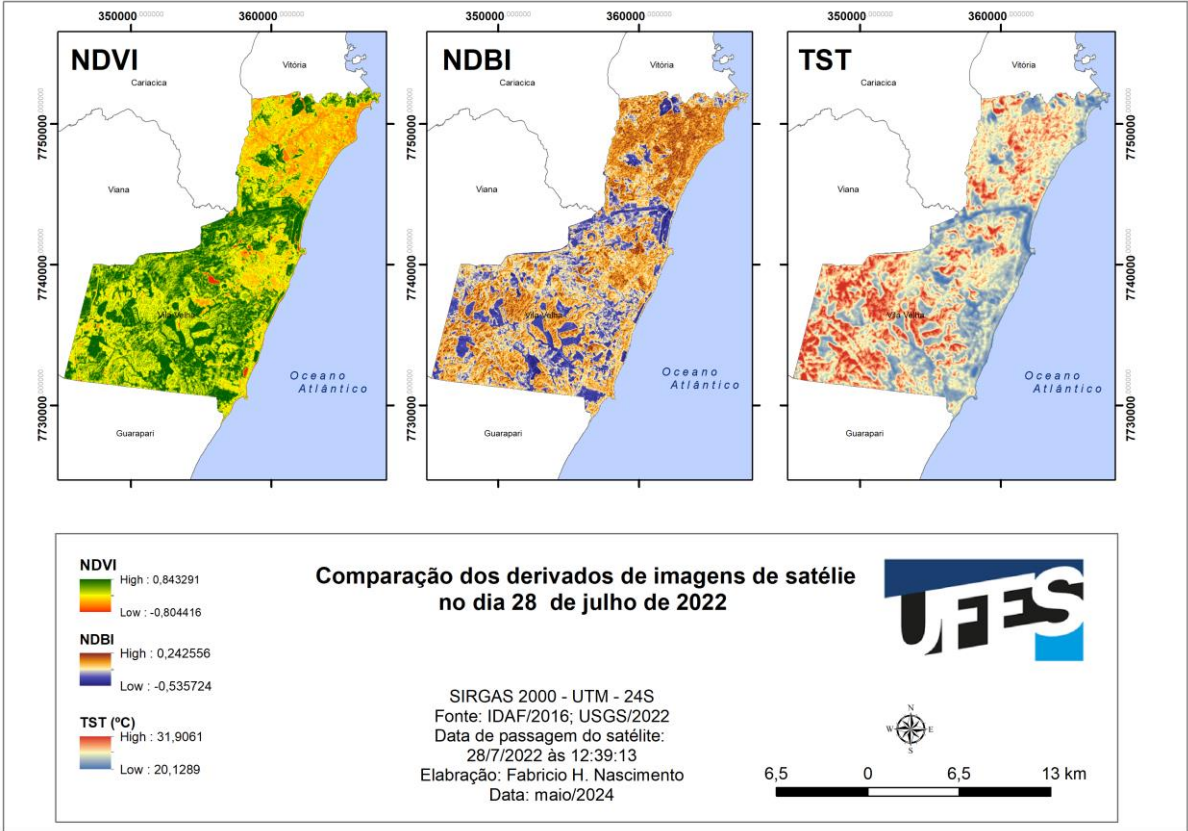
Para ilustrar, as Figura 58 e Figura 59 demonstram um exemplo dessa tendência a partir da comparação dos produtos gerados em 2022, a 30/3/2022 e do dia 28/7/2022, período chuvoso e seco respectivamente, pelo NDVI, o NDBI e a TST.

Figura 58: Comparação dos derivados das imagens de satélite do período chuvoso de 2022



Elaborado pelo autor/2024.

Figura 59: Comparação dos derivados das imagens de satélites do período seco de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

Capítulo 5: Sistema Local Climate Zones em Vila Velha

Estabelecimento de um zoneamento climático para o município de Vila Velha

A Figura 60 apresenta as Zonas Climáticas Locais identificadas na área de estudo por meio da interpretação visual das imagens do *Google Earth*, de 2022. Neste contexto, para se criar um mapa de LCZ deve ser levado em consideração uma série de critérios. Um destes, como já foi dito anteriormente, refere-se à criação de polígonos testes, também conhecidos como áreas de treinamento. Por meio deste método, das 17 zonas padrão identificadas por Stewart; Oke (2012), em Vila Velha foram identificadas 11 zonas. Dadas as características geográficas da área de estudo, é possível perceber zonas densamente urbanizadas e zonas com pouca ou nenhuma construção, como ocorre na porção sudoeste do município, cujo uso do solo predominante é a agricultura e áreas cobertas por vegetação.

A definição das LCZs, observadas na Figura 60, deu-se a partir da interpretação visual, com base nas imagens de satélites do *Google Earth Pro* e *Google Street View* para o ano de 2022. Por se referir a uma escala de análise mais detalhada, foi possível obter um zoneamento mais próximo da realidade da área de estudo. Este primeiro resultado foi importante, pois subsidiou o mapeamento das LCZs dentro do *LCZ Generator* e permitiu uma avaliação pormenorizada de Vila Velha.

Assim, as zonas climáticas locais identificadas e mapeadas são referentes as zonas caracterizadas pelo uso do solo (1 – 10) e pela cobertura do solo (A – G). Neste contexto, as LCZs 1, classe com predomínio de edifícios em altura, acima de 10 pavimentos, e cobertura do solo totalmente impermeabilizados, estão localizadas, de forma mais expressiva, ao longo do litoral, sobretudo na porção nordeste do município, a exemplo dos bairros Praia da Costa, Praia de Itapoã e Itaparica, bairros estes que é possível perceber estruturas com mais de 15 pavimentos, maioria exercendo a função residencial de alto padrão, que influenciam de maneira expressiva a circulação de ventos e passagem da radiação solar, alterando significativamente o clima local.

As LCZs 2 e 3 foram identificadas, sobretudo, nos bairros Itapoã, Itaparica, Centro de Vila Velha, Araçás e Glória. As estruturas são bem semelhantes, nomeadamente pelo fato de as duas zonas apresentarem pouco ou nenhum espaço verde. As LCZs 2 são caracterizadas por edificações de 3 a 9 pavimentos, geralmente próximas uma da outra, e com ruas totalmente pavimentadas e com funções mistas, nomeadamente residencial e comercial. As LCZs 3,

apresentam edificações com, no máximo, 3 pavimentos, densa e totalmente pavimentada. Num caso particular em Vila Velha, foi possível identificar zonas com funções residenciais, em sua maioria, como é o caso dos bairros Itaparica, Praia da Costa e Araçás, e algumas zonas com funções mistas, entre residencial e comercial, a exemplo do bairro Glória, considerado o maior *shopping* a céu aberto do Espírito Santo.

Figura 60: Local Climate Zone em Vila Velha

Built Types	Definition	Built Types in Vila Velha	Image
1. Compact high-rise	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.		
2. Compact midrise	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.		
3. Compact low-rise	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.		
5. Open midrise	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.		
6. Open low-rise	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.		
7. Lightweight low-rise	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).		
8. Large low-rise	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.		
9. Sparsely built	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).		
A. Dense trees	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.		
F. Bare soil or sand	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.		
G. Water	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.		

Fonte: Google Earth (2022); Stewart; Oke (2012) (Adaptado).

As zonas 5, identificadas em bairros como Araçás, Jockey de Itaparica, Guaranhuns e em alguns trechos do bairro Praia da Costa, caracterizam-se por construções residenciais, predominantemente, e com estruturas de 3 a 9 pavimentos, a semelhança da LCZ 2. No entanto, é possível perceber áreas mais permeáveis, maior espaçamento entre as construções e maior aporte de vegetação. De maneira geral, estas zonas costumam apresentar temperaturas superficiais mais baixas, em comparação com as zonas de 1 a 3 (STEWART; OKE, 2012).

As zonas 6, identificadas em bairros como Cobilândia, Rio Marinho, Vale Encantado e Terra Vermelha, caracterizam-se por edificações de 1 a 3 pavimentos, áreas permeáveis e maior aporte de vegetação, sobretudo em áreas privadas, como lotes, quintais e jardins. Tanto esta zona, como a zona 5, é possível perceber uma maior quantidade em Vila Velha, o que será mais bem percebido, visualmente, pelo mapa das zonas climáticas locais.

As zonas 7 foram identificadas em bairros como Terra Vermelha, João Goulart, Vale Encantado e entre outros, geralmente bairros mais periféricos e rurais. Esta zona caracteriza-se por construções de baixo padrão, geralmente menores de 3 pavimentos, ruas pouco pavimentadas e com pouca ou nenhuma vegetação. São áreas residenciais, em sua maioria, e com algum tipo de pequeno comércio.

As zonas 8 são caracterizadas, de acordo com Stewart; Oke (2012), referem-se a uma tipologia de zona com arranjos abertos e de grandes edificações de baixa elevação com a cobertura do solo mais impermeável. Geralmente, esse tipo de classe é mais comum em áreas onde encontram-se edifícios de escolas, faculdades e universidades, a exemplo de bairros como Boa Vista, na Universidade de Vila Velha (UVV), Faculdade Novo Milênio; edifícios de supermercados, a exemplo de estruturas grandes como o Perim e o Carone, localizados em Itapoã e Itaparica. As estruturas que compõem essas zonas são, em alguma medida, geminadas, o que dá a impressão de serem grandes estruturas.

As zonas 9 constituem-se uma das zonas de maior incidência no município. Caracterizam-se por um tipo de zona esparsada com construções de baixo pavimento, no máximo 3 e com vegetação, evidenciando uma forte diferenciação social e espacial da área de estudo. Conforme a definição de Stewart; Oke (2012) refere-se a uma zona periurbana de transição entre urbano e rural. Os bairros onde essa classe é mais frequente são, Terra Vermelha, João Goulart, Vale Encantado, Rio Marinho, entre outros. Essa classe pode ser percebida, também, em alguns

condomínios fechados, a exemplo do que ocorre no bairro Vale Encantado, porção leste do município. O relevo neste tipo de zona, geralmente é plano e solo mais arenoso (ao menos neste estudo) o que facilita a circulação dos ventos, que auxilia na atenuação do calor nessas áreas.

As zonas 10 foram mapeadas em bairros como, Novo México, Vale Encantado, Araçás. Caracterizam-se por edificações de até 3 pavimentos, geralmente de uso comercial e/ou industrial, mais espaçada, pavimentada e com tipos solo mais impermeáveis, como o que ocorre na altura da Rodovia Darly Santos, próximo aos bairros Vale Encantado e Novo México, a exemplo de empresas distribuidoras, indústrias têxteis, escolas de formação industrial, postos de combustíveis etc. Na descrição da teoria, segundo Stewart; Oke (2012), as construções são geminadas, semelhante ao que ocorre na zona 8, pelo fato de algumas estruturas de loteamentos não apresentarem afastamentos entre elas, produzindo um efeito de grandes estruturas (STEWART; OKE, 2012; WERNECK, 2022).

As zonas seguintes são consideradas zonas de cobertura natural, ou menos humanizadas. Assim, a zona A constitui-se uma zona de arborização densa, com árvores altas e de copas fechadas, em muitas ocasiões. Embora não se constituam em áreas cobertas por edifícios altos, é possível observar um céu quase que totalmente obstruído. Para além disso, de acordo com Stewart; Oke (2012), as zonas A são caracterizadas, também, pela presença de áreas de proteção ambiental, cinturões verdes, florestas urbanas, parques naturais etc. Em Vila Velha, foi possível identificar essa zona nos bairros Praia da Costa, nomeadamente no Morro do Moreno, a pelo menos 360 metros de altitude, o Parque Natural de Jacarenema, leste-sul do município, em alguns pontos da porção norte e em partes das porções sul e sudoeste.

A zona C constitui-se como uma zona de vegetação arbustiva, com altura média de, cerca de 2 metros e com alguns traços de agricultura. Essa zona encontra-se nas porções centro-sul do município, na altura dos bairros Barra do Jucu, Vale Encantado, Terra Vermelha, João Goulart, entre outros. Na Barra do Jucu, é possível identificar, nesta zona, algumas áreas cobertas de espécies de manguezal e de vegetação de restinga, nomeadamente no litoral sul de Vila Velha.

A zona D é caracterizada por vegetação rasteira, com cobertura do solo constituída por plantas herbáceas, como ocorre na faixa litorânea de Vila Velha, coberta por mata de restingas e manguezais, com espécies de, no máximo, 1 metro de altura com a presença ou não de árvores menores. Para além dessas características, nestas zonas também são notáveis a densa quantidade

de áreas agrícolas, conforme Stewart; Oke (2012), compondo boa parte do território vila velhense, nomeadamente as porções sul e sudoeste.

A zona E constitui-se em áreas com solos impermeáveis, em sua maioria, com pouca ou nenhum tipo de vegetação, geralmente rochas de maior dureza, a exemplo de afloramentos rochosos, como ocorre na porção norte do município, em partes do Morro do Moreno e em alguns pontos da porção central do município.

A zona F é constituída por solo exposto ou por solo arenoso. Ocorre em boa parte do município, nomeadamente em bairros como Vale Encantado, Barra do Jucu, Jockey de Itaparica, na porção central e sul do município. Em algumas ocasiões é possível observar a presença de algum tipo de vegetação rasteira e gramíneas, mas de forma bem pontual.

Por fim, a zona G, caracterizada por água, tanto continental, como oceânica. Naturalmente, por ser uma área litorânea, a leste do município encontra-se o Oceano Atlântico. No território vila velhense, também é possível encontrar uma rede hidrográfica, relativamente complexa, composta por rios, lagos e lagoas, a exemplo da lagoa Encantada (Vale Encantado) e Jabaeté.

Distribuição espacial das LCZs em Vila Velha

A Figura 61 apresenta um ficheiro exemplo do produto gerado dentro do *site* do *LCZ Generator* com as informações relativas à área de estudo (ex.: continente, país, estado e a cidade) e informações pessoais. Conforme pode ser observado, há quatro parâmetros que fornecem informações acerca da confiabilidade do zoneamento, que são: a acurácia geral (OA), a acurácia geral para classes urbanas (OAu), a acurácia geral para as classes urbanas versus naturais (OAbu) e acurácia ponderada (OA_w) (WERNECK, 2022; DEMUZERE, KITTNER e BECHTEL, 2021).

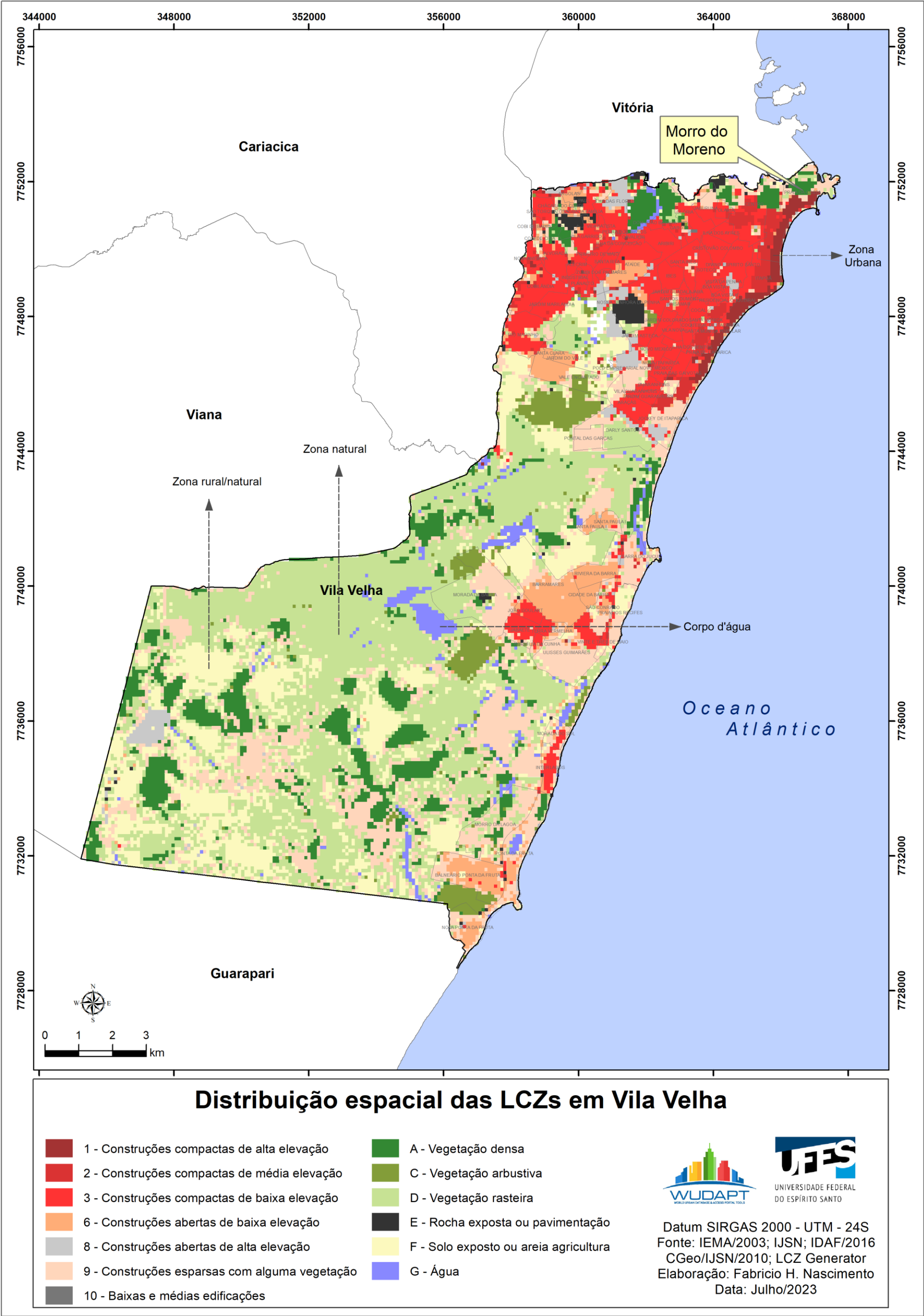
Para a área de estudo, o teste de acurácia geral é 54%, considerável aceitável, se levar em consideração a dimensão da área de estudo e a escala espacial. No entanto, a acurácia geral para classes urbanas apresenta um resultado um pouco melhor, 64%, e as acurácias geral para classes urbanas e para classes urbanas versus naturais apresentaram um percentual bem mais elevado, acima de 87% e 90%, respectivamente.

Figura 61: Ficheiro exemplo para Vila Velha, ES, Brasil



bem como o Sky View Factor associado, ao menos dos pontos onde foram registradas fotografias com a câmera “olho de peixe”.

Figura 62: Distribuição geográfica das LCZs na área de estudo



Fonte: LCZ Generator. Fonte: Elaborado pelo autor/2023.

Para Vila Velha, foram identificadas 13 LCZs das 17 identificadas por Stewart; Oke (2012), dentre áreas naturais (A, C, D, E, F e G) e artificiais (1, 2, 3, 6, 8, 9 e 10), com base nos polígonos testes inseridos no *LCZ Generator*. Foram realizadas, pelo menos, 10 tentativas de classificação automática, das quais foram alterados e/ou acrescentados mais polígonos, a fim de gerar um melhor mapeamento possível da área de estudo, haja vista que a escala de análise não é de grande detalhe, pois refere-se a todo o perímetro do município, entre áreas urbanas e rurais. Após as tentativas desenvolvidas dentro do *LCZ Generator*, o mapeamento final é baseado no melhor resultado de acurácia das LCZs (WERNECK, 2022; DEMUZERE, KITTNER e BECHTEL, 2021).

