

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIENCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LUDMILLA ALVES FERNANDES

A CONSTRUÇÃO DE UM MAPA CLIMÁTICO URBANO PARA PETRÓPOLIS-RJ: cidade, clima urbano e planejamento.

JUIZ DE FORA/MG
2021

LUDMILLA ALVES FERNANDES

CONSTRUÇÃO DE UM MAPA CLIMÁTICO URBANO PARA PETRÓPOLIS-RJ: cidade,
clima urbano e planejamento.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, área de concentração “Dinâmicas Espaciais”, linha de pesquisa “Produção, processos e dinâmicas espaciais e ambientais”, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Cássia de Castro Martins
Ferreira

JUIZ DE FORA/MG
2021

LUDMILLA ALVES FERNANDES

A CONSTRUÇÃO DE UM MAPA CLIMÁTICO URBANO PARA PETRÓPOLIS-RJ: cidade, clima urbano, planejamento.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cássia de Castro Martins Ferreira
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Vicente Paulo dos Santos Pinto
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. José Carlos Ugeda Júnior
Universidade Federal do Mato Grosso

JUIZ DE FORA/MG
2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Alves Fernandes, Ludmilla.

A construção de um Mapa Climático Urbano para Petrópolis-RJ : cidade, clima urbano e planejamento. /Ludmilla Alves Fernandes. -- 2021.

171 f.

Orientadora: Cássia de Castro Martins Ferreira
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2021.

1. Clima urbano. 2. Cidade. 3. Planejamento urbano. I. de Castro Martins Ferreira, Cássia, orient. II. Título.

*“Amar e mudar as coisas
Amar e mudar as coisas me interessa mais”
(Belchior)*

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto não apenas de duas mãos – as minhas, que transformaram em texto os muitos questionamentos e incômodos que guardava na cabeça. É, mais que isso, construção conjunta com todas as pessoas que por mim passaram, deixaram uma fagulha de esperança, que foram suporte nesses dois anos, que dividiram e somaram, pessoal, profissional e academicamente.

Aos meus pais, por embarcarem em mais esse sonho meu, que se transformou em um sonho deles. Nem que eu quisesse eu conseguiria expressar o amor que sinto e o quanto sou grata por tê-los como anfitriões nesse mundo. A toda minha família pelo carinho e apoio oferecidos incondicionalmente, obrigada!

Ao meu irmão, Leonardo, por além de ser um grande parceiro de vida, ter mergulhado de cabeça nos trabalhos de campo comigo, por ter dirigido, me ajudado a encontrar os pontos de coleta, por ter me dado segurança de que tudo sairia perfeitamente como combinado. Estendo o profundo agradecimento a minha mãe, à Camila e à Letícia, que formaram lindamente minha equipe de campo. Vocês foram essenciais e incríveis!

Ao Victor, por ter estado presente no início meio e fim. No início, quando tudo era nebuloso e representou calma. No meio, quando questionei minha capacidade e estive lá pra me lembrar o porquê de tudo. No fim, quando tudo parecia muito distante de acabar e me ajudou a manter a sanidade. Você é a minha prova viva de amor e companheirismo.

Aos meus amigos e amigas, pela compreensão das faltas e falhas, por me ouvirem falar e falar e falar da pesquisa e por estarem sempre à postos para uma conversa boa e muitas risadas em qualquer bar de esquina – ou virtualmente, nesses tempos tenebrosos que vivemos. Nominalmente: à Carol Coutinho, Rebeca Chehab, Thaísa Souza, Letícia Rolim, Verônica Sakaragui, Karol Freira, Saely Nathaly e Bruno Nali. À Camila Tavares e ao Thiago Alves, pela parceria e figurinhas em momentos alegres e desesperadores. Em especial, à Olívia e Samarane, por terem me oferecido a casa, o coração e muitas comidinhas maravilhosas em Juiz de Fora desde o dia em que fui fazer a prova do mestrado.

Agradeço, especialmente, a minha orientadora Cássia, por ter me ajudado em infinitos níveis a trilhar esse caminho, por me dar a liberdade de ser e pensar, por resignificar em mim o sentido de orientar, por se tornar um exemplo, da forma mais singela e sutil, do que um dia espero ser. Ter sido orientada por você é um privilégio sem tamanho! Obrigada, mil vezes obrigada.

Aos integrantes da banca, Ugeda e Vicente, que me acompanham desde a qualificação, por trazerem questionamentos que me incentivam a ir além, me ajudando a construir não apenas

este trabalho, mas também a minha identidade enquanto pesquisadora.

Agradeço a Universidade Federal de Juiz de Fora, ao Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCAA – UFJF), aos professores e professoras que enriqueceram meu trajeto. À CAPES, pelo financiamento da pesquisa. E, por fim, mas não menos importante, à sociedade brasileira que sustenta a duros custos as universidades públicas e possibilitou que eu aqui estivesse. Que meu trabalho seja, humildemente, uma pequena contribuição a população e que represente o estreitamento dos laços entre Universidade e Cidade.

RESUMO

Por meio da materialização de um pensar e agir urbano, o processo de produção do espaço urbano repercute nos objetos e processos naturais. Dessa maneira, percebe-se que a produção e o consumo desse espaço, por meio do retrabalho da natureza primitiva, resultam em transformações de ordem socioambiental. Ademais, os efeitos do clima urbano se radicam à proporção de um crescimento urbano caótico. Por isso, ganham importância as análises que se debruçam sobre os entremeios entre clima, cidade e planejamento urbano, sendo esse último o principal responsável pela regulação do clima, através de seus mecanismos de regulamentação urbana. É nesse contexto interseccional que surgem os Mapas Climáticos Urbanos (UC-Map), enquanto uma ferramenta de agregação entre as informações climáticas urbanas e as informações de cunho urbano e urbanístico. O presente trabalho teve como objetivo compreender a relação existente entre as variáveis socioambientais que condicionam a conformação climática urbana da cidade de Petrópolis, por meio da construção de um Mapa Climático Urbano. Petrópolis é um dos municípios que compõem a Região Serrana do estado do Rio de Janeiro e mostra-se um interessante campo de pesquisa, dado que seu espaço urbano apresenta áreas de características contrastantes, mesmo em um pequeno recorte espacial, que decorrem do seu processo de formação enquanto Cidade Imperial e posterior expansão. Enquanto o Centro Histórico guarda aspectos, ainda, do período do Império (como as ruas estreitas e seus calçamentos) e é caracterizado por significativa presença de áreas verdes e controle do uso do solo, os bairros mais afastados são caracterizados pela autoconstrução, altos índices de impermeabilidade do solo e pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Metodologicamente, dividiu-se em duas grandes etapas: o levantamento de dados preliminares e a construção do mapa climático urbano, propriamente dita, com base na definição de climatopos. Analisando a espacialização dos climatopos que compuseram o mapa foi possível observar que as áreas de maior carga térmica e menor potencial dinâmico foram aquelas caracterizadas pelo uso misto e alto fluxo de pessoas e veículos. Por outro lado, as áreas de menor carga térmica e maior potencial dinâmico coincidem com áreas vegetadas /ou abertas. A partir dessas e outras análises, foram definidas estratégias e recomendações no que se refere ao planejamento urbano.

Palavras-chave: Clima urbano, Cidade, Planejamento Urbano.

ABSTRACT

Through the materialization of urban thinking and acting, the urban space production process has repercussions on natural objects and processes. In this way, it is clear that the production and consumption of this space, through the rework of the primitive nature, result in socio-environmental transformations. Furthermore, the effects of the urban climate are rooted in the proportion of chaotic urban growth. For this reason, analyzes that focus on the interplay between climate, city and urban planning become more important, the latter being the main responsible for climate regulation, through its mechanisms of urban regulation. It is from this intersectional context that Urban Climate Maps (UC-Map) emerge, as an aggregation tool between urban climate information and urban and urban information. The present work aimed to understand the relationship between the socio-environmental variables that condition the urban climatic conformation of the city of Petrópolis, through the construction of an Urban Climate Map. Petrópolis is one of the municipalities that make up the Mountain Region of the state of Rio de Janeiro and it is an interesting field of research, given that its urban space presents areas of contrasting characteristics, even in a small spatial outline, which result from its process of formation as an Imperial City and subsequent expansion. While the Historic Center still has aspects of the Empire period (such as narrow streets and sidewalks) and is characterized by a significant presence of green areas and control of land use, the most remote neighborhoods are characterized by self-construction, high rates of impermeability of the soil and little or no vegetation cover. Methodologically, it was divided into two major stages: the survey of preliminary data and the construction of the urban climate map, properly speaking, based on the definition of climatopos. Analyzing the spatialization of the climatopos that made up the map, it was possible to observe that the areas of greatest thermal load and least dynamic potential were those characterized by mixed use and high flow of people and vehicles. On the other hand, areas of lower thermal load and greater dynamic potential coincide with vegetated / or open areas. From these and other analyzes, strategies and recommendations regarding urban planning were defined.

Key words: Urban Climate, City, Urban Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relações dinâmicas entre os Processos Sociais e Ecológicos	8
Figura 2 - Modelo das grandes divisões morfológico-funcionais de uma cidade de porte médio.	17
Figura 3 – Escalas climáticas dentro da noção de hierarquia de Arthur Koestler.....	24
Figura 4 – Diagrama básico – Sistema Clima Urbano (S.C.U.).....	26
Figura 5 – Componentes do ecossistema urbano.....	30
Figura 6 – Tipos de sítio urbano.....	33
Figura 7 – Relação entre o padrão topográfico e a direção dos ventos.	34
Figura 8 – Relação entre a declividade e a incidência da radiação solar.....	35
Figura 9 – O fator de visão do céu a partir de um observador.	40
Figura 10 – Relação H/W nos cânions urbanos.....	40
Figura 11 – O fator de visão do céu a partir de um observador.	41
Figura 12 – Impacto da geometria urbana na radiação dentro dos cânions urbanos.	42
Figura 13 – Efeitos da vegetação na relação radiação solar - superfície terrestre.....	46
Figura 14 – Impactos da urbanização sobre as águas.....	48
Figura 15 – Variação da Camada de limite urbana e Camada de limite de dossel.....	49
Figura 16 – Domínios da qualidade de vida.	53
Figura 17 – Estrutura do Mapa Climático Urbano – UC-AnMap.	63
Figura 18 – Fluxograma do processo de elaboração do UC-AnMap para Hong Kong, Japão. 64	
Figura 19 – Fluxograma do processo de elaboração do UC-AnMap e UC-ReMap em Kassel, Alemanha.....	67
Figura 20 – Variantes do Caminho Novo.....	71
Figura 21 – Planta de Petrópolis, RJ – 1846.....	74
Figura 22 – Planta dos quarteirões coloniais – Major Tauany.	75
Figura 23 – Modelo comparativo entre o plano da Vila Imperial e o modelo das cidades-jardim.	76
Figura 24 – Crescimento da população petropolitana.	78
Figura 25 – Mapa de localização de Petrópolis – Distritos.	79
Figura 26 - Zoneamento	84
Figura 27 – Pessoas residentes – Sinopse do Censo Demográfico 2010.	85
Figura 28 – Localização – APA Petrópolis.	86
Figura 29 – Organograma da adição das camadas.	92

Figura 30 – Mapa de localização da área de estudo.	93
Figura 31 – Cartas sinóticas – 24/02/2019.	96
Figura 32 – Procedimento de tratamento da imagem anterior à geração da temperatura de superfície.	97
Figura 33 – Sensor instalado no centro da cidade de Petrópolis.	100
Figura 34 – Abrigo meteorológico alternativo.	100
Figura 35 – Ciclo diário da temperatura e o balanço de radiação da superfície terrestre.....	101
Figura 37 – Equipamento utilizado para a medição nos transectos móveis.	103
Figura 38 – Pontos de Coleta – Transecto 1.....	104
Figura 39 – Pontos de Coleta – Transecto 2.....	105
Figura 40 – Pontos de Coleta – Transecto 1.....	106
Figura 41– Gráfico de Temperatura do ar e de superfície (°C) – Transecto 1.....	114
Figura 42 – Gráfico de Temperatura do ar e de superfície (°C) – Transecto 2.....	115
Figura 43 – Gráfico de Temperatura do ar e de superfície (°C) – Transecto 3.....	115
Figura 44 – Gráfico de dispersão da temperatura do ar em função da temperatura de superfície (°C) – Transecto 1.....	116
Figura 45 – Gráfico de dispersão da temperatura do ar em função da temperatura de superfície (°C) – Transecto 2.....	116
Figura 46 – Gráfico de dispersão da temperatura do ar em função da temperatura de superfície (°C) – Transecto 3.....	116
Figura 47 - Temperatura do ar.....	118
Figura 48 - Temperatura de superfície	119
Figura 49 - Precipitação.....	121
Figura 50 - Topografia.....	123
Figura 21 - Declividade	125
Figura 52 – Orientação de vertente.....	127
Figura 53 - Vegetação.....	129
Figura 54 - Rugosidade	131
Figura 55 - Uso e ocupação do solo	133
Figura 56 – Edificações – Gabarito	135
Figura 57 – Mapa de análise climática	137
Figura 58 – Mapa de recomendação climática	142

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização das áreas do zoneamento morfológico-funcional de uma cidade de porte médio.....	18
Quadro 2 – Padrões de uso do solo estabelecidos para cidades de pequeno e médio porte.	37
Quadro 3 – Classes de ocupação do solo estabelecidas (%)......	38
Quadro 4 – Albedo e emissividade de alguns materiais que compõem as superfícies urbanas.....	44
Quadro 5 – Funções desempenhadas pela vegetação urbana.	45
Quadro 6 – Descrição de Oito Classes Climáticas Urbanas da UC-AnMap de Hong Kong (Ng et al., 2008).	68
Quadro 7 - Recomendações propostas para Bilbao, Espanha, a partir do UC-Map.....	69
Quadro 8 – Zoneamento municipal de Petrópolis: zonas, setores e parâmetros urbanísticos. .	82
Quadro 9 - Variáveis (camadas) mapeadas para a construção do UCMMap de Petrópolis.	90
Quadro 10 – Pesos atribuídos à variável Temperatura do ar.....	108
Quadro 11– Pesos atribuídos à variável Temperatura de superfície.	108
Quadro 12 – Pesos atribuídos à variável Topografia.....	109
Quadro 13 – Pesos atribuídos à variável Declividade.	109
Quadro 14 – Pesos atribuídos à variável Orientação de vertentes.....	110
Quadro 15 – Pesos atribuídos à variável Vegetação.....	110
Quadro 16 – Pesos atribuídos à variável Rugosidade.....	111
Quadro 17 – Pesos atribuídos à variável Precipitação.....	111
Quadro 18 – Pesos atribuídos à variável Uso e ocupação do solo.	112
Quadro 19 – Pesos atribuídos à variável Edificações.....	112
Quadro 20 - Climatopos.	136

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. CIDADE, CLIMA E PLANEJAMENTO: UMA DISCUSSÃO TEÓRICO-CONCEITUAL.....	4
2.1. As cidades e a produção do espaço urbano: o clima como uma construção socioambiental	4
2.1.1. A cidade, o urbano e suas repercussões ambientais e climáticas	4
2.1.2. Aspectos da produção do espaço urbano: agentes e espacialização díspar.....	9
2.1.3. A geração de um clima urbano como uma das facetas da própria produção desigual do espaço urbano.....	15
2.1.4. O Sistema Clima Urbano e a Geografia do Clima: contextualização, pressupostos teóricos e conceitualização	19
2.2. A diferenciação espacial dos atributos do clima a nível intraurbano	30
2.2.1. Os fatores	30
a) Sítio urbano	32
b) Uso e ocupação do solo.....	36
c) Edificações	39
d) Cobertura vegetal	44
e) Corpos hídricos	47
2.3. Planejar a cidade em uma perspectiva socioambiental: o mapa climático urbano	51
2.3.1. Meio ambiente urbano, clima e planejamento	51
2.3.2. O Mapa Climático Urbano	60
3. A ÁREA DE ESTUDO: PETRÓPOLIS/RJ	71
3.1. Petrópolis imperiosa história, contemporaneidade contraditória.....	71
3.2. Aspectos da legislação urbanística e planejamento urbano da cidade.....	80
4. CAMINHOS E PROCESSOS: A METODOLOGIA.....	88
4.1. A construção do Mapa de Análise Climática – UCAnMap.....	89
4.1.1. Temperatura	94
a) De superfície	95
b) Do ar.....	98
c) Validação dos dados de temperatura de superfície	108
4.1.2. Topografia, declividade e orientação de vertentes.....	109
4.1.3. Vegetação.....	110
4.1.4. Rugosidade.....	110
4.1.5. Precipitação.....	111
4.1.6. Uso e ocupação do solo e edificações	111
4.2. A construção do mapa de recomendação climática – UCReMap.....	113
5. O UC-MAP: RESULTADOS E DISCUSSÕES	114
5.1. As variáveis socioambientais	114
5.1.1. Temperaturas do ar e de superfície	114
5.1.2. Precipitação.....	120
5.1.3. Topografia – Altitude.....	122

5.1.4. Declividade	124
5.1.5. Orientação de vertentes.....	126
5.1.6. Vegetação.....	128
5.1.7. Rugosidade – Ventos	130
5.1.8. Uso e ocupação do solo.....	132
5.1.9. Edificações - Gabarito.....	134
5.2. O mapa de análise climática (UC-AnMap)	136
5.3. O mapa de recomendação climática	140
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	143

1. INTRODUÇÃO

As cidades, enquanto representação da profunda intervenção humana sobre o meio ambiente, repercutem nos objetos e processos naturais. Dentre eles, a dinâmica climática local é transformada e as condições para a configuração de um clima tipicamente urbano são geradas. O clima urbano é, conceitualmente, fruto da transformação energética e atmosférica nos espaços urbanos, resultante da modificação das superfícies, dos materiais construtivos, impermeabilização do solo, diminuição das áreas verdes, aumento de edificações em altura, etc.

Por isso, o estudo do clima desses espaços urbanizados mostra-se importante uma vez que o conceito de clima urbano carrega a dimensão da interrelação sociedade-meio, demonstrando o papel desempenhado pela ação social para a construção de condições climáticas ímpares na cidade ao mesmo tempo em que essas condições climáticas apresentam-se como fator interferente e condicionante da qualidade de vida urbana. O clima, enquanto elemento integrante do meio ambiente, insere-se nessa relação dialética social-ambiental nas cidades, uma vez que a atmosfera é alterada ao passo que se intensifica o fenômeno da urbanização e a formação de um clima tipicamente urbano é mais definida ao passo que a cidade cresce em tamanho e complexidade.

Uma discussão que se pretende nos entremeios do clima, cidade e planejamento urbano requer uma compreensão de fenômenos, epistemologicamente, distintos e, empiricamente, conexos. Isso pois o clima insere-se no bojo das discussões teóricas sobre natureza, enquanto ao planejamento convencionou-se inserir nas discussões sobre a sociedade, embora haja muito de natureza no planejar as cidades.

Ao passo que as cidades crescem, tanto em tamanho quanto em expressão, crescem, concomitantemente, problemas de ordem socioambiental nesses espaços. Considerando a relação sociedade-natureza expressada na produção do espaço urbano e a importância das cidades, torna-se necessário pensá-las de forma abrangente com vistas a sanar tais problemas e melhorar a qualidade de vida da população. Nesse sentido, o clima urbano transforma-se, ainda, em uma importante variável a ser considerada nos processos de planejamento e gestão urbanos uma vez que interfere diretamente no conforto e qualidade ambiental da população cidadina.

É nesse sentido que emerge a articulação de uma espécie de plataforma de informação para comunicação e colaboração interdisciplinar nos estudos de clima urbano e sua relação com o planejamento urbano. Desse contexto derivam os Mapas Climáticos Urbanos (Urban Climatic

Map – UCMaP), que representam uma análise integrada entre clima e planejamento, por agrupar análises tanto climáticas quanto do espaço construído.

Petrópolis, um dos municípios que compõem a Região Serrana do estado do Rio de Janeiro – e recorte espacial proposto aqui –, torna-se um interessante campo de pesquisa, dado que seu espaço urbano apresenta áreas de características contrastantes, mesmo em um pequeno recorte espacial, que decorrem do seu processo de formação enquanto Cidade Imperial e posterior expansão. Enquanto o Centro Histórico guarda aspectos, ainda, do período do Império (como as ruas estreitas e seus calçamentos) e é caracterizado por significativa presença de áreas verdes e controle do uso do solo, os bairros mais afastados são caracterizados pela autoconstrução, altos índices de impermeabilidade do solo e pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Observa-se, assim, um significativo contraste no que se refere aos aspectos urbanos e urbanísticos.

Considerando o histórico da microrregião serrana do estado do Rio de Janeiro no que se refere à negligência das questões ambientais e desastres naturais ocorridos – a exemplo de 2011, data de uma tragédia deflagrada por condições climáticas extremas de precipitação causando centenas de mortes por enchentes e movimentos de massa –, torna-se interessante estudar o clima urbano dessas cidades, e dentre elas, Petrópolis. Isso pois o meio ambiente deve ser entendido como um conjunto de variáveis socioambientais (como o relevo, vegetação, ação antrópica, clima, etc.) e quão melhor forem compreendidas essas variáveis, melhor e mais específico será seu planejamento urbano-ambiental.

Além disso, Petrópolis é classificada como uma cidade turística, dado o potencial criado pela sua formação enquanto vila e cidade imperial e atualmente, sobretudo, pela localização da indústria do setor cervejeiro, como o Grupo Petrópolis e a Cervejaria Bohemia. Esse rótulo faz com que sejam cada vez mais necessários estudos que correlacionem os aspectos ambientais – e, dentre eles, o clima – e os aspectos urbanos, com o intuito de pensar o espaço turístico também do ponto de vista do planejamento urbano e ambiental.

Assim sendo, o presente trabalho justifica-se por propor um estudo diferenciado do clima urbano da cidade de Petrópolis, incorporando novas análises e correlações, bem como contribuir para o enriquecimento do arcabouço teórico referente aos estudos climatológicos urbanos em cidades de pequeno e médio porte. Por outro lado, apresenta grande relevância social, uma vez que traz contribuições no que se refere ao conhecimento do clima urbano de Petrópolis e sua relação com os aspectos urbanos e urbanísticos e poderá, futuramente, servir como base para discussões e proposições do ponto de vista do planejamento e gestão urbanos.

O que se objetiva, portanto, é realizar uma análise conjunta das variáveis socioambientais que influenciam e condicionam a conformação climática urbana, a saber: temperatura do ar, de superfície, precipitação, topografia, declividade, orientação de vertentes, rugosidade, uso do solo, ocupação do solo, áreas verdes e edificações. Esse estudo será possibilitado e realizado por meio da construção de um Mapa Climático Urbano (Urban Climatic Map – UCMap), por compreendê-lo enquanto uma importante ferramenta que agrega informações climáticas, informações urbanas e urbanísticas e o planejamento urbano.

Nesse sentido, os objetivos específicos, que direcionarão o trabalho ao alcance do objetivo geral, são: Compreender o processo de formação e expansão da cidade de Petrópolis, que foi responsável por gerar tipologias distintas de uso e ocupação no espaço intraurbano e, por isso, é importante para um estudo que se debruça sobre a interseção clima-cidade-planejamento; Identificar as características gerais da cidade de Petrópolis em relação às variáveis socioambientais; Analisar a conformação térmica da cidade de Petrópolis; Construir um Mapa Climático Urbano para a cidade de Petrópolis.

Estruturalmente, o trabalho está dividido em quatro partes. A primeira delas, intitulada “Os entremeios entre clima, produção do espaço urbano e planejamento: uma discussão teórico-conceitual” contempla uma revisão teórico-conceitual, que se debruça sobre os temas centrais deste trabalho: as cidades, o clima das cidades e o planejamento urbano. A segunda parte, “Petrópolis”, consiste em uma apresentação da área de estudo. A terceira parte, “Metodologia” por sua vez, é composta pelo encaminhamento metodológico e processual do trabalho realizado. Por fim, na quarta parte, estão apresentados os resultados obtidos.

2. CIDADE, CLIMA E PLANEJAMENTO: UMA DISCUSSÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

2.1. As cidades e a produção do espaço urbano: o clima como uma construção socioambiental

2.1.1. A cidade, o urbano e suas repercussões ambientais e climáticas

Considerando os objetivos propostos, tem-se estabelecido, antes de mais nada, a necessidade de buscar o diálogo entre a cidade, o urbano e o meio ambiente – clima. É essa a abordagem que aqui será buscada.

As cidades somente puderam ser formadas e consolidadas considerando dois pressupostos: da sedentarização da sociedade e da apropriação e transformação da natureza primitiva. Além desses, Lencioni (2008) especifica mais alguns pressupostos, chamando-os de elementos da essência do conteúdo do conceito de cidade: o da aglomeração, do mercado e da administração pública. As primeiras aglomerações consideradas cidades datam de 3.500 a.C. (SJOBERG, 1972) e, aqui, não é importante traçar uma espécie de linha do tempo referente a esse processo de surgimento e expansão. Basta compreender que as cidades se tornaram, ao longo dos séculos, espaços característicos e representativos da sociedade e, mais especificamente, da sociedade moderna.

Carlos (2011) ao discutir a condição espacial, destaca que o próprio espaço se define como produto da civilização e demonstra que

a partir da relação com a natureza um mundo começa a ser produzido, ininterruptamente, apontando determinações próprias de cada período e constituindo-se como um conjunto de obras e produtos realizados pelo homem no âmbito da atividade que metamorfoseia a natureza em um mundo social. (p. 23)

Já a cidade, para a mesma autora, define-se como

trabalho objetivado materializado, que aparece através das relações entre o construído (casas, ruas, avenidas, estradas, edificações, praças) e o “não construído” (o natural), de um lado e do movimento do outro tanto no que se refere ao deslocamento de homens e mercadorias quando aquele se refere às marcas que representam um momento histórico diferentes produzidas na articulação entre o novo e o velho. (CARLOS, 1992, p. 69).

É nesse contexto que a cidade é considerada, ao mesmo tempo, um conceito e uma realidade e passa a ser apreendida como *forma e conteúdo* (SPOSITO, 2004). Ou, em outras palavras, a cidade é a ligadura entre o material e o imaterial, entre o físico e o humano, entre o natural e o societal em um movimento constante de transformação, construção e destruição. A

cidade, dessa maneira, reflete os aspectos sociais, políticos e econômicos do tempo presente ao mesmo tempo em que guarda marcas dos tempos pretéritos. Sua organização espacial – que manifesta esses reflexos – reporta à noção de estrutura urbana, ou “à forma como se encontram dispostos e se articulam os usos do solo, num dado momento do contínuo processo de estruturação dos espaços da cidade” (ibid., p. 311).

Na visão da economia política, a cidade se constitui como resultado do aprofundamento da divisão socioespacial do trabalho em uma comunidade, que passa a estabelecer uma diferenciação entre campo e cidade no que se refere à centralidade do poder na organização social. Seguindo a concepção lefbvriana, a cidade é um espaço político – a “cidade política” (LEFBVRE, 1969, 1999), o que significa dizer que essa se difere a partir de um controle político e ideológico ao retirar do excedente do campo as suas condições de reprodução. (MONTE-MÓR, 2005).