De acordo com o mapa de LCZ, as classes de pior desempenho referem-se as classes 4, 5, 7 e A. Esse desempenho “inferior” pode ser explicado devido a quantidade de áreas treinamento criadas para essas classes, que é reduzida em relação as demais. No entanto, isso não significa que ela não exista, mas, de acordo com Verdonck et al, (2019), uma classe de LCZ pouco visível na área de treinamento pode não ser percebida por um classificador automático. Situação semelhante ocorreu com Werneck (2022) para o Distrito Federal, Brasília, Brasil, onde a autora percebeu que a classe LCZ 1, de edificações compactas e acima de 10 pavimentos, quase não foi observada no mapa de LCZ, embora ela exista na realidade.

De acordo com o mapa de distribuição das LCZs, as porções nordeste e noroeste apresentaram zonas, predominantemente artificializadas, entre 1 e 3, nomeadamente os bairros Praia da Costa, Itapuã e Itaparica zonas de densas edificações e compactas e médias a altas elevações, com estruturas que podem ultrapassar 10 pavimentos, como é o caso dos bairros Praia da Costa, Itapuã e Praia de Itaparica, cujas estruturas podem ultrapassar os 15 pavimentos.

De acordo com Stewart; Oke (2012), as LCZs de 1 – 10 referem-se aos tipos de usos que caracterizam a paisagem, enquanto as LZCs A – G referem-se as diferentes coberturas que podem ser visualizadas na paisagem. Assim, as LCZs de 1 – 3, como pode ser observado na Figura 62, somam-se a maioria das LCZs da porção norte de Vila Velha, a mais urbanizada do município. Estas zonas podem ser caracterizadas por possuírem alta densidade populacional, intenso fluxo de veículo ao longo do dia e com funções, predominantemente, comercial e residencial, nomeadamente os bairros Glória e Centro de Vila Velha (comercial/residencial), Praia da Costa, Praia de Itapuã e Itaparica (função residencial).

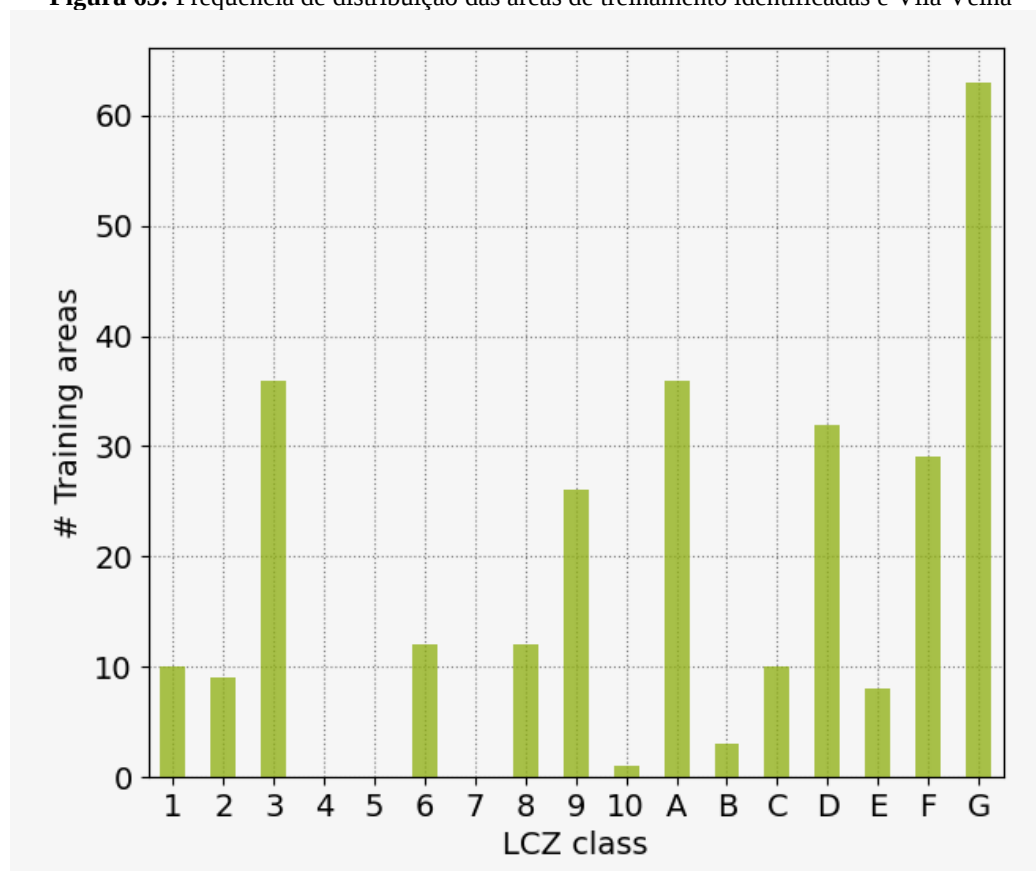
Frequência de distribuição das áreas de treinamento em Vila Velha

A Figura 63 apresenta a distribuição das frequências de cada área de treinamento identificada no *LCZ Generator* para o município de Vila Velha.

Como pode ser observado, as LCZs com maior frequência de ocorrência foram as LCZ 3, LCZ A e LCZ G, referentes a edificações compactas de até 3 pavimentos, áreas de vegetação densa e corpos d'água, respectivamente. Era de se supor, pois a área urbanizada do município é caracterizada, em sua maioria, por construções de baixa a média elevação, e com funções comercial e residencial, a exemplo de bairros como Glória e Centro de Vila Velha.

Vale destacar, novamente, que as LCZs 4, 5, 10 e B foram identificadas, porém, com um número bem reduzido, razão pela qual não aparecem no gráfico de distribuição ou encontram-se bem reduzidas, mas aparecem no mapa de distribuição da Figura 62.

Figura 63: Frequência de distribuição das áreas de treinamento identificadas e Vila Velha

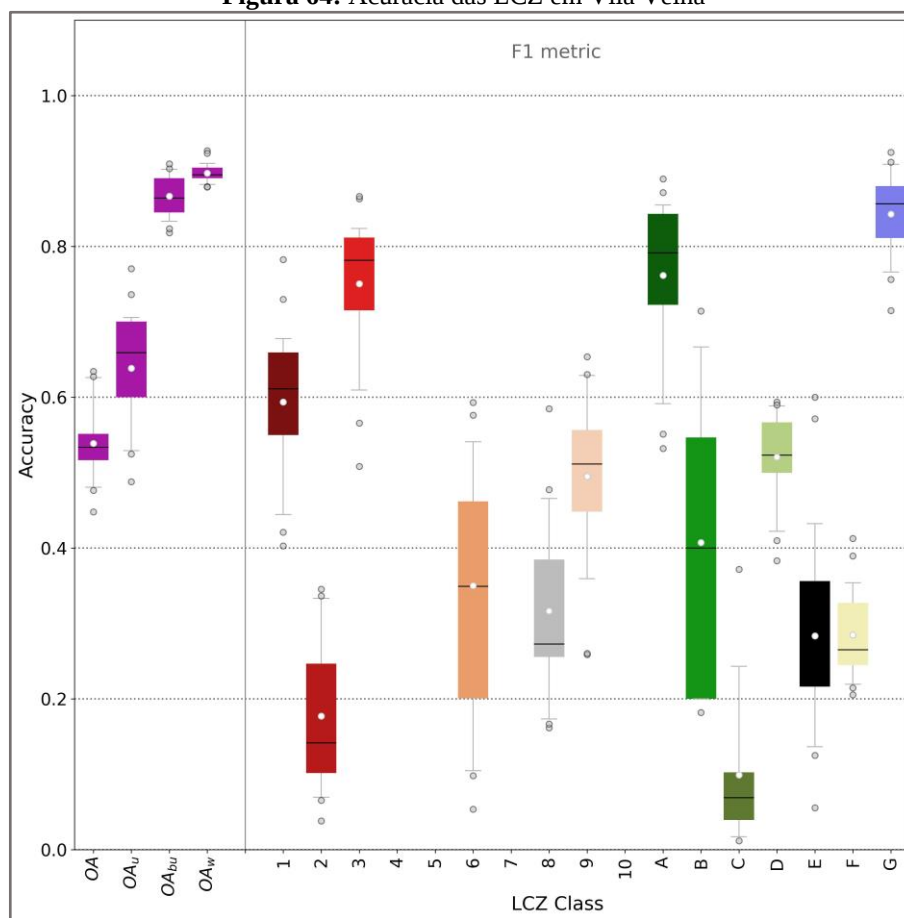


Fonte: *LCZ Generator*. Elaborado pelo autor/2023.

Acurácia das LCZs em Vila Velha

A Figura 64 apresenta o resultado da acurácia do mapeamento das LCZs dentro do *LCZ Generator*. Como pode ser observado, as LCZs 2, 6 e C tiveram o pior desempenho e as LCZs 4, A e G, apresentaram o melhor desempenho. No primeiro caso, o fator explicativo está associado à quantidade de áreas de treinamento, que foram reduzidas, pois em Vila Velha, apenas a faixa costeira da cidade apresenta estruturas acima de 9 pavimentos, que são os bairros Praia da Costa, Praia de Itapoã e Itaparica, que faz com que a acurácia das classes seja menor, porém não as invalida (WERNECK, 2022; DEMUZERE; KITTNER; BECHTEL, 2021).

Resultado semelhante foi encontrado por Wang et al. (2018), para Hong Kong, onde os pesquisadores avaliaram a acurácia da classificação, que foi baixa, ao menos para a LCZ 1, e associaram o baixo desempenho ao fato de as informações acerca da altura dos edifícios serem precárias. No Brasil, Werneck (2022) também encontrou resultados semelhantes para Brasília, onde a LCZ 1 apresentou o pior desempenho, associado ao baixo número de áreas de treinamento.

Figura 64: Acurácia das LCZ em Vila Velha

Fonte: LCZ Generator. Fonte: Elaborado pelo autor/2023.

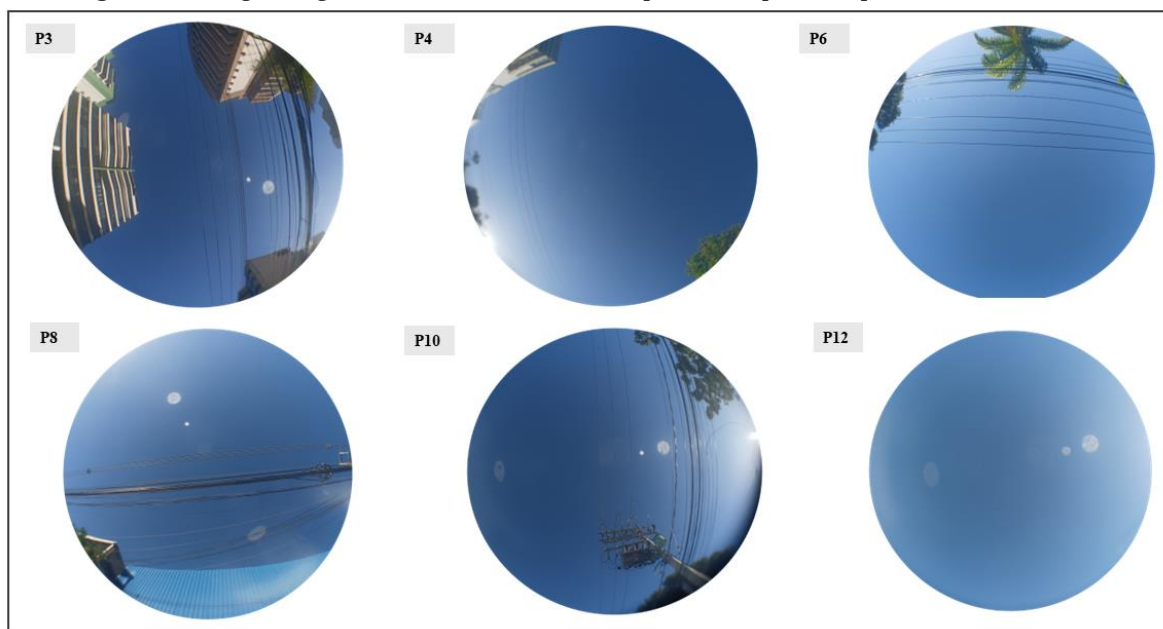
O Sky Wiew Factor em Vila Velha

O *Sky Wiew Factor* (SVF) é uma medida importante para se avaliar a obstrução do céu. Através da aplicação do SVF, é possível perceber a influência das estruturas, sejam urbanas ou naturais, no clima local, seja na modificação do fluxo dos ventos, transporte de calor e radiação (STEWART; OKE, 2012). Para este estudo, foram utilizadas uma câmera de telefone móvel e uma lente “olho de peixe” para telefones móveis, conforme já mencionado no capítulo de materiais e métodos.

Para a avaliação da obstrução do céu, foram registradas imagens de alguns sítios apenas, haja vista que, alguns pontos possuem características urbanas semelhantes, não fazendo jus ao registro de imagens de todos eles. Assim, foram registradas fotografias de, pelo menos seis pontos, o ponto 3, representativo dos pontos 1, 2 e 3, o ponto 4, representativo dos pontos 4 e

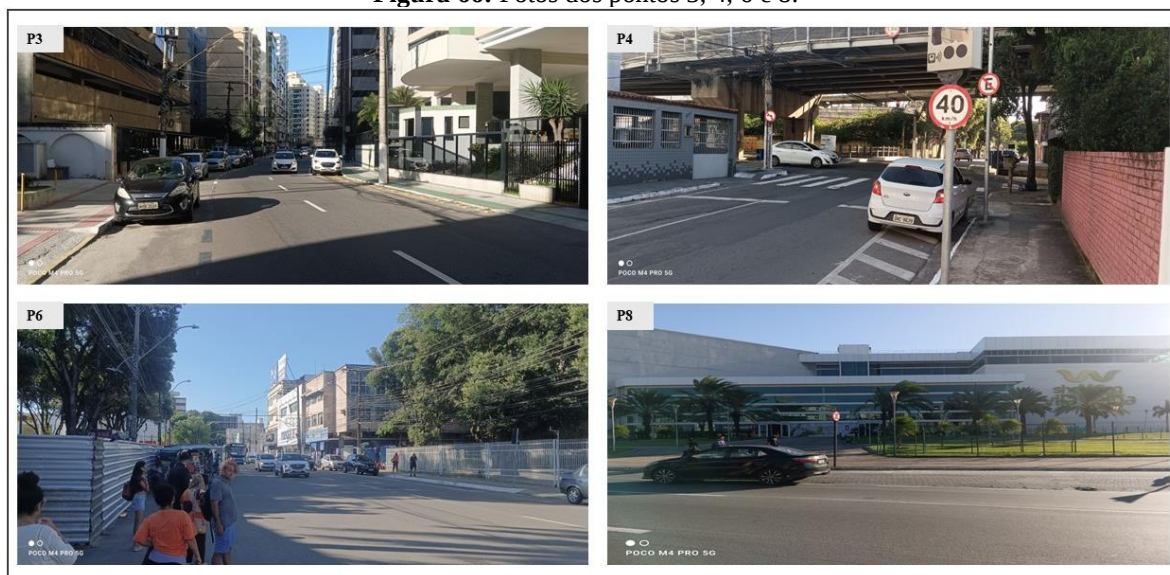
5, do ponto 6, do ponto 8, representativo dos pontos 7, 8 e 9, do ponto 10, representativo dos pontos 10 e 11, e do ponto 12, representativo dos pontos de 12 a 14 (Figura 65 e Figura 66).

Figura 65: Imagens registradas com a lente "olho de peixe" dos pontos representativos das LCZs



Fonte: Foto do autor/2024.

Figura 66: Fotos dos pontos 3, 4, 6 e 8.



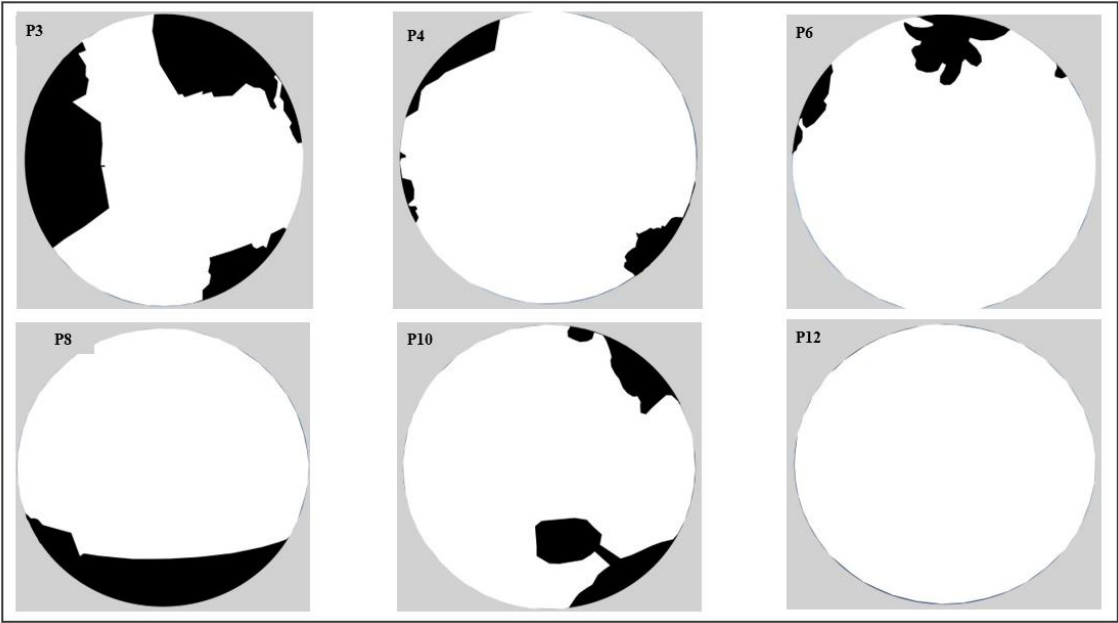
Fonte: Foto do autor/2024.

Diante da avaliação visual, percebe-se que os pontos 3, 4 e 6 possuem mais elementos que obstruem o céu, embora não sejam densos, exceto o P2, localizado no bairro Praia da Costa, o mais densamente ocupado e caracterizado por estruturas, em sua maioria, verticais, ruas

estreitas, formando verdadeiros *canyons* urbanos, que dificultam a circulação dos ventos e a passagem de radiação solar.

Quando se analisa as imagens após o processamento dentro do *software* de cálculo do SVF, é possível perceber que o nível de obstrução do céu de cada ponto, que varia de 0 – 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, menos obstruído é a abóboda do ponto em análise (Figura 67 e Tabela 8).

Figura 67: Gráfico de obstrução do céu dos pontos de coleta



Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

Tabela 8: *Sky View Factor* e as LCZs equivalentes em Vila Velha, ES

Ponto	Descrição LCZ	SVF
3	LCZ1	0,707
4	LCZ1	0,904
6	LCZ2	0,884
8	LCZ3	0,837
10	LCZ3	0,837
12	LCZC	0,905

Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

Ao se avaliar apenas os pontos considerados para os registros fotográficos, embora Vila Velha tenha uma área urbana densa, com edifícios acima de 15 pavimentos, a exemplo de bairros Praia da Costa, Itapoã e Itaparica, ao menos neste experimento, o único ponto que apresentou valor de SVF moderado foi o de número 3, LCZ 1, em Praia da Costa.