Unicidade entre todas as concepções de cidade é a ideia de processo e movimento. Essa ideia, no contexto da formação, consolidação e transformação das cidades na contemporaneidade remete ao processo de urbanização. Essa afirmativa corrobora com Sposito (2004) ao compreender a urbanização como processo e a cidade como sua forma concretizada. Enquanto processo, a urbanização, de acordo com Beaujeu-Garnier (1980), “é o movimento de desenvolvimento das cidades, simultaneamente em número e tamanho, isto é, o desenvolvimento numérico e espacial das cidades.” (p. 24). Esse movimento é, sobretudo, espaço-temporal e é nesse sentido que Sposito (1992) destaca que a urbanização

[...] remete, necessariamente, à análise da origem e evolução histórica das cidades, em relação ao nível de desenvolvimento das forças produtivas, ao estágio da divisão social e territorial do trabalho, às transformações de ordem política e social, às manifestações de caráter cultural e estético, às revoluções e contra-revoluções ideológicas e do conhecimento, à Filosofia e à especulação, à Ciência e ao quadro do cotidiano, como já destacou Lefebvre em sua obra. (SPOSITO, 1992, p. 93)

Limonad (1999), ao fazer uma discussão sobre o espaço, o urbano e a urbanização a partir de uma bibliografia clássica, reitera que a urbanização “longe de ser um processo autônomo, era parte integrante e essencial da produção do espaço pelo capitalismo” (p. 79) e reitera a influência da urbanização capitalista na produção do espaço ao escrever:

Se, durante o capitalismo competitivo, pouca importância foi atribuída, ao contexto urbano, isto mudou de figura com a reprodução ampliada, globalização da economia e desenvolvimento do meio técnico-científico, que intensificou a concentração de capital nos centros industriais e criou uma pressão crescente por parte do capital e da força de trabalho por investimentos em infra-estrutura, melhoria da habitação, serviços, etc... (LIMONAD, 1999, p. 79)

Assim, o processo de urbanização ao passo que é responsável pelo desenvolvimento das cidades é, também, produtor e disseminador do *urbano*. O urbano, para além da materialidade, pode ser entendido como um *continuum* da urbanização. Sobre a diferenciação entre a cidade e o urbano, escreve Lefbvre (1999): “(...) a cidade, como realidade presente, imediata, dado prático-sensível arquitetônico e por outro lado o urbano, realidade social composta de relações a serem concebidas construídas e reconstruídas pelo pensamento” (p. 49). Lencioni (2008) os distingue de forma que o conceito de urbano remete mais a um fenômeno do que a um objeto, enquanto a cidade é vista mais como um objeto do que um fenômeno.

Ainda de acordo com Lencioni (2008) – referenciando Henri Lefbvre (1999) e Manuel Castells (2000) – a noção de urbano é diretamente relacionada à sociedade industrial capitalista e, segundo Monte-Mór (2005), “é uma síntese da antiga dicotomia cidade–campo, um terceiro elemento na oposição dialética cidade–campo, a manifestação material e socioespacial da sociedade urbano-industrial contemporânea, estendida, virtualmente, por todo o espaço social” (p. 14). Como manifestação socioespacial, o urbano é, aqui, compreendido enquanto realidade, concomitantemente, concreta e abstrata do processo de urbanização, considerando as reverberações desse processo tanto no que se refere ao espaço físico quanto ao espaço das ideias, concepções, ideologias. Sobre isso, Henri Lefbvre já diferenciava

Três extratos. Três épocas. Três “campos”, não somente de “fenômenos sociais”, senão também de sensações e percepções, de espaços e de tempos, de imagens e de conceitos, de linguagem e de racionalidade, de teorias e de princípios sociais:
- o rural (camponês),
- o industrial,
- o urbano. (LEFBVRE, 1983, p. 34-35 *apud* SPOSITO, 2011, p. 41)

É nesse movimento que o *urbano* é interpretado enquanto fenômeno e os espaços das cidades podem ser apreendidos como espaços urbanos, espaços socialmente produzidos¹. Essa discussão sobre produção do espaço urbano, pela riqueza e necessidade de minúcia, será retomada no tópico “Aspectos da produção do espaço urbano: agentes e espacialização díspar”.

Ao passo que o processo de urbanização é aquele que amplia em número, tamanho e complexidade as cidades e a partir dele emerge o fenômeno urbano – que se estende além do material, inserido em um contexto de uma sociedade industrial capitalista – é possível presumir que, de forma sincrônica, há um aprofundamento do processo de apropriação e transformação

¹ O termo espaço socialmente produzido remete à produção social do espaço e pode ser compreendido, segundo Limonad (1999) – em diálogo com Soja – como “suporte, meio, produto e expressão da reprodução das relações sociais de produção em escala ampliada”, “é simultaneamente fruto das tensões entre capital e trabalho e de estratégias de luta pela reprodução do capital e do trabalho, bem como de práticas sociais organizadas que visam antagonicamente quer a manutenção do espaço social existente, quer uma transformação radical deste espaço” e “condensa em si desde a cotidianeidade do viver até a história, nele se mesclam marcas de tempos passados e persistem e coexistem, conforme o caso, formas capitalistas e pré-capitalistas de produção” (p. 81)

da natureza. A natureza é dominada e modificada em prol dos anseios de uma sociedade que busca a reprodução ampliada do capital e as cidades tornam-se os espaços privilegiados e característicos desse processo. Para Carlos (1992), a cidade é, antes de tudo, a materialização do urbano, incluindo tudo aquilo que é visível (construções, avenidas, etc.). É importante destacar que esse processo de urbanização, em termos de Brasil, atinge um nível elevado, sobretudo, a partir dos anos de 1970, quando cresce quantitativamente e qualitativamente (SANTOS, 1996).

“As cidades representam a mais profunda e radical intervenção humana sobre o ambiente” (SOUZA, 2008, p. 164). Assim, por meio da materialização de um pensar e agir urbano, o processo de produção do espaço urbano repercute nos objetos e processos naturais². Isso pois “a relação homem-natureza foi, e é sempre, uma relação de uso e de intervenção que o primeiro realiza sobre as bases naturais ou sobre uma segunda natureza”³ (SCHUTZER, 2012, p. 25).

Dessa maneira, percebe-se que a produção e o consumo do espaço urbano por meio do retrabalho da natureza primitiva resultam em transformações de ordem socioambiental. Segundo Coelho (2001, p. 21), “sendo a urbanização uma transformação da sociedade, os impactos ambientais promovidos pelas aglomerações urbanas são, ao mesmo tempo, produto e processo de transformações dinâmicas e recíprocas da natureza e da sociedade estruturada em classes sociais”, acrescentando à dinâmica social de produção do espaço urbano a importância de considerar que, nas cidades, há uma constante interferência das dinâmicas e processos naturais.

No que se refere ao crescimento urbano em um contexto brasileiro, Maricato (2000) ressalta que esse tem raízes profundas no passado colonial da formação da sociedade brasileira, sobretudo, na privatização da terra (1850) e na emergência do trabalho livre (1988). No entanto, foi a industrialização, baseada em baixos salários, que determinou muito do ambiente construído, possibilitando “a reprodução de novos e antigos males, nos indicadores de

² A diferenciação entre objetos e processos naturais pode ser encontrada em Schutzer (2012). Para o autor, o capital desnaturaliza a natureza em um processo que transforma ela própria em um objeto incorporado por um valor de uso – se, não há trabalho humano para sua produção, poderia ser apropriada e transformada sem um valor de troca. No entanto, é intrínseca à natureza a noção de processo, uma vez que essa não é estática e imóvel. Por isso, é importante ressaltar, em um contexto capitalista de produção do espaço, que a natureza é determinada enquanto objeto e processo. Schutzer (2012) destaca ainda que a intervenção na natureza, como objeto, reverbera em processos naturais, sendo esses alterados mais profundamente. Assim, a dialética entre homem e natureza se dá, sobretudo, entre sociedade e processos naturais.

³ Suertegaray (2001), baseando-se em Santos (1997), demonstra que a segunda natureza como aqui citada, é produto da artificialização da natureza primitiva, visto que essa é (re)produzida historicamente. Nas cidades, a segunda natureza pode ser entendida também como uma natureza densamente tecnificada, ou, nas palavras de Spósito (2011) uma espécie de não-natureza.

violência, pobreza, predação urbana e ambiental, poluição do ar e da água, epidemias, etc” (MARICATO, 2000, p. 40).

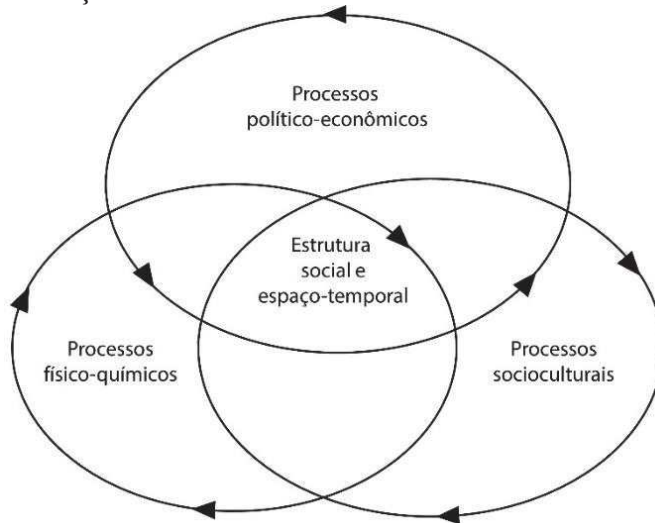
Além disso, a rapidez com que o Brasil fez a passagem de um modelo agrícola-rural para o urbano-industrial, na segunda metade do século XX, fez com que as cidades fossem transformadas na mesma velocidade desprovidas de planejamento, o que trouxe consequências negativas do ponto de vista socioambiental. Brandão (2003) elucida que

O resultado do intenso processo de urbanização nesse período é um quadro de desequilíbrio populacional entre áreas rurais e urbanas, crescimento acelerado das grandes aglomerações, densidade demográfica exagerada nos centros urbanos, insuficiência de habitação e infraestrutura básica, aumento da pobreza e da população favelada, ou seja, a expressiva degradação da qualidade de vida na cidade. (p. 123)

Devido a intensidade da transformação da natureza no espaço urbano, com a diminuição das áreas verdes, impermeabilização do solo e produção de calor, Sant’Anna Neto chega a argumentar que “as cidades, como espaços produzidos, ao mesmo tempo em que criam oportunidades civilizatórias, também se transformam em armadilha ambiental.” (2011, p. 46). Isso pois, a complexificação da interferência no meio ambiente, aprofunda a contradição espaço-temporal entre o social e o ambiental. Nesse sentido, pautada na ecologia política do meio ambiente, pensar a relação sociedade-natureza no espaço urbano requer um estudo das imbricações entre os processos biofísico-químicos, político-econômico-espaciais e socioculturais (

Figura 1)

Figura 1 - Relações dinâmicas entre os Processos Sociais e Ecológicos



Fonte: Coelho (2001), adaptado.

Além disso, considerando a relação entre sociedade e natureza nos espaços urbanos, percebe-se que “os complexos mecanismos desencadeados pelos habitantes da cidade alteram o clima, ao mesmo tempo em que a população tem sua qualidade de vida influenciada por ele” (DUMKE, 2007, p. 110). Isso pois, embora seja produto da maior capacidade social de transformar o espaço natural, a cidade não deixa de ser parte constituinte desse espaço e de estar submetida às dinâmicas e processos naturais (SPOSITO, 2011).

O clima, enquanto elemento integrante do meio ambiente, insere-se nessa relação dialética social-urbano nas cidades. Segundo Mendonça (2015), a atmosfera é alterada ao passo que se intensifica o fenômeno da urbanização e a formação de um clima tipicamente urbano é mais definida ao passo que a cidade cresce em tamanho e complexidade. Ademais, os efeitos do clima urbano se radicam à proporção de um crescimento urbano caótico. Sobre a interferência do crescimento urbano na produção do clima urbano, Mendonça (op. cit.) – analisando a proposição do Sistema Clima Urbano de Monteiro (1976) também ressalta que:

Os fatores geográficos do clima (conhecidamente latitude, altitude, continentalidade, maritimidade e atividades humanas) desempenham suas determinações sobre a escala local-urbana, mas é o último deles (atividades humanas) que toma destaque especial e acaba por controlar grande parte do fluxo de matéria e energia no âmbito da cidade. Nessa escala, os processos de feedback entre a atmosfera e a superfície leva à compreensão de uma camada de forte mistura de componentes gasosos, físicos e químicos gerando uma camada híbrida, a camada do clima urbano. (p. 159)

A partir destas discussões brevemente levantadas, é perceptível que o clima urbano é gerado através de um cenário da produção do espaço urbano e, conseqüentemente, sua estruturação enquanto forma, material. Por esse motivo, torna-se essencial uma abordagem de aspectos dessa produção e estruturação no que tange aos seus agentes responsáveis e espacialização.

2.1.2. Aspectos da produção do espaço urbano: agentes e espacialização dispar

Embora não conste nos objetivos deste trabalho o estudo aprofundado da produção do espaço urbano – assunto já amplamente discutido no âmbito da Geografia Urbana por autores como Manuel Castells, Henri Lefbvre, Roberto Lobato Corrêa, Flávio Villaça, Ana Fani Alessandri Carlos, Maria Encarnação Beltrão Sposito, entre outros – é essencial compreender que a cidade enquanto forma é produto social-espaço-temporal. Dessa maneira, as condições para a formação de um clima tipicamente urbano é, tal como a cidade e por ser um reflexo da mesma, produzidas socialmente em um determinado espaço e tempo. Assim, entender de que forma esse espaço urbano é produzido e a organização espacial é condição *sine qua non* para o

entendimento da espacialidade e temporalidade inerentes ao clima urbano. Ademais, se o que se busca com esse trabalho é estabelecer uma relação entre clima e planejamento, é preciso ressaltar que o ato de planejar as cidades é realizado por determinados grupos, que tem seus interesses e estratégias sobressaídos aos dos demais.

Em Corrêa (1989) organização espacial aparece como sinônimo de espaço urbano. Esse espaço (ou a própria organização espacial) é produzido. Enquanto produto, o autor elenca quatro possibilidades, ou momentos, de apreensão do espaço urbano, a saber: um primeiro momento de compreensão do espaço urbano como conjunto de usos da terra justapostos entre si; em um segundo momento, a partir da compreensão do espaço urbano como um mosaico de usos, este torna-se simultaneamente fragmentado e articulado, demonstrando as relações entre as suas partes constituintes; um terceiro momento que, ao considerar o espaço urbano como fragmentado e articulado elucida-o como um reflexo da sociedade⁴, uma vez que a sua divisão articulada é nada mais que a expressão de processos sociais, e; por fim, esse espaço deve ser considerado também um condicionante social, o qual estabelece condições à sociedade por meio das estruturas fixas e formas espaciais que desempenham papel fundamental na produção e reprodução das condições e relações de produção. Para mais, ainda são acrescentadas mais duas adjetivações ao espaço urbano: o espaço como um conjunto de símbolos e campo de lutas, a partir de uma leitura desse espaço enquanto o lugar de diferentes grupos e classes sociais, que se estabelecem na dimensão cotidiana e entram em conflito em um contexto de desigualdade espacial.

Carlos (2011), citando Dollfus (1972), demonstra que todo espaço geográfico é organizado. Essa afirmação levanta a questão de que esse espaço, enquanto *produção social*, o é a partir de ações e estratégias sociais que se exprimem na organização socioespacial. Sobre a noção de produção, a autora revela sua importância ao desvelar “os conteúdos do processo produtivo, os sujeitos produtores, os agentes da produção material do espaço, as finalidades que orientam essa produção no conjunto de determinada sociedade, bem como suas formas de apropriação.” (CARLOS, op. cit., p. 68). Assim,

Esse processo [de re-produção do espaço] entre sociedade e natureza segundo implica o entendimento de várias relações: sociais, políticas, ideológicas, jurídicas, culturais etc. compondo os níveis da realidade e dominando um modo de produzir, pensar e sentir, e, por extensão, também, um modo de vida. (p. 69)

⁴ Ao compreender o espaço urbano como reflexo da sociedade, Corrêa (1989) destaca o caráter profundamente desigual deste no bojo de uma sociedade e cidade capitalistas e demonstra que, assim como a própria sociedade, este tem sua dinâmica e é mutável, tornando-se complexo no que se refere aos ritmos e naturezas.

De acordo com Sposito (2011), seguindo essa linha de pensamento, a noção de produção do espaço revela um processo que se sustenta na ação de sujeitos sociais em um determinado espaço e tempo e “revela um processo real, amplo e profundo como um conjunto de relações, modelos de comportamento e sistemas de valores” (p. 65). Já segundo Brunet (1986) produzir o espaço remete, ao mesmo tempo, a organizar e diferenciar espacialmente. Souza (2013), no que concerne à produção, enfatiza a conjunção entre o material e o simbólico, caracterizado pelas relações de poder. O espaço urbano é produzido em um contexto político-econômico-social capitalista, no qual a divisão social (e, acrescenta-se aqui, territorial) do trabalho e a propriedade privada são características que levam a uma complexificação social visto que, ao diferenciar funções de comando e produção, resulta em uma diferenciação socioespacial conflituosa e contraditória (LEFBVRE, 2001).

No que se refere ao espaço urbano, Castells (2000) indica que este é um espaço estruturado, ou seja, sua organização não se dá ao acaso, mas sim a partir de processos sociais característicos de cada tipo e cada período da organização social.

Nesse sentido, retomando Corrêa (1989), o espaço urbano “é assim a própria sociedade em uma de suas dimensões, aquela mais aparente, materializada nas formas espaciais” (p. 9). Essa constatação impõe um desafio à análise da cidade enquanto forma ao passo que as formas são, sobretudo, representação da dinâmica social. Por esse mesmo motivo, é elementar compreender para além das formas em um estudo que se debruça sobre a relação sociedade-natureza no espaço urbano, considerando que as transformações e modificações da natureza são, também, fruto de uma dinâmica socioespacial. Sobre essa relação, Souza (2013) bem elucida ao demonstrar que

muito embora a natureza não se confunda com a sociedade, ela *está*, ao mesmo tempo, *na* sociedade (a materialidade da natureza transformada pelas relações sociais); e, quanto à sociedade, mesmo que ela não se confunda inteiramente com a natureza, ela *está*, ao mesmo tempo, *na* natureza (a ideia de natureza como cultural e historicamente produzida). (p. 29)

Isto posto, abrem-se alguns questionamentos: Como o espaço urbano é produzido? Quem o produz? O que as formas e morfologias demonstram? De que forma os agentes produtores do espaço se apropriam da natureza? De que maneira todo esse processo se relaciona com a produção de um clima urbano?

O espaço urbano é produzido por meio da ação de sujeitos sociais, por sujeitos e atores produtores do espaço⁵, que agem espacialmente de forma diferenciada. Isso significa que

⁵ Há uma diferenciação elementar entre *sujeitos* e *atores* produtores do espaço, como elucidada por Carlos (2011): “enquanto o *sujeito* age e cria um mundo cheio de significados, o *ator* é dirigido por outro, de forma que a produção

Diferentes pessoas movimentam-se e apropriam-se do espaço urbano de modos que lhes são peculiares, segundo condições, interesses e escolhas que são individuais, mas que são, também, determinados historicamente, segundo diversas formas de segmentação: idade, perfil cultural, condições socioeconômicas, segmentação profissional, preferências de consumo de bens e serviços etc. (SPOSITO, 2011, p. 134).

Essa diferenciação, para a autora, está assentada em três pontos listados que demonstram que a cidade não é uma unidade, mas sim um espaço aberto de formas e fluxos. Um primeiro diz respeito à forma urbana como condicionante de fluidez dos distintos segmentos sociais. Em segundo lugar, a relação entre tempo e espaço (que se diferencia socialmente) como condicionante da apropriação do espaço urbano. E, por fim, a questão dos conflitos de interesses, entre a reprodução capitalista e a reprodução social. Quanto aos agentes, convém aqui abordá-los uma vez que suas redes de influência são materializadas também nas estratégias de planejamento urbano e seus impactos na estruturação da cidade, tornando-os, por vezes, os responsáveis pela alteração da atmosfera na camada limite urbana. No âmbito individual, há uma multiplicidade de sujeitos e atores da produção do espaço. No entanto, esses podem ser aglomerados em três grandes grupos quando se diz respeito à coletividade, são eles: o Estado, agente da dominação política, centro de decisões e estabelecimento de normas e tutelas; o capital, agente da generalização do espaço como mercadoria, atendendo às suas necessidades de reprodução ampliada, e; os sujeitos sociais, agentes da produção do espaço em sua dimensão de condição, meio e produto da vida humana (CARLOS, 2011).

Entretanto, ao abordar quem produz o espaço urbano, Corrêa (1989) elenca: os proprietários dos meios de produção, considerados grandes consumidores do espaço em razão de suas atividades – comerciais e/ou industriais; os proprietários fundiários, que atuam no sentido de obter a maior renda possível em detrimento de suas propriedades; os promotores imobiliários, considerados como aqueles que realizam inúmeras operações relacionadas ao mercado de terras (incorporação, financiamento, estudo técnico, construção, comercialização, entre outras); o Estado, que atua na organização espacial da cidade, sobretudo, como agente regulador do uso do solo em suas variadas dimensões (e, aqui, acrescenta-se o poder central no que tange ao planejamento urbano), e; os grupos sociais excluídos, agentes de resistência e sobrevivência em um espaço desigualmente construído, fragmentado e hierarquizado.

Destarte, é por meio da ação desses agentes que a cidade se estrutura e toma forma, já que “as atividades humanas se localizam diferencialmente no espaço, criando uma morfologia”

do espaço é realizada por sujeitos sociais historicamente definidos” (p. 43, grifo da autora). Considerando que todos agem espacialmente, quer de uma forma quer de outra, quando se usa, aqui, o termo “agente”, faz-se referência a ambos – sujeitos e atores.

(CARLOS, 2011, p. 68). É necessária a ressalva de que, para Sposito (2017), há uma diferenciação entre forma e morfologia urbanas. Enquanto a forma se refere ao aspecto visível, a morfologia engloba forma e conteúdo. Lefebvre (1999), no entanto, já chamava atenção para uma compreensão da forma urbana para além do aspecto plástico, geométrico. Para ele, toda forma expressa uma ideologia, uma forma de poder sobre a cidade. Whitacker e Miyazaki (2012) corroboram com essa noção ao destacar que é necessário, também, considerar os conteúdos que as formas carregam, uma vez que essas são materialização de um processo – a urbanização.

As formas, além do mais,

resultariam da maneira como se articulam, no decorrer do tempo, determinações sociais que orientam a maneira como uma sociedade vai ocupar o espaço natural e dele se apropriar. Como esse não é um movimento de sentido único, as formas espaciais pretéritas, naturais ou não, influenciam diretamente a configuração das novas formas. Assim, elementos constitutivos de uma forma natural repercutirão continuamente sobre as formas que resultam de sua transformação (SPOSITO, 2017, p. 299).

Corroborando com essa ideia e servindo de referência para tal, Serra (1987, p. 102) destaca que o espaço urbano é produzido e consumido continuamente dentro dos parâmetros do espaço natural e “a forma adaptada, produzida, implica sempre uma violência na destruição de outra forma, eventualmente nas formas da natureza” (ibid., p. 101). É como se as formas, então, representassem a “fusão do passado e do presente em determinado momento” (SPOSITO, 2004, p. 71) Dessa maneira, é compreendida enquanto contorno e substância espacial ao passo que é sempre adaptada e/ou produzida através do trabalho social.

A justaposição dessas formas urbanas são o objeto da morfologia urbana. Esta, por sua vez, possui forte relação com o estudo da paisagem urbana. Isso pois a partir da morfologia é que seria possível apreender a paisagem⁶. Entretanto, essa apreensão não deve se ater à simples delimitação ou descrição dos objetos, mas “estabelecer também para quê, por quê, por quem e quando se dá a produção das formas resultantes no contexto do processo de produção do espaço, na perspectiva lefebvriana” (WHITACKER e MIYAZAKI, 2012, p. 313-314, grifo dos autores). Além disso, “Morfologia Urbana permite a construção, sempre mais ou menos

⁶ Paisagem é um conceito caro à Geografia e não cabe fazer uma extensa revisão bibliográfica devido a amplitude e complexidade das discussões. Basta compreender que, para a ciência geográfica, o conceito, tradicionalmente, refere-se ao “espaço abarcado pela visão de um observador” (SOUZA, 2013, p. 43-44). Ainda segundo Souza (op. cit.), por ser considerada como uma aparência – uma forma – é interessante “desconfiar” da paisagem, ou seja, interpretá-la enquanto relação forma-conteúdo, aparência-essência. No contexto da Geografia Urbana, Carlos (1992) caracteriza a paisagem urbana como “a expressão da ‘ordem’ e do ‘caos’, manifestação formal do processo de produção do espaço urbano, colocando-se no nível do aparente e do imediato” (p. 36).

significativa e abrangente, de tipologias e, assim, presta-se à comparação em duas frentes possíveis, a temporal e a espacial.” (ibid., p. 319).

No tocante à estruturação urbana, Villaça (1998) demonstra que a noção de estrutura remonta a um “todo de elementos que se relacionam entre si de tal forma que a alteração de um elemento ou de uma relação altera todos os demais elementos e todas as demais relações” (ibid., p. 12). A estrutura urbana, portanto, deve ser compreendida enquanto a interrelação entre todos os elementos constituintes do espaço urbano, considerando os objetos urbanos – ruas, praças, avenidas, edificações – e suas localizações – que exprimem e especificam o espaço intraurbano.

Acrescenta-se à noção de forma, morfologia e estrutura urbana a terminologia substrato espacial material, utilizada por Souza (2013), por considerar que esta abarca elementos fundamentais para esta pesquisa, tornando-se central. O termo substrato espacial material é utilizado pelo autor como uma possibilidade de ligadura entre uma “primeira natureza” – caracterizada por ele como o sítio, ou, o conjunto de condições naturais abióticas – e uma “segunda natureza” – ou, simplesmente, o espaço social material –, usando como base referencial Élisée Reclus. É, ainda, definido pelo autor como “o espaço geográfico em sua materialidade” (ibid., p. 63), demonstrando que nele estão contidas as dinâmicas, contradições e cisões inerentes a um espaço dito geográfico. Essa delimitação e diferenciação entre os conceitos de morfologia, estrutura, substrato espacial material e forma se faz necessária e importante para elucidar que, aqui, serão considerados sinônimos, posto que todos eles partem do pressuposto de análise sincrônica de forma e conteúdo. Todavia, será atribuído papel central ao substrato espacial material, em razão da conexão entre os aspectos naturais e sociais inerentes a ele, conexão essa primordial para qualquer trabalho que dedica ao estudo do clima urbano.

Para além das conceitualizações, reitera-se a essencialidade de compreender que esse processo de construção de um substrato espacial material, produto da materialização da relação sociedade-natureza e da ação dos agentes produtores do espaço, é realizado de forma desigual e complexa. Por um lado, pois a própria dinâmica da natureza carrega singularidades e complexidades, por outro pois

A complexidade da ação dos agentes sociais inclui práticas que levam a um constante processo de reorganização espacial que se faz via incorporação de novas áreas ao espaço urbano, densificação do uso do solo, deterioração de certas áreas, renovação urbana, relocação diferenciada da infra-estrutura e mudança, coercitiva ou não, do conteúdo social e econômico de determinadas áreas da cidade. É preciso considerar entretanto que, a cada transformação do espaço urbano, este se mantém simultaneamente fragmentado e articulado, reflexo e condicionante social, ainda que as formas espaciais e funções tenham mudado. A desigualdade sócio-espacial também não desaparece: o equilíbrio social e da organização espacial não passa de um discurso tecnocrático, impregnado de ideologia. (CORRÊA, 1989, p. 11)

É nessa perspectiva de produção de um substrato espacial material que as condições materiais e imateriais para a formação do clima urbano são delineadas nas cidades, condições essas que serão melhor abordadas adiante.

2.1.3. A geração de um clima urbano como uma das facetas da própria produção desigual do espaço urbano

Existe uma série de acepções sobre o clima urbano, seus elementos e dinâmicas. É consenso, no entanto, que se trata de uma derivação de tudo aquilo que se processa na camada atmosférica de limite urbana. Isso significa que, a cidade – enquanto materialização do processo de urbanização –, seus fixos e fluxos, é responsável por transformar a atmosfera de forma que são modificados os atributos do clima, sobretudo, a temperatura e a umidade relativa do ar.