Vale destacar que, diferentemente do que ocorre nos pontos 3, 4 e 8, os pontos 6 e 10, embora possuam alguma obstrução, ela não ocorre ao longo de todo o ano, pois nestes sítios há a presença de vegetação, esta, por sua vez, num período do ano, nomeadamente no inverno, perde suas folhas, o que faz com que a obstrução do céu pela vegetação seja temporária, a depender do tipo de vegetação (COLLISCHONN; FERREIRA, 2015).

Do urbano ao rural na mesoescala

Na tentativa de comparar a diferença térmica entre o espaço urbano e o rural, neste subcapítulo será desenvolvida uma análise, mesmo que de forma menos exaustiva, dos dados de temperatura do ar de duas estações automáticas, uma localizada numa área urbana e outra localizada numa área rural, em Vitória e Vila Velha respectivamente. O uso de dados de estações meteorológicas é fundamentado na teoria de Monteiro (1976), que afirma que os dados provindos de estações meteorológicas (à escala mesoclimática), tal qual o clima local, possuem os mesmos fatores geográficos modificadores.

Apesar de haver uma diversidade de trabalhos e metodologias que buscam avaliar os efeitos da urbanização sobre os elementos do clima, a comparação entre o urbano e o rural ainda se constitui como umas das melhores formas de se avaliar a relação entre o urbano e o clima, pois, a partir dessa comparação, é possível perceber a diferença entre as duas superfícies no que se refere a capacidade de armazenar e dissipar calor (AMORIM, 2011; BARBOSA; AMORIM, 2012).

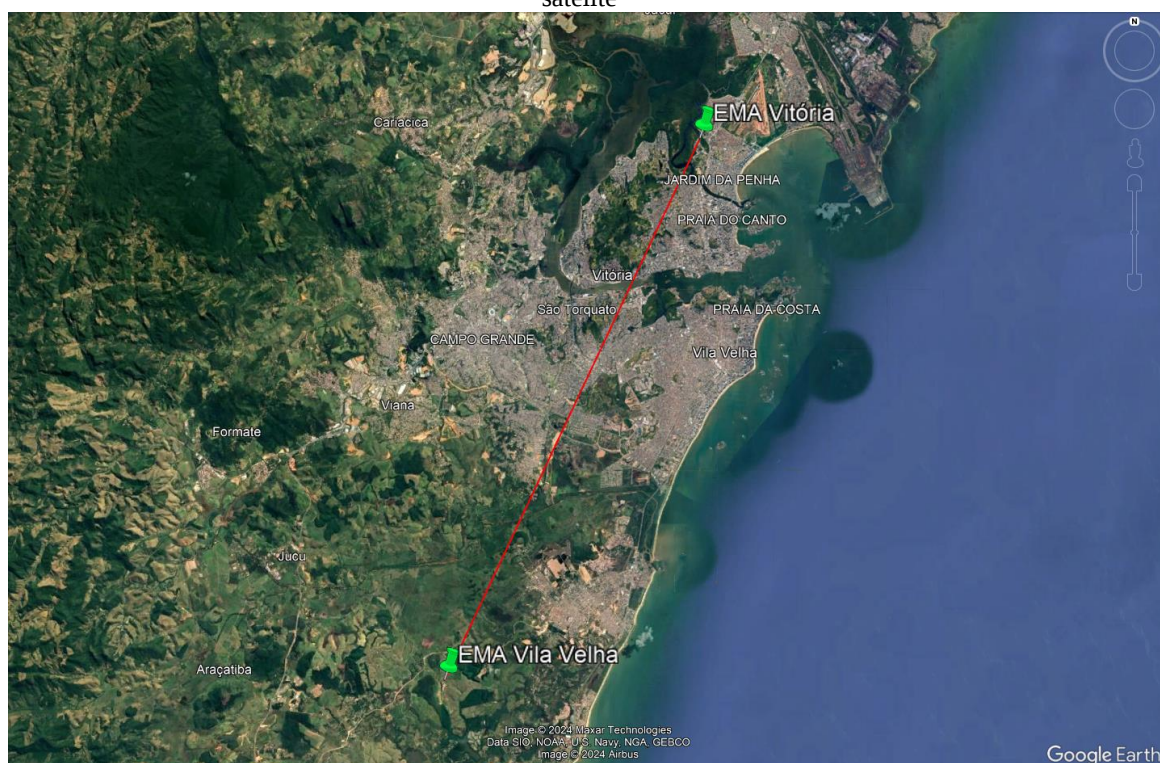
Nessa conjectura, a estação automática de Vitória, sob o domínio do INMET, de código A612, está localizada no *campus* da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no bairro Goiabeiras, município de Vitória, próxima a uma zona densamente urbanizada e a uma das principais vias do município, a avenida Fernando Ferrari, que, ao longo do dia, possui um intenso movimento de veículos e pedestres. Apresenta-se sobre uma condição de relevo plana e altitudes que não ultrapassam os 10 metros e latitude e longitude de 20,27° S, 40,31° L respectivamente (Figura 68).

Para evitar redundâncias, as informações acerca da estação automática de Vila Velha estão referenciadas no capítulo de metodologia, pois essa estação foi utilizada, também, como referência na calibração dos dados de campo. Portanto, não há necessidade de descrevê-la aqui novamente.

Como já foi mencionado, tanto a EMA de Vitória como a EMA de Vila Velha pertencem ao INMET. Contudo, a EMA de Vitória está operante desde o dia 30/10/2006, enquanto a de Vila Velha está em estado operante desde o dia 14/02/2017. Em linha reta, a distância entre as estações é cerca de 25 km (Figura 69).

Figura 68: Localização das EMA de Vitória (à esquerda) e de Vila Velha, ES (à direita)

Fonte: INMET (2024); Google Earth (2024).

Figura 69: Visão panorâmica das estações meteorológicas de Vitória e de Vila Velha sobre a imagem de satélite

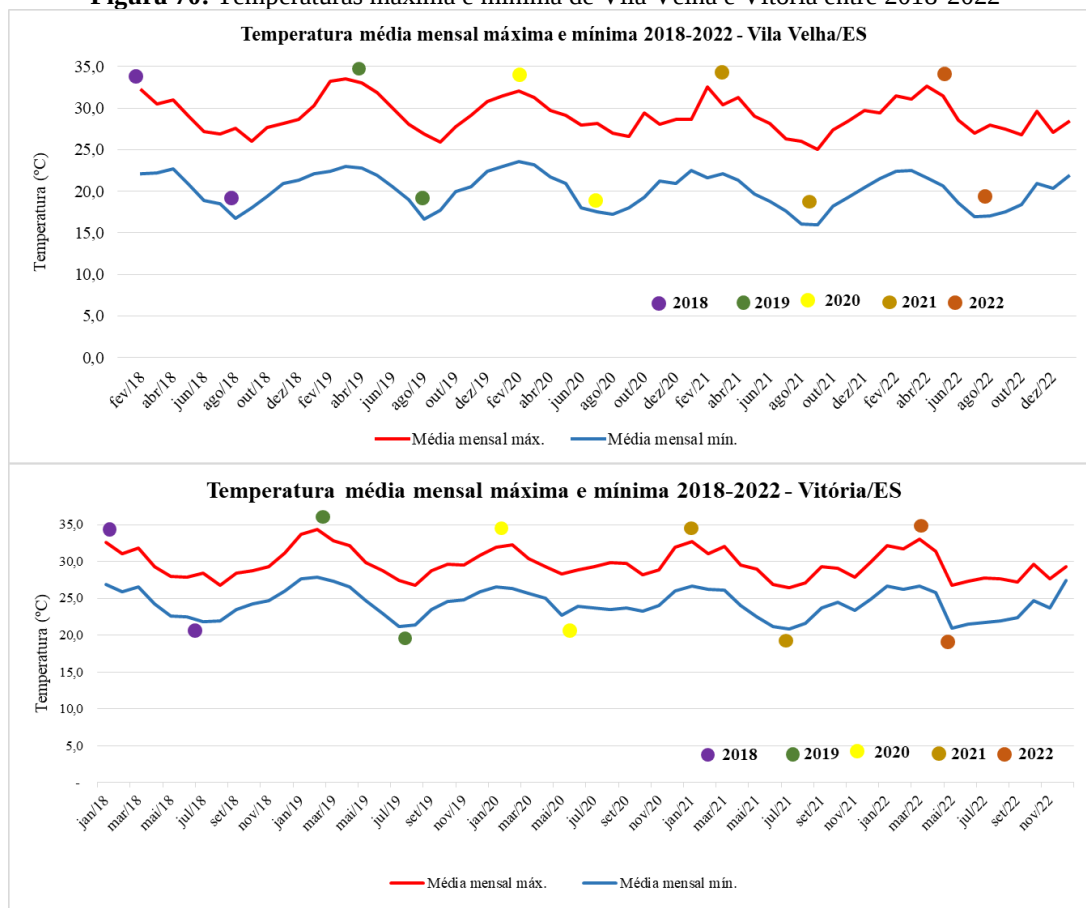
Fonte: INMET (2024); Google Earth (2024).

A Figura 70 apresenta o comportamento termal de Vila Velha e Vitória com base nos dados das estações automáticas. A série histórica refere-se ao mesmo período de avaliação da temperatura de superfície, ou seja, de 2018 a 2022. Para essa etapa, foram avaliadas as temperaturas máxima e mínima.

A comparação entre as duas estações permite aferir que, tanto Vitória, como Vila Velha, sofrem influência direta do entorno onde estão inseridas. De maneira geral, as temperaturas máximas se comportaram de modo semelhante nas duas estações, mas sempre com Vitória

apresentando valores um pouco mais elevados. A diferença mais significativa, entretanto, é percebida na linha das temperaturas mínimas. Vitória, por se tratar de uma área mais urbanizada, apresentou valores mais elevados.

Figura 70: Temperaturas máxima e mínima de Vila Velha e Vitória entre 2018-2022



Fonte: INMET (2023).

Em dezembro e janeiro, por exemplo, a temperatura mínima em Vila Velha foi de 21°C, enquanto em Vitória esse valor ultrapassou os 25°C, uma diferença térmica de 4°C. Essa diferença pode ser explicada em função da localização geográfica, pois, como já foi mencionado, a estação automática de Vitória está situada em uma zona urbanizada e bastante pavimentada, com fluxos de veículos e pessoas constantes ao longo do dia, especificamente nos períodos de pico, entre às 7h e 9h e entre às 17h e 19h, enquanto a estação de Vila Velha encontra-se em uma zona basicamente rural.

Os pontos móveis e o clima local em Vila Velha, ES

A Geografia do Clima, a Climatologia Geográfica e o Clima Urbano, independente do conceito a ser adotado, têm se beneficiado muito em função da utilização de diversos métodos de medição *in loco* de dados da atmosfera, principalmente da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Dentre os métodos de medição de elementos da atmosfera, podem ser citadas as aferições por pontos fixos e pontos móveis, que consiste em monitorizar os elementos da atmosfera, especificamente temperatura e umidade relativa do ar, por meio de aparelhos de medição, a exemplo do *Data Logger* (pontos fixos) e termo higrômetro (pontos móveis). Nesta pesquisa, conforme já mencionado no capítulo referente à metodologia, adotou-se a técnica dos transectos móveis, amplamente utilizada em trabalhos de clima urbano, tanto em escala nacional como internacional, a exemplo de Cardoso; Amorim (2017); Neto (2019); García (1995), dentre outros.

Os trabalhos de campo ocorreram em dias quentes, considerando o período entre fevereiro e abril de 2024. O transecto teve uma duração máxima de uma hora e ocorreu sempre às 15:00 e às 06:00 ou 06:30. Foram considerados 14 pontos representativos das LCZ em um transecto de aproximadamente 15 km, de sentido norte-sul, no município de Vila Velha.

A Tabela 9 apresenta os pontos do transecto e os pares de coordenadas UTM de cada um, bem como uma descrição associada à LCZ correspondente. Por conta de limitação estrutural e financeira, foi utilizado apenas um carro, com duas pessoas, um motorista e um auxiliar, o que justifica fazer apenas um transecto.

Tabela 9: Coordenadas UTM e descrição das LCZ de cada ponto de monitoramento

Pontos	X	Y	Descrição (LCZ)
P1	367026.23	7751488.53	LCZ 1
P2	366936.84	7751539.74	LCZ1
P3	366661.73	7751346.98	LCZ1
P4	365968.86	7750991.96	LCZ 2
P5	365244.38	7751080.73	LCZ 2
P6	364998.43	7750697.69	LCZ 3
P7	364879.65	7749857.51	LCZ 3
P8	364781.49	7749084.04	LCZ 3
P9	364649.18	7748427.20	LCZ 2
P10	363993.19	7747592.55	LCZ 2
P11	363003.99	7745509.79	LCZ 6
P12	362442.68	7744352.03	LCZ 5
P13	361947.77	7743729.37	LCZ A
P14	361492.73	7742490.50	LCZ A

Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

A Tabela 10 apresenta uma caracterização geral dos trabalhos de campo, que ocorreram em cinco episódios, entre os meses de fevereiro e abril de 2024. Na Tabela 10, são apresentadas as temperaturas máximas e mínimas, bem como as amplitudes térmicas associadas aos sistemas atmosféricos atuantes durante os dias das aferições.

Tabela 10: Caracterização geral da temperatura do ar ao longo dos transectos

Episódios	Temp. máx.	Temp. min.	AT	Sistema Atmosférico
1	32,8	28,7	4,1	Sistema de baixa pressão/Depressão subtropical
2	32,4	30,6	1,8	Sistema de baixa pressão
3	32,5	28,2	4,3	Anticiclone/Frente Fria
4	30,3	26,8	3,5	Anticiclone
5	25,1	23,7	1,4	Anticiclone
Média geral	30,2	27,5	2,7	

Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

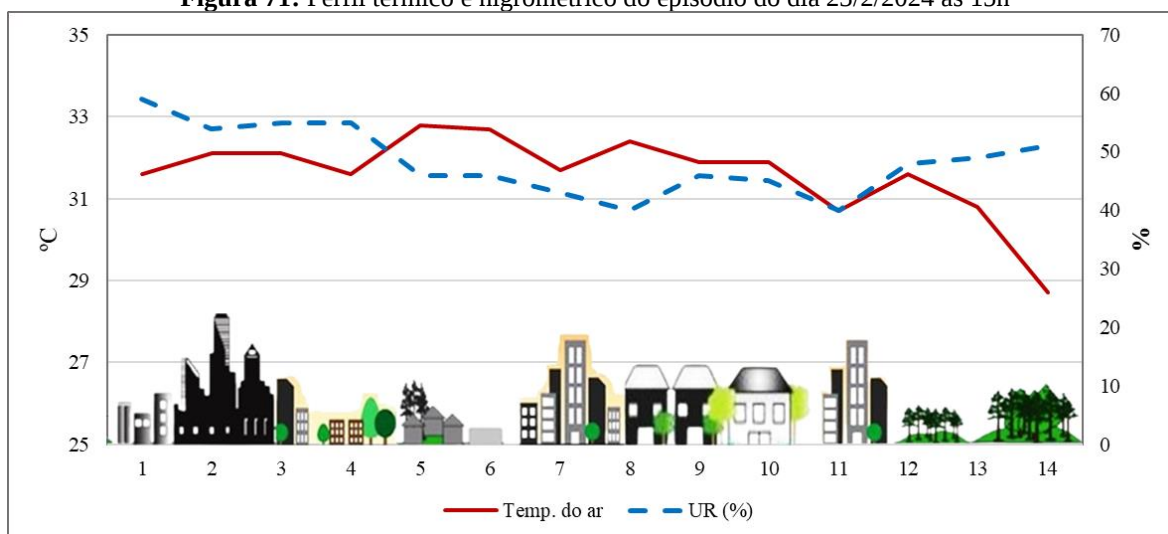
Episódios dos dias 23 e 24 de fevereiro de 2024

A primeira forma de analisar os dados medidos em campo é por meio de perfis térmico-higrométricos elaborados no *software* Excel. Nas abscissas, do lado esquerdo, foram dispostos os valores de temperatura do ar e, do lado direito, os valores da umidade do ar. Nas ordenadas, foram dispostos os pontos de monitorização referentes aos LCZ. Também foi gerado um perfil ilustrativo do uso e cobertura do solo, a fim de perceber a relação da temperatura do ar com a superfície subjacente.

A Figura 71 apresenta os resultados do primeiro episódio de dias quentes, em 23 de fevereiro de 2024, às 15:00. Vale ressaltar que, antes de iniciar o trajeto, é importante que se faça algumas aferições testes, com o intuito de verificar o desempenho do termo-higrômetro, o que fora feito um dia antes e 30 minutos antes do início do trajeto. No primeiro dia, 23/2/2024, às 15:00, denominado como um campo piloto, foram obtidos os valores da temperatura instantânea.

De acordo com os dados do INMET (2024), com base na estação automática de Vila Velha, as temperaturas mínima e máxima para o dia/hora da aferição eram de 29,2°C e 30,3°C respectivamente, com umidade relativa do ar em torno de 70% e ventos de velocidade e direção de 6,2 m/s e nordeste nessa ordem.

Antes de iniciar a discussão, é importante ressaltar que, conforme afirma Jardim (2010), as diferenças de temperatura que ocorrem dentro das cidades são resultado de uma série de fatores para além da urbanização, a exemplo da altitude, da exposição e da orientação das vertentes, dentre outros. Assim, tenta-se perceber as diferenças térmicas encontradas nesta pesquisa a partir desse prisma, o que é possível quando se trabalha com as LCZ. Contudo, cada um dos pontos de medição representativos de uma LCZ constitui-se em climas locais, tendo como fator de modificação das características do clima local o uso e cobertura do solo, pois a topografia não é tão relevante, apesar de importante, pois se trata de um município que não possui altitudes elevadas, à exceção de alguns pontos com altitudes modestas – caso do Morro do Moreno, localizado na porção Nordeste de Vila Velha, com, pelo menos, 380 metros.

Figura 71: Perfil térmico e higrométrico do episódio do dia 23/2/2024 às 15h

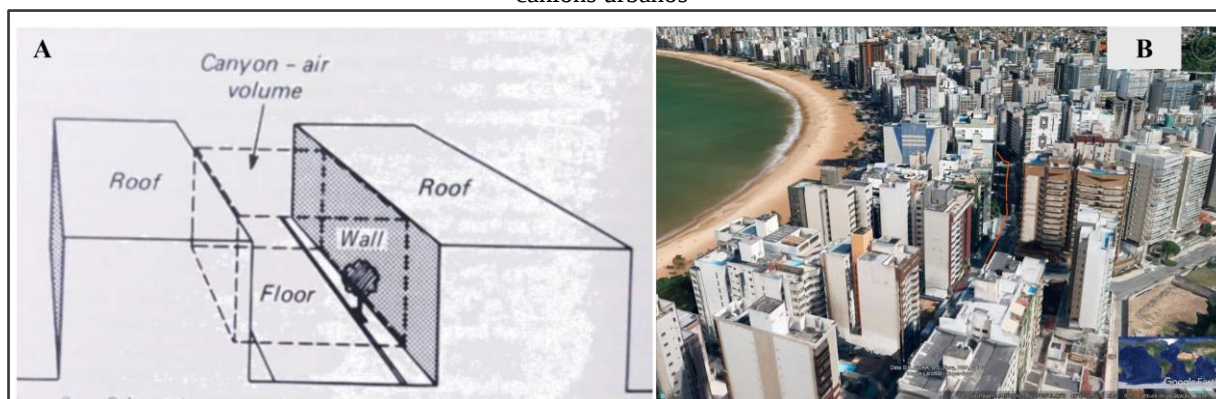
Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

A partir da avaliação visual da Figura 71, pode-se dizer que a cidade exerce influência significativa na variação de temperatura e umidade do ar. Conforme se observa, foram aferidos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar em 14 pontos representativos das LCZ, das áreas compactas de 10 ou mais pavimentos (Praia da Costa – P1-P5) às áreas naturais (Barra do Jucu – P14). No episódio do dia 23/2/2024, o P1, P2, P3, P5 e P6 registraram as maiores temperaturas, acima dos 32°C para o P1, por exemplo, conquanto que os pontos P12, P13 e P14 registraram os menores valores, abaixo de 29°C. Com amplitude térmica de 4,1°C, nesse episódio foi possível perceber que as temperaturas são altamente influenciadas pelo uso e cobertura do solo da cidade. De maneira geral, as áreas mais densamente ocupadas e pavimentadas e impermeabilizadas apresentaram valores de temperatura do ar acima dos 30°C, a exemplo dos bairros Praia da Costa, Centro de Vila Velha e Itaparica, caracterizados pelas zonas LCZ1 a LCZ3. A umidade relativa do ar não sofreu variação significativa, pelo que a área de estudo refere-se a um município localizado numa zona costeira, portanto recebe influência direta de massas de ar úmidas provindas do oceano Atlântico, em especial dos ventos de nordeste e sudeste.

O bairro Praia da Costa, por exemplo, é considerado o bairro que possui as estruturas mais elevadas do município, como já mencionado no capítulo das LCZ, com prédios próximos uns dos outros, ruas relativamente estreitas que, de certo modo, dificulta a circulação dos ventos, formando verdadeiros “*urban canyons*”, que, conforme Oke (1978), consistem em estruturas de três dimensões com paredes, chão e outros três lados (Figura 72). Contudo, observa-se, nos

pontos 1-4, mais próximos do litoral, temperaturas do ar mais baixas em relação aos pontos mais distantes, por exemplo dos pontos 5-7.

Figura 72: Modelo de *urban canyon* (A) e trecho do transecto, no bairro Praia da Costa (B), evidenciando cânions urbanos



Fonte: Google Earth/2024; Oke (1978); organizado pelo autor/2024.

Observa-se na Figura 71 uma queda relativamente acentuada da temperatura entre o ponto 8 e 10. A explicação para isso pode estar relacionada com as características da superfície, uma vez que o ar se aquece a partir da superfície, conforme apontam Jardim *et al.* (2019). O ponto 8 está numa condição urbana mais densa, basicamente em frente ao Shopping Vila Velha, na Rodovia do Sol – local de intenso fluxo de pessoas, carros e edificações altas, e materiais de construções metálicos (alto aquecimento) e acima de 5 pavimentos, o que dificulta a circulação do ar, responsável pelo arrefecimento da temperatura do ar. Por outro lado, o ponto 9 encontra-se numa condição diferente, pois localiza-se em uma área próxima ao oceano, em Itaparica, ou seja, sujeita à ação dos ventos úmidos provindos do oceano (brisa marítima), responsáveis pela atenuação do calor.

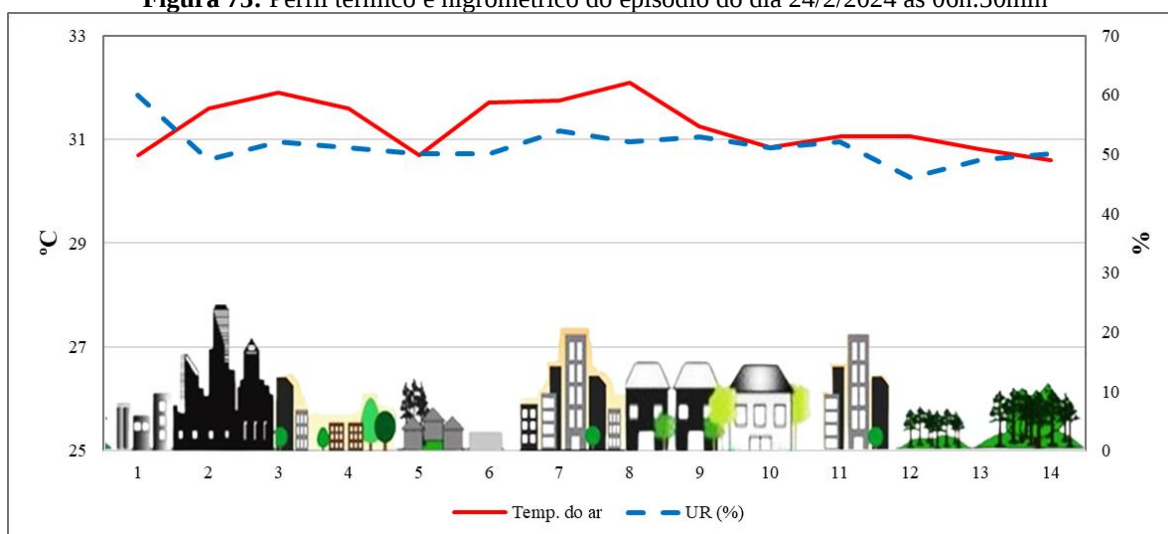
O segundo episódio ocorreu em 24/2/2024, por volta das 06:00. Assim como no primeiro episódio, o percurso todo foi feito em uma hora, das 6:00 às 7:00. De acordo com o INMET (2024), considerando os dados da estação automática de Vila Velha, a temperatura mínima do dia/hora da aferição era de 23,9°C e a máxima 24,2°C, a umidade relativa do ar estava em torno dos 97%, com ventos de velocidade e direção de 2,5 m/s e noroeste respectivamente.

Através da análise da Figura 73, é possível perceber uma variação significativa da temperatura do ar, de 32,4°C no ponto 8, densamente urbanizado, e 29,2°C, com amplitude térmica de 3,2°C. Esse ponto, embora densamente urbanizado, está localizado mais próximo ao litoral, logo está sujeito à ação dos ventos provindos do oceano. Apesar de os pontos mencionados

serem caracterizados por superfícies urbanizadas, os pontos P1 ao P3 situam-se em contexto urbano caracterizado por edifícios compactos de 10 ou mais pavimentos, no bairro Praia da Costa principalmente, densamente pavimentado, impermeabilizado e com pouca presença de vegetação e céu altamente obstruído, o que dificulta a circulação do ar e aumenta o aquecimento superficial, elevando também a temperatura do ar. Por outro lado, o P4, por exemplo, é caracterizado por estruturas mais baixas e com alguma presença de vegetação, ruas mais largas e, pelo menos no dia/hora da aferição, com baixo fluxo de veículos e pessoas.

A partir do P10 (LCZ 3), localizado no bairro Itaparica, percebe-se uma ligeira diminuição da temperatura, possivelmente influenciada pelas características do uso e cobertura da terra nessa zona, já que, no bairro citado, as construções são mais baixas e há uma presença marcante de áreas verdes, bem como a proximidade com o oceano. No dia 23/2, a temperatura média foi de aproximadamente 33°C. Embora os pontos P10 ao P12 não estejam em zonas de edifícios altos e compactos, de 10 pavimentos ou mais, há áreas significativas de construções de 3 a 9 pavimentos, como é o caso das Etapas em Itaparica, ao longo da avenida Santa Leopoldina, faculdades (Novo Milênio), ruas totalmente pavimentadas com asfalto, mas com a presença de áreas verdes e corpos d'água, que possuem um papel termorregulador das temperaturas intraurbanas (GUILHERME *et al.*, 2020). No entanto, na orla de Itaparica, é possível perceber estruturas mais elevadas, acima de 10 pavimentos, o que dificulta a circulação dos ventos provindos do Oceano Atlântico (Figura 74).

Figura 73: Perfil térmico e higrométrico do episódio do dia 24/2/2024 às 06h:30min



Fonte: Organizado pelo autor/2024.

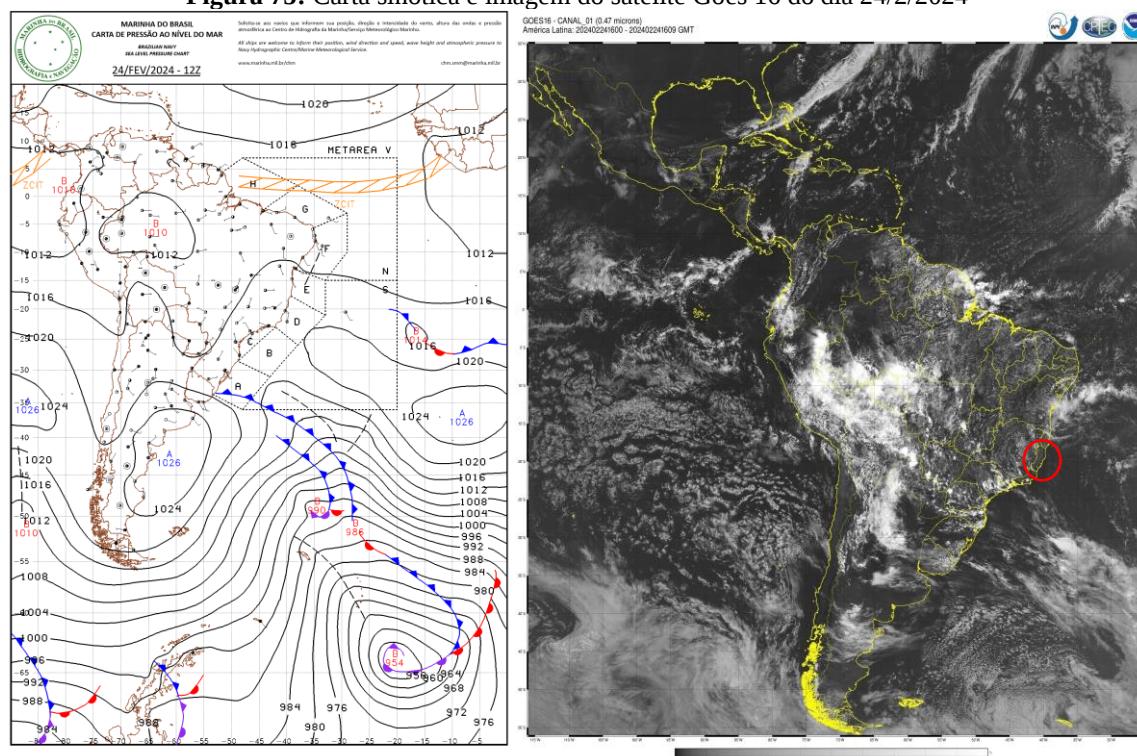
Figura 74: Recorte do bairro Itaparica destacando os edifícios elevados próximos à faixa costeira



Fonte: Google Earth (2024); organizado pelo autor/2024.

Conforme pode ser observado na carta sinótica²² e na imagem de satélite do dia 24/2/2024, às 12:00 GMT, às 09:00 da manhã, horário de Brasília, o Espírito Santo, e consequentemente a área de estudo, estava sob a influência de uma zona de alta pressão, ou anticiclone, o que justifica a ausência de nebulosidade e alta temperatura do ar, uma vez que os sistemas de alta pressão, geralmente, estão associados a bom tempo, conforme pode ser observado na imagem de satélite e na carta sinótica (Figura 75).

²² Na carta sinótica, ou carta de tempo, o estado do Espírito Santo está assinalado com a letra D.

Figura 75: Carta sinótica e imagem do satélite Goes 16 do dia 24/2/2024

Fonte: Marinha do Brasil (2024); CPTEC (2024). Organizado pelo autor/2024.

○ Espírito Santo

Episódio do dia 06 de março de 2024

No dia/hora da coleta do episódio 3, às 15:00, a estação automática de Vila Velha registrou 30,4°C de temperatura do ar máxima e 29,1 °C de temperatura do ar mínima, com umidade relativa do ar de 56% e velocidade e direção do vento de 2,6 m/s e sul-sudeste respectivamente. Nesse episódio, a temperatura máxima registrada foi de 32,4°C no P6, e a mínima foi de 28,3°C no P14, resultando em uma amplitude térmica de 4,1°C. Ressalta-se que, embora pouco, no dia da aferição, de acordo com o INMET, choveu cerca de 3,5mm, o que pode ter influenciado os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Contudo, apesar das características da atmosfera, ao menos visualmente, foi percebida uma variação de temperatura do ar ao longo do trajeto, designadamente entre os pontos 1, 2 e 3 e os pontos 12 a 14, conforme se observa na Figura 76.

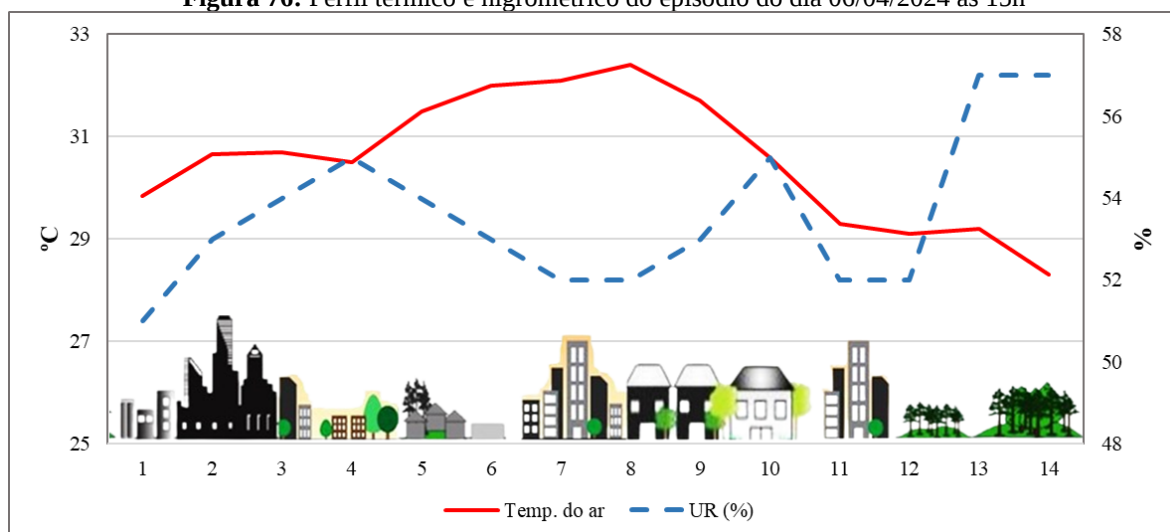
Nesse episódio, a umidade relativa do ar foi a que sofreu as alterações mais significativas, saindo de 51% no ponto 1 (LCZ) para 57 % nos pontos 12-14 (LCZ C), ou seja, em áreas

menos pavimentadas e com mais áreas verdes²³. A LCZ1, conforme já discutido, refere-se a zona densamente construída, com edificações acima de 10 ou acima de 15 pavimentos, e a LCZ2 refere-se a edificações de 3 a 9 pavimentos. O ponto 5, ainda que seja caracterizado por construções densas ao redor, especificamente no bairro Centro, é possível perceber significativas áreas cobertas por vegetação, que, dado ao processo de evapotranspiração, libera umidade para atmosfera e ajuda na atenuação do calor nesta zona, que no dia/hora da aferição, registrou temperatura do ar abaixo dos 28°C e umidade relativa do ar em 54%.

Nesse dia/hora, notou-se uma variação significativa da umidade relativa do ar. Os pontos de 1 a 3, apesar de mais próximos da costa, apresentaram valores de umidade relativa do ar mais baixos do que os pontos 4 e 5. Isso, possivelmente, é efeito da vegetação, pois os pontos 4 e 5 apresentam maior aporte de vegetação, que libera umidade para atmosfera por processo de evapotranspiração e contribui para atenuação do calor nessas zonas. Ainda, por ser um sábado, os fluxos de pessoas e veículos eram menores, o que possivelmente tenha contribuído para a redução da temperatura do ar nestes pontos.

Os pontos de 6-11 novamente apresentaram valores de umidade mais baixos, comportamento que só foi alterado a partir do ponto 13, mais próximo do litoral e menos urbanizado, com áreas cobertas por vegetação mais abundante. Os pontos 5-9 apresentaram temperaturas do ar mais elevadas. Embora as estruturas das edificações sejam mais baixas em relação aos bairros próximos à linha de costa (Praia da Costa, Itapoã e Itaparica), os bairros localizados nesses pontos são caracterizados por um intenso fluxo de pessoas, automóveis e atividades econômicas das mais diversificadas. Para além disso, notadamente, próximo ao Shopping Vila Velha, é possível perceber diversas construções à base de metal e alumínio, colaborando para que essas áreas sejam mais quentes.

²³ De acordo com Ayoade (2006), nas regiões equatoriais e tropicais, como é o caso da área de estudo, em janeiro, sobretudo, o conteúdo de vapor d'água na atmosfera é máximo, principalmente sobre os oceanos. Além disso, em função da grande variação diurna da temperatura do ar nestas zonas, sobretudo em zonas costeiras, a umidade relativa do ar tende a sofrer variações acentuadas ao longo do dia e da noite muita das vezes.

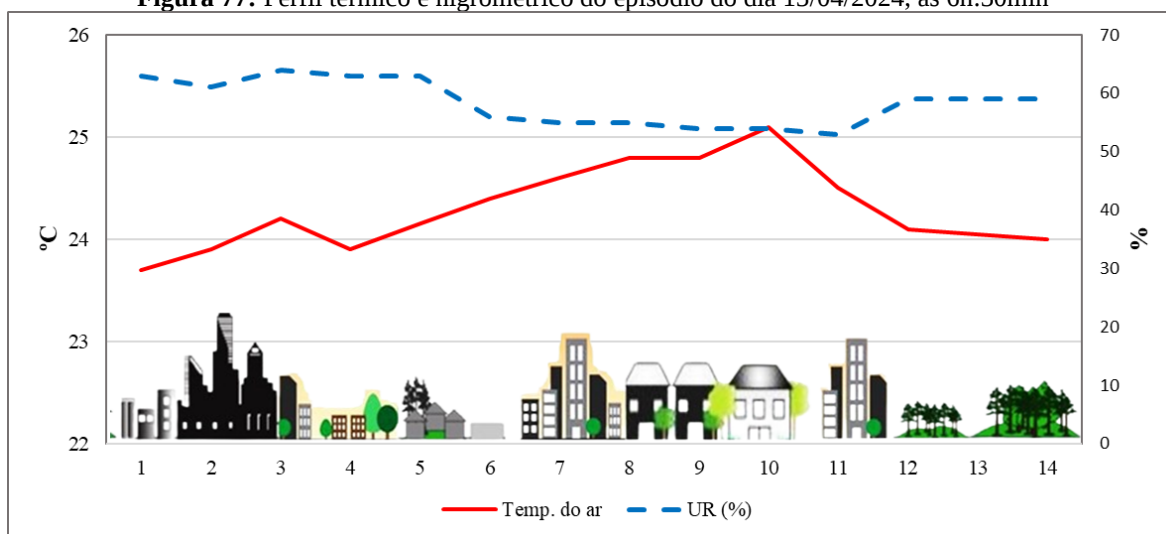
Figura 76: Perfil térmico e higrométrico do episódio do dia 06/04/2024 às 15h

Fonte: Organizado pelo autor/2024.