Para esmiuçar essa relação entre a cidade e o clima, é pertinente a discussão trazida por Souza e Catalão (2016) sobre cidades-*cyborg* e atmosfera-*cyborg*. Utilizando a metáfora do *cyborg*⁷, originalmente apresentada por Swyngedouw (2001) ao teorizar sobre a “urbanização-*cyborg*”, os autores demonstram a possibilidade de pensar as cidades enquanto um híbrido socionatural, uma vez que o termo *cyborg* remete a uma união entre o humano e o não humano – a técnica, a artificialização. Referenciando Haraway (2009), revelam que a partir do final do século XX tornamo-nos todos ciborgues devido ao envolvimento com objetos técnicos no plano das relações socioespaciais. A cidade-*cyborg* seria, então, a expressão máxima desse processo de fusão entre sociedade-natureza. Trata-se, entretanto, de um processo inacabado, de uma união disfuncional, dinâmica, conflituosa, transformadora, “desagregadora porque a urbanização, como todo e qualquer processo que se manifesta no espaço geográfico constantemente produzido pela sociedade, ocorreu e ocorre pleno de contradições e conflitos. À mais espacial de suas expressões, a cidade, igualmente” (SOUZA e CATALÃO, 2016, p. 203).

Seguindo esse raciocínio, a atmosfera também poderia ser considerada como atmosfera-*cyborg*, já que suas dinâmicas “alteram *as* e são alteradas *pelas* dinâmicas sociais das cidades” (op. cit., p. 206, grifo dos autores), revelando a hibridação entre o social e o natural. O clima urbano mostra-se, portanto, como fruto da fusão entre dois processos de produção: o primeiro, do próprio espaço urbano, tanto no plano material (com suas construções, uso e ocupação do solo, abertura de vias, verticalização, impermeabilização do solo etc.) quanto no plano imaterial

⁷ O termo *cyborg* deriva da junção das palavras “cibernético” e “organismo”, na língua inglesa.

(os fluxos de pessoas e veículos, atividades cotidianas etc.), e; o segundo, como derivação desse primeiro, referente à produção de condições climáticas e atmosféricas singulares ao espaço urbano.

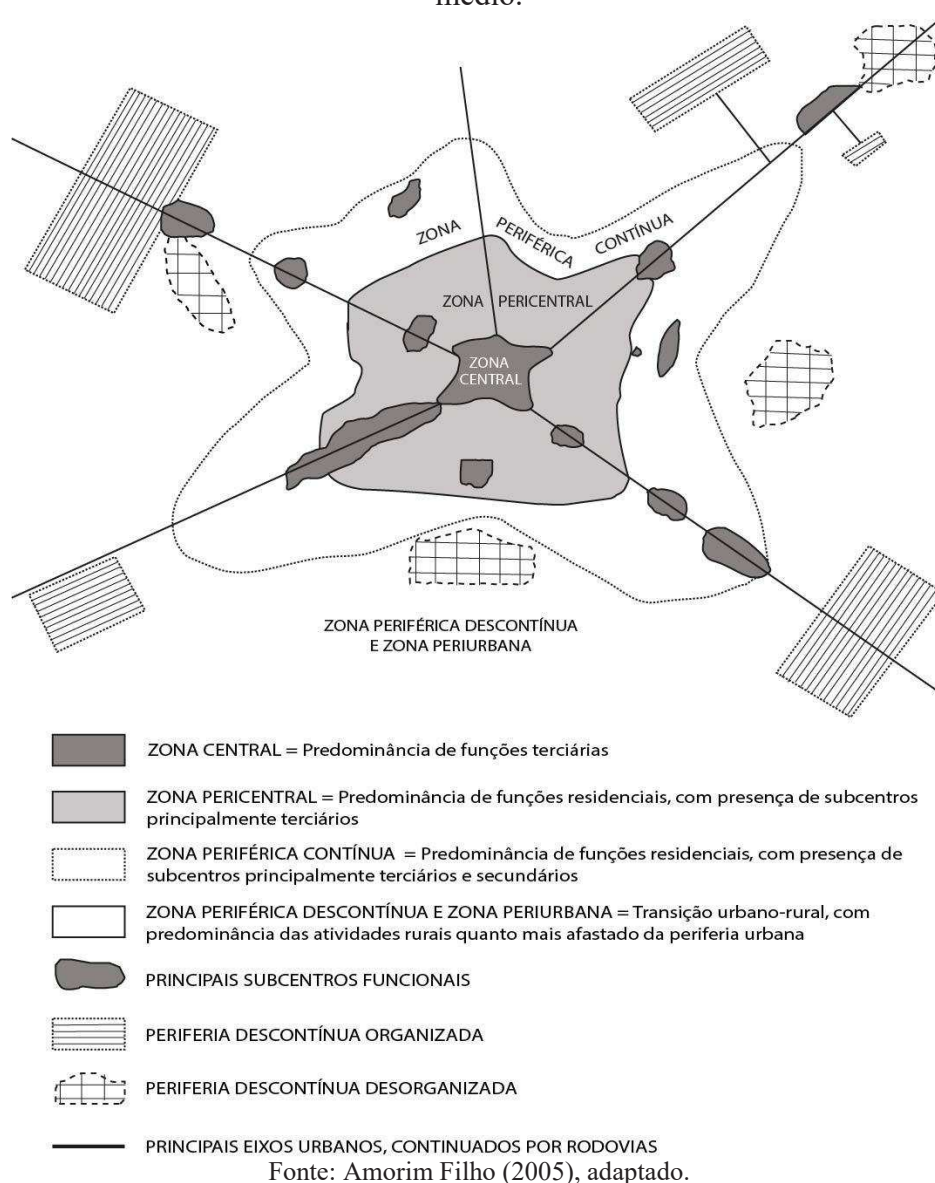
A relação entre a produção do espaço urbano e a produção do clima urbano é destaca por Monteiro (2015) ao dizer que

A partir da organização primitiva da natureza, o homem promove, de maneira concentrada, uma série infindável de derivações que se apresentam na massa de edificações urbanas: sua arquitetura, numa estruturação morfológica e dinâmica funcional, com seu sistema viário de circulação interna e de relacionamento regional, ao cabo do que as primitivas condições geoecológicas do sítio vão sendo derivadas por acréscimos. [...] Tudo isso, aliado à própria dinâmica da população aí concentrada, circulando e desempenhando variadas atividades e serviços, faz com que as cidades sejam – por excelência – os lugares onde as resultantes ambientais configuram-se como obra conjunta de uma natureza retrabalhada e afeiçoada aos propósitos do viver humano. (p. 86)

Em outras palavras: as condições para a constituição do clima urbano não são homogeneamente arranjadas no espaço urbano, visto que há um mosaico de usos e ocupações díspares, assim como os sujeitos se movimentam e vivenciam a cidade de formas diferenciadas. Dessa forma, sobre a perspectiva da produção, é possível dizer que o clima urbano é resultado da materialização da ação dos agentes produtores do espaço, que agem e produzem esse espaço de formas e em escalas distintas, de acordo com seus interesses. É assim que, por meio dos esforços aqui propostos, considera-se a produção do clima urbano como uma das facetas da própria produção do espaço urbano.

Na prática, essa constatação significa que as condições climáticas e atmosféricas são variáveis a depender da arquitetura das diversas áreas da cidade, que, por sua vez, está relacionada de forma intrínseca ao tipo de uso e ocupação e funções urbanas. A complexidade da organização – morfológica-funcional – das cidades médias é tratada por Amorim Filho (2005) e é esquematizada da seguinte maneira:

Figura 2 - Modelo das grandes divisões morfológico-funcionais de uma cidade de porte médio.



O aprofundamento da conceituação de termos como periferia e subcentro não cabem neste trabalho. Porém, é importante considerar a complexidade inerente às cidades de porte médio, onde cada uma dessas zonas traçadas, ao desempenhar funções distintas, demandam estruturas espaciais e consumo igualmente distintos do espaço. E, como derivação, transformam o balanço energético de forma diferenciada no espaço intraurbano, uma vez que esse é resultante de tudo aquilo que se processa sobre a camada limite das cidades, servindo como *input* de energia. Além disso, na perspectiva dos impactos, esses serão também diferenciados, considerando que o grau de vulnerabilidade e resiliência não é distribuído homoganeamente e dependem de variáveis como os aspectos socioeconômicos, o planejamento e gestão (além daqueles de cunho natural, físicos e ambientais).

Ao caracterizar cada uma das zonas delineadas na Figura 2, torna-se evidente a relação entre a função e a forma – os objetos urbanos. Essa caracterização consta no quadro abaixo.

Quadro 1 - Caracterização das áreas do zoneamento morfológico-funcional de uma cidade de porte médio.

Zona Central	Zona Pericentral	Zona Periférica	Zona Periurbana
<ul style="list-style-type: none"> • Centro principal bem definido funcionalmente (forte presença de equipamentos “raros” de alcance regional); • Diferenciação funcional interna; paisagem e morfologia típicas (construções em altura, maior densidade de construções; • Forte movimento de veículos e de pessoas, animação); • Função residencial superada pelas funções terciárias; • Centro com polarização pelo menos microrregional, podendo alcançar o nível regional de polarização. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extensa espacialmente; • Função residencial predominantemente; • Presença de subcentros especializados ou polifuncionais (estes últimos pequenos), ao longo dos eixos, de praças e de entroncamentos, diferenciação morfológica e paisagística em função de diferenças socioeconômicas; • Presença de equipamentos como hospitais, universidades, estações rodoviárias e ferroviárias, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • De dois tipos: <ul style="list-style-type: none"> - contínua (como prolongamento da zona pericentral) - descontínua ou polinuclear, formada por loteamentos (unidades organizadas) ou “vilas” (desorganizadas e, em certas regiões, verdadeiras favelas); • Presença de subcentros polifuncionais bem modestos (comércio e serviços de vizinhança) e de alguns subcentros especializados; • Extensão proporcional ao nível hierárquico e tamanho da cidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presença de uma zona de transição urbanorural mais ou menos extensa, e que se confunde, nas imediações da cidade, com a periferia polinuclear e descontínua; • Presença de alguns equipamentos terciários pontuais; • Aumento das casas de campo, de clubes campestres e hotéis fazenda; • Diminuição das fazendas e aumento das pequenas propriedades com produtos para cidade média.

Fonte: Amorim Filho (2005), adaptado por Andrade (2015).

Ademais, em um contexto de uma sociedade capitalista,

Se observarmos bem, a cidade é um meio ambiente geográfico que serve de suporte a esse tipo de sociedade. Nela não se pode obter diretamente o necessário, mas através da moeda. Não é à toa que o mundo se urbaniza com o advento do capitalismo. Não é à toa, também, que o próprio espaço urbano se diferencia em função da disponibilidade monetária dos seus habitantes. A segregação social se manifesta no espaço urbano (PORTO-GONÇALVES, 1984, p. 66).

Sant’Anna Neto (2001) destaca ainda que

O modo de produção capitalista territorializa distintas formas de uso e ocupação do espaço, definidos por uma lógica que não atende aos critérios técnicos do

desenvolvimento (ou sociedade?) sustentável. Assim, o efeito dos tipos de tempo sobre um espaço construído de maneira desigual gera problemas de origem climática, também desiguais. (p. 58)

Então, o que seria o clima urbano – caracterizado pela modificação das condições climáticas e atmosféricas nas áreas urbanizadas – se não fruto desse processo desigual de produção do espaço urbano?

2.1.4.O Sistema Clima Urbano e a Geografia do Clima: contextualização, pressupostos teóricos e conceitualização

Historicamente, a Climatologia esteve atrelada à Meteorologia, apresentando-se como um braço desta. No entanto, a partir de alguns trabalhos como [acrescentar], considerando clima e tempo fenômenos geográficos, se iniciou uma busca pelo que, de fato, interessa à Geografia. Para a Geografia, o estudo do clima urbano coloca-se como um desafio, considerando a interdisciplinaridade característica dos espaços urbanos e requerida para sua compreensão. Por isso, Monteiro (2003), diferencia a perspectiva climatológica geográfica daquela meteorológica de modo que para o geógrafo, além do *air over city*, interessa, sobretudo, o *air within the city*.

Mas, distando da grande maioria dos trabalhos que se debruçam sobre a temática do clima e, pela existência destes, não há a intenção de remontar de forma aprofundada toda a historiografia epistemológica da ciência climatológica neste tópico. Busca-se, sobremaneira, recorrer a bibliografias mais recentes que, no âmbito da climatologia urbana, apresentam possibilidades geográficas de análise do clima, tanto no que se refere à formulação de modelos, quanto na contribuição ao desenvolvimento de perspectivas e abordagens.

Por esse ângulo, no Brasil, considera-se que há duas correntes – se assim pode-se dizer – que se complementam: a primeira encabeçada por Carlos Augusto Monteiro e marcada pela formulação do Sistema Clima Urbano e, uma segunda, mais recente, personificada por João Lima Sant’Anna Neto, cuja abordagem se denomina Geografia do Clima. É nessa complementariedade que este trabalho se sustenta.

As contribuições de Monteiro para a Climatologia Geográfica brasileira têm como ponto de partida a incorporação e o desenvolvimento da noção de *ritmo*. A partir do diálogo com as obras de Sternberg (1949), Pédélaborde (1956) e Sorre (1951) e da crítica ao conceito de clima como algo estático de Julius Hann, Monteiro (1971) insere princípios dinâmicos à compreensão do clima no contexto brasileiro, em busca da superação de uma climatologia puramente separativa, descritiva e estática. Nessa lógica, teoricamente fundamentado nas ideias de ritmo

e sucessão e, metodologicamente fundamentado na ideia de análise rítmica, Monteiro estabelece as bases de uma renovação teórico-metodológica na análise geográfica do clima. Assim, o clima deve ser considerado dinâmico e pulsante e, só seria apreendido por meio do conhecimento da sucessão dos seus estados – estabelecendo o ritmo. (SANT’ANNA NETO, 2001). Para ele,

[...] 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)

No que tange à Climatologia Urbana, especificamente, Monteiro (1976), apoiado na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1950), elabora uma proposta teórica e analítica do clima urbano sobre uma perspectiva sistêmica, o Sistema Clima Urbano (S.C.U.). Nela, estão contidos os critérios básicos, os enunciados básicos (e não postulados, por evitar o formalismo e a sofisticação), às questões de consistência e a esquematização das relações sistêmicas por meio de diagramas de blocos.

No entanto, os enunciados são aquilo que explica todo o funcionamento do clima urbano enquanto um sistema e, por isso, é indispensável sua exposição. De acordo com Monteiro (2003), são eles⁸:

1. O clima urbano é um sistema que abrange o *clima* de dado espaço terrestre e sua *urbanização*. (p. 19, grifo meu)

Essa constatação é a definição básica de clima urbano – um sistema que abrange um clima local e a cidade, ou, em outras palavras, um fato natural e um fato social. Por meio dela, o autor ainda elucida que não há uma definição quantitativa acerca do grau de urbanização e de que características geológicas seriam necessárias para a sua determinação. Essa não se apresenta como uma preocupação, já que a realidade é extremamente variável e o S.C.U. abrange dois conjuntos complexos – o clima e a cidade.

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. (p. 20)

Utilizando dos conceitos de *núcleo* e *ambiente*, derivados da Teoria Geral dos Sistemas, o autor demonstra que há uma articulação geográfica e escalar entre o local e o regional. O espaço urbanizado é, então, o *núcleo* do sistema. Esse núcleo se relaciona com o *ambiente*, que remete às relações escalares, incluindo o plano vertical e o horizontal, o espaço concreto e o

⁸ Os enunciados, embora consistam em citações diretas, estão dispostos opcionalmente fora da norma ABNT para que haja uma padronização entre eles, uma vez que alguns possuem menos de três linhas e outros mais, o que faria com que elementos com a mesma relevância tivessem destaques diferenciados.

tridimensional. A preocupação central recai sobre a relação entre essas escalas e seu papel no desenvolvimento organizacional do S.C.U.

3. O S.C.U. importa energia através do 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 de *sistemas abertos*. (p. 20, grifo meu)

Aqui, tem-se a explicação do funcionamento do clima urbano como um sistema aberto. Monteiro (2003) elucida que o S.C.U. é centrado na atmosfera, desempenhando essa a função de *operador*. Por outro lado, o *operando* seria todo o conjunto composto tanto pela ação ecológica natural quanto pela sua associação aos fenômenos da urbanização, o que confere a esse elemento elasticidade e atividade.

No que se refere aos fenômenos socioeconômicos, diferente daqueles naturais, é importante compreender que sua repercussão no sistema é *indireta*. Ou seja, não são os fenômenos em si que influem no comportamento do sistema, mas sim sua *expressão concreta*, “os padrões de comportamento dos habitantes da cidade e as expressões socioeconômicas delas decorrentes, concretizadas na estrutura urbana” (p. 21).

4. As entradas de energia no S.C.U. são de natureza *térmica* (oriundas da fonte primária de energia de toda a Terra – o Sol), implicando componentes dinâmicas inequívocas determinadas pela circulação atmosférica, e decisivos para a componente hídrica englobada nesse conjunto. (p. 21, grifo meu)

Esse enunciado, segundo o autor, remete ao fundamento básico da Meteorologia e Climatologia: os efeitos da atmosfera na relação entre a radiação solar e a superfície terrestre. No contexto do clima urbano, a própria cidade – na sua dimensão concreta – constitui a superfície terrestre, o que faz com que “todo esse organismo, através das diferentes formas de uso do solo e estrutura urbana, que passa a exercer os efeitos decisivos de reflexão, absorção e armazenamento térmico; efeitos de atrito na ventilação etc.” (p. 22). Há, além disso, a influência da circulação atmosférica regional, que deve ser observada.

5. A avaliação dessa entrada de energia do S.C.U. deve ser observada tanto em termos quantitativos como, especialmente, em relação ao seu *modo de transmissão*. (p. 22, grifo meu)

O modo de transmissão de energia no sistema é responsável por explicar a sucessão de estados e sua repercussão em processos de mudança e transformação. Daí sua relevância. No caso do clima, por exemplo, o *tempo* meteorológico consiste em um *estado*, que por meio do

desenvolvimento em sequência estabelece um padrão de comportamento – o *ritmo*, e é a partir deste que se pode conceituar o clima, propriamente dito.

6. A estrutura interna do S.C.U. 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. (p. 23, grifo meu)

Em busca da compreensão do S.C.U., é necessário superar a mera superposição das partes para adentrar a complexa trama de interrelações que o caracterizam. Ou seja, é importante que seja observada a integração entre os elementos que compõem o sistema, pois são as relações entre eles que expressarão a organização funcional. Monteiro (2003) exemplifica da seguinte maneira: ao avaliar o comportamento da ventilação em determinada via, não basta considerar apenas o perfil topográfico, mas também a malha de edifícios, a direção do vento etc.

7. O conjunto produto do S.C.U. 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*. (p. 24, grifo meu)

Os canais de percepção partem da consideração da sociedade como referência dos problemas e valores dos fatos geográficos e são, nessa proposta, centrais para o entendimento dos impactos gerados pelo S.C.U. na cidade. O autor delimita-os em 3: conforto térmico, abrangendo todos os componentes termodinâmicos, expressados pelo calor, pela ventilação e pela umidade; qualidade do ar, englobando os aspectos da poluição atmosférica, do complexo físico-químico, e; meteoros do impacto, composto por todas as manifestações meteóricas, hídricas (chuvas, neve, nevoeiro), mecânicas (furacões) e elétricas (tempestades), que impactam a vida dos habitantes das cidades.

8. A natureza urbana do S.C.U. implica em condições especiais de dinamismo interno consoante o 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*. (p. 24, grifo meu)

Sendo o clima urbano uma espécie de derivação do processo de urbanização, é essencial considerar que este ocorre ao longo do tempo e seu dinamismo é constante. Esse caráter dinâmico revela a importância de uma análise do S.C.U. em termos de segmentos temporais, pois somente a partir disso será possível avaliar o grau de desenvolvimento e organização estrutural.

9. O S.C.U. é admitido como passível de autorregulação, função essa conferida ao *elemento homem urbano* que, na medida em que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode, através do seu *poder de decisão*, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de

reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas. (p. 25, grifo meu)

A partir do princípio cibernético de autorregulação, Monteiro (2003) destaca que no S.C.U. a sociedade é o elemento responsável por ela. A ação social, voltada para a autorregulação do sistema, torna-se possível por meio da percepção e conscientização dos problemas que atingem os cidadãos, gerando novas preocupações sociais, que seriam incluídas no *planejamento* como subsídio à tomada de decisão no âmbito do poder público. Dessa maneira, percebe-se a relevância do planejamento e gestão urbanos para a construção de uma nova realidade climática urbana e da pesquisa científica para a compreensão do funcionamento do S.C.U. e para a elaboração de estratégias e metas direcionadas aos problemas.

10. Pela possibilidade de interferência autorreguladora, acrescentam-se ao S.C.U., como sistema aberto, aquelas propriedades de *entropia* negativas pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificado, assim, como um *sistema morfogenético*. (p. 25, grifo meu)

Primeiramente, é válido ressaltar que definir o S.C.U como um sistema morfogenético significa que esse é passível de uma variedade de formas e comportamentos. Essa variedade é advinda da complexidade e do dinamismo das suas partes e interrelações. Prosseguindo na discussão sobre a autorregulação do S.C.U., o autor revela que se naturalmente as partes do sistema se organizariam em busca de equilíbrio, com o crescimento urbano desarmônico essa busca é dificultada e a tendência torna-se a entropia. Porém, não há impedimento para a ação social consciente, o que possibilitaria o alcance do equilíbrio antes deteriorado. Mais uma vez, é sublinhada o papel crucial desempenhado pelas estratégias de planejamento urbano, uma vez que é por meio dele que é possível institucionalizar as intervenções necessárias, sobretudo, pelos seus dispositivos legais.

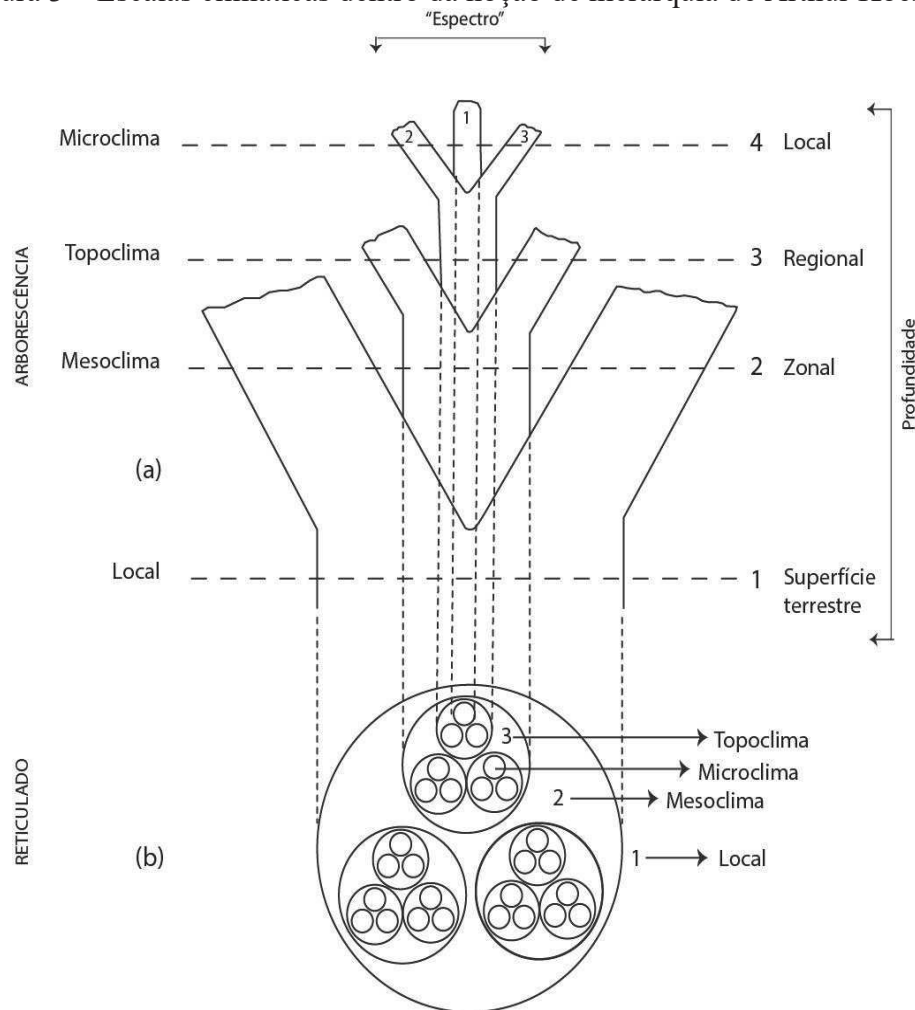
Além desses dez enunciados, Monteiro (1976) apresenta três questões básicas de consistência do sistema, que expressam os problemas considerados na modelagem do mesmo. A primeira delas – referente à ordem de grandeza e o grau de organização (entre o táxon e o hólon) – remete à *hierarquia* e a resposta às perguntas: “O que está contido dentro de que? Quais são os elementos que compõem do conjunto? Em que níveis escalares os elementos podem ser posicionados?” (MONTEIRO, 2003, p. 27).

Para resolvê-la, o autor utiliza da noção de hierarquia de Arthur Koestler, denominada SOHO (*Self-Regulating Open Hierarchic Order*), Representada graficamente na Figura 3, observa-se que arborescência e reticulado se complementam em uma ideia de hierarquia como

uma árvore, que representa “um multinivelado, estratificado e esgalhado padrão de organização” (p. 31). Monteiro (2015) destaca ainda que

O desenho da árvore mostra a relação entre os troncos e os galhos, entre os galhos e os ramos. Fazendo um corte transversal e projetando-o no plano horizontal, a visão dinâmica da arborescência transforma-se na visão estética do reticulado, reveladora da estrutura, em termos de embutimento das partes em dado conjunto. [...] A ideia da árvore é mais dinâmica, mais rica, por revelar as relações entre as partes e, sobretudo, por admitir, implicitamente, a noção de crescimento e evolução do sistema” (p. 105).

Figura 3 – Escalas climáticas dentro da noção de hierarquia de Arthur Koestler.



Fonte: Koestler (1970), adaptado de Monteiro (2003) e Vianna (2018).

Para compreendê-la, é preciso levar em consideração seus dois conceitos basilares: o hólón, que pode ser compreendidos como uma forma intermediária responsável pela interrelação entre o todo e suas partes e vice-versa, seu papel é crucial para a explicação da organização hierárquica, e; o táxon, que expressa os graus de organização no interior do sistema e é fundamental para definir seus elementos. É a partir da relação entre esses dois que é possível observar a ordem da organização funcional do sistema.

No esquema da Figura 3, no qual Vianna (2018) acrescenta os táxons referentes à organização climática (local, regional, zonal, superfície terrestre, topoclima, microclima e mesoclima) é possível identificar que esses apresentam-se não apenas como táxons, mas sim como hólons, posto que cada um deles é responsável por fazer a ligação entre a escala (ou táxon) inferior e superior na hierarquia. Além disso, Monteiro demonstra que o esquema é perfeito na representação do escalonamento das unidades climáticas (ou escalas, ou, ainda, táxons). Isso pois

Do tronco inicial da superfície terrestre (nível 1), passam a desdobrar-se os grandes galhos da organização zonal (nível 2), dos quais emergem os galhos regionais (nível 3) até os ramos locais (nível 4). Como a divisão (fragmentação) pode ser infinita, o processo poderá ser retomado no nível local, que, desse tronco unificador, poderá ser desmembrado em *meso*, *topo* e *microclimas*, repetindo a arborescência do esquema. (MONTEIRO, 2003, p. 33, grifo do autor).

Para fins do entendimento do S.C.U., a proposição de Koestler muito se aproxima e responde às preocupações de Monteiro, o qual buscava uma “organização hierárquica em termos de ligação, no plano vertical, e entrelaçamento, no plano horizontal” (p. 35). Essa ligação no plano vertical é representada pela arborescência, como já explicado, enquanto o entrelaçamento horizontal é retratado pelo reticulado (Figura 4). Quanto a esse segundo, observa-se que é a resposta para aquela questão primeira: O que está contido em que? Assim, observa-se a relação entre as escalas climáticas, desde o global – superfície terrestre – até o local, e seus desdobramentos em meso, topo e microclimas. É dessa forma que se verifica que o mais importante, nessa perspectiva, entender a interdependência dos processos que organizam funcionalmente o clima urbano enquanto um sistema do que a simplificada avaliação de causa-efeito entre eles.