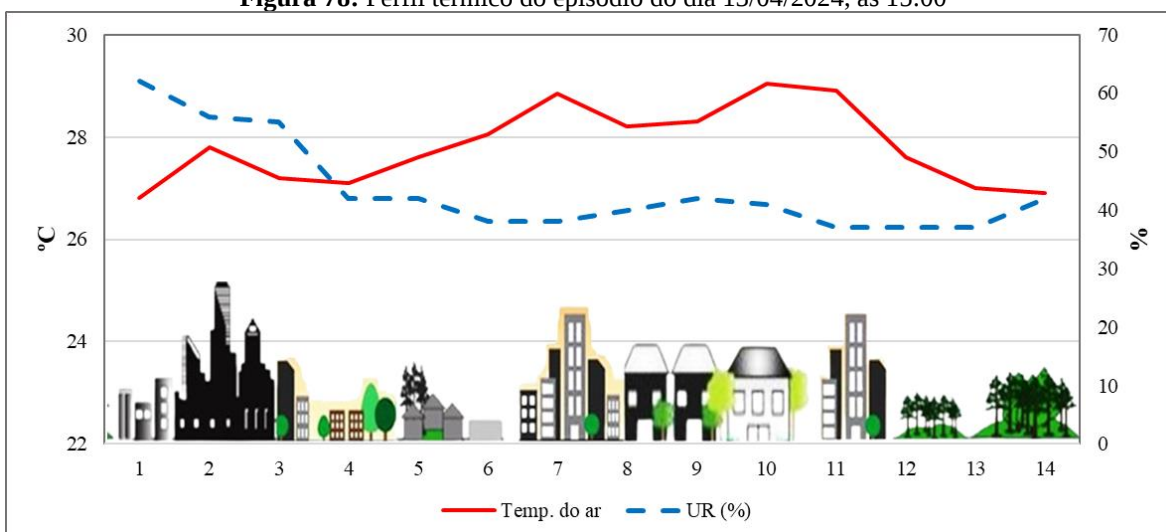
Episódio do dia 13 de março de 2024

No episódio em questão, foram aferidos dados em dois momentos distintos, às 6:30 e às 15:00. De acordo com os dados do INMET, no horário das 6:00, às 9:00 GMT, as temperaturas máxima e mínima registradas foram de 22,9 e 22,7 °C respectivamente, com umidade relativa do ar em torno de 97% e velocidade e direção do vento de 1,7m/s e noroeste nessa ordem. No momento das 15:00, a estação automática de Vila Velha registrou temperaturas máxima e mínima de 30,6 e 29,3 °C na devida ordem, com umidade relativa do ar em torno dos 58% e velocidade e direção do vento de 1,5 m/s e leste respectivamente.

As Figura 77 e Figura 78 apresentam o perfil térmico e higrométrico do dia 13/04/2024, às 06:30h e às 15:00. Conforme se observa, no horário das 06:30, os pontos de 1 a 3, representados pelas LCZ1 e LCZ2, apresentaram temperaturas mais baixas, 23,7°C-26,8°C em relação ao centro de Vila Velha, que marca de 24,2°C-27,2°C. Embora o bairro Centro seja caracterizado pela presença marcante de vegetação, dada a distância do litoral, é possível inferir que nesse sítio a dissipação do calor foi mais lenta, pois, nos pontos 1 a 3, considerando a proximidade do Oceano Atlântico (sujeitos a ventos de sudeste e nordeste, úmidos e frescos), o ar tende a ser menos quente, embora a superfície seja densamente ocupada e impermeabilizada.

Figura 77: Perfil térmico e higrométrico do episódio do dia 13/04/2024, às 6h:30min

Fonte: Organizado pelo autor/2024.

Figura 78: Perfil térmico do episódio do dia 13/04/2024, às 15:00

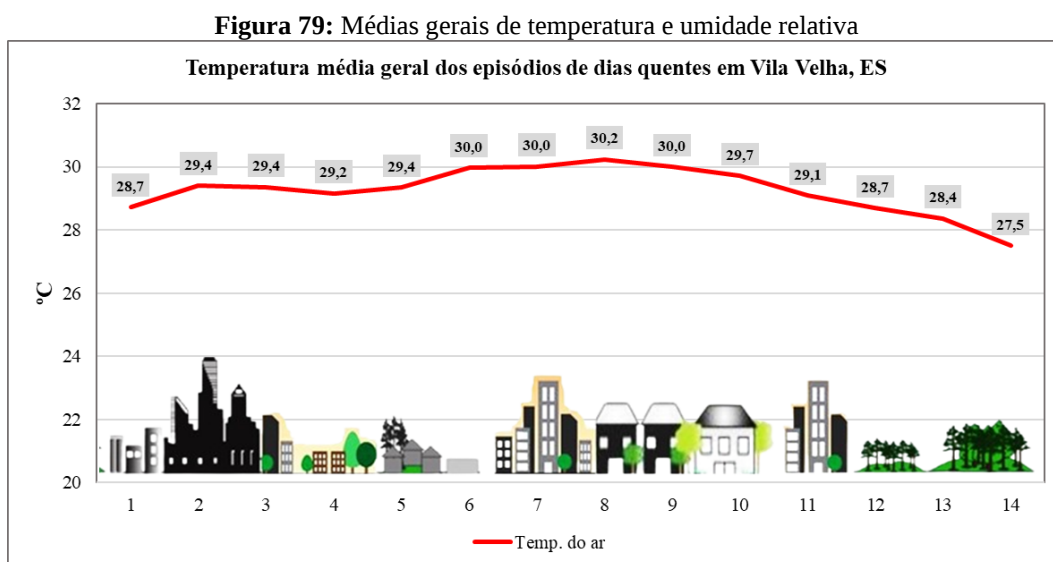
Fonte: Organizado pelo autor/2024.

Avaliação das médias térmicas gerais

A fim de perceber o comportamento geral da temperatura ao longo de todos os episódios, foi gerado um gráfico das médias de temperatura do ar (Figura 79). Visualmente, percebe-se que os pontos mais próximos da costa e em zonas mais rurais apresentam temperaturas médias mais baixas, comparando-os com os pontos em áreas mais centrais. Isso corrobora com as principais teorias do clima urbano que afirmam que zonas mais próximas ao litoral, influenciadas pelas brisas marítimas e ventos mais úmidos, tendem a apresentar temperaturas mais baixas em relação aos sítios mais distantes do litoral, caso dos bairros Centro e Glória. As áreas menos urbanizadas e com a presença de vegetação, pontos 12 a 14, também

apresentaram valor médio de temperatura do ar mais baixo, evidenciando, mais uma vez, a importância de espaços verdes em áreas urbanas e de corpos d'água, haja vista que estes dois estão mais próximos do baixo curso do rio Jucu, muito importante no abastecimento do município e que desagua no oceano Atlântico (Figura 80).

Como pode ser observado, a maior temperatura registrada foi de 30,2°C e a menor foi de 27,5°C, com amplitude térmica de 2,7°C. Na média geral, as temperaturas mais elevadas foram observadas nas áreas mais densamente ocupadas e distantes do litoral, tal como no bairro Centro. Para além da urbanização, impermeabilização, pavimentação, dentre outras coisas, o bairro Centro de Vila Velha não sofreu influência significativa das brisas, como é o caso dos bairros mais próximos da costa, tais como Praia da Costa, Itapoã e Itaparica.



Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

Figura 80: Paisagem em torno dos pontos 12 e 13

Fonte: Google Earth (2024).

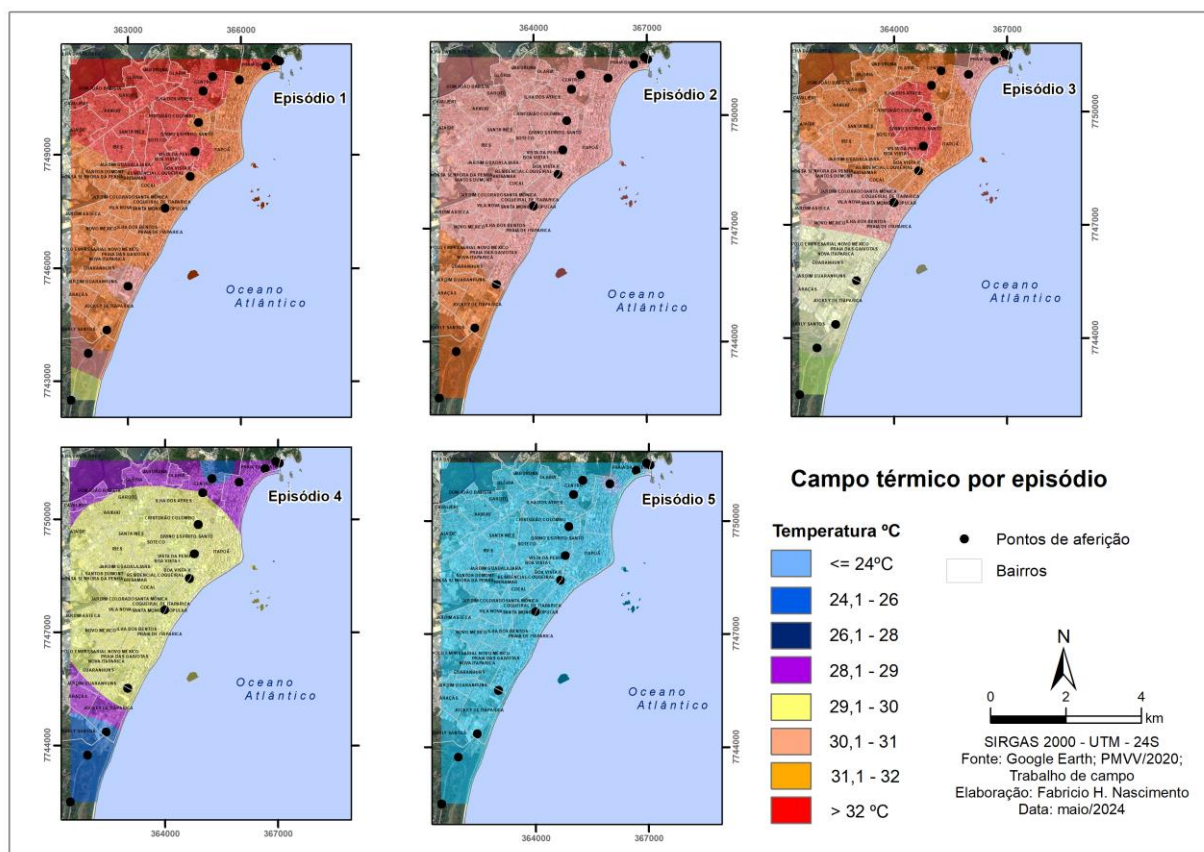
Análise espacial dos dados microclimáticos

Na tentativa de avaliar os dados aferidos ao longo dos transectos, foi gerado um mapa de distribuição da temperatura por meio da interpolação. A interpolação de dados climáticos é muito utilizada em estudos de climatologia geográfica para estimar valores de variáveis atmosféricas nos quais não se têm dados tal como temperatura do ar, umidade e precipitação. Há diversos métodos de interpolação existentes, como, por exemplo, o Inverso do Quadrado da Distância Ponderada (IDW), a Interpolação Polinomial e a Krigagem; esse último considerado um método de interpolação avançado que, além de considerar a distância entre os pontos, leva em conta também a variabilidade espacial deles, justificando sua escolha neste estudo (AMORIM, 2019; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A Figura 81 refere-se a um mapa síntese dos episódios 1 ao 5. Sobre põe-se ao mapa os limites dos bairros e os pontos de monitorização, de norte a sul, compreendendo os bairros de Praia da Costa a Barra do Jucu. A foto aérea de fundo ajuda a perceber a correlação das faixas de temperatura em função do uso e cobertura do solo. Dessa forma, há uma tendência

de que quanto mais impermeabilizado for o solo, mais elevada é a temperatura do ar, principalmente nas áreas mais distantes da costa, ao abrigo das brisas marítimas.

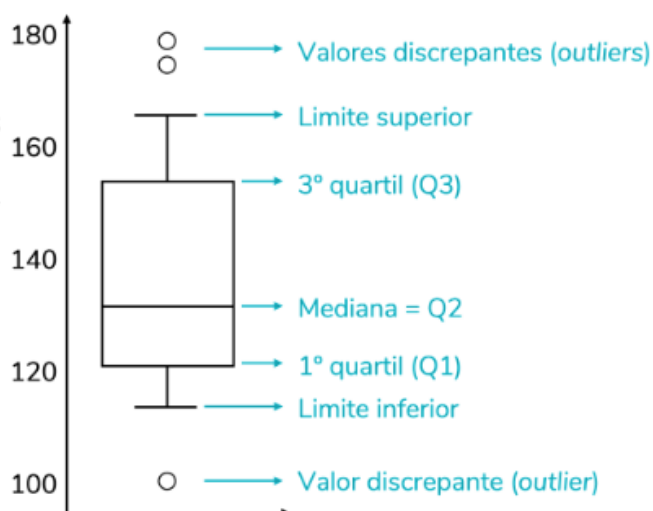
Figura 81: Mapa síntese do campo térmico por episódio



Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

Análise descritiva dos dados microclimáticos

Os dados de campo foram analisados por meio dos gráficos de *boxplot*, ou diagrama de caixa. De acordo com Werneck (2022), esse tipo de gráfico pode ser utilizado para se comparar grupos de dados e, neste caso, dados de temperatura do ar. O *boxplot* exibe, em sua estrutura, as medidas de tendência central não paramétrica, ou mediana, a dispersão (quartis), a forma da distribuição ou simetria de um conjunto de dados. Em suma, o gráfico de caixa é construído da seguinte forma: o primeiro quartil (Q1), a mediana (quartil 2), o terceiro quartil (Q3) e o valor máximo) (Figura 82) (WERNECK, 2022).

Figura 82: Elementos que compõem um *boxplot*

Fonte: <https://fernandafperes.com.br/blog/interpretacao-boxplot/>. Acesso em 29 de maio 2024.

O *boxplot* ajuda a perceber a distribuição de um conjunto de dados, que podem ser de poucos dias, caso deste estudo, ou de vários anos. O valor da mediana (Q2), por exemplo, divide os dados ao meio, isto é, metade dos dados está abaixo do valor da mediana e outra metade está acima. O Q1 refere-se ao valor do qual 25% da amostra encontra-se abaixo dele ou é igual, enquanto o Q3 é o valor ao qual 75% dos valores da amostra são iguais ou menores que o valor encontrado.

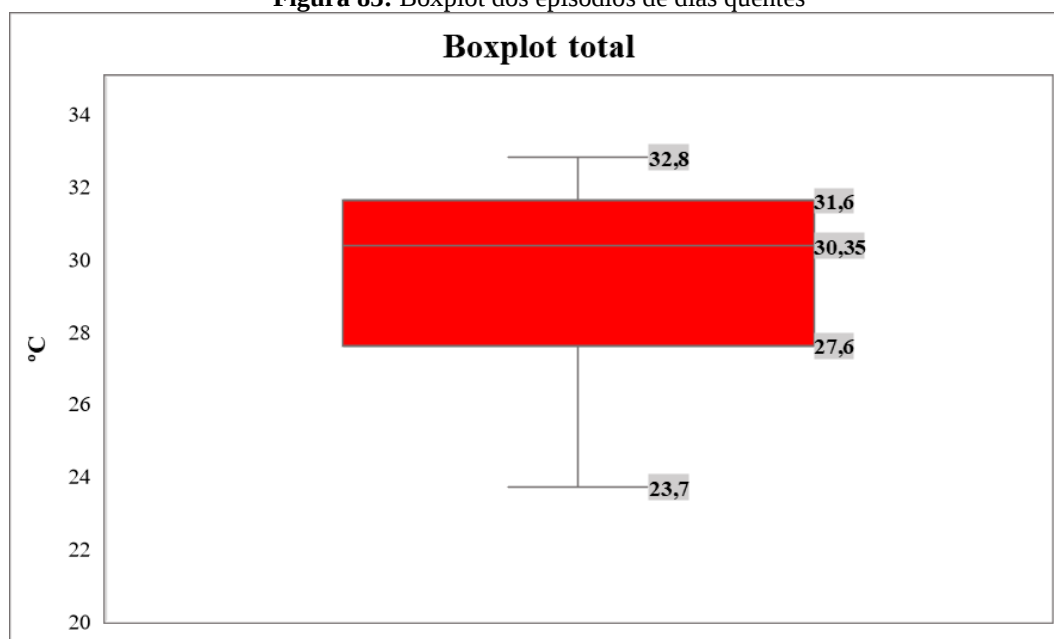
A Figura 83 demonstra um *boxplot* total dos episódios de dias quentes. Conforme pode ser observado, a temperatura do ar variou de forma significativa. Ao longo dos episódios, a temperatura máxima registrada foi de 32,8°C e a mínima de 23,7°C, com amplitude térmica de 9,1°C.

O primeiro quartil da temperatura é representado por 27,6°C, ou seja, 25% da amostra é igual ou inferior a este valor. A mediana, que se refere à medida central do conjunto de dados, foi de 30,3°C e o terceiro quartil está entre 31,6 e 32,8°C, ou seja, 75% dos valores das amostragens estão nesse intervalo. Nota-se também que, no primeiro episódio, há um valor de temperatura, de 28,7°C fora da caixa, o que é denominado de *outliers*, ou seja, valores que estão distantes da série de dados.

Algumas observações importantes do *boxplot* abaixo. É possível perceber que a linha da mediana da temperatura do ar não está centralizada, indicando assimetria dos dados, o que era

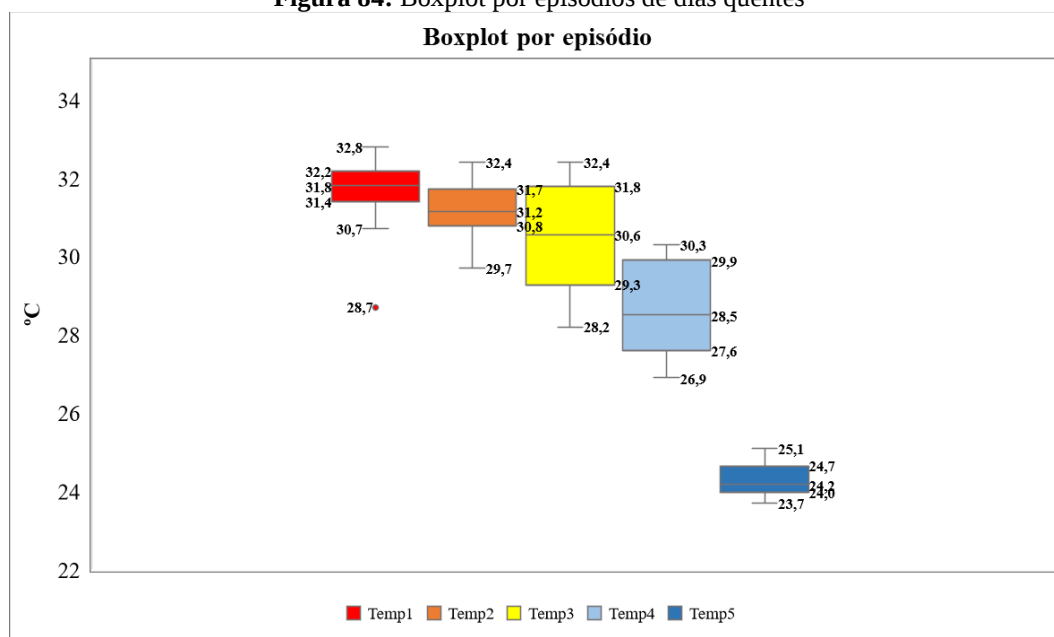
esperado, dada a complexidade do município de Vila Velha, especificamente da área urbana do município que exerce influência significativa na temperatura, tanto da superfície, como da temperatura do ar. Outra observação refere-se à variabilidade dos dados, que é relativamente alta, conforme pode ser percebido pela largura da caixa. No entanto, quando se avalia os *boxplot* por episódio, cinco no total, a variabilidade maior foi percebida nos episódios 3 e 4 (Figura 84).

Figura 83: Boxplot dos episódios de dias quentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 84: Boxplot por episódios de dias quentes



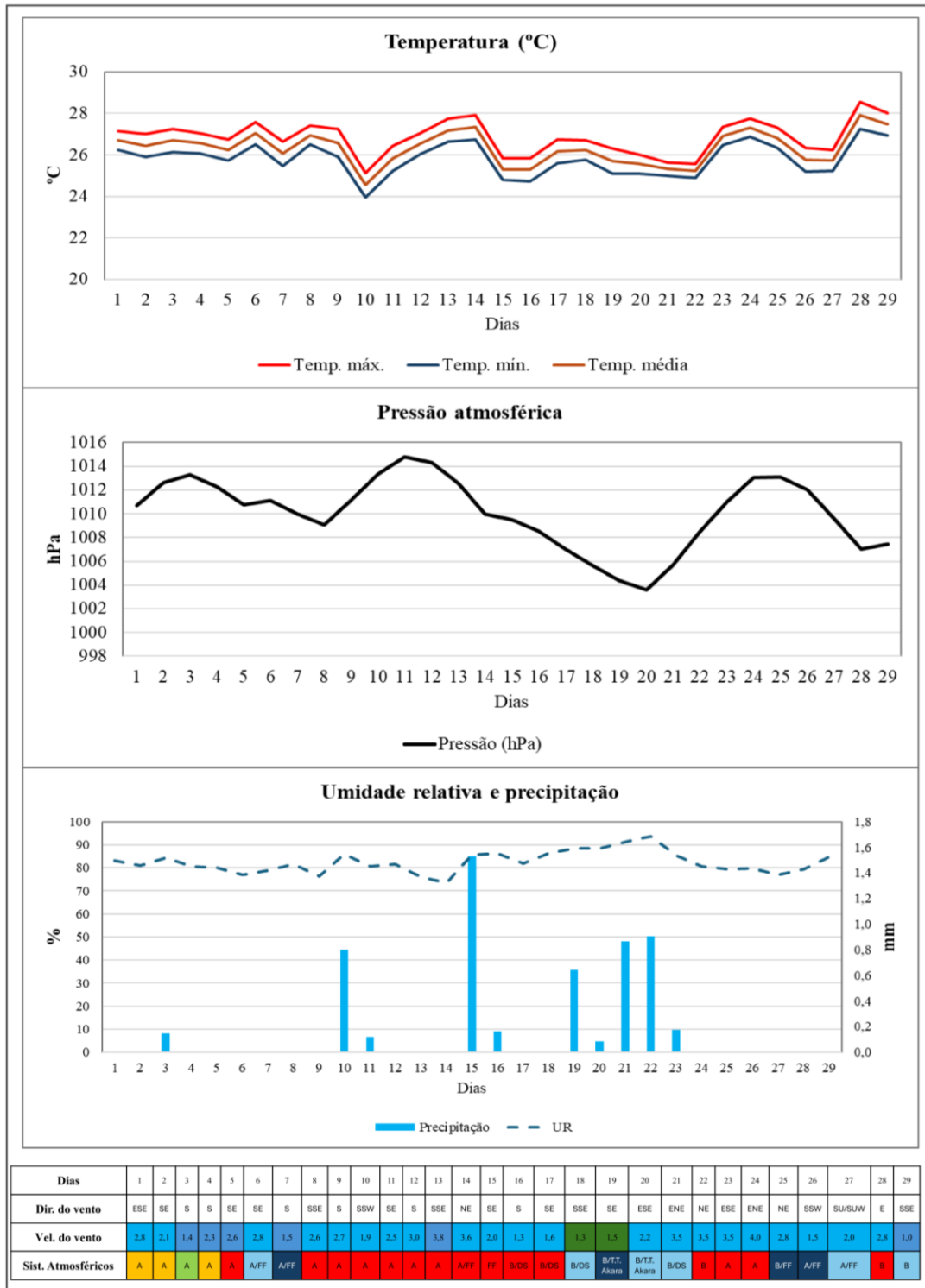
Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

Análise rítmica de fevereiro de 2024

De acordo com Monteiro (1974), a análise rítmica permite perceber a dinâmica do clima de um determinado local de forma mais detalhada. Nesse enquadre, a análise rítmica auxilia na interpretação dos elementos da atmosfera em zonas urbanizadas e como esses elementos variam ao longo do tempo em contextos urbanos em função de suas características físicas e sociais. Nesse sentido, na tentativa de perceber a dinâmica climática em Vila Velha, foram desenvolvidos gráficos de análise rítmica com base nos dados da estação automática de Vila Velha, do INMET, e nas cartas sinóticas da Marinha do Brasil, dentro do *software* Excel.

A Figura 85 refere-se a um gráfico de análise rítmica do mês de fevereiro de 2024 e são consideradas a temperatura do ar, a precipitação, a umidade relativa do ar, a pressão atmosférica, a direção e velocidade do vento e os sistemas atmosféricos (por meio da carta sinótica e imagens de satélite). De acordo com a Figura 85, é possível perceber que o sistema atmosférico mais atuante ao longo do mês em análise é o anticiclone, razão pela qual fevereiro foi um mês de pouca ou nenhuma precipitação e temperatura média do ar elevada. Neste contexto, a temperatura mínima foi de 24°C, sob influência de uma frente fria nos dias 10, 15, 16 e 22, e a máxima foi de 28°C, no dia 28 de fevereiro.

Figura 85: Análise rítmica de fevereiro de 2024.

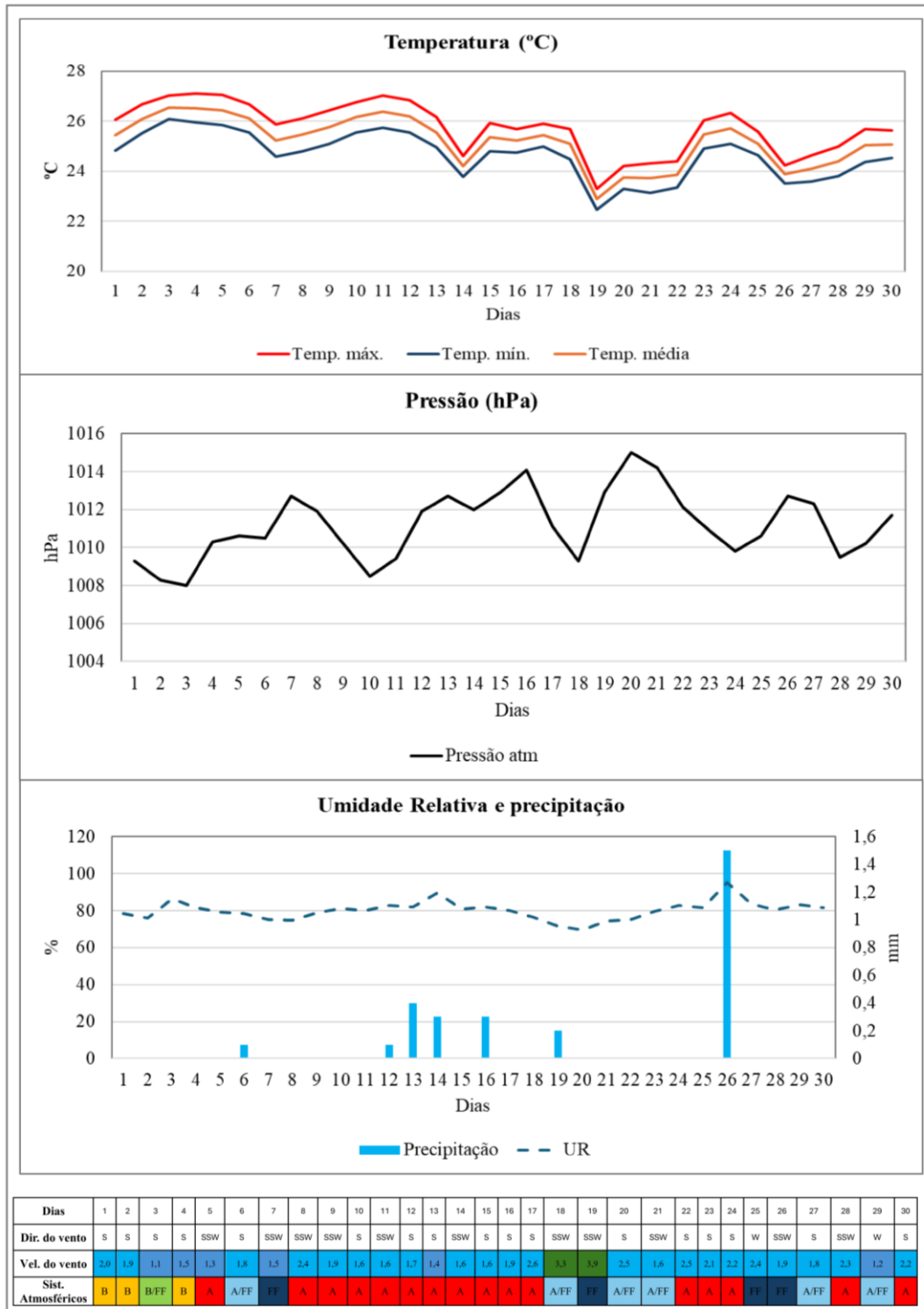


Fonte: INMET (2024); Marinha do Brasil (2024). Elaborado pelo autor/2024.

Análise rítmica do mês de março de 2024

A Figura 86 apresenta uma análise rítmica para o mês de março, o mês no qual foram feitos mais experimentos de campo, pelo transecto móvel.

Figura 86: Análise rítmica do mês de março de 2024

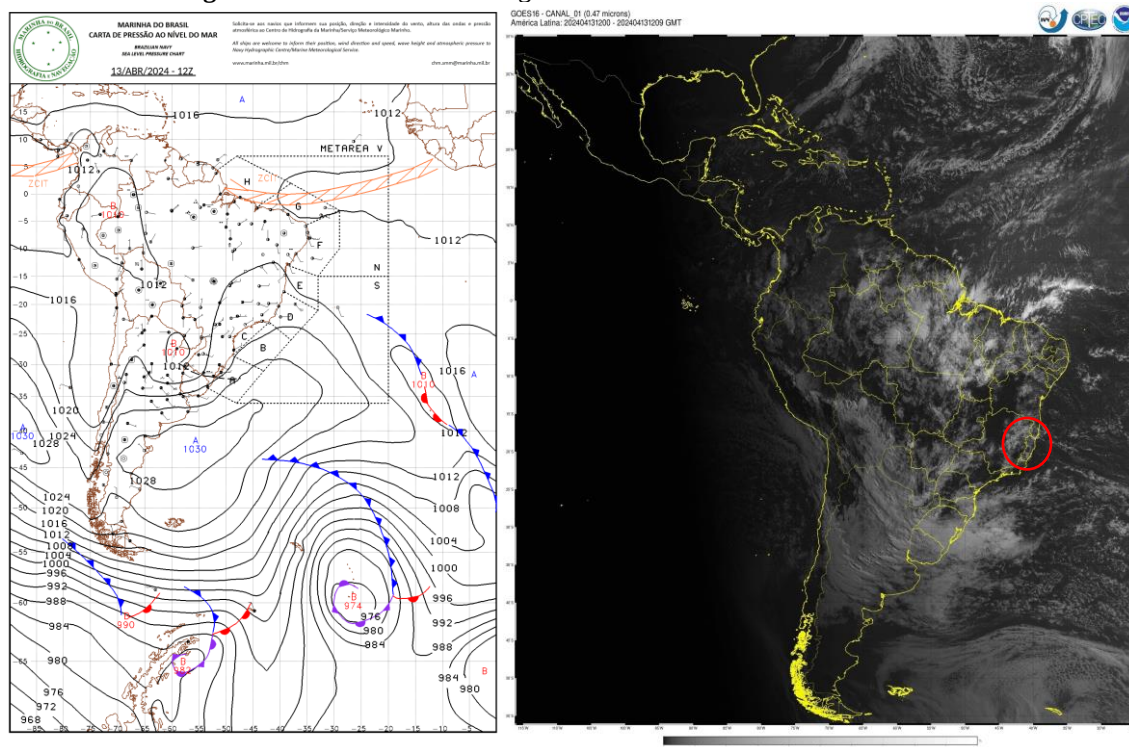


Fonte: INMET (2024); Marinha do Brasil (2024). Elaborado pelo autor/2024.

O que se nota ao se observar o gráfico da análise rítmica é uma frequência pronunciada do sistema atmosférico de baixa de baixa pressão, ou ciclone. O que pode ser validado quando se avalia as condições de tempo do mês de março é que a maior parte do mês constituiu-se com dias quentes, e que, embora este sistema possa ocasionar nebulosidade e precipitação, até mesmo temporais, o que se percebe são dias secos mais frequentes, exceto os dias 2, 7, 11, 24, 25 e 31, os quais foram influenciados por uma entrada da frente fria, que causou quedas na temperatura do ar e precipitação, especificamente nos dias 2 e 31, em que os volumes de chuva ultrapassaram os 25mm. Todavia, ressalta-se que os dias em que o sistema de baixa pressão atuou logo a seguir houve precipitação, apoiando a classificação desse sistema que provoca nebulosidade e a seguir condensação e precipitação.

Através da avaliação da carta sinótica e da imagem do satélite Goes 16, do dia 13/4/2024, considerando o horário GMT das 12:00, equivalente às 09:00 local, o Espírito Santo tinha sido influenciado por uma frente fria alguns dias antes, corroborando a análise rítmica anterior. No dia 13, porém, as condições de tempo eram de estabilidade, sob a influência de uma zona de alta pressão (Figura 87).

Figura 87: Carta sinótica e imagem de satélite do dia 13 de abril de 2024



Fonte: Marinha do Brasil (2024); CPTEC/INPE (2024).

○ Espírito Santo

Avaliação sinótica: do regional ao local

O clima local é influenciado por uma série de fatores, tal como sítio, condição geoecológica do lugar, morfologia urbana e sua relação com os fatores de ordem regional, tal como aponta Monteiro (1990). Nesse sentido, a avaliação sinótica é capaz de fornecer uma série de informações acerca do clima de um lugar, por meio da análise de cartas sinóticas e imagens de satélites. Dessa forma, a análise sinótica fornece informações importantes acerca dos padrões atmosféricos e como esses influenciam as condições de tempo de um determinado local; em outras palavras, os sistemas de escalas maiores podem influenciar o clima em escalas menores. Seja como for, o clima local é, em alguma medida, um fator preponderante na percepção do clima regional, como aponta Sorre (2006, p. 91): “por outro lado, quando topografia revela uma grande variedade como nas regiões de montanha, o clima regional é simplesmente uma associação de climas locais, estacionais, como também se diz”.

Aqui, serão avaliadas, mesmo que de forma objetiva, as principais condições sinóticas da Região Sudeste e, conseqüentemente, de Vila Velha. Para tanto, foram utilizadas as cartas sinóticas, disponíveis no site Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil e as imagens do satélite Goes 16, disponível no banco de imagens do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), ligado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A Figura 88 apresenta uma série de cartas e imagens (2018-2022) que evidenciam os sistemas atmosféricos atuantes sobre a área de estudo, considerando as mesmas datas das imagens do Landsat-8. Em 2018, no mês de janeiro, de acordo com a carta sinótica, e confirmada pela imagem de satélite, é possível perceber que a região Sudeste do Brasil, logo também Vila Velha, estava sob influência de um sistema de alta pressão, ou anticiclone, que garante à região um tempo atmosférico mais estável, com pouca nebulosidade, porém com temperaturas mais elevadas. No mês de julho, percebe-se a atuação de um anticiclone, tal qual no mês de janeiro, porém mais fraco e com uma frente fria a se aproximar do litoral sudeste brasileiro, responsável pela queda da temperatura média da região e da área de estudo.

Em 2019, no dia 14/03, a região Sudeste estava sob a influência de um sistema de baixa pressão, ou um ciclone, que, geralmente, traz consigo tempo instável, chuvas e temperaturas elevadas. Nota-se ainda, pela carta sinótica, e confirmada pela imagem de satélite, uma frente fria que estava a se aproximar do Sudeste, e, conseqüentemente, de Vila Velha, mas sem trazer

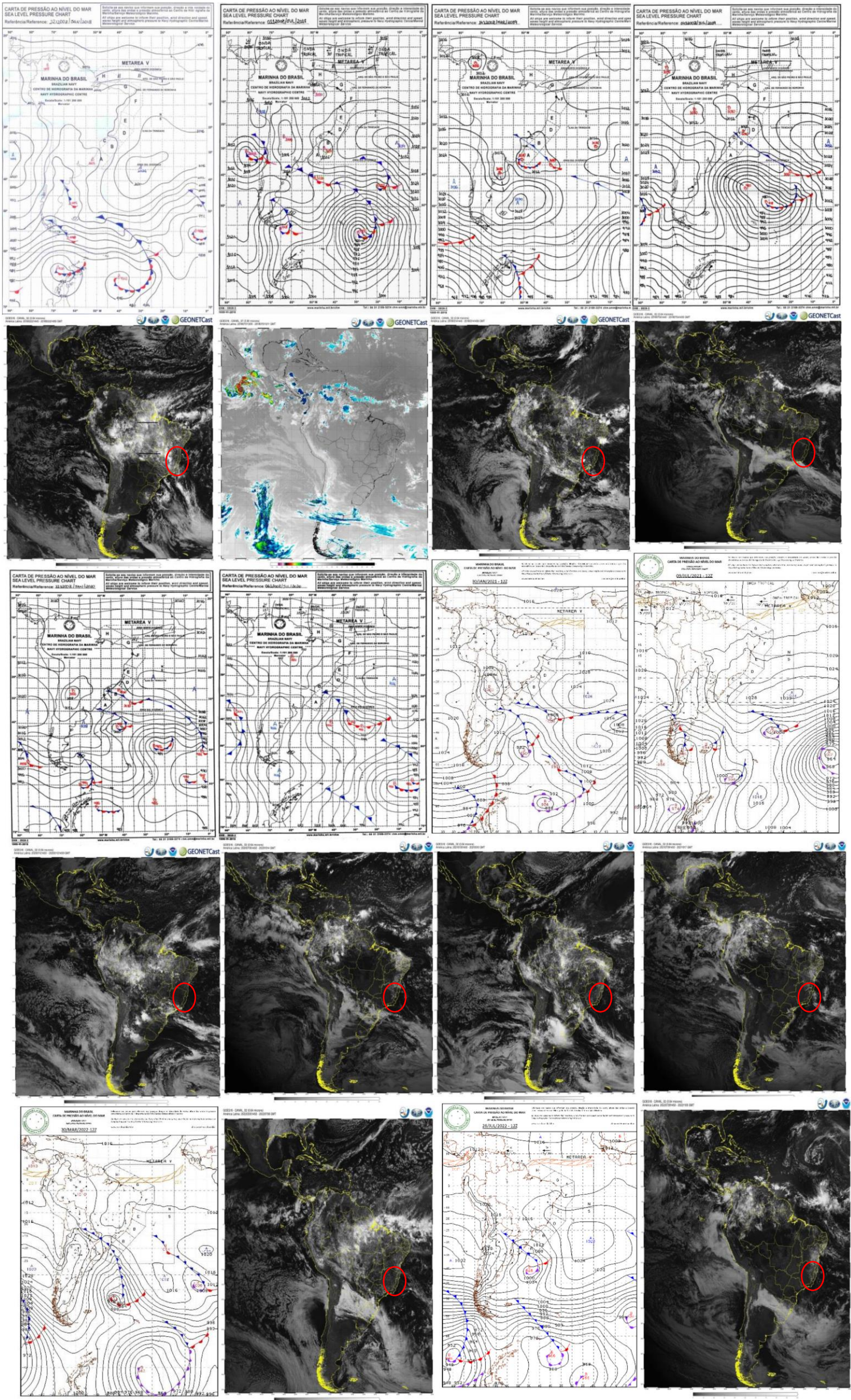
nebulosidade e chuvas para a área de estudo. No mês de julho, já na estação de inverno, observa-se a atuação de uma frente fria sobre o Espírito Santo e sobre a área de estudo, ocasionando queda de temperaturas e instabilidade atmosférica, porém sem precipitação.