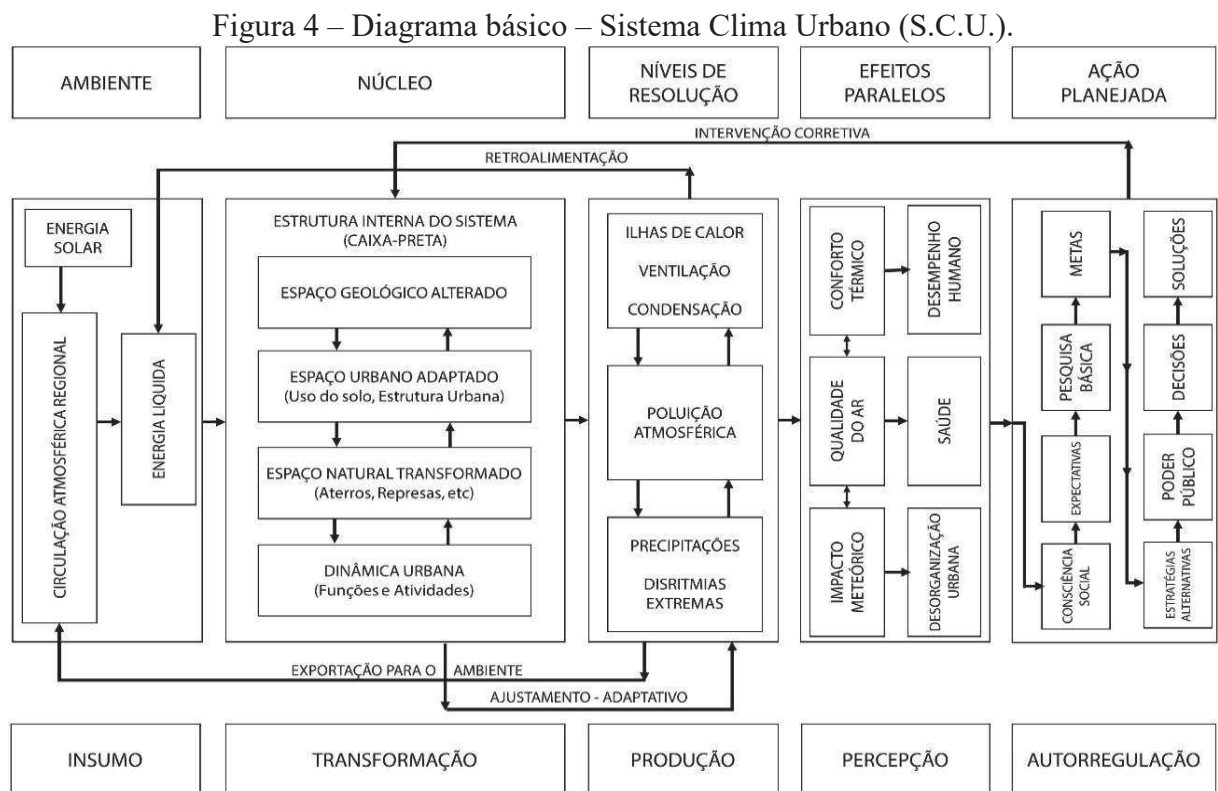
A segunda questão de consistência apresentada por Monteiro (1976) – referente aos padrões de comportamento e autorregulação (entre o crescimento e o planejamento) – traz a discussão sobre a adaptabilidade do S.C.U., uma vez que este é passível de autorregulação. Essa discussão é alicerçada na ideia de que há uma série de regras (ou cânones) que delineiam a organização do sistema – o seu padrão estrutural e o seu comportamento funcional. No entanto, no decorrer do processo evolutivo, são geradas interferências nessas regras, visto que ele é um sistema aberto. Essas interferências, por sua vez, embora não revertam as regras, trazem a possibilidade de corrigir a desarmonia por meio de estratégias de ação que modificam um ou mais dos *operands*, a exemplo do crescimento urbano e da modificação do estrato espacial material da cidade.

Nesse sentido, mais uma vez é ressaltada a importância do planejamento enquanto um mecanismo de regulação do S.C.U. Essa

intervenção autorreguladora, baseada em decisões para as quais o planejamento é um subsídio, não visa aqui, nesta proposta, à ingenuidade de preconizar a recuperação de um hipotético paraíso degradado ou perdido pelo homem da cidade. Antes de degradar o ambiente natural, muitas sociedades humanas, em suas relações econômicas e mesmo sociais degradam o próprio homem, o que se reflete sobretudo na cidade. (MONTEIRO, 2003, p. 38)

Por fim, uma terceira questão discute a dinâmica processual e os padrões estruturais (entre o operador e o operando) no interior do S.C.U. Para entendê-los é preciso conhecer, respectivamente, o encadeamento e a totalidade dos estados. O encadeamento refere-se à sucessão temporal e revela os fluxos responsáveis pelas variações do estado do sistema. Já a totalidade dos estados demonstra as variações espaciais, ou, o grau de mudança do sistema.

Ademais, Monteiro (2003) demonstra que entender o S.C.U. requer uma visão orgânica e o conhecimento das implicações cibernéticas, dado que “são capazes de refletir a coparticipação da natureza e do homem na elaboração do clima da cidade” (p. 41). Assim, torna-se possível “a compreensão de que o insumo energético não determina o conjunto-padrão do clima urbano, necessitando da ação transformadora da estrutura” (p. 41). Essa ação, nada mais é do que a ação humana – que se realiza socialmente. Em resumo, Monteiro (op. cit.) caracteriza o clima urbano a partir de uma concepção sistêmica. O clima urbano seria definido, então, como um sistema aberto, morfogenético, complexo e adaptativo. Sua organização e suas resoluções são graficamente representadas de acordo com a Figura 4.



Fonte: Monteiro (2003), adaptado.

Monteiro (1976; 2003; 2015), embora reconheça que as transformações são realizadas num contexto social, não adentra suas nuances e a repercussão do clima na sociedade. A sociedade é a responsável pela autorregulação do sistema, mas não há um aprofundamento nas questões, sobretudo, socioeconômicas, que influenciam na ação/intervenção socioespacial. Entretanto, em uma sociedade capitalista, dividida em classes, a intervenção no espaço (e, portanto, a produção de condições favoráveis à formação de um clima tipicamente urbano) não é uniforme, assim como os efeitos desta não é sentido da mesma maneira por todas essas classes – e o conhecimento da maneira com a qual essa diferenciação se estabelece é tão importante quanto os aspectos organizacionais e funcionais do próprio clima urbano. É baseado nessa crítica que João Lima Sant’Anna Neto desenvolve a perspectiva da Geografia do Clima.

Segundo Armond (2014), a partir da influência da teoria crítica e a da centralidade da produção do espaço geográfico no Brasil, emerge a compreensão de que a repercussão dos fenômenos atmosféricos ocorre em um espaço socialmente produzido de maneira desigual. É quando a Geografia do Clima traz a noção de que

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. (SANT’ANNA NETO, 2011, p. 47)

Para o mesmo autor, o paradigma monteriano tem apresentado limitação para a leitura do clima e dos fenômenos atmosféricos na atualidade, que impõe novas questões. Isso porque vem se pautando no tripé *ritmo climático – ação antrópica – impacto ambiental*. Para explicar ele elucida que a análise episódica (base para alcançar o ritmo) não tem sido suficiente na compreensão dos mecanismos de *feedback* do clima urbano e nas projeções para o futuro. Já a ideia de ação antrópica se mostra extremamente naturalista na abordagem da relação sociedade-natureza e, por esse motivo, impede que seja dada atenção a aspectos como a ordem social, econômica e ideológica do processo de produção do espaço calcado na intervenção e apropriação dos recursos naturais (SANT’ANNA NETO, 2001), além de que

antropizar o território significa mascarar as reais intenções dos agentes do sistema econômico hegemônico neste processo de apropriação, desviando as atenções da questão primordial, apropriação – utilização – reprodução da natureza, para uma questão secundária: demonstrar os diferentes graus de intervenção dos agentes envolvidos – os homens – desconsiderando-se sua organização social estabelecida numa sociedade de classes. (ibid., p. 55, grifo do autor)

Por fim, quanto a noção de impacto ambiental, o autor demonstra que com ela vem-se buscando em primeiro lugar as relações de causa-efeito entre clima e superfície terrestre,

quando na verdade é mais importante que seja introduzida uma concepção de clima enquanto recurso, que, dotado de valor de uso, desempenha papel essencial no processo de reprodução do capital e de dominação social e natural. É fundamentado nessas críticas que Sant’Anna Neto questiona: “O clima tem valor? Qual é o preço do tempo e o valor do clima? Quais são os limites toleráveis de produção de calor e de poluição do ar e da água? Quem polui e usa e quem paga os danos ambientais e sociais?” (ibid., p. 56).

Como resposta a essas questões, o autor faz uma diferenciação entre as sociedades pré-capitalistas e capitalistas para atestar o valor inerente ao clima e tempo. Enquanto nas primeiras a relação sociedade-natureza era direta devido à identificação entre os dois – as dinâmicas da sociedade e da natureza eram próximas –, nas segundas passou a ser baseada na relação entre os próprios agentes sociais, que é construída culturalmente, por meio da divisão social do trabalho.

Neste contexto, à medida que o modo de produção capitalista avançou na conquista e ocupação do território, primordialmente como um substrato para a produção agrícola e criação de rebanhos e, posteriormente, erguendo cidades, expandindo o comércio, extraindo recursos naturais e instalando indústrias, ou seja, ao se apropriar da superfície terrestre, este se constitui no principal agente produtor do ambiente. Como este ambiente é “vivo” e regulado por processos e dinâmicas próprias, responde às alterações impostas pelo sistema resultando em níveis de produção dos ambientes, naturais e sociais, dos mais variados. (SANT’ANNA NETO, 2008, p. 60)

Dessa maneira, para ele, torna-se fundamental buscar uma Climatologia mais humana e geográfica. Isto é, é preciso considerar nas análises do clima urbano a dimensão social que guia a intervenção humana no espaço urbano, considerando as contradições e desigualdades geradas pelos variados interesses e relações de poder entre os agentes produtores desse espaço. Destaca ainda que, nas condições acima apontadas a “relação clima–sociedade não mais se dá na dimensão do homem enquanto raça ou indivíduo, mas sim no contexto do homem como ser social e inserido numa sociedade de classes.” (SANT’ANNA NETO, 2001, p. 59)

Ao discutir o clima urbano como uma construção social, Sant’Anna Neto (2014), a partir da releitura de Milton Santos em “A natureza do espaço”, revela a possibilidade de pensar o clima urbano como um dos fluxos atuantes no espaço da cidade, espaço este caracterizado por um sistema de fixos e fluxos (SANTOS, 1997). Essa ideia, inserida numa perspectiva ambiental, é defendida devido a pressão realizada pela dinâmica atmosférica e o ritmo climático no sistema urbano “ao produzir tipos de tempo que afetam e, não raras vezes condicionam a vida cotidiana das cidades” (SANT’ANNA NETO, op. cit., p. 47).

Ademais, “mais do que desvendar os processos dinâmicos e as estruturas temporais e espaciais do clima, para o geógrafo o que realmente deveria importar é o significado deste processo inserido na dimensão socioeconômica e socioambiental” (ibid., p. 59).

Para alcançar esse objetivo, entretanto, não há uma formulação metodológica consolidada, em partes, pois a realidade urbana entre as cidades é extremamente variável e essa variabilidade seria um empecilho ao pensar em um método uno para uma realidade múltipla. Porém, Sant’Anna Neto (2001) destaca a necessidade de domínio e incorporação do instrumental tecnológico atualizado, o diálogo e trabalho conjunto entre climatologistas e meteorologistas – estes responsáveis por gerar dados valiosos sobre a atmosfera urbana – e, o reforço do discurso essencialmente geográfico. Assim, seria possível construir “novas fórmulas que permitam e atendam às exigências e expectativas da sociedade para um novo conhecimento” (ibid., p. 59) uma vez que

o que, em geral, tem sido produzido pela Climatologia Geográfica ainda privilegia os mecanismos físicos do tempo e do clima. Indagar, compreender e explicar como e em quais circunstâncias o território foi (e tem sido) produzido e como estas ações afetam de forma diferenciada os seus habitantes torna-se imprescindível para uma análise geográfica do clima – a Geografia do Clima. (ibid., p. 59)

Apresentadas as ideias basilares do Sistema Clima Urbano, enquanto corrente teórico-metodológica já consolidada, e da Geografia do Clima, ainda em construção, não há que se negar a contribuição destas para a construção da Climatologia Geográfica Urbana recente e a frutífera possibilidade de análise do clima urbano no intermédio das duas. Isso porque parecem partir de sentidos opostos. Monteiro (1976) faz uma análise do clima sobre o ponto de vista da produção, enquanto Sant’Anna Neto (2001) parte da ótica dos impactos, sem que se estabeleça uma contrariedade à proposta primeira. Por isso, aqui, considera-se que são complementares. Se há um esgotamento das possibilidades de compreensão do *espaço urbano socialmente produzido* a partir do Sistema Clima Urbano, torna-se importante recorrer à Geografia do Clima. Por outro lado, se a Geografia do Clima não estabelece pressupostos teórico-metodológicos no que se refere à *produção do clima urbano* e seu funcionamento, dando enfoque aos impactos por ele gerados, torna-se essencial recorrer à teoria monteriana, ao Sistema Clima Urbano.

Muitos outros nomes foram e são essenciais à compreensão do clima urbano nas cidades brasileiras. Seus trabalhos aparecerão nos tópicos a seguir. Neste, finalizado agora, buscou-se apenas uma delimitação das duas principais perspectivas que vêm orientando, teórica e metodologicamente, os trabalhos mais recentes no campo da Climatologia Urbana no contexto brasileiro.

Alicerçada, ainda, nas discussões realizadas no decorrer desse primeiro capítulo, é possível compreender que o desafio de adentrar a relação entre clima, produção do espaço urbano e planejamento está em associar conjuntos teórico-metodológicos complexos e distintos entre si, ao mesmo tempo em que a riqueza proveniente dessa possibilidade está presente neste

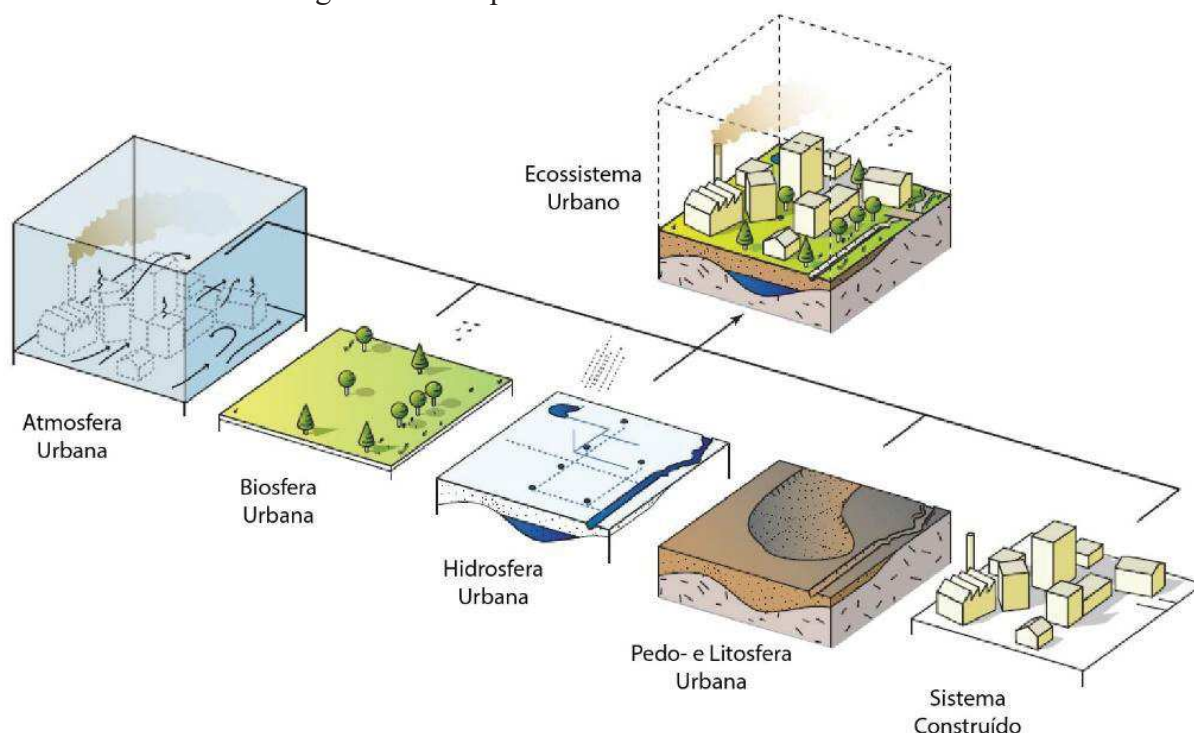
mesmo fato. Por isso, a seguir serão abordadas as questões que envolvem a dimensão concreta da produção do espaço e do clima urbanos bem como a interseção entre o clima e o planejamento, também urbanos.

2.2. A diferenciação espacial dos atributos do clima a nível intraurbano

2.2.1. Os fatores

Oke *et al.* (2017), a partir de uma noção de ecossistema urbano – que muito se aproxima da concepção sistêmica contida nas formulações de Monteiro (1976) – demonstra a relação entre os componentes biofísicos que compõem as cidades, indo desde os aspectos chamados por eles de *pré-urbanos* até aqueles resultantes da modificação e introdução da infraestrutura construída (Figura 5). Compreende-se, então, que há uma série de fatores, de natureza distintas, que interferem no ambiente urbano.

Figura 5 – Componentes do ecossistema urbano.



Fonte: Oke *et al.* (2017), adaptado.

O clima urbano, como já discutido anteriormente, é caracterizado, à princípio, pela diferenciação climática e atmosférica entre o campo e a cidade, o rural e o urbano, uma vez que as condições climáticas criadas pela estruturação das cidades se distanciam daquelas condições

naturais características dos espaços não urbanizados – o campo. É nessa escala que começaram a surgir os primeiros estudos sobre clima urbano, com Howard (1833).

Entretanto, essa diferenciação climática e atmosférica adentra os limites da própria cidade, que tem uma heterogeneidade inerente no que se refere ao seu substrato material espacial. É no sentido de explicar e compreender de que maneira essas discrepâncias espaciais culminam na modificação dos atributos climáticos, na sua variabilidade e na conformação de microclimas, que se apresenta o objetivo deste tópico. Para isso, será subdividido em grandes conjuntos de fatores que agem como produtores do clima urbano e/ou influentes sobre ele. Esses, por sua vez, serão destrinchados conforme os principais elementos que os constituem.

As condições climáticas do ambiente urbano, para Mendonça (2003), são

derivadas diretamente da heterogeneidade tanto do sítio quanto da estruturação, morfologia e funcionalidades urbanas, gerando paralelamente ao clima da cidade (clima local/urbano), bolsões climáticos intraurbanos diferenciados (ilhas de calor/ilhas de frescor, topoclima, microclimas). (p. 95)

Oke *et al.* (2017), afirma ainda que o sistema urbano é composto por uma variedade de superfícies – tecidos – climaticamente ativas, ou seja, com diferentes propriedades que influem na conformação do clima urbano. Essas propriedades são distinguidas em: Radioativas, contendo aspectos da geometria, absorvidade, refletividade, transmissividade e emissividade; Térmicas, referente ao calor específico, à capacidade térmica e a temperatura; de Umidade, abarcando capacidade de interceptação e armazenamento, permeabilidade, características estomáticas e natureza química, e; Aerodinâmicas, sobre a - rugosidade, deslocamento no plano zero e porosidade.

Isso demonstra que as condições encontradas em uma cidade de porte pequeno, médio e grande são diferentes, considerando as distinções na composição e organização interna. Em razão disso, ainda segundo Mendonça (*ibid.*), “a identificação o mais detalhada possível dos diferentes espaços intraurbanos é de grande importância, pois, a partir dela também é possível identificar os fatores causadores da diferenciação climática do ambiente citadino” (p. 96).

Sobre os fatores que influenciam nas escalas e magnitudes dos processos advindos da transformação das condições climáticas e atmosféricas naturais e configuração do clima urbano – com enfoque na temperatura do ar, Sant’Anna Neto e Rampazzo (2016) destacam aquelas relacionadas à estrutura, morfologia e forma urbana. São elas:

- a) *Porosidade*: corresponde ao espaçamento entre as edificações e/ou arranjos morfológicos, diversidade de alturas das edificações, maior ou menor permeabilidade do tecido urbano à passagem dos ventos;
- b) *Rugosidade*: variação nas alturas dos edifícios (volume) e superfícies horizontais (geometria da massa edificada); está associada ao vento;
- c) *Densidade* de construção: taxas de ocupação da área construída;

- d) *Tamanho* da cidade (Horizontal e Vertical) estrutura urbana: o tamanho da cidade influi na quantidade de fontes produtoras de calor e de poluentes [...]
- e) *Uso e ocupação* do solo: influenciam na distribuição das temperaturas dentro das estruturas urbanas, concentração/dispersão de atividades, centralização/descentralização e a proporção de áreas verdes;
- f) *Orientação*: posicionamento da estrutura urbana quanto aos caminhos aparentes do sol, ventos e elementos naturais ou não;
- g) *Permeabilidade superficial do solo urbano*: relação entre as áreas construídas e pavimentadas com áreas livres de construção; propriedades térmicas dos materiais;
- h) capacidade de absorção e reflexão dos diversos materiais em relação à luz e ao calor. Dependem diretamente de suas propriedades físicas como densidade, textura e cor;
- i) *Propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes*: corresponde às propriedades físicas como albedo, absorvância à radiação solar, emissividade, inércia térmica e índices de impermeabilidade dos materiais da massa edificada. (p. 11)

Entretanto, considera-se que algumas outras carecem de destaque. Por isso, buscando acrescentá-las, aqui serão considerados os seguintes agrupamentos de variáveis: Sítio urbano – topografia, declividade e orientação de vertentes; Uso e ocupação do solo – as tipologias de ocupação e as funções a elas atreladas; Edificações – como um agrupamento dos elementos e propriedades dos fatores do sistema construído e; Vegetação e Corpos hídricos – pelo papel desempenhado na regulação dos elementos do clima.

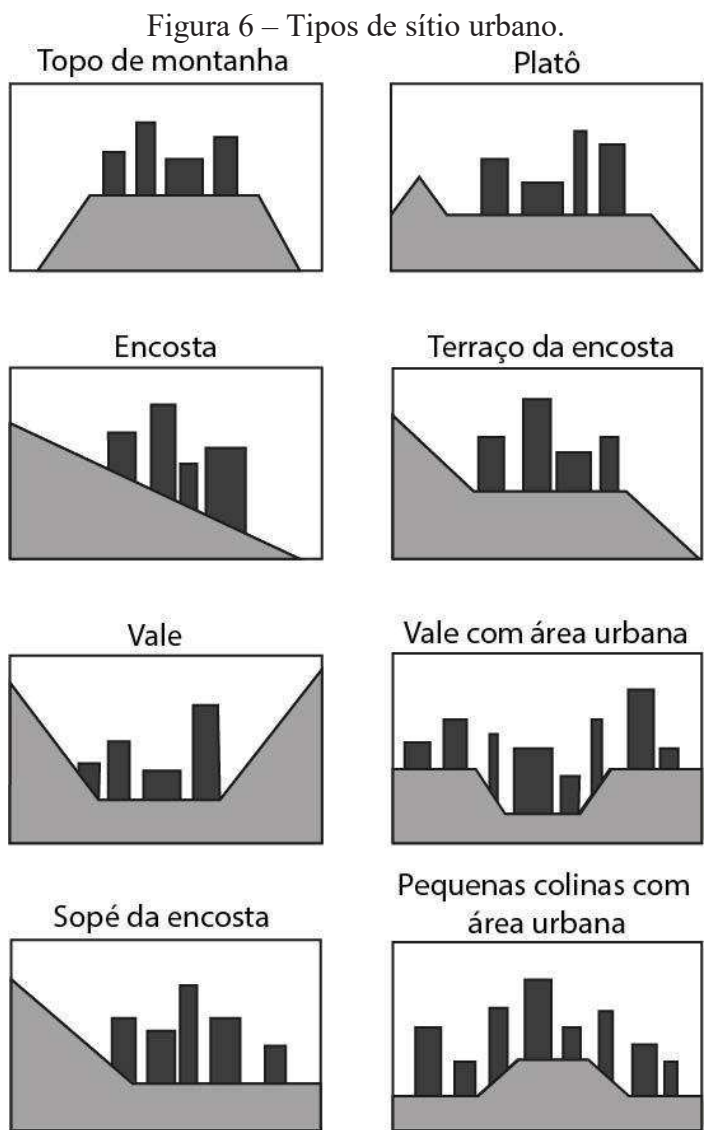
a) Sítio urbano

Como sítio urbano compreende-se a base física sobre a qual a cidade se assenta, ou seja, “o espaço físico sobre o qual a cidade se consolida, que traduz as características do ambiente ao nível da superfície terrestre” (FIALHO *et al.*, 2011, p. 119). Dolfus (1991) o define como a localização exata do espaço construído, relacionando-o à topografia. É com base nessa definição que Fialho (2009) demonstra a importância de sua análise para pesquisas sobre o clima urbano, já que

os aspectos relacionados à orientação e inclinação das vertentes e a posição geográfica, conjugados com a trajetória aparente do sol podem gerar uma diferenciação no balanço de energia, por meio do sombreamento das encostas, modificando os padrões espaciais e temporais dos elementos do clima. (p. 54)

Nesse sentido, observa-se que o sítio urbano se relaciona e pode ser melhor analisado considerando as seguintes variáveis: topografia, que demonstra o modelado da superfície terrestre, as diferenças estruturais e altimétricas; declividade, relacionada, sobretudo, aos mecanismos de brisa e ao sombreamento, e; orientação de vertentes, que além do sombreamento, possibilita o conhecimento sobre a incidência da radiação solar, seja quanto a quantidade recebida (em horas), seja pela angulação das ondas curtas.

Além disso, o sítio urbano é um importante indicador da trajetória dos ventos no interior da cidade, embora, por vezes, essa trajetória seja direcionada pela própria morfologia urbana – pela altura e disposição das edificações. A partir da Figura 6, observa-se que em um sítio convergente há um direcionamento dos ventos, condicionado pela calha do relevo. Já em uma situação de sítio divergente, esse direcionamento se estabelece, especialmente por meio da circulação atmosférica regional e influência das edificações.



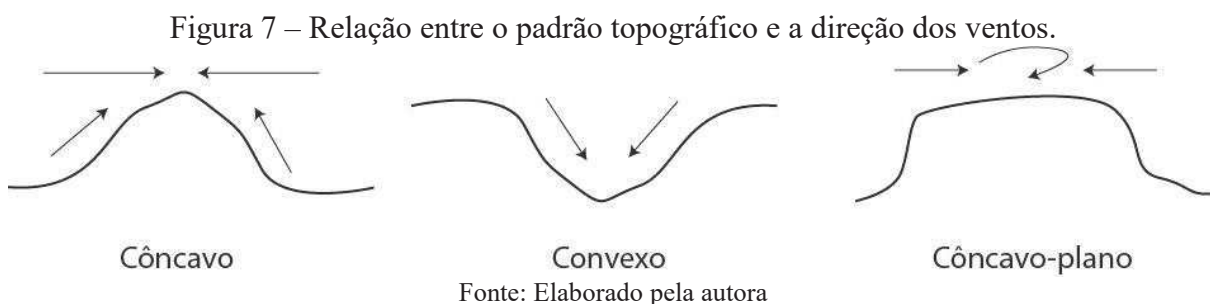
Fonte: Oke (2006) e Fialho (2009), adaptado.

Nesse sentido, nota-se que a conformação do relevo – topografia – influencia no comportamento termo-higrométrico ao condicionar a direção dos ventos (incluindo a passagem de frentes) e por facilitar e/ou dificultar a dissipação desses, impactando no processo de formação das brisas de vale e de montanha e, diretamente, na dispersão de poluentes, por

exemplo. Além disso, há um impacto indireto na temperatura do ar, considerando a relação inversamente proporcional entre ela e os ventos.

Em uma situação onde a cidade se assenta em uma área de padrão topográfico côncavo, a dispersão do ar é dificultada, o que facilita a concentração de calor – massas de ar quentes. Quando o padrão é convexo, aumenta-se a aerodinâmica e não há um impedimento natural ao deslocamento dos ventos – esse impedimento passa a ser realizado pela estrutura urbana. E, por fim, se o padrão é côncavo-plano, não haverá a contribuição das brisas de vale e montanha, o que faz com que haja maior aquecimento, que pode se intensificar a depender da organização estrutural da cidade. Essa diferenciação consta na Figura 7, onde as setas representam a direção dos ventos.

Além disso, o padrão topográfico determina, em certa medida, a probabilidade de ocorrência de impactos adversos distintos derivados dos eventos pluviométricos, por exemplo, para além da temperatura e umidade relativa do ar. Nota-se que em um padrão convexo, há maior probabilidade de ocorrência de problemas relacionados à inundação. Por outro lado, em um padrão côncavo, a probabilidade de ocorrência de problemas relacionados à declividade – como os movimentos de massa – aumenta.

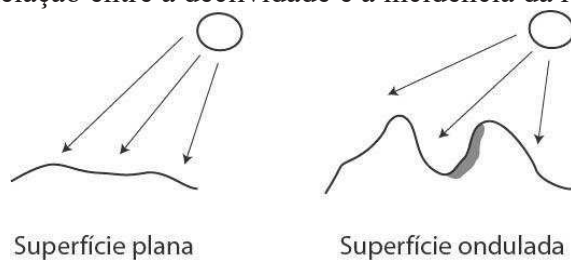


Dessa maneira, a topografia apresenta-se como a principal variável a ser estudada para fins de entendimento do papel desempenhado pelo sítio urbano na conformação do clima urbano. A partir dela se estabelecem as outras duas que, aqui, serão abordadas – a declividade e a orientação de vertentes.

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), as regiões de superfície ondulada terão o fator declividade modificando a relação superfície/radiação incidente. Isso pois a incidência da radiação é variável, ao passo que aumenta quanto mais próximo de plano for o relevo e diminui quanto mais acidentado for, já que propicia o sombreamento de algumas áreas em determinados períodos do dia (Figura 8). Essa diferenciação interfere diretamente na temperatura do ar e na umidade relativa do ar, pois quanto maior a incidência da radiação solar, maior tende a ser a temperatura e menor a umidade relativa, em razão da proporcionalidade

inversa existente entre essas duas variáveis. Entretanto, é preciso atentar para o fato de que essa relação pode ser modificada em um contexto de clima urbano, onde a superfície natural é modificada. Assim, retornando a Monteiro (1976), a própria estrutura urbana se apresenta e age como – e substituindo – a superfície terrestre, fazendo com que a incidência da radiação solar seja condicionada por ela.

Figura 8 – Relação entre a declividade e a incidência da radiação solar.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para mais, a declividade é fator determinante na formação dos mecanismos de brisa de vale e de montanha devido à diferença altimétrica estabelecida por ela entre os topos de morro e os fundos de vale. Durante o dia, as vertentes e os topos de morro absorvem a energia solar e se aquecem com maior intensidade e, o contrário ocorre durante a noite, quando esses resfriam-se mais intensa e rapidamente (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Desse jeito, há a criação de núcleos de pressão atmosférica diferentes. No período diurno, as vertentes e os topos de morro (mais aquecidos) comportam-se como uma área de baixa pressão relativamente aos fundos de vale, de alta pressão. Assim, como os ventos tendem a partir de uma área de alta para a de baixa pressão, estabelecem-se as brisas de vale, no sentido vale-montanha. O inverso ocorre no período noturno, quando as vertentes e os topos de morro (mais resfriados) passam a se comportar como uma área de alta pressão relativamente aos fundos de vale, agora de baixa pressão, estabelecendo, assim, as brisas de montanha, no sentido montanha-vale.

Por fim, a análise da orientação de vertentes possibilita que sejam identificadas as áreas nas quais a incidência da radiação é mais ou menos intensa e como essa incidência se distribui durante um dia. A trajetória aparente do sol se orienta de leste para oeste durante as 24 horas diárias. Dessa maneira, as vertentes que estão voltadas para leste recebem maior quantidade de radiação solar no período da manhã e, o inverso ocorre nas vertentes voltadas para oeste, que recebem maior quantidade de radiação solar no período da tarde. Além do mais, no Hemisfério Sul, devido à inclinação do eixo terrestre, as vertentes voltadas para norte tendem a receber

maior índice de radiação, enquanto aquelas voltadas para sul tendem a receber menor índice de radiação, comparativamente (FERNANDES e FIALHO, 2017).

Assim sendo, torna-se compreensível que o sítio urbano impacta, sobretudo, a relação entre a superfície e a radiação solar recebida e o direcionamento dos ventos. A depender do seu modelado, há uma diferenciação dos elementos do clima e, ainda que seus efeitos possam ser mascarados pela composição material da cidade, é essencial observar de que maneira se configura tanto na escala local quanto regional, uma vez que para o estudo do clima urbano é fundamental pensar a relação escalar entre o local-zonal-global.

b) Uso e ocupação do solo

As cidades são produzidas socialmente, como já abordado na primeira parte deste capítulo. Essa produção, por sua vez, é concretizada no substrato material espacial – que resguarda, também, a dimensão natural enquanto fator importante na conformação das cidades –, a partir da sua composição e organização. Seguindo essa lógica, o uso e ocupação do solo – ou, da terra – é o parâmetro que possibilita a apreensão de como interagem a produção, no sentido intencional-imaterial, e a sua materialização, no sentido concreto-espacial. Por esse motivo, torna-se uma informação extremamente relevante para fins de planejamento e gestão do espaço urbano.

O termo *uso* refere-se ao sentido intencional-imaterial da expressão *uso e ocupação do solo*. Já *ocupação* representa a materialização deste uso, na sua dimensão espacial. Esse processo gera tipologias de uso, que são resultado da diferença na demanda de cada um deles. Ou seja, uma área na qual o uso do solo é voltado para as atividades industriais demanda a presença de edificações e objetos urbanos industriais – fábricas, infraestrutura de transporte, etc., enquanto em uma área de uso residencial, a tendência é que haja maior presença de casas e prédios, por exemplo, e assim se sucede nos demais tipos de uso.

Essas tipologias, embora necessitem ser adequadas a cada cidade a ser analisada uma vez que essas possuem realidades distintas, há uma padronagem que se repete e aparece na em grande parte delas (Quadro 2).

Quadro 2 – Padrões de uso do solo estabelecidos para cidades de pequeno e médio porte.

USOS DO SOLO	
Classificação	Definição
<i>Comercial</i>	Refere-se à presença de atividade comercial no lote; lojas (roupas, brinquedos, artesanatos, utensílios, supermercados), postos de combustível, bares, etc;
<i>Serviços</i>	É atribuída a atividade de serviço evidenciada no solo; incluindo oficinas mecânicas, cartórios, bancos, academias, provedores de internet, lan house, etc;
<i>Serviço público</i>	Equivalente aos serviços, porém vinculado à atividade pública; por exemplo: escolas, prefeitura, estação elevatória e de tratamento de água e esgoto, câmara, creches, casa da agricultura, posto de saúde, garagem da prefeitura, etc;
<i>Misto</i>	Presença conjunta do uso residencial e outra atividade (comercial, serviço, industrial, etc;) no mesmo lote;
<i>Residencial</i>	Refere-se aos usos do solo que se destinam exclusivamente ao residencial – construções residenciais, ou moradias individuais;
<i>Industrial</i>	Lote destinado à atividade produtiva (produção de amplificadores de áudio);
<i>Área de lazer</i>	Lotes voltados ao lazer (praças, ginásio de esportes, campos abertos de futebol, áreas de recreação, etc), ou destinados a isso, mesmo que não o seja;
<i>Lote não construído</i>	Refere-se aos lotes em que não há edificação.

Fonte: Sant’Anna Neto e Rampazzo, 2016, adaptada.

Outro exemplo de classificação de uso do solo consta no estudo realizado por Ugeda Júnior (2012) para a cidade de Jales (SP). O autor o diferencia em duas grandes classes: áreas construídas e espaços livres de edificação. Posteriormente, as áreas construídas são subdivididas em: uso residencial, uso comercial, uso de serviços e, lotes não construídos. Em contrapartida, os espaços livres de edificação são definidos como áreas de praças, parques, clubes, jardins, sistemas de lazer e áreas institucionais. Esses espaços são diferenciados daqueles “lotes não construídos” porque enquanto esses lotes são passíveis de construção (mas estão sem utilização), os espaços livres de edificação são caracterizados por serem áreas não edificáveis.

No que se refere à ocupação, essa pode ser analisada de inúmeras formas, que variam de acordo com o objetivo e metodologia do trabalho. Sant’Anna Neto e Rampazzo (2016) destacam que a ocupação do solo se relaciona com a densidade de construções da cidade e, em razão disso, implica em verificar a proporção de áreas construídas em determinada unidade espacial. A partir dessa ideia, os autores estabelecem seis padrões de ocupação, que se distinguem pelo índice de ocupação – a começar do valor de 50% de área ocupada (Quadro 3).

Quadro 3 – Classes de ocupação do solo estabelecidas (%).

OCUPAÇÃO DO SOLO	
Classes de ocupação (%)	Descrição
50% - 60%	O índice de ocupação na quadra considerada varia entre 50% e 60% em relação ao total de lotes; significa que as construções são esparsas;
60% - 70%	O índice de ocupação na quadra considerada varia entre 60% e 70% em relação ao total de lotes;
70% - 80%	O índice de ocupação na quadra considerada varia entre 70% e 80% em relação ao total de lotes;
80% - 90%	O índice de ocupação na quadra considerada varia entre 80% e 90% em relação ao total de lotes sendo bastante expressivo;
90% - 100%	O índice de ocupação na quadra considerada varia entre 90% e 100% em relação ao total de lotes, a impermeabilização do solo é muito alta.

Fonte: Sant'Anna Neto e Rampazzo (2016), adaptada.

Ugeda Júnior (2012), por outro lado, apresenta outra possibilidade de classificação da ocupação do solo, partindo do índice de ocupação que varia de 0-100% de área ocupada, calculado por meio do número de lotes construídos e não construídos em cada bairro da cidade. Viana e Amorim (2008) fazem uma classificação com base na densidade da construção, no tipo, porte e quantidade da vegetação e, por fim, na pavimentação das ruas.

Já Gomes e Lamberts (2009), em um trabalho para a identificação do clima urbano de Montes Claros (MG), apresentam uma diferenciação entre o que é a ocupação do solo – empregada a partir da ideia de cobertura da superfície, ou, superfícies de ocupação – e a densidade construída. Por eles foram identificadas as seguintes categorias de superfícies de ocupação: áreas edificadas; áreas permeáveis – arborizadas, gramadas, solo natural e britado; áreas impermeáveis – pavimentadas, calçadas e asfaltadas; e corpos d'água. De outra forma, a densidade construída foi calculada por meio da projeção das áreas edificadas e seus números de pavimentos e obtida a partir das seguintes equações:

$$\begin{aligned} \text{Área total edificada} = & \\ & \sum (\text{Área de cada categoria edificada} \times \text{Respectivo número de pavimentos}) \\ & + \\ & \sum (\text{Áreas cobertas}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Área edificada por amostra} = & \\ & \frac{(\text{Área total edificada} \times 100)}{(\text{Área total da amostra})} \end{aligned}$$

Assim sendo, observa-se que, independente da classificação realizada, as classes de *ocupação do solo* sempre exprimem a demanda espacial dada pela funcionalidade estabelecida para aquela área. Essa funcionalidade, por sua vez, é definida como o *uso do solo*. Dessa maneira, uso e ocupação do solo

mantém uma relação intrínseca, entre função e forma, e interferem na configuração do clima urbano por serem os responsáveis pelo arranjo heterogêneo do espaço das cidades no que tange à multiplicidade dessas formas e funções.

Climaticamente, áreas densamente construídas, ou seja, com alto índice de ocupação, tendem a ser áreas mais aquecidas termicamente, assim como as áreas onde o uso é mais dinâmico e pujante, a exemplo das áreas comerciais e de serviços, industriais (que, ainda, têm o acréscimo do fator emissão de poluentes). Em contrapartida, áreas onde a ocupação é mais esparsa tendem a ser áreas menos aquecidas, assim como as áreas onde o uso é menos dinâmico e pujante, a exemplo das áreas de uso residencial e áreas de lazer. Sendo o clima urbano um desequilíbrio dos elementos climáticos derivado da diferenciação intraurbana do substrato material espacial, é essencial o entendimento de como, por quê e a quem serve essa distinção de áreas.

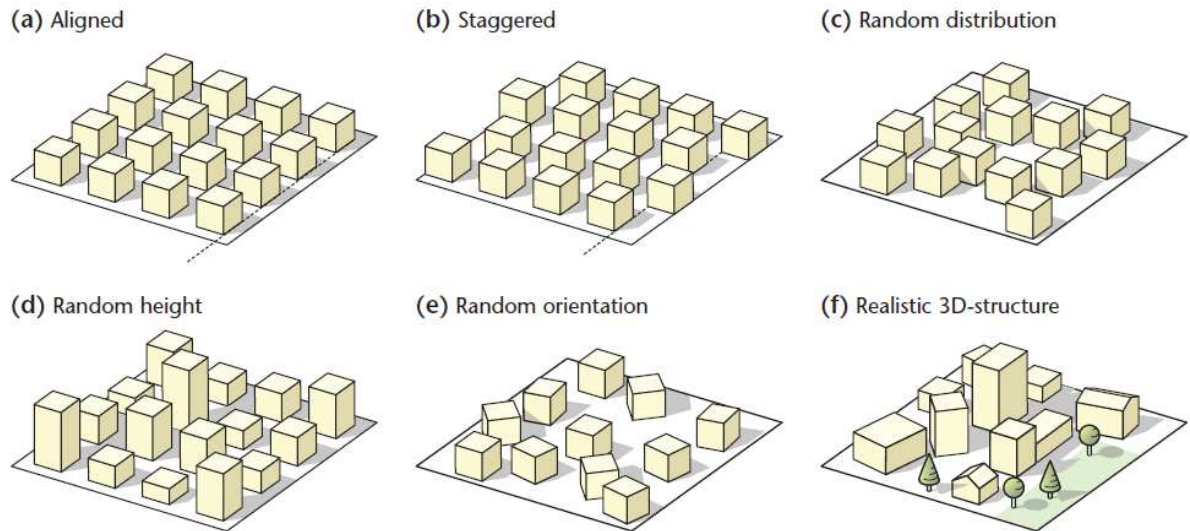
c) Edificações

Se o processo de urbanização ao modificar o espaço também repercute no quadro climático das cidades, as edificações são a expressão mais pura dessa transformação espacial, com consequências ambientais. A massa edificada e as propriedades dos materiais utilizados na construção (albedo e emissividade) alteram o balanço energético natural e a forma como as edificações se distribuem no sítio urbano (a geometria urbana) determina a canalização da ventilação, o fator de visão do céu e o sombreamento. Assim, o impacto das edificações pode mascarar e/ou modificar as características do próprio sítio urbano, evidenciando seu papel fundamental para a produção do clima urbano.

Aqui, a influência das edificações na conformação climática urbana será discutida a partir dos seguintes parâmetros: geometria urbana – fator de visão do céu e sombreamento –, massa construída e as propriedades dos materiais – albedo e emissividade.

A organização das edificações no sítio urbano segue um padrão, que varia de cidade para cidade. Para Oke *et al.* (2017), “tais padrões podem exercer controle sobre aspectos do clima urbano, por exemplo, nos caminhos de fluxo de ar e na turbulência gerada à medida que o ar passa através e sobre os diferentes tipos de ordenação” (p. 23, tradução minha). A Figura 9 demonstra alguns exemplos de modelos de ordenamento das edificações nas áreas urbanas.

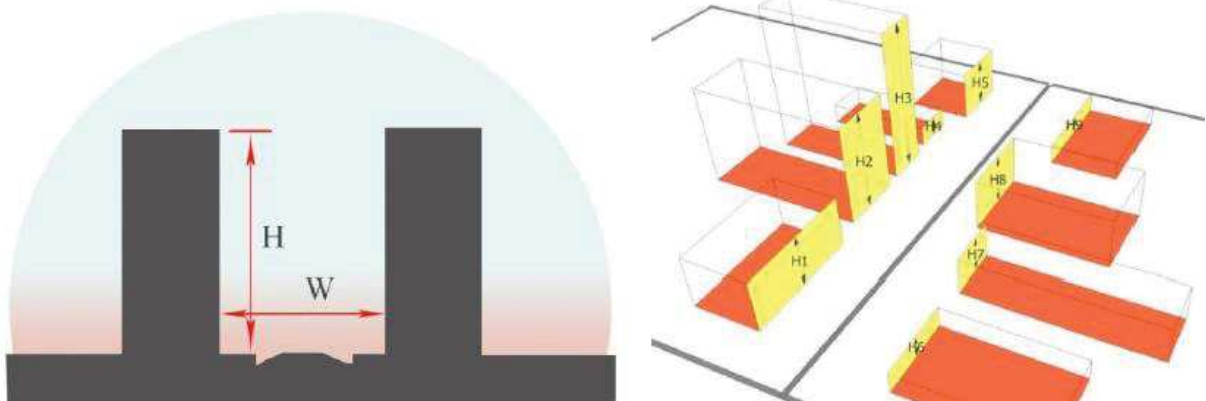
Figura 9 – O fator de visão do céu a partir de um observador.



Fonte: Nakata-Osaki *et al.* (2016).

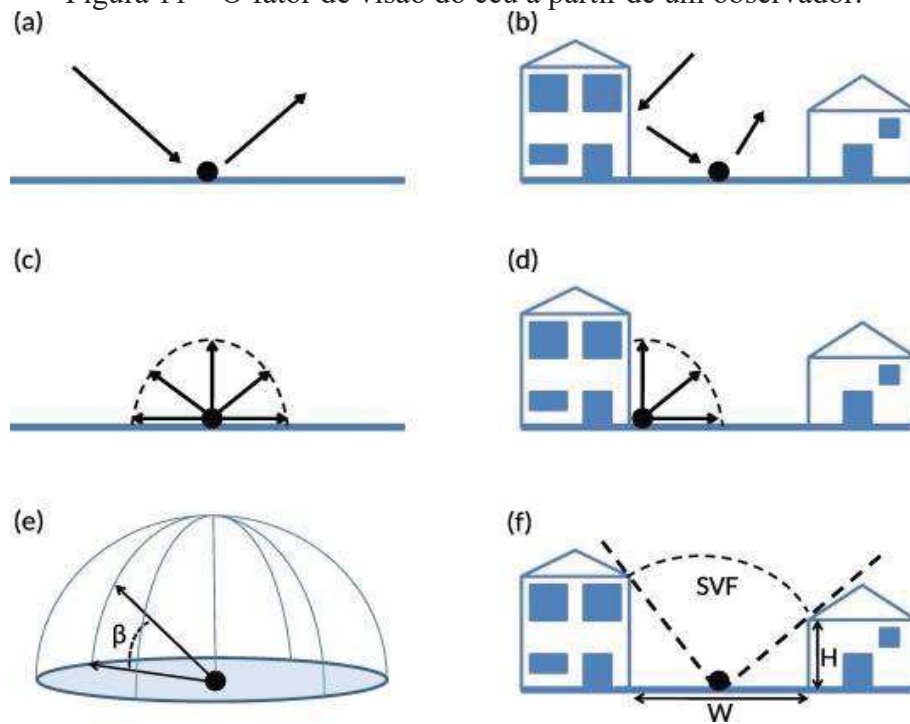
A geometria urbana refere-se à proporção entre a altura das edificações e a largura das vias de circulação, caracterizando os *cânions urbanos*. Em razão da diversidade de formas de arranjo de superfícies e edificações, o cânion urbano consiste em uma unidade de superfícies climaticamente ativas, constituída pelas paredes e o chão entre duas edificações adjacentes. Assim, valoriza-se a natureza tridimensional da cobertura urbana e pode ser representado ora a partir da relação H/W – altura (*height*, em inglês) / largura (*width*, em inglês) – representada na Figura 10, ora pelo *fator de visão do céu* (ou, *sky view factor*) – representado na Figura 11. (NAKATA, 2015; NAKATA-OSAKI, 2016.)

Figura 10 – Relação H/W nos cânions urbanos.



Fonte: Nakata-Osaki *et al.* (2016).

Figura 11 – O fator de visão do céu a partir de um observador.

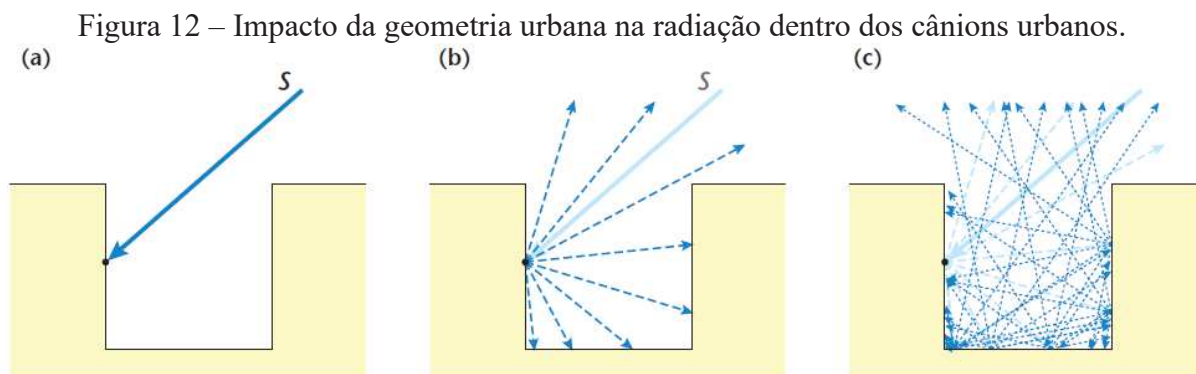


(a) Radiação de ondas curtas em campo aberto. (b) Radiação de ondas curtas em um cânion urbano. (c) Emissão de radiação de ondas longas em campo aberto. (d) Emissão de radiação de ondas longas em um cânion urbano. (e) Fator de visão do céu calculado em 3D, onde β é o ângulo do ponto central até a altura máxima do obstáculo, e; (f) Fator de visão do céu em um cânion urbano 2D, onde W é o largura da rua e H é a altura do edifício. Fonte: Dirksen *et al.* (2017), tradução minha.

O fator de visão do céu consiste em um parâmetro adimensional utilizado para expressar a relação entre a área visível do céu e da porção do céu coberto por prédios vistos de um ponto específico de observação (FERNANDES, 2018). Ou seja, ele representa, por um lado, obstrução da abóbada celeste e, por outro, a porção de céu livre para as trocas energéticas. Seu valor varia de 0 a 1, ao passo que quanto mais próximo de 0 for, maior a obstrução da abóbada e menor a porção de céu livre, e quanto mais próximo de 1, maior é a porção de céu livre e menor a obstrução.

Oke *et al.* (2017) discute o impacto da geometria urbana e demonstra sua influência nas trocas de radiação por meio de um modelo simplificado (Figura 11). Considerando a entrada de um único raio e desconsiderando a radiação difusa proveniente da atmosfera, os autores utilizam essa imagem para representar os efeitos do cânion urbano na quantidade de radiação retida. De acordo com a Figura 12, compreende-se que: Inicialmente, uma faceta recebe irradiância de feixe direto (a), cuja uma parte é refletida. Essa radiação se espalha de maneira difusa: uma parte sai do cânion e outra é interceptada pelas edificações opostas e continua no fundo do cânion (b). Essas edificações, por sua vez, também absorvem e refletem. Por fim, cada unidade passa a trocar radiação com todas as outras unidades do cânion (c). Sendo este processo – de

reflexão múltipla – repetido *ad infinitum*, diminuindo progressivamente a energia trocada, considerando que parte desta é absorvida e não refletida. (ibid.).



Fonte: Oke *et al.* (2017).

No que se refere à sua relação com o clima urbano, ainda, Nakata *et al.* (2015) destacam também que

a geometria urbana pode causar aumento de absorção de ondas curtas, decorrente da sua interceptação dentro dos cânions; diminuição da perda de calor pela turbulência, em consequência da estagnação em cânions profundos; e, diminuição da perda de radiação de ondas longas de cânions urbanos, devido à redução do fator de visão do céu (índice que mede a fração de céu visível a partir de um ponto). (p. 39)

Ademais, destaca-se a influência da geometria urbana no sombreamento das áreas no entorno e, por servir como uma forma de canalizar os ventos, é possível que seja responsável por gerar uma espécie de corredor de ventilação, a depender da direção dos ventos na escala regional, principalmente. Nesses casos, os atributos do clima seriam influenciados de forma contrária àquela que ocorre quanto à radiação no interior dos cânions, uma vez que os efeitos desta seriam amenizados – pelo impedimento da sua entrada devido ao sombreamento – e pela ação dos ventos.

Além do arranjo espacial geométrico das edificações, impacta no balanço de energia nas cidades e colabora para a formação do clima urbano a *massa construída*. Esta refere-se à massa dos materiais estruturais das edificações – concreto, tijolo, cimento, etc. – que retém grande parte da radiação solar incidente. É, ainda, responsável pelo atraso na perda de calor, devido às propriedades relacionadas à inércia térmica, que fazem com que as edificações armazenem parte do calor durante o dia e dissipe-o à noite. (ASSIS, 2016; PIMENTEL, 2017; VIANNA, 2018). Dessa maneira, estabelece-se uma relação diretamente proporcional entre a quantidade de massa construída e a temperatura e, inversamente proporcional entre a massa construída e as perdas térmicas convectivas. (TSO *et al.*, 1980).

Para o cálculo da massa construída, Tso *et al.* (1990) propôs a equação 1, agrupando as variáveis volume e densidade do concreto (material utilizado para a construção da edificação) e a área da fração urbana. (PIMENTEL, 2017)

$$MC = V_{ct} \times \gamma_c / A_f \quad (1)$$

Em que: MC = Massa construída/ V_{ct}: Volume do concreto (m³)/ γ_c : Densidade do concreto = 2400 kg/m³/A_f: Área total da fração urbana

No entanto, para a formulação dessa equação, com vistas à simplificação, foi assumido o pressuposto de que toda massa construída é composta de concreto. Essa suposição, sobretudo, para países como o Brasil, não condiz com a realidade, já que grande parte das edificações são produzidas por meio da autoconstrução. Por esse motivo, é importante atentar para a sua adequação. (VIANNA, 2018).

Por fim, é importante realçar os efeitos dos materiais construtivos das edificações como fatores na produção do clima urbano. As propriedades físicas dos materiais empregados nas construções urbanas diferem-se das propriedades das áreas naturais, sobretudo, quanto ao *albedo* e à *emissividade*. Isso porque os materiais que constituem a superfície urbana possuem capacidade térmica mais elevada, além de serem melhores condutores. Por isso, propriedades como “albedo, emissividade e capacidade térmica, são influenciados pela altura, largura, comprimento, cor, superfícies lisas, foscas, brilhantes dos materiais utilizados na construção do espaço urbano” (FERREIRA, 2014, p. 53).

Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 35) elucidam que “o albedo se caracteriza pela capacidade que os corpos apresentam de refletirem a radiação solar que sobre eles incide. Variando de acordo com a cor e constituição que o corpo apresenta. Assim, será máximo nos corpos brancos e mínimo nos corpos pretos.”. Já a emissividade é definida como a capacidade dos corpos emitirem energia.