Em 2020, no mês de janeiro, a região Sudeste estava sob a influência de uma linha de instabilidade, seguido de um centro de baixa pressão, ou ciclone, que deixaram o tempo instável com nuvens densas e fortes chuvas, em boa parte do Sudeste, incluindo o Espírito Santo, e Vila Velha. Já para o mês de julho, o Espírito Santo estava sob a influência de um sistema de alta pressão, ou anticiclone, seguido de uma frente fria, que, em consequência disso, trouxe consigo baixas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, o que resulta em pouco precipitação.

No ano de 2021, em 30/1, a Região Sudeste, e o Espírito Santo, assim como Vila Velha, estava sob a influência de um sistema de alta pressão, ou anticiclone, responsável por um tempo atmosférico mais estável, com pouca ou nenhuma nebulosidade, seco e frio. No mês de julho, já no período seco e mais frio, o Sudeste também estava sob a influência de um anticiclone seguido de uma frente fria, que deixou o tempo estável, com temperaturas baixas e com pouca ou nenhuma nebulosidade. A Figura 70, por exemplo, confirma a influência do anticiclone, que contribui com o regime de temperatura do ar em Vila Velha, tanto em janeiro, como em julho, na medida em que demonstra uma diminuição da curva de temperatura, tanto a máxima, como a mínima, em janeiro e em julho.

Por fim, em 2022, em 30 de março, a carta de tempo demonstra um ciclone sobre o litoral do Sudeste, e da área de estudo consequentemente. É possível perceber o avanço de uma frente fria sobre o Sudeste que foi responsável por uma ligeira queda das temperaturas, mas trouxe consigo instabilidade atmosférica e pancadas de chuva. Em julho, especificamente no dia 28, a área de estudo estava sob a influência de um sistema de alta pressão, mantendo as temperaturas médias elevadas, tempo estável e seco, que também pode ser confirmado pelas imagens de satélite associadas à Figura 88 e observado nos gráficos da Figura 70.

Figura 88: Cartas sinóticas e imagens de satélite da série histórica de 2018-2022



Fonte: Marinha do Brasil (2024); CPTEC/INPE (2024).

○ Espírito Santo

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo central desenvolver um zoneamento climático para Vila Velha, por meio da proposta das Zonas Climáticas Locais, do inglês *Local Climate Zone* (LCZ), desenvolvida por Stewart (2011) e Stewart; Oke (2012). Por se tratar de uma metodologia desenvolvida e aplicada em países de latitudes altas, certamente uma série de considerações e adaptações foram feitas na área de estudo escolhida para o desenvolvimento desta tese.

Diante dos resultados alcançados, ressalta-se que os objetivos (análise sinótica, análise rítmica, zoneamento, derivados de Sensoriamento Remoto, microclimatologia) foram alcançados, e é a partir desses resultados que se tecem as considerações a seguir.

Dada as características naturais do território brasileiro, a maior parte deste encontra-se em zona tropical, sujeita a temperaturas médias, em geral, mais quentes. Aliado ao fator natural, é possível inferir que, dado ao modo de produção e reprodução do espaço urbano brasileiro, que é desigual, conforme apontam diversos autores, tais Santos (1996); Monteiro (1976); Maricato (2002), dentre outros. As consequências são diversas, social e ambiental, nomeadamente sobre o clima local. Vila Velha, por se tratar de uma cidade típica tropical brasileira, tendo sua origem ligada à história do Brasil Colonial, e sua expansão urbana ligada à lógica capitalista de produção e reprodução do espaço urbano, é de se esperar que consequências – social e ambiental – sugeririam de modo análogo ao que ocorreu em boa parte das cidades brasileiras.

Dada a complexidade de seu território, Vila Velha apresenta distintas LCZ e padrões diferentes de TST elevado, em sua maioria, ao longo de toda a série avaliada, com uma diminuição de julho de 2021 a julho de 2022. Contudo, apesar dessa ligeira diminuição dos valores de TST, por conta de sua complexa configuração da paisagem, de áreas naturais, agrícolas e urbanas (com densidades diferentes), essas características levam à formação de ilhas de calor urbano, e, consequentemente, pode afetar o desconforto térmico sentido pela população que ali reside, principalmente em dias quentes.

Do ponto de vista do uso e cobertura do solo, Vila Velha é um município relativamente complexo, apresentando tipologias urbanas com edificações acima de 15 pavimentos – em Praia da Costa, Itapoã e Itaparica, por exemplo – a áreas naturais e rurais – porção sudoeste. Essa complexidade da paisagem exerce influência no clima local, o que foi verificado por meio da interpretação dos mapas de TST (de maneira mais expressiva) e dos gráficos de temperatura e umidade relativa do ar (de maneira menos expressiva).

No que se refere aos mapas derivados das imagens de satélite, nota-se uma tendência da TST: quanto mais densa a forma urbana, maior temperatura superficial. Geralmente, o que se percebeu foi um aumento da temperatura nas zonas de maior densidade de construções e menor densidade de áreas verdes, a exemplo das LCZ 1, 2 e 3. Também foi possível estabelecer uma correlação entre os modelos de NDVI e NDBI com a TST por meio de gráficos de dispersão. Quanto menor o vigor da vegetação, maiores são os valores de temperatura de superfície, e quanto maior o NDBI, maiores são os valores de TST, o que está em consonância com as principais teorias do clima urbano, nas quais se afirmam que, em áreas urbanas, por conta das características dos materiais construtivos, baixa capacidade de dissipação do calor, menor albedo, dentre outros fatores, a temperatura superficial tende a ser mais elevada quando comparada com o entorno menos urbanizado e rural.

De maneira geral, embora tenham sido evidenciadas diferenças térmicas e higrométricas ao longo do transecto, o relevo e a proximidade do oceano – dado o efeito da brisa – foram fundamentais para que essas diferenças de temperatura do ar não tenham sido elevadas, sobretudo nos bairros próximos à linha de costa, como Praia da Costa, Itapoã e Itaparica. Isso é corroborado por Landsberg (2006) ao afirmar que locais próximos à costa tendem a ter um clima bem distinto em relação aos sítios mais distantes da costa.

Assim, ao se comparar as LCZ, foi possível perceber diferenças térmicas menos pronunciadas. Contudo, ao se comparar os episódios, nomeadamente os da tarde com os da manhã, foi possível perceber diferenças significativas, demonstrando que a cidade exerce um papel positivo na dissipação do calor, aliada ao efeito das brisas marítimas.

As LCZ apresentam-se como um método importante nos estudos de Clima Urbano, conforme demonstrado ao longo do texto. Esse método, no entanto, também pode ser utilizado na compreensão da distribuição da vegetação e das formas urbanas, considerando diversas escalas de análise, áreas metropolitanas, cidades médias e pequenas, auxiliando os estudos em Climatologia Geográfica e Geografia do Clima.

Chama-se a atenção para o fato de que a metodologia das LCZ, designadamente o mapeamento dessas por meio da classificação semiautomática, através da aplicação *web LCZ Generator*, tanto no Brasil, como no mundo, geralmente, é utilizada em contextos urbanos. Nesta pesquisa, tal proposta de compreensão dos padrões de uso e cobertura do solo foi aplicada em todo o

município de Vila Velha, tanto em zonas urbanas, como em zonas rurais. Todavia, ela se mostrou eficaz, apesar da dimensão do município, com cerca de 227 km². Além disso, os estudos com base em LCZ em contextos tropicais tornam-se cada vez mais relevantes e fascinantes, especialmente dada a crescente urbanização nessas regiões, permitindo assim perceber como os padrões de uso e cobertura do solo influenciam o clima de um determinado local.

Ao se comparar os estudos das LCZ entre países de diferentes latitudes, a exemplo da proposta inicial de Stewart; Oke (2012), percebe-se que, nos países onde os autores desenvolveram os trabalhos práticos, o espaço geográfico era predominantemente caracterizado por edifícios altos (arranha-céus), superfícies mais impermeabilizadas, em que a dependência de iluminação artificial é maior, casos de Tóquio (Japão) e Vancouver (Canadá). Vila Velha, entretanto, apresenta estruturas menores, maior aporte vegetal intraurbano, maior proximidade com o oceano (maritimidade), o que, de certo modo, apresenta-se como uma cidade mais resiliente em relação ao calor, algo que foi percebido ao longo dos dias de recolha de dados de temperatura e umidade relativa do ar.

As LCZ também podem ser muito eficientes para os planejadores e gestores do território de Vila Velha na medida em que fornecem informações específicas acerca de áreas críticas em relação ao calor, áreas com ou sem vegetação, presença ou não de corpos d'água e as áreas de maior vulnerabilidade social e ao calor, e assim desenvolver políticas públicas capazes de mitigar os problemas supracitados.

Na construção de uma tese, acredito, é necessário um senso de reflexão crítica que nos auxilie a sermos mais transparentes possível. Nesse sentido, mencionar um objetivo que não foi cumprido, na integralidade, não deve constituir-se em sentimento de derrota ou fracasso, mas sim de transparência e aprendizado (YIN, 2001; BOOTH, et al., 2016; PALTRIDGE; STARFIELD, 2007). Considerando isso, era objetivo também desenvolver um indicador de vulnerabilidade ao calor em Vila Velha por meio dos dados censitários do IBGE, aplicando-se um modelo SOVI. Essas informações constituíram-se em um dos objetivos desta tese, que, por questões temporais, recursos limitados, mudança de ambiente de pesquisa (afinal, realizei um ciclo de estudos fora do país, sem bolsa de estudo), deixou de ser aplicado, razão pela qual ainda mantiveram-se os subcapítulos acerca dos conceitos de risco e vulnerabilidade, ao menos

por ora, pois é objetivo continuar/aperfeiçoar a pesquisa, de modo a identificar e mapear as áreas de vulnerabilidade e um indicador de vulnerabilidade, tanto social, como ao calor.

Diante dos resultados da modelagem das LCZ para Vila Velha, tanto manual como automática, a partir do *LCZ Generator*, é possível afirmar a eficácia do modelo, sobretudo por seu potencial em descrever as diferentes formas de uso e cobertura do solo e os padrões de temperatura de superfície em cada LCZ. Entretanto, por ser um modelo desenvolvido em latitudes mais altas, foi necessário realizar ajustes à área de estudo. Ressalta-se também que, por uma questão de escala, é preciso estar atento à classificação do *LCZ Generator*, pois, embora uma determinada LCZ exista na realidade, por se tratar de poucas áreas de treinamento, elas podem não aparecer nos testes, não invalidando o modelo.

No que se refere às imagens de satélites, essa tecnologia possui uma relevância importante em estudos ambientais, em especial em Clima Urbano (Geografia do Clima), pois é possível perceber as alterações do ambiente, sem necessariamente ter contacto com ele, a depender da escala de análise. Em caso particular, em Vila Velha, por se tratar de um município relativamente grande em termos de área territorial (acima de 220 km²), quando se compara com outros municípios do Espírito Santo, as imagens do Landsat-8 mostraram-se eficazes e revelaram informações importantes em relação a temperatura de superfície e outros derivados das imagens de satélite, a saber o NDVI e o NDBI.

Por exemplo, as áreas com maior densidade de ocupações apresentaram temperaturas superficiais mais elevadas em praticamente todo o período de análise. No que se refere aos modelos de NDVI e NDBI, foi possível estabelecer uma conexão entre altas temperaturas e menor vigor de vegetação e maior índice de NDBI, demonstrando que a ausência de vegetação e maior aporte de construções corroboram com temperaturas superficiais mais elevadas.

Desenvolver um zoneamento climático com base em uma metodologia que leva em consideração o uso e cobertura do solo em Vila Velha torna-se cada vez mais importante e eficaz, nomeadamente para o planejamento e ordenamento do território, na medida em que traz uma série de conhecimentos acerca das características do clima local e as consequências das atividades humanas sobre ele. Em tempos em que muito se discute o tema, não são poucos os riscos das altas temperaturas à saúde humana, conforme afirma Nobre (2023). Nesse cenário,

as LCZ são úteis no planejamento e ordenamento do território, tanto no subsídio às intervenções, como na elaboração de material de apoio (CARDOSO; AMORIM, 2017).

Conforme aponta Monteiro (2003), em sua premissa de número 9, a percepção e a conscientização dos problemas advindos da urbanização, principalmente aqueles acometidos no clima local, tornam-se decisivos no processo de planejamento, sobretudo no que se refere à busca pela qualidade do ambiente urbano. Dessa maneira, esta pesquisa se mostra fundamental na medida em que fornece subsídio científico e metodológico ao poder público no processo de tomada de decisão.

Cabe aqui também algumas considerações importantes acerca dos transectos móveis em estudos de clima urbano. Em primeiro lugar, essa técnica permite a realização de medições *in loco* de diversos elementos do clima ao longo de um trajeto pré-determinado, designadamente da temperatura do ar e da umidade relativa do ar por meio de instrumentos registradores. Por uma limitação financeira, não foi possível utilizar uma rede de monitorização mais densa, justificando o uso de apenas um equipamento e um veículo ao longo dos trabalhos de campo.

Assim, dada a extensão do transecto, cerca de 15 km, foi possível perceber como as características do município em função do uso e cobertura do solo, as atividades humanas, o fluxo de pessoas e automóveis influenciam o microclima local. Nesse enquadramento, por meio da avaliação entre a temperatura do ar e a temperatura de superfície, foi possível estabelecer uma ligação entre as duas variáveis, principalmente ao longo do dia, em que a radiação solar é mais intensa e então absorvida pela superfície e devolvida para atmosfera por processos de convecção e condução.

Quando se analisa os gráficos de caixa ou *boxplot*, percebe-se um predomínio de temperaturas máximas acima de 32°C, indicando um forte aquecimento da cidade, especialmente nas zonas com maior densidade de construções, impermeabilizadas e sem cobertura vegetal, tal como nos bairros Praia da Costa, Itapoã e Itaparica. Pela análise dos *boxplot*, verificou-se uma variabilidade maior da temperatura nos episódios 3 e 4.

Portanto, ressalta-se a importância de conciliar os estudos do clima urbano por meio de imagens de satélites e avaliação do microclima local por meio de instrumentos registradores, especificamente da temperatura do ar, pois esta e a TST estão intimamente ligadas e sofrem

influência por uma série de fatores, em especial da radiação solar, uso e cobertura do solo e as condições de tempo, o que foi verificado ao longo do estudo.

Por fim, não se esgotando as infinitas considerações que se podem fazer, ressalta-se a fundamental importância dos estudos do clima urbano numa perspectiva da Geografia do Clima, com o objetivo de fornecer aos gestores informações críticas acerca da relação sociedade/natureza, em especial entre o ambiente urbano e clima local, permitindo que os planejadores tomem decisões mais assertivas no que se refere as políticas públicas que visem a implantação de áreas verdes em espaços urbanos, manutenção de corpos hídricos, observância em relação as dimensões dos edifícios, larguras de ruas, materiais de construção; em suma, decisões que tenham como objetivo melhorar a qualidade de vida da população que reside em Vila Velha e para o ambiente natural, em especial do clima.

Sugestões de trabalhos futuros

Nesta pesquisa foram utilizadas imagens de satélite Landsat-8 a fim de verificar diferenças térmicas intraurbanas em função dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo, aliado à coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar por meio dos transectos móveis. Justifica-se o uso do Landsat-8, pois o Landsat-9 não possui imagens mais antigas a 2021, o ano de lançamento da versão do satélite. No entanto, em trabalhos posteriores, é possível desenvolver uma análise histórica da temperatura de superfície e derivados a partir do Landsat-9.

É possível mapear as LCZ com uma frequência relativamente maior, talvez a cada cinco anos. Assim, verificar as alterações no uso e cobertura do solo do município em apreço e perceber a relação dessas alterações sobre o clima urbano. Uma sugestão prática, a fim de mapear as LCZ de maneira mais assertiva, seria aplicar a metodologia apenas para o perímetro urbano de Vila Velha. Assim, evita-se generalizações no mapeamento, considerando que o espaço urbano municipal é complexo, de estruturas distintas.

Por questões financeiras, mudança de ambiente da pesquisa, temporais, entre outras que já foram consideradas, não foi possível medir dados microclimáticos por mais tempo nem tão pouco em mais de um transecto móvel, apenas em um de 15 km de extensão e de sentido norte-sul. Portanto, sugere-se que se desenvolvam pesquisas munidas de mais instrumentos de medida de dados microclimáticos, tais como dos registradores automáticos (*dataloggers*), e que a

realizem pelo transecto móvel em pelo menos dois trajetos – um de sentido norte-sul e outro de sentido leste-oeste, a fim de obter dados de áreas representativas de diversas tipologias de uso e cobertura do solo e de áreas mais distantes do litoral.

Por fim, sugere-se a elaboração dos indicadores de vulnerabilidade social e ao calor em Vila Velha por meio dos dados censitários de 2022, produzindo, assim, aporte teórico-metodológico que possa subsidiar os gestores na elaboração de políticas públicas mais assertivas que visem a qualidade de vida da população e do ambiente natural, especificamente do clima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Bases conceituais e o papel do conhecimento na previsão de impactos. In. AB'SABER, A. N; MULLER-PLANTENBERG, C. (Orgs.). **O estudo de impacto ambiental no leste, oeste e sul: experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3), p.151-159, 2006. DOI 10.1007/s00704-005-0152-1
- AMORIM, M. C. C. T. Estudo do conforto térmico em ambiente tropical. *Revista Geográfica de América Central* (online), v. 47E-2, p. 1-17, 2011.
- ANDRADE, A. R. O clima urbano de cidades de pequeno e médio porte: uma análise da interação local-regional em Irati e Guarapuava/PR. **Revista Eletrônica Geografar**, Curitiba, v. 2, Resumos do VI Seminário Interno de Pós-Graduação em Geografia, p. 09-09. ISSN: 1981-089X, 2007.
- ANDRADRE, H. O Clima Urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, XI, 80, p. 67-91, 2005.
- ANDRADE, H; NOGUEIRA, H; CANÁRIO, P. Utilização da análise multiníveis para avaliação da vulnerabilidade da população da AML ao calor. **Cadernos de Geografia** nº 30/31 - 2011/12, Coimbra, FLUC - pp. 261-267.
- ANTOGIOVANNI, L.L; COELHO, A.L.N. **Panorama sobre a desertificação no estado do Espírito Santo**. Disponível em: http://plataforma.redesan.ufrgs.br/biblioteca/pdf_bib.php?COD_ARQUIVO=15750, acesso em 08 agosto 2021.
- ASSIS, W. L de. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial**. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociência da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2010.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 17°. ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2013.
- BARBOSA, H. P; AMORIM, M.C.C.T. Clima urbano em Presidente Prudente/SP: diferenças térmicas e higrométricas urbano/rural em episódios de outono. **Revista Geonorte**, 3(9), 220 – 232.
- BAYMA, A.P; SANO, E.E. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor Modis para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado. **Boletim de Ciências Geodésicas** - Online version, ISSN 1982-2170, 2015.
- BOOTH, W. C; COLOMB, G. G; WILLIAMS, J. M; BIZUP, J; FITZGERALD, W. T. **The Craft of Research**. 4 ed. Reino Unido: University of Chicago Press, 2016.
- CAMPOS, L; CANAVEZES, S. **Introdução à Globalização**. Instituto Bento de Jesus Caraça da Universidade de Évora, Portugal, 2007. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/2468>, acesso em 13 março 2022.
- CAMPOS JÚNIOR, C.T. de. **O Novo Arrabalde**. PMV, Secretaria Municipal de Cultura e Turismo, 1996. 250p.