Assim, superfícies com elevado albedo e emissividade tendem a permanecerem mais frias quando expostas à radiação solar, pois absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço, transmitindo menos calor para seu entorno. Ao contrário, quanto menor for o albedo e a emissividade maior será a absorção de calor e sua permanência no ambiente de entorno. (p. 52)

Estão apresentadas no Quadro 4 as propriedades de alguns dos materiais mais presentes no tecido urbano.

Quadro 4 – Albedo e emissividade de alguns materiais que compõem as superfícies urbanas.

Material	Albedo	Emissividade
Coberturas		
<i>Laje (cimento)</i>	0,35	0,9
<i>Fibrocimento</i>	0,34	0,9
<i>Telha metálica</i>	0,57	0,25
<i>Telha colonial nova e limpa</i>	0,68	0,9
<i>Telha colonial velha e suja</i>	0,53	0,9
Pavimentos		
<i>Asfalto</i>	0,12	0,95
<i>Concreto</i>	0,35	0,9
<i>Pedra lascada</i>	0,33	0,95
<i>Solos claros e secos</i>	0,35	0,9
Vegetação e Água		
<i>Gramma</i>	0,26	0,95
<i>Vegetação arbustiva</i>	0,16	0,9
<i>Vegetação arbórea</i>	0,2	0,98
<i>Água</i>	0,1	0,95

Fonte: Vianna (2018), adaptada.

Deste modo, a interferência dos materiais na transformação do balanço energético ocorre de forma que

“é certo que o coeficiente de absorção de radiação solar se altera resultando na produção de calor que é acumulado pelos materiais construtivos intraurbanos que compõem a superfície urbana das cidades e, por conseguinte, seus efeitos são sentidos principalmente no aumento da temperatura do ar e diminuição da umidade relativa [do ar]” (SANT’ANNA NETO e RAMPAZZO, 2016, p. 22)

d) Cobertura vegetal

Ao passo que aumenta a artificialização do espaço natural por meio do processo de urbanização, decresce a porção de cobertura vegetal nas áreas urbanas. Assim, a vegetação passa a se restringir, sobretudo, aos espaços públicos – como praças e parques –, quintais das casas e prédios, áreas de proteção ambiental e ao longo das vias de circulação. Todavia, desempenha papel importante na qualidade de vida e no conforto ambiental e sua diminuição traz implicações socioambientais significativas.

Meneguetti (2003) destaca que os benefícios ambientais da arborização de ruas e da arborização urbana são tão mais necessários à saúde ambiental do ecossistema urbano quanto maior o nível de urbanização. O papel da vegetação nas cidades, de acordo com Mascaró e Mascaró (2002) em uma análise mais voltada para as questões ambientais, consiste no controle da poluição atmosférica, regulação termo-higrométrica, controle acústico, controle estético, como complemento alimentar e medicinal e na proteção de encostas (Quadro 5).

Quadro 5 – Funções desempenhadas pela vegetação urbana.

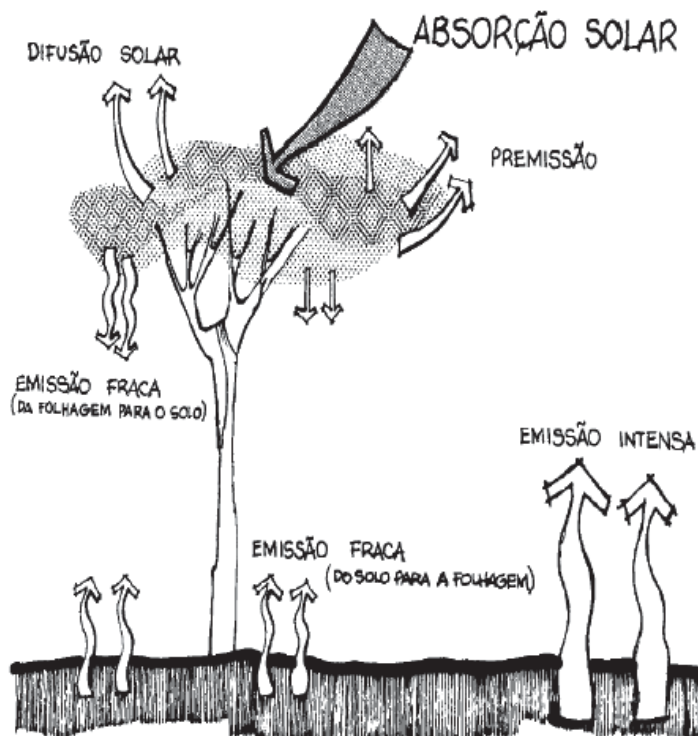
Função	Processo
<i>Controle da Poluição Atmosférica</i>	Remoção de partículas e gases poluentes da atmosfera, através das folhas que podem absorver gases poluentes originados pela queima incompleta de veículos automotores, e ainda possuem capacidade de “prenderem” partículas tóxicas ou de poeiras sobre sua superfície foliar (espécies, pilosas, cerosas, espinhosas); Ação purificadora por reciclagem de gases através de mecanismos fotossintéticos;
<i>Controle da Temperatura e Umidade do ar</i>	A vegetação funciona como um termorregulador microclimático, modificando o albedo das superfícies, filtrando a radiação solar recebida, provocando quedas nas variações de temperaturas; Proporciona ambiência agradável através do aumento da umidade relativa do ar, em função da evapotranspiração e ainda contribui para conservar a umidade nos solos, diminuindo a temperatura superficial; Controle na velocidade e direção dos ventos, podendo ser utilizada tanto para amenizá-lo quanto para reforçá-lo;
<i>Controle Acústico</i>	A vegetação pode ajudar a reduzir os ruídos emitidos pelos grandes e médios centros através de 5 maneiras: Absorção do som; Desvio (altera a direção); Reflexão (o som volta a sua origem); Refração (as ondas sonoras mudam a direção); Dissimula os sons (se escuta seletivamente os sons da natureza em detrimento dos ruídos da cidade).
<i>Controle Estético (paisagístico)</i>	Determinadas espécies fornecem flores e perfumam o ambiente, quebrando a monotonia da paisagem das grandes cidades.
<i>Complemento Alimentar e Medicinal</i>	A utilização de espécies frutíferas poderá fornecer frutas à população de baixos recursos; algumas espécies como o alecrim e a alfavaca podem ser utilizadas em tratamentos de determinadas moléstias pela medicina alternativa.
<i>Controle psicológico</i>	A arborização é fator determinante da salubridade mental, por ter influência direta sobre o bem estar do ser humano e proporcionar a realização de atividades de lazer.
<i>Controle ecológico</i>	As árvores oferecem abrigo e alimento aos animais, protegem e melhoram os recursos naturais (solo, água, flora e fauna) e, especificamente as árvores dispostas nos sistemas viários, atuam como corredores que interligam as demais áreas verdes;
<i>Proteção de encostas</i>	A utilização de vegetação herbácea e arbustiva auxilia na proteção de encostas uma vez que diminui e/ou impede a erosão dos solo.

Fonte: Mascaró e Mascaró (2001), organizado por Pimentel (2017); Mello Filho (1985), organizado por Assis (2016); adaptada.

Quanto ao seu papel na regulação do clima urbano, a vegetação propicia um resfriamento passivo advindo do sombreamento – reduzindo a conversão de energia radiante sensível, por transformá-la em radiação difusa – e do consumo da energia para evapotranspiração – retirando a energia (calor) do meio ambiente urbano, transformando-a e não armazenando (FURTADO, 1994). Em outras palavras, a vegetação é capaz de modificar a relação entre a radiação solar e a superfície terrestre (Figura 13). Além disso, aumenta os índices de umidade relativa do ar devido ao processo de evapotranspiração. Yu e Hien (2006) consideram que o plantio de árvores em áreas urbanas é uma efetiva medida para criar um efeito

de “oásis” e mitigar o aquecimento urbano. Assim, a vegetação possui grande capacidade de atenuação das características negativas do clima urbano, criando microclimas diferenciados e gerando as chamadas ilhas de frescor (PIMENTEL, 2017).

Figura 13 – Efeitos da vegetação na relação radiação solar - superfície terrestre.



Fonte: Romero (2000).

No entanto, os impactos positivos gerados pela vegetação variam de acordo com o tipo e tamanho dos indivíduos arbóreos, “pois cada espécie apresentará um tamanho de copa, o que concebe áreas de sombra diferenciadas e por consequência terão respostas térmicas distintas” (ASSIS, 2016, p. 53). Nessa lógica, quanto maior, vertical e horizontalmente, for o indivíduo arbóreo, maior será o resfriamento proporcionado por ela. Quanto à vegetação rasteira, Paz (2009) ressalta que, devido aos processos metabólicos das plantas, “um simples espaço gramado é capaz de absorver maior quantidade de radiação solar e de irradiar uma menor quantidade de calor que qualquer outro tipo de superfície construída” (p. 51). Deste modo, apesar de não proporcionar um resfriamento da temperatura do ar e um aumento da umidade relativa do ar na mesma intensidade que os indivíduos arbóreos, a vegetação rasteira também colabora para atenuar os desequilíbrios termo-higrométricos. Ajudam, ainda, a estabilizar os taludes e prevenir a erosão e aumentam a permeabilidade do solo, o que colabora positivamente para as respostas do ambiente à ocorrência de eventos pluviométricos intensos e/ou extremos, diminuindo seus impactos adversos – enchentes, movimentos de massa, etc.

Isto posto, reitera-se que a vegetação se apresenta como um importante indicador da qualidade de vida. Em um espaço urbanizado suas funções são múltiplas, o que faz com que seja um elemento central no processo de planejar e gerir as cidades sob uma perspectiva não apenas ambiental, mas, além disso, social. Na perspectiva do clima urbano, a compreensão do seu papel e sua espacialização é fundamental para entender como se estabelece a relação entre sociedade-natureza e os impactos provenientes desta.

e) Corpos hídricos

Os corpos hídricos desempenham uma função similar à vegetação, funcionando como reguladores termo-higrométricos. São eles os lagos, lagoas e, sobretudo, os rios que cortam as cidades.

Para entender como se processam os efeitos desses corpos hídricos é necessário atentar para a diferença entre o calor específico da água e da terra (e demais superfícies que compõem o espaço da cidade). Para Oke (1978), os corpos hídricos possibilitam a diminuição da temperatura nos seus entornos por diminuírem o fluxo de calor sensível a partir da sua transformação em calor latente. Comparativamente, a água possui um alto calor específico, o que significa dizer que, de acordo com Ayoade (2011, p. 30), “deve absorver cinco vezes mais energia calorífica para elevar sua temperatura em nível igual ao de uma massa de solo seco semelhante”. Assim, tal como a vegetação, a água retira energia (calor) da atmosfera e transforma-a ao invés de retê-la.

Devido à diferença de calor específico entre água e terra, os corpos hídricos são responsáveis por gerar um mecanismo de brisa parecido com as brisas de vale e de montanha. Nesse caso, durante o dia a água se aquece mais lentamente que a terra, gerando a circulação local de ventos no sentido água-terra. O inverso ocorre durante a noite, quando a água dissipa o calor mais lentamente e, por isso, se estabelece a brisa no sentido terra-água.

Ademais, como os rios localizam-se nos fundos de vale por efeito gravitacional, esses determinam, também, um corredor para os ventos, que utilizam das suas calhas para se dispersar com maior facilidade (PIMENTEL, 2017).

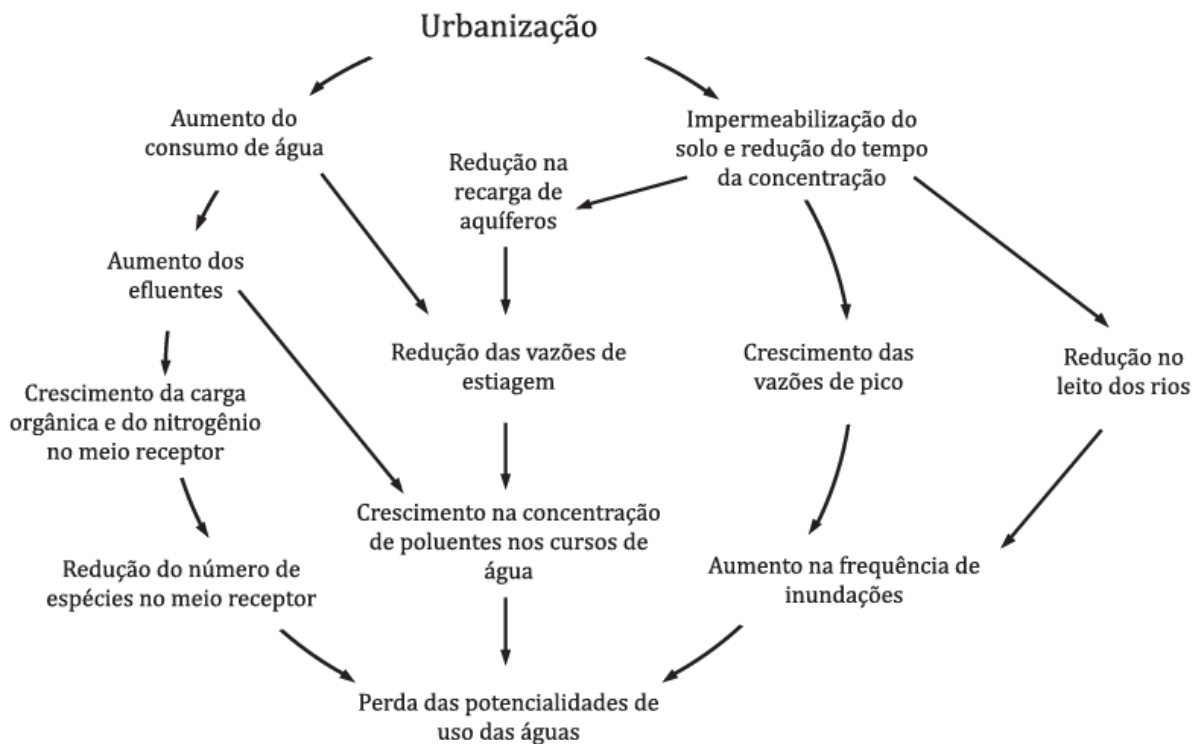
Inseridos em um contexto de intensa urbanização, os rios – principais corpos hídricos na maioria das cidades – passou e vem passando por uma deterioração qualitativa e quantitativa. Ao discutir a relação entre as cidades e os rios, Batista e Cardoso (2013) elucidam que

No tocante à qualidade das águas, o aumento da carga orgânica e de poluentes reduz, substancialmente, a biodiversidade e a potencialidade de seus usos múltiplos. A redução da infiltração e o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial acarretam a antecipação e o aumento dos picos dos hidrogramas de cheias.

A canalização dos cursos de água agrava o quadro, levando a crises de insuficiência nos sistemas de drenagem e ao conseqüente aumento na frequência de inundações, com impacto direto nas áreas ribeirinhas. (p. 133-134)

Os autores demonstram, ainda, por meio da Figura 14, os impactos da urbanização nos cursos d'água das cidades.

Figura 14 – Impactos da urbanização sobre as águas.



Fonte: Batista e Cardoso (2013), adaptada.

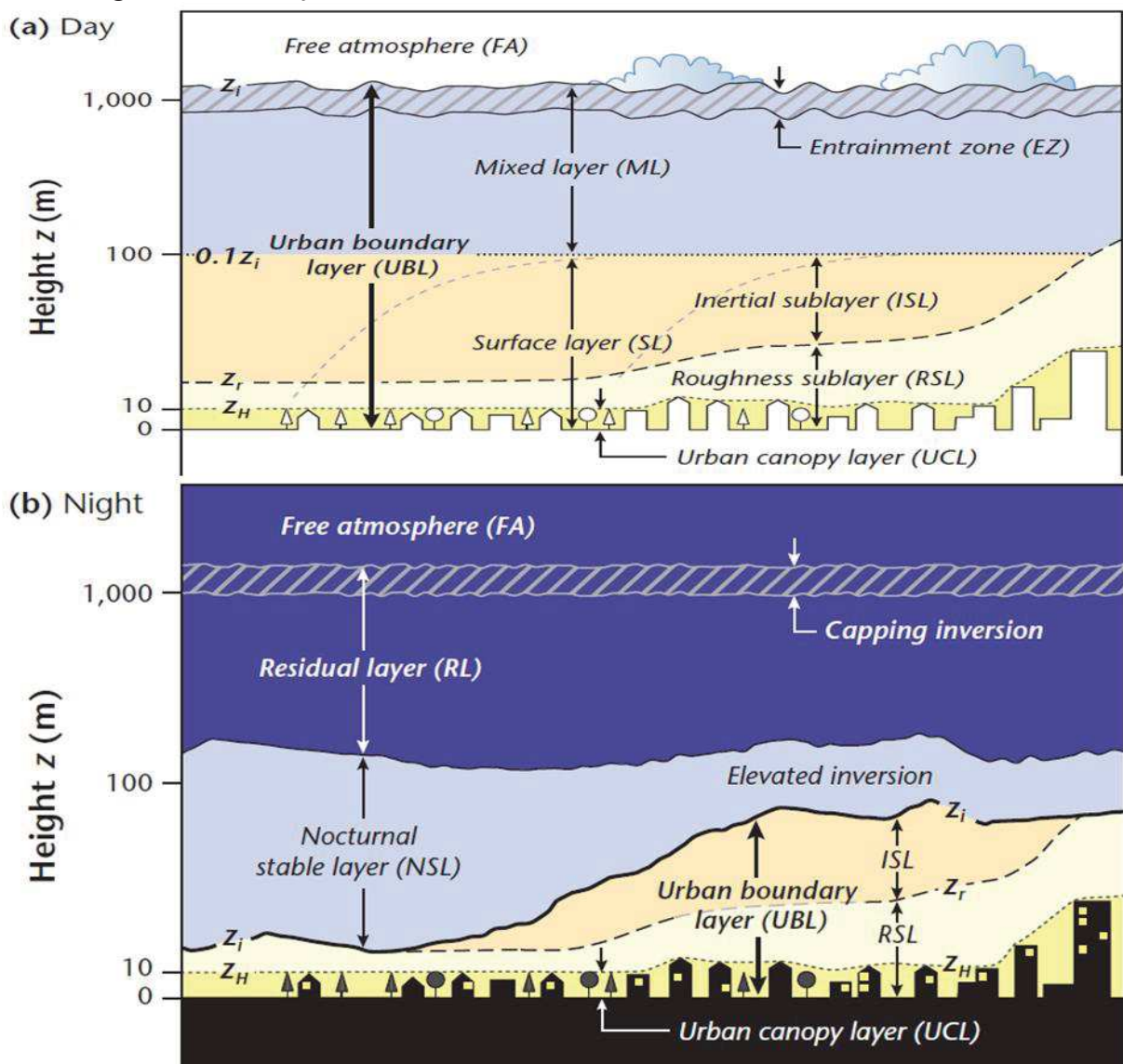
Considerando esses impactos, nota-se que as funções dos rios urbanos são amplas e afetam diretamente na saúde humana, seja por meio da poluição das águas, seja por meio da sua canalização, que afeta o conforto climático da população citadina ao impedir os processos naturais importantes para a regulação da temperatura e umidade relativa do ar. Por isso, sua análise – e dos demais tipos de corpos hídricos – é valiosa ao pensar o planejamento urbano, sobretudo, em uma interseção com o clima urbano.

Isto posto, a partir da breve discussão dessa série de fatores que produzem e/ou impactam o clima urbano, é preciso compreender que a ação conjunta – combinada – destes é o que viabiliza a modificação climática nas cidades. Essa modificação se processa na *camada limite de dossel* (ou, *urban canopy layer - UCL*) e repercute na *camada limite urbana* (ou, *urban boundary layer - UCL*), de forma diferenciada durante o dia e a noite (Figura 15). A primeira “se caracteriza pela área entre o solo e o nível da cobertura das edificações, no qual se encontram os processos de microescala, presentes nas ruas, prédios, entre prédios”

(FERREIRA, 2014, p. 53). Já a segunda, de acordo com a mesma autora, fazendo referência à Oke (2004; 2006) e Grimmond (2006), se estende para cima do nível da cobertura das edificações. Esta,

é influenciada pela estrutura urbana, pelas edificações (altura, distância entre elas), pelas vias (fluxos de veículos, largura), que por sua vez influenciam na rugosidade, ocasionando uma aerodinâmica particular, pois a velocidade do vento diminui, provoca um aumento da turbulência e no arrasto provocado pela fricção do ar. (FERREIRA, op. cit., p. 53)

Figura 15 – Variação da Camada de limite urbana e Camada de limite de dossel.



Fonte: Oke et al. (2017).

Além das edificações, a espacialização dos demais fatores, tão heterogênea quanto o próprio espaço urbano, é responsável pelo aquecimento de determinadas áreas e o resfriamento – relativo – de outras. Retornando à citação de Mendonça (2003), a partir deles são gerados bolsões climáticos intraurbanos diferenciados, característicos de um clima tipicamente urbano.

Diversas são as possibilidades de delimitação desses bolsões climáticos no que se refere aos seus atributos climáticos, considerando a multiplicidade de combinações possíveis entre os fatores aqui elencados. Entretanto, os mais expressivos são as *ilhas de calor* e *ilhas de frescor*.

As ilhas de calor e de frescor podem ser definidas como áreas nas quais as temperaturas apresentam-se, respectivamente, mais ou menos elevadas do que aquelas encontradas nas áreas circunvizinhas. Como causas para a formação, nas cidades, dessas áreas mais aquecidas que o entorno, Brandão (2003) aponta

a maior capacidade de estocagem de calor em função das propriedades dos materiais de construção da cidade; a redução do fluxo de calor latente e o aumento do calor sensível em função da reduzida superfície líquida e da áreas verdes na área urbana, resultando em diminuição da umidade e menor evaporação; a redução do *sky view factor* por elementos urbanos (edifícios) resultando em menores perdas de radiação de ondas longas nas ruas e *canyons* urbanos contribuindo para o aumento de ocorrência de inundações urbanas provocadas, em parte pela impermeabilização do solo e de episódios de poluição atmosférica, uma vez que a geometria dos prédios produz o aprisionamento do ar e uma superfície de grande aspereza. (p. 122-123, grifo da autora)

As modificações climáticas produzidas pelo substrato espacial material das cidades podem gerar ilhas de calor em escalas variadas. Por isso, são divididas em: Ilha de calor atmosférica, que representa a modificação dos atributos climáticos devido aos fatores produtores do clima urbano ao nível do ar; Ilha de calor vertical, proveniente da diferença termo-higrométrica entre as camadas atmosféricas urbanas verticais, sobretudo, a camada de limite de dossel e a camada limite urbana, e; Ilha de calor superficial, referente às modificações encontradas ao nível das superfícies urbanas (FIALHO, 2009).

As ilhas de frescor, por outro lado, estabelecem-se em áreas as quais possuem características mais próximas dos espaços naturais, com maior índice vegetativo, presença de corpos d'água, menor taxa de impermeabilização do solo, etc. Isso pois, como já fundamentado, propiciam taxas mais elevadas de umidade relativa do ar e temperaturas do ar mais amenas.

Esse processo de formação de bolsões climáticos de características distintas, por se fazer em um espaço habitado e produzido socialmente, gera problemas agudos no entremeio daquilo que é ambiental-climático e aquilo que é social – problemas socioambientais. Em razão disso, é importante refletir as relações existentes entre essas duas dimensões.

2.3. Planejar a cidade em uma perspectiva socioambiental: o mapa climático urbano

2.3.1. Meio ambiente urbano, clima e planejamento

A modificação substancial dos atributos do clima, característica da formação do clima urbano, advém da transformação do espaço. Aspectos como a impermeabilização do solo, desmatamento, aumento do volume de construções e, sobretudo, construções verticais, são centrais na configuração de bolsões climáticos distintos dentro do espaço urbanizado. Isto posto, observa-se que “o modo de viver do homem interfere de forma significativa no sistema urbano, recriando-o totalmente” (AMORIM, 2013, p. 177), criando uma espécie de meio ambiente urbano.

Maricato (2001), ao discutir a dimensão da dinâmica de urbanização no Brasil durante o século XX, destaca que “trata-se [...] de uma gigantesca construção de cidades, parte dela feita de forma ilegal, sem a participação dos governos, sem recursos técnicos e financeiros significativos” (p. 37). Essa constatação demonstra, especialmente, o caráter desigual da produção das cidades brasileiras via urbanização.

A desigualdade, a princípio, social, reverbera no espaço físico, transformando-se em uma desigualdade socioespacial. Mais que isso, considerando as repercussões deste processo na dimensão ambiental, considera-se que a produção das cidades se dá de forma desigual social, espacial e ambientalmente, uma vez que essas dimensões são indissociáveis ao pensar na realidade urbana. A ação e, por consequência, a espacialização dos agentes produtores do espaço – já abordada aqui –, por sua vez, é o que qualifica o curso deste processo.

Vervloet (2002) analisa a paisagem urbana e, considerando-a como uma categoria de análise geográfica que reflete a dinâmica espacial como uma espécie de impressão digital do espaço, demonstra que a produção, reprodução e reconstrução desigual deste espaço torna-se perceptível por meio dela. Ela, por sua vez, é fragmentada e segregada, visto que a dinâmica espacial, que determina o arranjo espacial da cidade – e, portanto, sua paisagem, é definida no seio de uma sociedade estruturada em classes sociais e baseada na aplicação generalizada de valor de troca àquilo que, essencialmente, é embutido de valor de uso. Deste modo, as cidades são pensadas e estruturadas de acordo com as relações de poder ali estabelecidas, que se manifestam na espacialização dos próprios sujeitos no espaço urbano, cada qual com suas práticas espaciais e responsáveis por produzir um espaço diferenciado.

É nesse sentido que é discutida a relação entre a produção do espaço urbano e o clima urbano, ao passo que se os sujeitos não se relacionam com o espaço igualmente, também não há uma relação com o clima de maneira uniforme, principalmente, no que se refere aos seus impactos. E, além deles, o que se busca aqui é pensar de que maneira as condicionantes para a conformação do clima urbano são desigualmente distribuídas no espaço das cidades. Ou, em outras palavras: Quem ocupa as áreas críticas, climaticamente falando, da cidade? Quem ocupa as áreas mais favorecidas? Essa relação de desigualdade é nítida quando se fala de produção do clima urbano ou apenas no que se refere aos impactos?

Sobre essas questões, Rampazzo (2015) aponta que

é preciso considerar que a relação entre os indivíduos e os elementos naturais na cidade (tal como o clima a partir da temperatura, a que diariamente todos estão sujeitos) se reproduz de diferentes formas na cidade, pois alguns, com as condições que lhes permite, acabam por potencializar seus efeitos mais negativos. (p. 61)

Assim, é possível compreender que as condições de produção do clima urbano não se distribuem aleatoriamente no espaço urbanizado. “Os problemas ambientais surgem do modo como a sociedade relaciona-se com a natureza [...] [e] essa relação com a natureza nada mais é do que parte da relação que se estabelece entre as sociedades e entre os indivíduos” (SAMPAIO E FERNANDES, 2008, p. 89) A tipologia das edificações, os materiais empregados e a intensidade com o qual o espaço natural é modificado diferem-se, também, de acordo com a prática concreta dos grupos sociais, que constroem o espaço material das cidades.

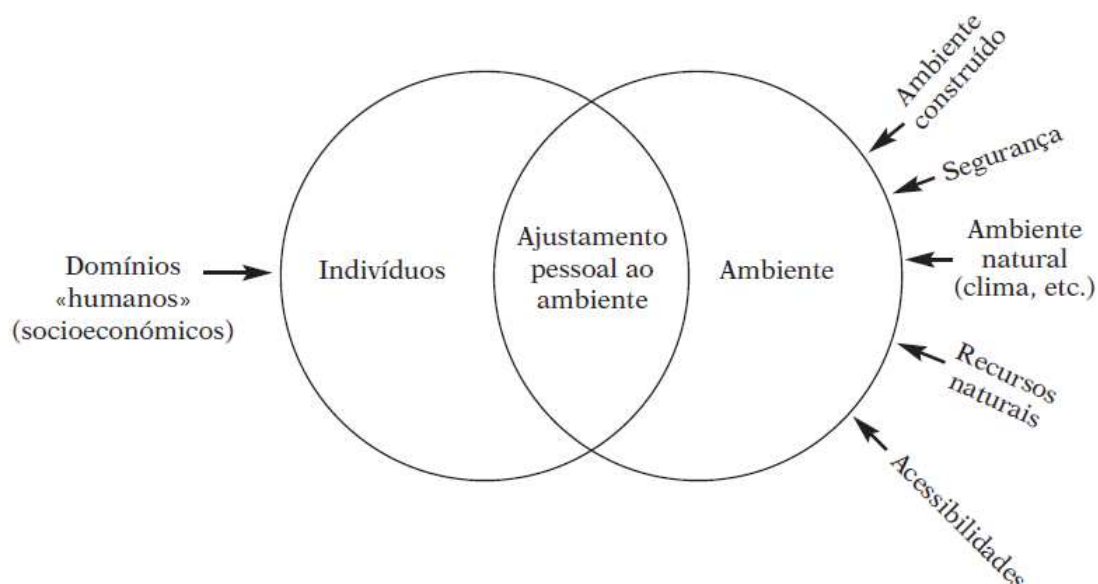
Mas, de que maneira se estrutura essa relação?

Ao pensar na geometria urbana, não parece haver uma relação direta entre as condições socioeconômicas da população citadina e a infraestrutura que potencializa o aumento da temperatura e a queda da umidade relativa do ar. Isso pois, essas características são, sobremaneira, encontradas nos centros urbanos, áreas as quais há uma valorização no preço da terra, por exemplo. Por outro lado, essa relação se modifica ao pensar nas propriedades físicas dos materiais constituintes das construções urbanas, já que o emprego de materiais construtivos de melhor capacidade térmica, geralmente mais custosos e, por isso, é restrito à determinada parcela da população.

Assim, é importante que se atente não apenas para a espacialização dos fatores produtores do clima urbano, mas também para quem habita essas áreas. Essa importância cresce quando se trata de um estudo que cruza o clima e o planejamento urbano, já que demonstra os desafios e possibilidades de alcançar melhor qualidade de vida para a totalidade dos sujeitos que vivem o cotidiano da cidade.

A busca pela melhor qualidade de vida passa pelo reconhecimento dos problemas socioambientais que afligem a população citadina, e, para mais, de como se relacionam espacialmente a sociedade – dividida em classes – e as questões ambientais. Por isso, apenas a partir da análise espacial conjunta dos elementos sociais e ambientais – aqui, inserem-se os elementos climáticos – seria possível atingir a totalidade dos domínios da qualidade de vida. Sobre eles, Andrade (2005) os descreve a partir da Figura 16 e apresenta o clima como um dos componentes da qualidade do ambiente e, portanto, como fator determinante para a qualidade de vida da população.

Figura 16 – Domínios da qualidade de vida.



Fonte: Andrade, 2005 (baseado em Kamp *et al.*, 2003).

Segundo Lombardo (1985),

os fenômenos inter-relacionados [a essa interferência], como ilha de calor, poluição do ar, chuvas intensas, inundações e desabamentos passam a fazer parte do cotidiano urbano, sobrepondo mais um fenômeno aos demais, fazendo com que a população se defronte com essa natureza alterada e conviva com os problemas dela decorrentes. (p. 18)

Entretanto,

as informações climáticas na escala urbana possuem pouco ou nenhum impacto nas tomadas de decisões no planejamento urbano/ambiental das cidades, mesmo diante do crescente número de episódios de enchentes, movimentos de massa, ondas de calor e frio, verificados em várias cidades brasileiras. (FERREIRA, 2014, p. 54)

Assim, o processo de formação e expansão das cidades – atrelados ao modo de viver social –, sem a precedência de um planejamento urbano-ambiental, gera condições propícias

tanto à transformação climática e atmosférica que culmina em problemas socioambientais, quanto ao desenvolvimento de problemas socioambientais que culminam na transformação climática e atmosférica. Por isso, a preocupação com o planejar e gerir as cidades de forma alinhada com as dinâmicas ambientais se apresenta como uma chave para a solucionar os problemas provenientes dessas modificações. Daí o encontro entre clima e planejamento.

Para Monteiro (1976), o planejamento consiste em um mecanismo autorregulador do Sistema Clima Urbano (S.C.U.). Isso pois, a partir do conhecimento das disfunções do sistema, ou seja, dos problemas dele decorrentes, a sociedade seria capaz de intervir e adaptá-lo. Essa intervenção, por sua vez, seria mais facilmente efetuada por meio de um planejamento que incorpore o conjunto social, ideológico, científico e tecnológico referente à questão climática. Para isso, “torna-se necessário o poder de decisão governamental (o que se vem configurando como viável) em institucionalizar a intervenção através de dispositivos auto reguladores (legais, tecnológicos etc.)” (MONTEIRO, 2003, p. 26).

Segundo Souza (2010), citando Higuera (2006), o planejamento das cidades em consonância com análises de clima urbano pode ser compreendido como

urbanismo bioclimático, onde a planificação urbana deve se adaptar a cada lugar, mediante um traçado viário estruturante que responda a critérios de insolação e de ventos locais, ruas adaptadas à topografia, zonas verdes adequadas à necessidade de umidade e evaporação ambiental e parcelamento do solo. Deste modo, o urbanismo bioclimático deve garantir um menor impacto ambiental decorrente das transformações urbanas, buscando a diminuição do consumo de energia por parte das edificações e o conforto ambiental dos habitantes. (p. 26-27)

Mills (2015) demonstra que o planejamento urbano na maioria das cidades não vem considerando o contexto climático no qual se insere a cidade e como essa relação entre cidade e clima se estabelece, exceto em casos onde a cidade se instala em áreas de condições climáticas extremas. Destaca ainda que, quando há uma ação que atrele esses dois campos, essa, geralmente está focada apenas na solução de problemas imediatos ao invés de avaliar de que maneira o processo de construção e planejamento da cidade levou à ocorrência desse problema. Por fim, aponta que “nossa compreensão das cidades e seu papel como impulsionadores de mudanças ambientais significativas em todas as escalas exige uma abordagem diferente para a construção das cidades” (ibid., p. 7, tradução minha). Essa abordagem consiste no entendimento do papel central das cidades em um contexto de mudança climática global – tanto como impulsionadoras quanto impactadas por elas – e, sobretudo, como escala privilegiada para a intervenção. Por esses motivos, torna-se essencial pensar de forma integrada o clima e o planejamento urbano.

Se, por um lado, é essencial agrupar os estudos de clima urbano nos processos de planejamento e gestão das cidades, por outro encontram-se alguns obstáculos a serem enfrentados e superados para que haja, de fato, um diálogo estreito entre clima e planejamento. Assis (2006) demonstra que os estudos de climatologia urbana são importantes para o planejamento e preservação da qualidade físico-ambiental urbana, no entanto, sua aplicação ainda mostra-se limitada devido a dois principais fatores: a fragmentação e desintegração entre os campos do conhecimento envolvidos nesse processo, e; o caráter descritivo da maioria dos trabalhos que abordam o clima das cidades, fazendo com que seus resultados sejam restritos ao caso analisado. Já Andrade (2005) aponta, para além desses, “a formação desadequada dos planejadores e arquitetos, à falta de compreensão dos climatólogos quanto às reais necessidades do planejamento urbano e o tipo de prioridades definidas” (p. 80). Por isso, destaca que

É necessário, portanto, desenvolver critérios e métodos menos genéricos para a aplicação no processo de síntese da forma urbana. Neste contexto, a análise sistemática dos espaços urbanos, o uso de modelos de simulação de variações climáticas e a interação entre estes dois processos, que são complementares, podem auxiliar na concepção desses critérios e métodos. (ASSIS, 2006, p. 21)

É preciso atentar, ainda, para o fato de que a problemática da inserção dos estudos climáticos nos processos de planejamento e gestão das cidades ultrapassa a questão da linguagem e tradução das informações. Amorim (2013) ressalta as limitações econômicas como obstáculo à inserção da climatologia no planejamento das cidades,

principalmente das construções populares na utilização de materiais construtivos pouco adequados ao clima tropical e ao reduzido tamanho dos lotes; a falta de clareza e coerência das políticas na aprovação de conjuntos habitacionais densamente construídos e loteamentos com terrenos praticamente com toda a sua área construída. (p. 188)

Villaça (1999), ao procurar reconstruir a história do planejamento urbano no Brasil, demonstra que esse esteve desde os tempos mais longínquos atrelado à ideologia da classe dominante e sem qualquer comprometimento com a realidade concreta das cidades. Essa situação é observada até a década de 1930, quando há o aumento da consciência das classes populares urbanas. A partir de então, o que se observa é uma reformulação para fins de substituição do antigo planejamento e abrangência de toda a cidade, com seus aspectos, sujeitos e problemas. No entanto, se as novas concepções apontavam para um caminho eficaz, o autor ressalta o início de uma nova fase, caracterizada pelo plano intelectual e pautada nos planos-discursos. Essa fase, que se estende até a década de 1990 é marcada por uma base científica e

o tecnicamente correto, ou seja, os planos urbanos findavam-se neles mesmos, sem que houvesse uma preocupação com a operacionalização e exequibilidade.

Ainda de acordo com Villaça (ibid.), a década de 1990 é definida pelo início de um processo de politização do planejamento urbano e, sobretudo, pela intensificação da construção dos planos diretores municipais a partir da obrigatoriedade descrita na Constituição de 1988. Com o texto constitucional e a maior autonomia dada aos municípios, de acordo com Menezes (1997), delimitavam-se, além dos campos de atuação das várias instâncias estatais, a ação dessas – União, estados e municípios – como corresponsáveis pela garantia da qualidade ambiental. Ademais, trouxe a obrigatoriedade do Plano Diretor⁹ para cidades com mais de 20 mil habitantes, demonstrando que “tanto ambientalistas quanto governantes ‘descobriram’ que o nível local é o lugar onde efetivamente existem maiores condições para contenção, prevenção e solução da maioria dos problemas sócio-ambientais” (ibid., p. 90).

A ênfase dada à atuação municipal é reforçada, mais tarde, com a criação do Estatuto das Cidades (Lei 10.257 de 10 de julho de 2001), onde são regulamentados os principais instrumentos políticos e jurídicos de intervenção urbana (CARVALHO, 2001). O Plano Diretor continua tendo lugar central e, enquanto instrumento de gestão territorial urbana, transforma-se também em “um instrumento de gestão ambiental urbana, talvez o principal deles, sobretudo pelo fato de não haver uma tradição de política ambiental em nível municipal no Brasil.” (ibid., p. 99).

No entanto, Stephan (2009) assinala que “a história dos planos diretores neste período de vinte anos [desde o início da obrigatoriedade] poderá ser contada por uma produção de uma grande quantidade, mas provavelmente ainda com tímidos resultados qualitativos.” (p. 48). Isto é “[os planos diretores] não saíram do discurso, não passaram de boas intenções descoladas de implementação, não evitaram a clandestinidade, a irregularidade e a exclusão social.” (p. 49)

No que se refere à questão ambiental e, principalmente, climática, observa-se um esvaziamento ainda maior de resultados qualitativos.

De acordo com Assis *et al.* (2007),

A legislação urbanística nas cidades brasileiras tem mantido uma perspectiva de regulação do mercado imobiliário, tornando-as instrumento de especulação e de valorização imobiliária, em detrimento da inclusão dos segmentos fora do mercado e

⁹ O Plano Diretor torna-se, a partir da Constituição Federal de 1988, o principal instrumento de planejamento e gestão das cidades brasileiras e, segundo Villaça (1999), “seria um plano que, a partir de um diagnóstico científico da realidade física, social, econômica, política e administrativa da cidade, do município e de sua região, apresentaria um conjunto de propostas para o futuro desenvolvimento socioeconômico e futura organização espacial dos usos do solo urbano, das redes de infra-estrutura e de elementos fundamentais da estrutura urbana, para a cidade e para o município, propostas estas definidas para curto, médio e longo prazos, e aprovadas por lei municipal.” (p. 238).

de novas demandas sociais relativas à qualidade ambiental e ao uso racional de recursos naturais. (p. 153)

É nesse contexto que, na prática, as ações que envolvem a questão ambiental nas cidades e que são inseridas nos planos diretores restringem-se, em muitos casos, à delimitação de áreas de proteção ambiental e, a discussão sobre o clima – e outros temas, tais como inundações, preservação dos recursos hídricos etc. – segue esvaziada.

Para Assis et al. (2007, p. 153), “mesmo com o Estatuto [das Cidades], é possível perceber que as questões referentes à bioclimatologia urbana continuam sendo tratadas de forma simplificada e genérica.” e ainda reforça a importância de um urbanismo bioclimático, que associe

a capacidade de carga dos sistemas naturais locais a uma matriz de interações entre os aspectos ambientais (insolação, ventos, vegetação, recursos energéticos e hídricos, e geomorfologia) e as variáveis do ambiente urbano (estrutura de circulação, espaços livres e áreas verdes, condições das quadras, lotes e edificações). (ibid., p. 153)

O que se observa é uma falta de controle – e, de certa forma, uma negligência – no que se refere às intervenções urbanas e, conseqüentemente, às questões de conforto térmico, ventilação, iluminação, de aproveitamento dos recursos naturais, entre outras. Esse problema é causado, sobretudo, pela ausência de análises adequadas e definições mais específicas nos instrumentos de regulação das cidades. Além disso, acrescenta-se a dificuldade imposta pelo jogo de poder e interesse entre os agentes produtores do espaço urbano.

É devido a toda essa problemática que envolve a relação entre a cidade, o seu planejamento e seus aspectos ambientais que, ao falar de planejamento urbano em uma perspectiva socioambiental, torna-se essencial tecer uma crítica ao modelo de planejamento urbano-ambiental que vem sendo implementado, sobretudo, nas cidades brasileiras.

Sobre essa crítica, Namur e Boeira (2005) refletem sobre o papel do planejamento urbano no Brasil, com base, sobretudo, nos estudos de Godard e Castells (1979) e demonstram que as instituições que se debruçam sobre o planejamento urbano podem ser entendidas como um “meio privilegiado de intervenção das instituições administrativas nas contradições urbanas” (p. 10, grifo das autoras) e, além disso, são “feita[s] de uma complexa combinação entre contradições estruturais e conflitos conjunturais” (p. 10, grifo das autoras). Essas contradições e conflitos são inerentes ao processo de planejar as cidades por meio da relação entre Estado e classes sociais.

O processo de planejamento urbano, assim, segue a mesma lógica da própria produção do espaço urbano, uma vez que

A constituição do espaço socialmente produzido é plena de contradições e lutas,

muitas rotinizadas no cotidiano, decorrentes do caráter dialético de sua produção, através da atividade social e econômica, por ser simultaneamente suporte, meio, produto e expressão da reprodução das relações sociais de produção em escala ampliada, o que confere a estas relações um caráter espacial necessário. (LIMONAD, 1999, p. 81)

Em consonância com esse pensamento, Damiani (1999) destaca que o processo de urbanização em si caracteriza-se como um setor produtivo, que define uma nova produção espacial e, em decorrência disso, se apresenta também como um meio pelo qual busca-se a acumulação de capital. Para Carrasco (2011) “essa abordagem colabora para o desenvolvimento da crítica ao consenso em torno do caráter neutro do planejamento urbano e de sua capacidade de determinar, politicamente, os termos que definirão o processo de produção e apropriação do espaço urbano.” (p. 159)

Baseado nessa crítica à neutralidade falaciosa do planejamento urbano, o autor enfatiza que

O planejamento não trata, portanto, de um processo de distribuição de recursos, materiais e financeiros, fundamentado na técnica e pautado por questões relativas a necessidades concretas, na medida em que essa possibilidade será constantemente constringida pelo cálculo econômico. Desse modo, antes de se caracterizar como um modo racional de distribuição desses recursos, o planejamento se configura como o mecanismo a partir do qual se garantiria as condições para o desenvolvimento da reprodução sempre ampliada do capital. No caso do planejamento urbano, através do processo de produção do espaço urbano e dos demais processos produtivos vinculados à cidade. (CARRASCO, 2011, p. 160)

O planejamento urbano, considerado como um instrumento cujo objetivo é a organização do espaço (VILLAÇA, 1999), mostra-se também como um instrumento político e ideológico, o que significa que tem se submetido a um discurso hegemônico a classe dominante, desvencilhando-se, em muitos casos, das problemáticas centrais dos espaços urbanos e, mais profundamente, da problemática socioambiental urbana.

Em “As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias”, Maricato reflete sobre as matrizes que fundamentam o planejamento e legislação urbanos no Brasil e revela que

O urbanismo brasileiro (entendido aqui como planejamento e regulação urbanística) não tem comprometimento com a realidade concreta, mas com uma ordem que diz respeito a uma parte da cidade, apenas. Podemos dizer que se trata de ideias fora do lugar porque, pretensamente, a ordem se refere a todos os indivíduos, de acordo com os princípios do modernismo ou da racionalidade burguesa. Mas também podemos dizer que as ideias estão no lugar por isso mesmo: porque elas se aplicam a uma parcela da sociedade reafirmando e reproduzindo desigualdades e privilégios. Para a cidade ilegal não há planos, nem ordem. Aliás ela não é conhecida em suas dimensões e características. Trata-se de um lugar fora das ideias. (2000, p. 122)

O meio ambiente urbano – e tudo aquilo que lhe diz respeito – assemelha-se à “cidade ilegal”, numa tentativa de comparação à metáfora usada por Ermínia Maricato. As áreas ambientalmente frágeis – e protegidas – não interessam ao capital justamente por sua

fragilidade. A elas, resta a ocupação ilegal e à população pobre resta ocupar ilegalmente essas áreas. Em um processo análogo, ambas são timidamente pensadas seriamente no âmbito do planejamento urbano, pois representam, numa visão reducionista e rasa proveniente do discurso da classe dominante burguesa, muito pouco – ou nada – para a reprodução ampliada do capital. Quando a discussão alcança a reflexão sobre a questão climática urbana – tanto sua produção quanto seus impactos – a invisibilidade nos planos e projetos urbanos se agrava.

Por isso, pensar em um modelo de planejamento urbano que considere, fielmente e profundamente, a problemática socioambiental urbana, requer a superação de uma lógica de suborno e concessões dadas a uma determinada classe que detém os meios de produção e representa o grande capital nas cidades. Mais que isso, é preciso desacortinar sujeitos e espaços críticos que são hoje invisibilizados. Olhar para a cidade de forma igualitária e, sobretudo, fazer valer o direito à cidade e o direito à uma cidade ambientalmente confortável para os cidadãos e para o planeta. É a partir dessa perspectiva marxista de leitura da cidade que este trabalho vem sendo estruturado.

Retomando Assis *et al.* (2007), citando Higuera (2006), na prática alguns aspectos importantes do ponto de vista climático e ambiental podem ser identificados e manuseados no processo de planejamento das cidades. E aqui, acrescenta-se a importância de sua inserção também na legislação urbanística. Esses aspectos seguem alguns princípios, a saber:

- sistema viário estruturante que responda a critérios de insolação e aos ventos locais;
- áreas verdes adequadas às necessidades de condicionamento ambiental higrotérmico;
- morfologia urbana com parcelamento adequado que gere edifícios bem orientados com relação ao sol e aos ventos;
- tipologia edilícia diversificada para diminuir as necessidades de deslocamentos e, portanto, os custos sociais, econômicos e ambientais do transporte, possibilitando o desenvolvimento de formas urbanas mais compactas. (ASSIS *et al.*, 2007, p. 153)

A partir desses aspectos, analisar e pensar em formas de equilibrar o sistema climático urbano mostra-se de grande valia no que se refere ao conforto climático e ambiental das populações que habitam as cidades. E mais, inserir essas análises no planejar as cidades possibilita minimizar os efeitos negativos gerados pela transformação do espaço dada pelo processo de urbanização e posterior intensificação desses, ao passo que não há um controle eficaz do crescimento das estruturas urbanas.

Para Ugeda Júnior e Amorim (2009):

A inserção dos aspectos ambientais nos processos de planejamento urbano baseia-se no entendimento de que, é possível gerar melhoria na qualidade de vida através da melhoria na qualidade ambiental; esta, por sua vez, é alcançada através da realização de processos de planejamento ambientalmente adequados, capazes de considerar de forma objetiva os aspectos do meio físico. (p. 9)

De acordo com Amorim (2013), “nos ambientes urbanos, as preocupações com as condições climáticas estão presentes em construções isoladas, valorizando-se, sobretudo os ambientes internos, por meio da climatização e, poucas vezes, considerando o espaço externo” (p. 188). Contudo, é no espaço externo que são concebidas as condições para a configuração climática urbana e, por essa razão, é ela para qual deve-se direcionar as ações no sentido da construção de uma cidade que não sofra com os efeitos negativos do clima urbano. Confortável, como destaque à atenção para a solução dos problemas que envolvem a influência do clima urbano no conforto da população por meio, sobretudo, dos impactos adversos advindos da modificação de seus atributos – ondas de calor, inundações, movimentos de massa, etc. É saudável, ao pensar em soluções para aqueles problemas que envolvem a saúde ambiental e humana no contexto do clima urbano – concentração de poluentes, doenças respiratórias e/ou circulatórias, desconforto térmico, etc.

2.3.2. O Mapa Climático Urbano

Considerando a relevância do fato urbano ao ampliar em número, tamanho e complexidade as cidades, cresce, concomitantemente, a necessidade de pensar em formas de conexão entre esses campos – o conhecimento climático e o conhecimento urbano. Embora tenha-se avançado nos estudos do clima das cidades desde meados do século XX, estes ainda apresentam caráter descritivo e diagnóstico. Por isso, torna-se importante avançar, também, em estudos e metodologias que colaborem para o diálogo entre as informações climáticas e aquelas de caráter urbano com o intuito de subsidiar um processo de planejamento e gestão urbanos adequados e eficazes. Nesse sentido, observam-se alguns esforços na criação e desenvolvimento de uma abordagem que têm esse fim.

A partir de experiências tanto alemãs (REN e KATZSCHNER, 2007; REN et al., 2010) quanto de outros países como Suécia (SVENSSON et al., 2003), China (WANG, 2004; NG et al., 2008), Portugal (ALCOFORADO et al., 2009) e Japão (TANAKA et al., 2009), entre outros, emerge a articulação de uma espécie de plataforma de informação para comunicação e colaboração interdisciplinar nos estudos de clima urbano e sua relação com o planejamento urbano. Desse contexto derivam os Mapas Climáticos Urbanos (Urban Climatic Map – UCMaP), que representam uma análise integrada entre clima e planejamento, por agrupar análises climáticas ao espaço construído e, posteriormente, estabelecer sua relação com o planejamento urbano. Nesse sentido, apresentam-se como uma valiosa ferramenta de agregação

entre os aspectos climáticos e o planejamento urbano, uma vez que se baseiam na avaliação concomitante do uso do solo e de alguns aspectos geográficos e climáticos (REN et al., 2010; BURGHARDT, 2014; FERREIRA, 2014; FERREIRA et al., 2017; SOUZA e KATZCHNER, 2018).

Entretanto, mais que uma metodologia, considerando toda a discussão estabelecida na primeira parte deste capítulo, o UCMMap aqui é considerado também como um instrumento político. Por um lado, devido ao possível subsídio a um planejamento urbano que se preocupa com a questão socioambiental urbana. Por outro, por representar uma espécie de transformação da lógica de análise do espaço urbano-ambiental enquanto receptáculo. O UCMMap, ao propor uma análise do sistema climático urbano enquanto algo vivo, pulsante e mutável, deve ser considerado como um importante contribuinte para a elaboração de políticas urbanas que se enquadram na perspectiva de reorientar os objetivos e os processos de planejamento em prol da construção de um meio-ambiente-urbano equilibrado, para as pessoas e para o planeta.

Mills (2015), ao discutir sobre o UCMMap, ressalta, ainda, sua importância no diálogo entre climatologistas urbanos e planejadores/projetistas urbanos, dado que é construído por meio de uma plataforma comum, que agrega mapas de características urbanas – incluindo forma urbana, funções urbanas e parâmetros climáticos. Além disso, aponta que o valor deste está no seu caráter não preditivo, ou, na sua capacidade de adaptação a qualquer realidade urbana, podendo ser executado para quaisquer cidades, de características e complexidades múltiplas.

De acordo com Souza e Katzchner (2018), esses estudos iniciais de ordenamento urbano pautado nas questões climáticas, sobretudo, na Alemanha, têm respaldo em “um conjunto de fatores entre eles: o serviço meteorológico nacional, o governo local, as pesquisas de campo acadêmicas e, principalmente, a administração pública” (p. 3), demonstrando seu caráter multidisciplinar. Esse fato demonstra um dos entraves à consolidação destes em um contexto brasileiro. A cidade de Stuttgart, que desde 1938 já contava com um Departamento de Climatologia Urbana, foi a pioneira nessa integração entre clima e planejamento e

Em 1977, já desenvolvia com maturidade metodológica este tipo de planejamento integrado, buscando controlar problemas de poluição do ar e das más condições de ventilação resultantes do bloqueio das edificações às correntes principais de vento (Lazar & Podesser, 1999). (FERREIRA *et al.*, 2017, p. 257)

No Brasil, assim como em toda América Latina, os trabalhos são ainda escassos, restringindo-se a alguns laboratórios de pesquisa, que nas últimas duas décadas têm desenvolvido estudos a partir dessa perspectiva metodológica. Destacam-se os estudos em Salvador (BA) realizado por Nery et al. (2006), em João Pessoa (PB) realizado por Souza (2010), Campinas (SP) realizado por Prata-Shimomura et al. (2015) e Belo Horizonte por

Ferreira et al. (2017). Contudo, como bem colocado por Ferreira et al. (2017), “apesar do esforço realizado nestas pesquisas, as cidades brasileiras ainda não incorporaram recomendações climáticas em suas legislações urbanísticas.” (p. 258).

Chen et al. (2016) definem o UCMMap como “uma ferramenta de análise integrada que pode apresentar o ambiente térmico e dos ventos, fornecendo informações cruciais que são capazes de dar suporte à futura gestão da paisagem e design sustentável da área urbana” (p. 1, tradução minha). Nesse sentido, é possível compreendê-lo como fruto de um processo de avaliação com vistas à integração dos fatores climáticos urbanos ao planejamento da cidade por meio da espacialização dos atributos climáticos e aspectos urbanos, tais como o sítio urbano, o uso do solo, e a geometria urbana (BAUMÜLLER et al., 1992; SCHERER et al., 1999; REN et al., 2010).

Em outras palavras, “o conceito do mapa climático urbano (urban climatic map – UCMMap) consiste em uma série de camadas de dados espaciais (mapas analíticos) que contém informações do clima, dados geográficos do terreno, informações sobre vegetação e parâmetros de planejamento” (SOUZA e KATZCHNER, 2018, p. 3). Esse conceito já elucida o processo pelo qual ele é gerado. Primeiramente, é criado um sistema no qual são inseridas essa série de informações – ou camadas –, tanto de caráter climático quanto urbano e urbanístico, que apresentam os fenômenos e problemas climáticos em uma escala bidimensional. As camadas referem-se àqueles fatores que condicionam e configuram o clima urbano, apresentados e discutidos na segunda parte deste capítulo. Posteriormente, são elaboradas as recomendações a cada um desses fenômenos e/ou problemas encontrados no que se refere ao planejamento urbano.