- CARDOSO, R.S; AMORIM, M. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. GOT, n.º 12 – **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Coimbra, Portugal, 2017.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L.: Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, 2009, 113, p. 893-903.
- COELHO, A. L. N., CORREA, W. de S. C., NASCIMENTO, F. H. Uso de produtos de sensoriamento remoto para a classificação e análise de temperaturas de superfície no município de Vila Velha/ES (Brasil), **GeoFocus (Informes y aplicaciones)**, nº 13-1, p. 61-76. ISSN: 1578-5157, 2013.
- CONTI, J. B. **Geografia e Climatologia**. Revista GEOUSP, nº 9, São Paulo, p. 91-95, 2001.
- CORRÊA, R.L. **O Espaço Urbano**. 4ª edição. São Paulo: Editora Ática, 2004.
- COLLISCHONN, E; FERREIRA, C.V.O. O fator de visão do céu e sua influência sobre as características térmico-higrométricas intraurbanas em Pelotas/RS, Brasil. **Revista Geographia Meridionalis** v. 01, n. 01 Jun/2015 p. 160–178.
- CUNHA, L.; LEAL, C. Natureza e sociedade no estudo dos riscos naturais. Exemplos de aplicação ao ordenamento do território no município de Torres Novas (Portugal). In.: As novas geografias dos países de língua portuguesa. Paisagens territórios e políticas no Brasil e em Portugal, **Geografia em Movimento**, S. Paulo, p. 47-66. DOI: 10.13140/RG.2.1.2900.8729, 2012.
- CUTTER, S.L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais [Online]**, 93 | 2011, colocado online no dia 01 outubro 2012, criado a 08 março 2019. URL: <http://journals.openedition.org/rccs/165>; DOI: 10.4000/rccs.165, 2011.
- CUTTER, S. L.; BORUFF, J.; SHIRLEY, W. Social vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1540-6237.8402002>, 2003.
- DEMUZERE, M., Kittner, J., Bechtel, B. (2021). LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. **Frontiers in Environmental Science**, 2021. 9:637455. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455>.
- DIAMOND, J. **Colapso**. Como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso. 5ª Edição. Editora Record, São Paulo, 2007.
- DOLFUSS, O. **A análise geográfica**. Coleção Saber Atual: São Paulo, 1973.
- ELY, D. F. **Teoria e método da climatologia geográfica brasileira**: uma abordagem sobre seus discursos e práticas. Tese (doutorado em geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Presidente Prudente, 2006.
- EPIPHANIO, J.C.N; FORMAGGIO, A.R. Abordagens de uso de número digital e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélites. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2008, p.400-405.
- EVANS, J. Zonificación Bioclimática em Latinoamérica para uma Arquitectura Sustentable. **Avances em Energías Renovables y Medio Ambiente**, Buenos Aires, v. 8, n.1, 163-168, 2004.
- FEITOSA, F.F; MONTEIRO, A.M.V. Vulnerabilidade e modelos de simulação como estratégias mediadoras: contribuição ao debate das mudanças climáticas e ambientais. **Geografia**, Rio Claro, v. 37, n. 2, p. 289-305, mai./ago. 2012.

- FELICIANO, M; MAIA, F; ROCHA, A; RIBEIRO, A. C. Projeto BIOURB - Análise do clima urbano e o seu contributo para o planeamento urbano sustentável – estudo da cidade de Bragança. **Fórum CIMO - Ciência e Desenvolvimento**, Bragança, 20 e 21 de novembro, 2012.
- FERREIRA, H.V.L. **A organização do espaço urbano e a estrutura térmica da cidade de Cuiabá-MT**. Dissertação (Mestrado em Geografia). UFMT, Cuiabá-MT, 2019.
- FERREIRA, H.V.L.; UGEDA JÚNIOR, J.C. Variação da temperatura da superfície através de imagens Aster em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 16 – Vol. 26 – JAN/JUN 2020.
- FERREIRA, L.S; FERRETO, D; DUARTE, D.H.S. Mapeando a morfologia urbana: aplicações do método local climate zones (LCZ) em diferentes escalas do projeto. **Pós FAUUSP**, São Paulo, v. 30, n. 56, jan-jul 2023.
- FERREIRA, F. L. e S.; PEREIRA, E. B.; LABAKI, L. C. Fatores associados à distribuição da temperatura das superfícies em áreas urbanas: zonas climáticas locais e suas características espectrais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 237-262, jan./mar. 2021.
- FITZ, P.R. Geografia Tecnológica. In: **Geoprocessamento sem complicação**, Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2008. p. 19-29.
- FRANÇA. A. Estudo sobre o clima da bacia de São Paulo. **Boletim** nº LXX (Geografia nº 3) da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USF. São Paulo, 1946.
- GARCÍA, F. F. **Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial Síntesis, S.A., 1995. 285p.
- GARTLAND, L. **Ilhas de Calor**. Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. 1ªed, Oficina de textos, 2011.
- GARCIA, D.G. **Desafios da expansão urbana em áreas ambientalmente frágeis: o entorno da Rodovia Darly Santos-Vila Velha, ES**. Dissertação (mestrado em Arquitetura). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGA/UFES), Vitória/ES, 2013.
- GUILHERME, A.P; BIÚDES, M.S; MOTA, D.S; MUSIS, C.R. Relação entre tipo de cobertura do solo e temperatura de superfície. **Revista Sociedade e Natureza** | Uberlândia, MG | v.32 | p.539-550| 2020 | ISSN 1982-4513.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. Tradução da 5ª edição americana por Adonai Schlup Sant’Anna e Anselmo Chaves Neto. 688p.
- HOLZ, S. **A verticalização litorânea em Vila Velha/ES: Um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS – IBGE. Panorama sobre a cidade de Vila Velha (ES). Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vila-velha/panorama>>, acesso em 12 out. 2018.
- INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). Processo de urbanização, estrutura demográfica e violência: análise no Espírito Santo e Vitória. Vitória, ES, 2011.

- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Dados diários das estações automáticas**. Disponível em <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>. Acesso em 10 abril 2024.
- JARDIM, C. H. (2012). “Médias” e “desvios” na análise geográfico-climatológica: o episódio de chuva concentrada do dia 23 de novembro de 2010 e o veranico de janeiro/fevereiro de 2011 em Belo Horizonte - MG. **Geografias**. Belo Horizonte 08(2) 35-49 janeiro-junho de 2012.
- JARDIM, C.H. Variações da temperatura do ar e o papel das áreas verdes nas pesquisas de climatologia urbana. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, v. 10, n. 1, p.9-25, jan./jun, 2010.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009. 598p.
- KUSTER, C.A. **Contribuição geográfica ao estudo das unidades de conservação sob o enfoque sistêmico**: o caso do parque natural municipal de Jacarenema, Vila Velha (ES). Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2010.
- LINDBERG, F; HOLMER, B. **Sky View Factor Calculator**. User Manual Version, 1.1. Göteborg Urban Climate Group, Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, 2018
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec: 1985, 244p.
- MACEDO, M.C.A; ALMEIDA, N.C.S; FIALHO, E.S. Uma análise da relação entre as zonas climáticas urbanas e a temperatura de superfície: um estudo de caso na cidade de Viçosa-MG. **XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, Unicentro, Guarapuava - Paraná, 2023 ISSN: 2764-1805, p. 2207-2221.
- MARANDOLA JUNIOR, E.; HOGAN, D.J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Revista Ambiente & Sociedade** – Vol. VII nº. 2 jul./dez, 2004.
- MARICATO, E. Metrôpole, legislação e desigualdade. **Estudos Avançados**, 17 (48), 2003.
- MARICATO, E. **Brasil, cidades**: alternativas para a crise urbana. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.
- MARISCO, L.M. de O. Revisitando os autores sobre os conceitos de segregação socioespacial e exclusão social na análise da produção desigual do espaço urbano. **Revista Contexto Geográfico**, V.5, N.9, 2020, p. 45-56.
- MEGALE, J. F. (org.). **Max Sorre**. São Paulo: Ática, 1984.
- MENDES, J.M.; TAVARES, A.O.; CUNHA, L.; FREIRIA, S. A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, 93, Junho: 95-128, 2011.
- MENDONÇA, F. O Estudo do Clima Urbano no Brasil: Evolução, tendências e desafios. In: MONTEIRO, C.A.F. & MENDONÇA, F. (Org.) **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003.
- MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- MIDDEL, A; LUKASCZYK, J; MACIEJEWSKI, R; DEMUZERE, M; ROTH, M. Sky View Factor footprints for urban climate modeling. **Urban Climate** 25 (2018) 120–134.
- MILLS, G. Climatologia urbana: história, status e perspectivas. **Urban Clima**, vol. 10: 479-489, 2014.

- MONTEIRO, A. **O Clima Urbano no Porto**: Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território. Tese (Doutoramento em Geografia). Universidade do Porto, 1993.
- MONTEIRO, A. As cidades e a precipitação: uma relação demasiado briguenta. **Revista Brasileira de Climatologia**. Vol. 5, p. 7-25, 2009. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v5i0.49390>, acesso em 20 dez. 2020.
- MONTEIRO, C. A F. **Análise rítmica em Climatologia**. Problemas de atualidade climática e achegas para um programa de trabalho. Climatologia. São Paulo. Instituto de Geografia da USP nº 1, 2, 1 p. 1971.
- MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IG06-USP, 1976. (Série Teses e Monografias n.25), 1976.
- _____. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. Florianópolis (1990). **GEOSUL**, nº 9 - Ano V – 1º semestre de 1990.
- MORAIS, C.C. **Vazios urbanos no município de Vila Velha/ES**: Estudo de caso da área do entorno da rodovia Daly Santos. Monografia (Bacharel em Geografia), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2015.
- MORATO, R.G; KAWAKUBO, F.S; MARTINES, M.R. Efeito do Padrão de Distribuição dos Pontos na Interpolação do NDBI. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 2007, p.2863-2869.
- NASCIMENTO JUNIOR, L. **Clima urbano, risco e vulnerabilidade em cidades costeiras do mundo tropical: estudo comparado entre Santos (Brasil), Maputo (Moçambique) e Brisbane (Austrália)**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista (UNESP). Campus Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, 2018.
- NETO, A.T. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical: o caso Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista (UNESP). Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, 2019.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª edição, Rio de Janeiro: IBGE, 1989.
- NUNES, L.H. Compreensões e ações frente aos padrões espaciais e temporais de riscos e desastres. **Revista territorium**, 16, 2009, p.179-189.
- ODUNUGA, S; BADRU, G. Landcover Change, Land Surface Temperature, Surface Albedo and Topography in the Plateau Region of North-Central Nigeria. **Land**, 2015, 4, 300-324; doi:10.3390/land4020300.
- Oke, T. **Boundary Layer Climates**. Routledge, London, 1987.
- OKE, T. **Initial guidance to obtain representative Meteorological observations at urban sites**. Word Meteorological Organization, N. 1250, 2004. Disponível em: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=9262%20#.Ykth_SjMK00, acesso em 04 abril 2022.
- OKE, T.R; MAXWELL, G.B. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment*, v. 9, n. 2, fev. 1975, p. 191-200. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0004698175900670?via=ihub>. Acesso em: 12 julho 2024.

- PASSOS, P. N. C. de. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais e Democracia**, Vol. 6, p. 1-25, 2009.
- PORANGABA, G.F.O; TEIXEIRA, D.C.F; AMORIM, M.C.C.T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 13 – Vol. 21, 2017, p.225-247.
- PORANGABA, G.F.O; AMORIM, M.C.C.T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.06 (2019) 2041-2050.
- PUEBLA, J.G. Escalas espaciales, escalas temporales. **Estudios Geográficos**, LXII, 242, 2001.
- RAMIRES, J.C. de L. O processo de verticalização das cidades brasileiras. **Boletim de Geografia**, 1998, 16.1: 97-106.
- RAMPAZZO, C.R. **Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas (São Carlos, Marília e Presidente Prudente)**. Tese (Doutorado em Geografia) da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente/SP, 2019.
- REBOITA, M.S; KRUSCHE, N; AMBRIZZI, T; ROCHA, R. P. da. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**. 8(1):34-50, 2012, p. 34-50.
- ROUSE J.W; HAAS R.H; SCHELL JÁ; DEERING D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1. **Symposium, Greenbelt**: NASA SP-351, pp 301–317, 1974.
- SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica à geografia do clima gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**. v. 4, p.51-72, 2008.
- _____. História da Climatologia no Brasil. Gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. **Cadernos de Geografia**, Florianópolis, Nº 7, maio 2004.
- SANTOS, A.P; SIMIONATTO H. H; TONDATO ARANTES L; SANTACRUZ SALAS A. P; SILVA D. C. Relación espacio-temporal de la temperatura superficial con el tipo de cobertura y uso del suelo, en los barrios del municipio de Paracatu, Mina Gerais, Brasil. **Anales de Geografía de la Universidad Complutense**, 44(1), 235-249, 2024 <https://doi.org/10.5209/aguc.94211>.
- SANTOS, J. **Vila Velha: onde começou o Espírito Santo**. Vila Velha: GM Editora, 2011.
- SANTOS, J.S.A; SAUER, A.S. A influência da verticalização na sensação térmica urbana: estudo de caso em Vila Velha/ES. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.6, n.4, p.29-42, 2020.
- SANTOS, A.R dos; PELÚZIO, T.M. de O; SAITO, N.S. SPRING 5.1.2 **Passo a passo**: aplicações práticas. Alegre/ES: CAUFES, 2010. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_Spring_5.1.2_Aplicacoes_Praticas/LivroSPRING_512PassoaPassoAplicacaoPratica.pdf>, acesso em 10 fevereiro 2022.
- SANTOS, A. R. et al. Spatial and temporal distribution of urban heat islands. **Science of the total environment**, 605-606, 2017, p. 946-956
- SANTOS, M. **Manual de Geografia Urbana**. 3ª.ed. São Paulo: Edusp, 2008.
- SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo, HUCITEC: 1993.

- SARAIVA, A. L. B. da. C. **O clima urbano de Mossoró (RN): o subsistema termodinâmico** (2014). Dissertação (mestrado em geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFES, Vitória.
- SETTE, D.M.; RIBEIRO, H. Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana. **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Vol. 6, n. 2, 2011. ISSN: 1980-0894.
- SILVA, G.M. **A zona de convergência do atlântico sul e a precipitação pluvial do município de Vila Velha (ES): repercussões sobre as inundações**. Monografia (Bacharelado em Geografia) da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.
- SILVA, V. P. R. da; PEREIRA, E, R. R. P; AZEVEDO, P. V. de; SOUSA, F. de A. S; SOUSA, I. F. de. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.131–138, 2011.
- SILVESTRE, M.R. **Técnicas estatísticas utilizadas em climatologia geográfica: diagnóstico e propostas**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Presidente, 2016.
- SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine (1951)**. Tome Premier: Les fondements biologiques. Paris: Armand. Colin, 1951.
- SOUZA, K.R.G; LOURENÇO, L. A evolução do conceito de risco à luz das ciências naturais e sociais. **Revista Territorium**, Vol. 22, 2015, p. 31-44.
- SOUSA, S.B.de; FERREIRA JÚNIOR, L.G. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **RA´E GA** 26 (2012), p. 75-99.
- SPOSITO, M.E.B. **Capitalismo e Urbanização**. Série Repensando a Geografia. São Paulo: Editora Contexto, 2002.
- STEWART, I. D; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of American Meteorological Society**, nº 93, p. 1879–1900. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>, 2012.
- TAGARRO, H.A.F. **A formação histórica e geográfica do bairro Dom João Batista, Vila Velha/ES (1980-2016)**. Monografia (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2018.
- TOBIN, G; MONTZ, B. **Natural hazards: explanation and integration**, New York: Guilford Press, 1997.
- WISNER, B.; BLAIKIE, P.M; CANNON, T.; DAVIS, I. (2004). **At Risk** – Natural hazards, people’s vulnerability and disasters. Londres: Routledge.
- WONG, N.H, JUSUF, S.K; TAN, C.L. Integrated method of evaluating the urban microclimate as a tool for sustainable urban development and urban design. **Landscape and urban planning** 100.4: p. 386-389, 2011.
- UGEDA JÚNIOR, J.C; AMORIN, M.C. de C.T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo**, Volume Especial, 2016, p.160-173.
- UGEDA JÚNIOR, J.C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2012.
- UNITED NATIONS. ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. Disponível em <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>, 2019. Acesso em 13 março 2022

- VALE, C.C. do. **Séries geomórficas costeiras do estado do Espírito Santo e os habitats para o desenvolvimento dos manguezais**: uma visão sistêmica. Tese (Doutorado em Geografia Física) Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004, 386 p.
- VALIN JR, M.O; SANTOS, F.M.M. Levantamento bibliográfico da utilização de transectos em pesquisas de clima urbano no Brasil e recomendações de padronização nos procedimentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 16 – Vol. 26 – JAN/JUN 2020
- VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital. Recife, Pernambuco, Brasil, 2006. Disponível em <https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>, acesso em 20 dezembro 2021.
- VASCONCELOS, P. de A. As metamorfoses do conceito de cidades. **Revista Mercator**, v. 14, n. 4, número especial, p. 17-23, 2015.
- VERDONCK, M; DEMUZERE, M; BECHTEL, B; BECK, C; BROUSSE, O; DROSTE, A; FENNER, D; LECONTE, F; VAN COILLIE, F. The Human Influence Experiment (Part 2): Guidelines for Improved Mapping of Local Climate Zones Using a Supervised Classification. **Urban Science**, 3(1), 2019, Doi: <https://www.mdpi.com/2413-8851/3/1/27>.
- WHITE, G.F.; HASS, J.E. **Assessment of Research on Natural Hazards**. Cambridge, MA: MIT Press, 1975.
- ZAVATTINI, J. A. O uso das cartas sinóticas nos estudos de climatologia geográfica. In.: SILVA, et al. **Experimentos em climatologia geográfica**. Dourados, MS: UFGD, 2014, p. 243-269.
- ZHA, Y; GAO, J; Ni, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 24(3), 583–594, 2003.