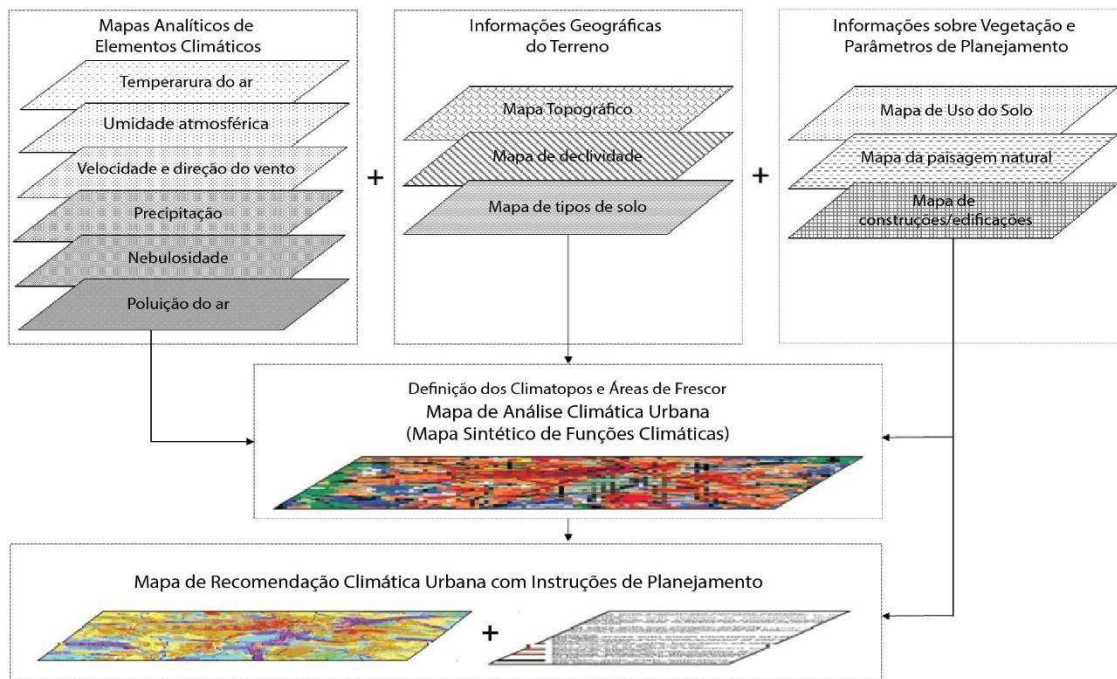
Esse processo caracteriza a construção do UCMMap como uma metodologia quali-quantitativa ao unir, em uma análise climática para fins de planejamento, variáveis quantificáveis – como temperatura do ar, edificações, etc. – e variáveis qualitativas – como o uso do solo.

O produto final desse processo, o próprio UCMMap, cuja estrutura é demonstrada na Figura 17, é composto por dois componentes: o Mapa de Análise Climática Urbana (UC-AnMap) e o Mapa de Recomendação Climática Urbana (UC-ReMap).

Segundo Ng et al. (2008), “UC-AnMap de uma cidade exhibe o espaço características e classificação de climatopos representando áreas de climas locais distintos.” (p. 27, tradução minha). Em outras palavras, consiste em um mapeamento sintético dos variados fatores produtores e/ou condicionantes do clima urbano em determinada cidade. Por outro lado, o UC-ReMap é criado a partir dessa análise e mapeamento climático preliminar e pode ser

considerado como “um entendimento do UC-AnMap com base em considerações de planejamento, o que resulta em diretrizes às quais os planejadores podem se referenciar” (p. 28, tradução minha).

Figura 17 – Estrutura do Mapa Climático Urbano – UC-AnMap.



Fonte: Ren *et al.* (2010), adaptado, tradução minha.

O primeiro deles, o mapa de análise climática urbana – UC-AnMap, é elaborado a partir da definição e classificação de climatopos. Esses, por sua vez, consistem no “resultado da interação entre os diferentes usos do solo com o clima predominante afetando cada local” (ACERO *et al.*, 2013, p. 36, tradução minha). Ou seja, podem ser considerados, segundo Ferreira *et al.* (2017), referenciando Scherer *et al.* (1999), como

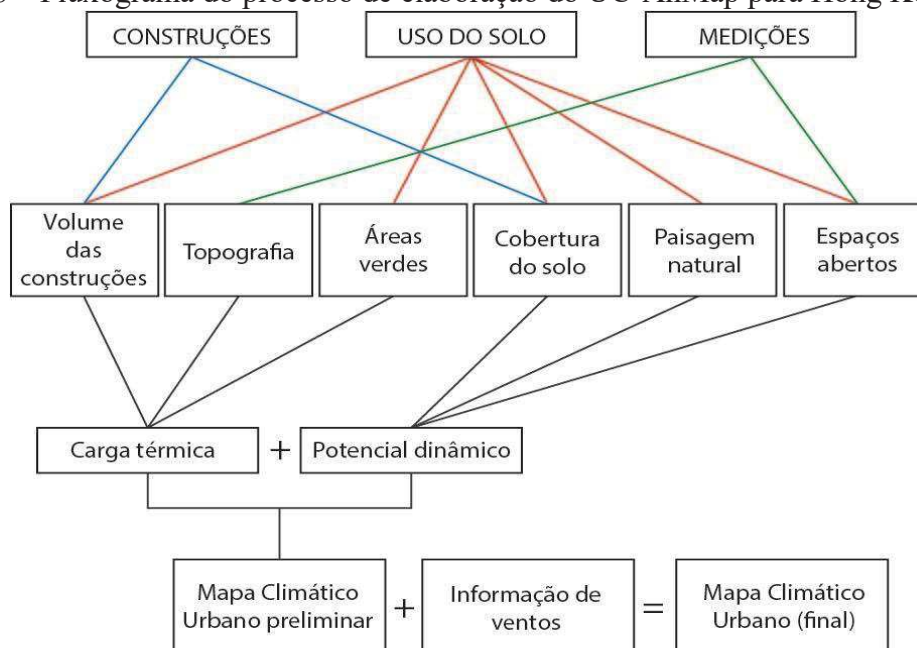
áreas geográficas com características microclimáticas similares, que atuam em seu entorno de forma análoga e podem atingir escalas espaciais que variam de dezenas a centenas de metros; também entendido como unidades de resposta atmosférica (*atmospheric response units*). (p. 257, grifo dos autores).

Segundo Baumüller (2015), “estes são distintos principalmente pela variação térmica diária, a rugosidade vertical (ruptura do campo eólico), a situação topográfica ou exposição e, sobretudo, pelo tipo de uso cobertura da terra” (p. 38). Deste modo, para classificar e definir esses climatopos, são estudadas uma série de variáveis que representam o espaço analisado, dentre eles estão: temperatura e umidade do ar, ventos – rugosidade, declividade, orientação de vertentes, morfologia urbana (edificações – volume edificado), áreas verdes e áreas impermeáveis. Essas variáveis são analisadas e espacializadas individualmente e,

posteriormente, são compactadas em um só mapa, sendo esse o próprio UC-AnMap, ou, mapa de funções climáticas, ou, ainda, mapa de climatopos. Esses “são baseados em princípios físicos que caracterizam o balanço de energia do clima urbano (carga térmica e potencial dinâmico, principalmente)” (FERREIRA et al., 2017, p. 258).

Um exemplo de metodologia utilizada para a elaboração do UC-AnMap pode ser observado na Figura 18, que demonstra o processo desenvolvido na elaboração do mapa climático urbano da cidade de Hong Kong, no Japão.

Figura 18 – Fluxograma do processo de elaboração do UC-AnMap para Hong Kong, Japão.



Fonte: Ng et al. (2008), adaptado, tradução minha.

Nota-se, por meio da Figura 18, que os fatores analisados apontam para a análise da carga térmica e do potencial dinâmico, que são acrescidos à informação dos ventos. Ng et al. (2008), sobre o UC-AnMap, destaca que são esses os três níveis elementares na sua construção.

O primeiro deles – carga térmica – refere-se às variações da temperatura derivadas da heterogeneidade das formas e superfícies urbanas e pode ser considerada a principal razão do aumento da temperatura do ar nas áreas urbanizadas. Ou seja,

mede a intensidade de calor armazenada ou emitida de determinadas localidades das áreas urbanas e depende principalmente do volume edificado (que afeta o armazenamento de calor, bloqueia a vista do céu e diminui o resfriamento da cidade à noite), a topografia e disponibilidade de espaços verdes para efeito de resfriamento. (NG et al., 2008, p. 85, tradução minha)

O *potencial dinâmico*, de outra parte, refere-se à rugosidade. Essa, segundo Oke (1978), pode ser definida pelas características aerodinâmicas da morfologia urbana. Dessa forma, torna-se importante para a elaboração do UCMap porque “a ventilação é uma maneira eficaz de

mitigar os efeitos adversos da carga térmica, pois elimina o calor excessivo da cidade” (NG *et al.*, 2008, p. 85, tradução minha). Por fim, ao contrário dos dois primeiros níveis, que se referem às características morfológicas urbanas, a informação dos *ventos* diz respeito às informações de direção e velocidade do vento a nível zonal, acima da camada de limite do dossel (*urban canopy layer* – UCL), considerando, sobretudo, a topografia. Por meio dela, é possível compreender os caminhos dos ventos e dos sistemas de ar.

Esses três níveis agrupados configuram o UC-AnMap, o primeiro componente do Mapa Climático Urbano.

Já o segundo componente, o mapa de recomendação climática urbana – UC-ReMap, é elaborado a partir das análises climáticas urbanas, representadas no primeiro. Nele são espacializadas diretrizes ao planejamento da cidade. Esse processo envolve, sobretudo, a tradução das informações climáticas para uma linguagem mais adequada ao planejamento urbano. Dessa maneira, o UC-ReMap consiste numa

base de avaliação integrada, planejada e orientada para a ação, que poderia ser operada na cidade ou na escala distrital. Com base na análise obtida da UC-AnMap, climatopos semelhantes são agrupados em zonas para apresentar a sensibilidade de certas áreas da terra afetadas pelas suas transformações. Essas zonas são representadas por diferentes cores e símbolos que mostram diferentes diretrizes para o plano de ação, como "Local que requer melhoria" ou "Local que deve ser conservado", do ponto de vista do clima urbano. (REN *et al.*, 2010, p. 2218, tradução minha)

De acordo com os climatopos,

As principais recomendações de planejamento concentram-se na redução da carga térmica e melhorar o potencial dinâmico através de:
Controlar volume construído e reduzir a cobertura da superfície do solo;
Preservar, manter e melhorar as vias de ventilação urbana existentes e a rede da cidade, traçando novas vias de ar, se necessário;
Preservar, manter, melhorar e respeitar as áreas de produção e drenagem de ar frio do campo e as encostas com vegetação perto de áreas urbanas;
Preservar, manter, melhorar e respeitar as brisas terrestre-marítima;
Preservar, manter e melhorar a vegetação urbana. (NG *et al.*, 2008, p. 181, tradução minha)

Para Baumüller (2015), o UC-ReMap tem o intuito de dar recomendação quanto à sensibilidade climática, derivada da transformação da paisagem natural e das diferenças no uso e ocupação do solo, de determinadas áreas, que pode ser solucionada no contexto do planejamento. Por esse motivo, referem-se, sobretudo, a mudanças estruturais no uso e ocupação do solo em uma escala não muito específica, que varia entre 50 e 100 metros. Ademais, o autor indica alguns princípios basilares para as recomendações de planejamento, sendo eles:

(a) As áreas de vegetação têm um efeito importante no clima local, pois, por um lado, causam a produção noturna de ar fresco/frio e, por outro, exercem um efeito térmico de equilíbrio quando apresentam uma alta proporção de árvores. [...] Tanto quanto

possível, portanto, os espaços abertos não devem ser convertidos em áreas construídas a partir de uma perspectiva climática.

(b) O desenvolvimento [no sentido de construção] nos fundos de vale também pode ser julgado como geralmente negativo, uma vez que o movimento do ar frio e fresco ocorre em vales sob condições de vento fraco e uma vez que os vales servem como corredores de ar para ventos regionais mais fortes.

(c) Encostas em áreas extensamente construídas devem permanecer subdesenvolvidas [ou seja, sem construções], especialmente quando existe desenvolvimento em fundos de vale, pois é a partir delas que ocorre o transporte intensivo de ar frio e fresco [...]

(d) Algumas áreas de depressão (saddle-like topographies) servem como corredores de indução do ar e não devem ser desenvolvidas.

(e) Sobre a perspectiva do clima e da poluição do ar recomenda-se o máximo de espaços verdes possível intercalados às áreas densamente construídas, assim como a criação de corredores verdes orientados para características topográficas (por exemplo, passagens de ventilação; corredores de indução de ar), apoiando a movimentação do ar.

(f) A expansão urbana por meio do espraiamento das áreas construídas, bem como a ligação de áreas construídas isoladas, deve ser evitada. O desenvolvimento urbano deve ser acompanhado por grandes áreas de produção de ar fresco e frio e por corredores de ventilação.

(g) O desenvolvimento de empresas comerciais e industriais deve garantir que as áreas residenciais nas imediações não sofram maiores emissões resultantes dos padrões de ventos locais. (p. 41-42, adaptado, tradução minha)

Nesse sentido, o UC-ReMap remete à uma espécie de *zoneamento* urbano fundamentado na configuração climática da cidade. Sobre essa relação é importante que se faça um adendo. Aqui, a ideia de zoneamento aproxima-se daquela definida por Souza (2006) como *zoneamento de proteção e manejo ambiental*, visto que tanto o zoneamento de uso do solo – essencialmente funcionalista – quanto o zoneamento de prioridades – que se apresenta como um contraponto ao funcionalismo do primeiro – podem não ser capazes de atender às demandas identificadas no âmbito do meio ambiente. Isso pois

pode, dependendo da complexidade da situação local, ficar sobrecarregado se se tentar lidar com a tarefa de operacionalizar um manejo ambiental adequado apenas com a sua ajuda. Isso quer dizer, por conseguinte, que [...] o zoneamento de proteção e manejo ambiental, poderá se mostrar útil, como complemento e detalhamento de um aspecto específico do zoneamento de uso do solo. (ibid., p. 269, grifo do autor)

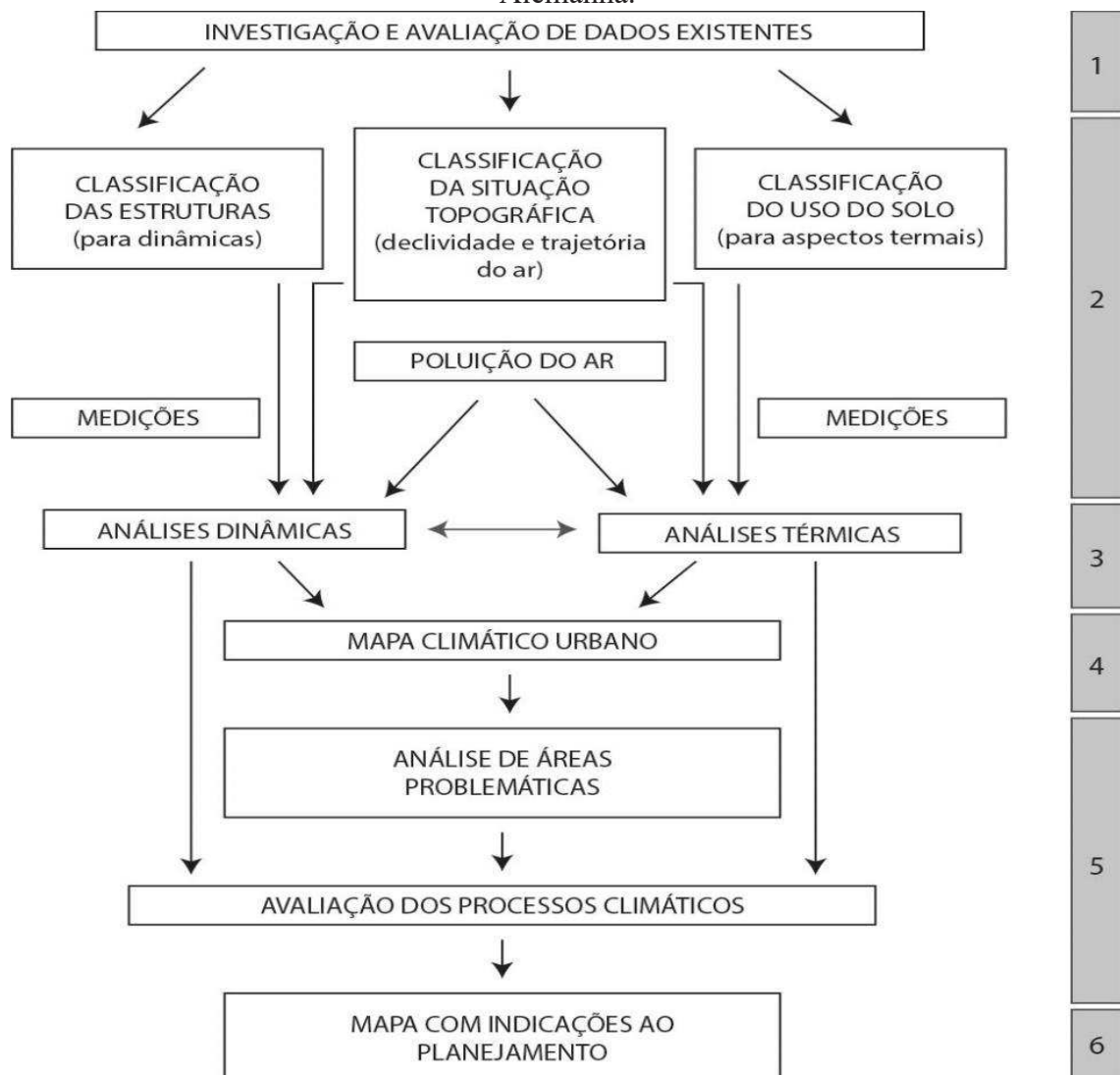
A escala na qual as análises são feitas e as variáveis para a definição dos climatopos são mapeadas pode variar desde a escala local à regional. Para a cidade de Stuttgart, na Alemanha, as análises foram realizadas na escala de 1:20.000, correspondendo à escala do mapa de uso do solo. Para a cidade de Kassel, também na Alemanha, todo o processamento de dados foi gerado em uma resolução espacial de 10m x 10m, o que significa que, cada pixel (célula) dos mapas elaborados contém a informação climática relativa a uma área de 100m² da cidade” (SOUZA, 2010, p. 24) . Para a cidade de Belo Horizonte, no Brasil, Ferreira et al. (2017) realizam as análises nas escalas meso, topo e microclimáticas, não ultrapassando a dimensão de centenas de metros. Sobre a escala, Ren et al. (2010) salientam que

O UC-AnMap conta com uma cuidadosa coleta e coleta de dados meteorológicos (dados de temperatura, precipitação, vento, nuvem e radiação solar a longo prazo),

planejamento, uso da terra, topografia e informações sobre vegetação, de acordo com seus relacionamentos e efeitos sobre balanço energético no nível de pedestres para apresentar variações climáticas locais na escala *meso* e *microclimática*. (p. 2216, grifo meu)

Um exemplo de metodologia utilizada para a elaboração do UCMap pode ser observado na Figura 19, a seguir, que demonstra o processo de elaboração da construção do mapa climático urbano de Kassel, na Alemanha, apoiado em seis etapas, que são estruturadas desde a investigação e avaliação de dados já existentes da área de estudo, passa pelas classificações e medições dos aspectos mapeados até a elaboração de indicações ao planejamento. A partir das análises térmicas e dinâmicas, são reconhecidas áreas problemáticas do ponto de vista climático e ambiental. Em seguida, é realizada uma avaliação dos processos climáticos, que servirá como base para a elaboração de propostas e indicações de ações a serem tomadas no ato de planejar a cidade.

Figura 19 – Fluxograma do processo de elaboração do UC-AnMap e UC-ReMap em Kassel, Alemanha.



Fonte: Ng *et al.* (2008), adaptado, tradução minha.

Por meio de um processo semelhante, Ng *et al.* (2008), para Hong Kong, define quatro zonas de sensibilidade climática, baseadas no impacto do substrato material espacial urbano no conforto térmico, e para cada uma delas a ação de planejamento requerida. Assim, é possível observar a relação existente entre a carga térmica e o potencial dinâmico e suas repercussões na sensibilidade climática urbana que, por sua vez, demanda determinado tipo de ação no contexto do planejamento urbano. (Quadro 6)

Quadro 6 – Descrição de Oito Classes Climáticas Urbanas da UC-AnMap de Hong Kong (Ng *et al.*, 2008).

	Classes	Impacto no conforto térmico	Zona de valor/sensibilidade climática urbana	Ação possível
1	Carga térmica moderadamente negativa e bons potenciais dinâmicos	•• Moderado	Área urbana de valor climático	Preservar
2	Carga térmica levemente negativa e bons potenciais dinâmicos	• Leve		
3	Baixa carga térmica e bons potenciais dinâmicos	- Neutro	Área climática urbana ligeiramente sensível	Preservar e melhorar
4	Alguma carga térmica e alguns potenciais dinâmicos	• Leve		
5	Carga térmica moderada e alguns potenciais dinâmicos	•• Moderado	Área climática urbana sensível	Ação desejável
6	Carga térmica moderadamente alta e baixos potenciais dinâmicos	••• Moderadamente forte		
7	Carga térmica alta e baixos potenciais dinâmicos	•••• Forte	Área climática urbana altamente sensível	Ação necessária
8	Carga térmica muito alta e baixos potenciais dinâmicos	••••• Muito forte		

Nota: • impacto de "refrigeração" / • impacto de "aquecimento"

1: Carga térmica moderadamente negativa devido à altitude mais alta, resfriamento adiabático e resfriamento por vegetação e por evaporação;

2: Alguma carga térmica negativa devido à inclinação vegetada e ao resfriamento trans-evaporativo;

3 a 8: classes de impacto do aquecimento devido ao aumento da carga térmica e à diminuição dos potenciais dinâmicos.

Fonte: Ren *et al.* (2010), adaptado, tradução minha.

Já em estudo para a cidade de Bilbao, na Espanha (ACERO *et al.*, 2013) as recomendações foram divididas em três classes a partir dos climatopos definidos preliminarmente – preservação, atenção e melhoria – e, além disso, foram detalhadas tal como exposto no Quadro 7. Nota-se que, em ambos os exemplos, os princípios apresentados anteriormente (NG *et al.*, 2008; BAUMÜLLER, 2015) estão presentes. Destacam-se a proteção das áreas de menor carga térmica e maior potencial dinâmico, que se caracterizam como áreas

de produção de ar frio e/ou frescos. Por outro lado, aponta-se a necessidade de ação nas áreas onde há maior carga térmica e menor potencial dinâmico, sendo essas áreas de maior aquecimento.

Quadro 7 - Recomendações propostas para Bilbao, Espanha, a partir do UC-Map.

Climatopo	Ação de Planejamento Urbano	Recomendações
Áreas de produção de ar frio	Preservar	<ul style="list-style-type: none"> • Controle da rugosidade da superfície; • Proibição da impermeabilização do solo; • Conservação das características naturais; • Permissão de desenvolvimento controlado em áreas que não estão nas vias de circulação do ar frio e fresco; • Obrigatoriedade de projetos e planos detalhados a serem executados.
Áreas de produção de ar fresco		
Áreas de clima misto	Atenção	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção das características climáticas; • Preservação e aumento dos espaços abertos e áreas verdes; • Análise e preservação da ventilação e corredores de ar; • Atenção para a disposição e orientação dos edifícios.
Áreas de baixo aquecimento		
Áreas de médio aquecimento	Melhoria	<ul style="list-style-type: none"> • Mitigação da carga de calor urbano; • Permissão de novas construções mediante análise de seus efeitos; • Aumento da vegetação em espaços abertos e ruas – com cuidado para não haver a redução do potencial de ventilação; • Aumento da ventilação em espaços abertos e/ou alargamento das ruas; • Redesenho das ruas – fazê-lo orientando-as considerando a direção do fluxo de ar regional predominante.
Áreas de médio a alto aquecimento		
Áreas de alto aquecimento		

Fonte: Acero *et al.* (2013), adaptado, tradução minha.

Destarte, o Mapa Climático Urbano se apresenta como um processo de compreensão e solução dos problemas derivados da dinâmica dos fatores produtores do clima urbano. Isso porque permite entender a espacialidade de cada um deles de forma isolada, em um primeiro momento. Em um segundo momento, essas múltiplas espacialidades são somadas, possibilitando a visão integrada da ação dos variados fatores. E, por fim, em um terceiro momento, essa informação se transforma em ações executáveis, por meio de um processo de análise qualitativa, transpondo uma informação puramente climática em uma informação que

se aproxima da prática e ação dos planejadores urbanos.

É assim que se apresenta a sua centralidade para este trabalho, que se pretende no intermédio entre clima, produção do espaço urbano e planejamento, também, urbano. Aqui, o Mapa Climático Urbano será o instrumento pelo qual pretende-se estabelecer o diálogo entre esses campos de conhecimento, por compreendê-lo ao mesmo tempo como um conceito e uma metodologia adaptável, que dá conta do universo urbano no que se refere aos aspectos climáticos, urbanos e urbanísticos em uma perspectiva não integral – isolada, mas integrada.

Com a abertura desses caminhos, sesmarias foram distribuídas na região serrana com o intuito de mantê-los em bom estado de conservação. Assim, a “Serra Acima” começa a ser ocupada por povos brancos.

No entanto, a efetiva ocupação se dá a partir de 1843, quando a família real escolhe a Fazenda do Córrego Seco para a sua estadia sazonal. A construção de um palácio de veraneio torna-se, portanto, o pontapé inicial para a expansão da ocupação por essas áreas, demonstrando a importância que o clima da região serrana e o conforto térmico dele derivado desempenhou nesse processo de ocupação. Segundo Assumpção (2015),

O clima ameno da região, conhecida, desde o início do século XVIII, como o Sertão da Serra Acima do Inhomirim se diferenciava daquele do Rio de Janeiro, que por sua temperatura escaldante nos verões, se mostrava incompatível com os padrões europeus de costumes e vestimentas. O clima fez que se pensasse na ocupação das terras serranas. A insalubridade provocada pela falta saneamento básico, junto com o calor, tornava-se um excelente criadouro para vetores de doenças como a febre amarela. (p. 129)

É a partir de então que a ideia de construir uma cidade toma impulso e Julio Frederico Koeler torna-se seu projetor. Acrescido a esse fato, o interesse por parte da corte portuguesa em oficializar a vinda de imigrantes para o Brasil, influência de forma significativa a população que passa a residir nessa área, visto que havia uma carência de mão-de-obra para a construção da cidade, que seria solucionada pela chegada de colonos alemães, principalmente. (PEDROSO, 2007, s/p)

Dessa forma,

Paulo Barbosa e [Julio Frederico] Koeler elaboraram um plano para fundar o que ele denominou “Povoação-Palácio de Petrópolis”, que compreendia a doação de terras da fazenda imperial a colonos livres, que iriam não só levantar a nova povoação, mas, também, seriam produtores agrícolas. Assim nasceu Petrópolis, com a mentalidade de substituir o trabalho escravo pelo trabalho livre. (TAULOIS, 2007, s/p)

Essa povoação, por sua vez, seria construída de acordo com as seguintes exigências:

- 1- Projeto e construção do Palácio Imperial.
- 2- Urbanização de uma Vila Imperial com Quarteirões Imperiais.
- 3- Edificação de uma igreja em louvor a São Pedro de Alcântara.
- 4- Construção de um cemitério.
- 5- Cobrar foros imperiais dos colonos moradores.
- 6- Expulsar terceiros das terras ocupadas ilegalmente. (ibid., s/p)

Assim, por meio da expansão e consolidação deste processo, Petrópolis é elevada à cidade em 1857. Como demonstrado por Pedroso (op. cit.), a formação da cidade se dá de forma contrária à grande maioria das cidades brasileiras, que se expandiam da área rural para a urbana.

Além disso, sua criação não mais visava a atender à “uma acumulação de capital no espaço europeu” [(SANTOS, 1979, P.23)], característica quase unânime aos núcleos urbanos brasileiros. Sem estar atrelada economicamente às áreas rurais, Petrópolis vai

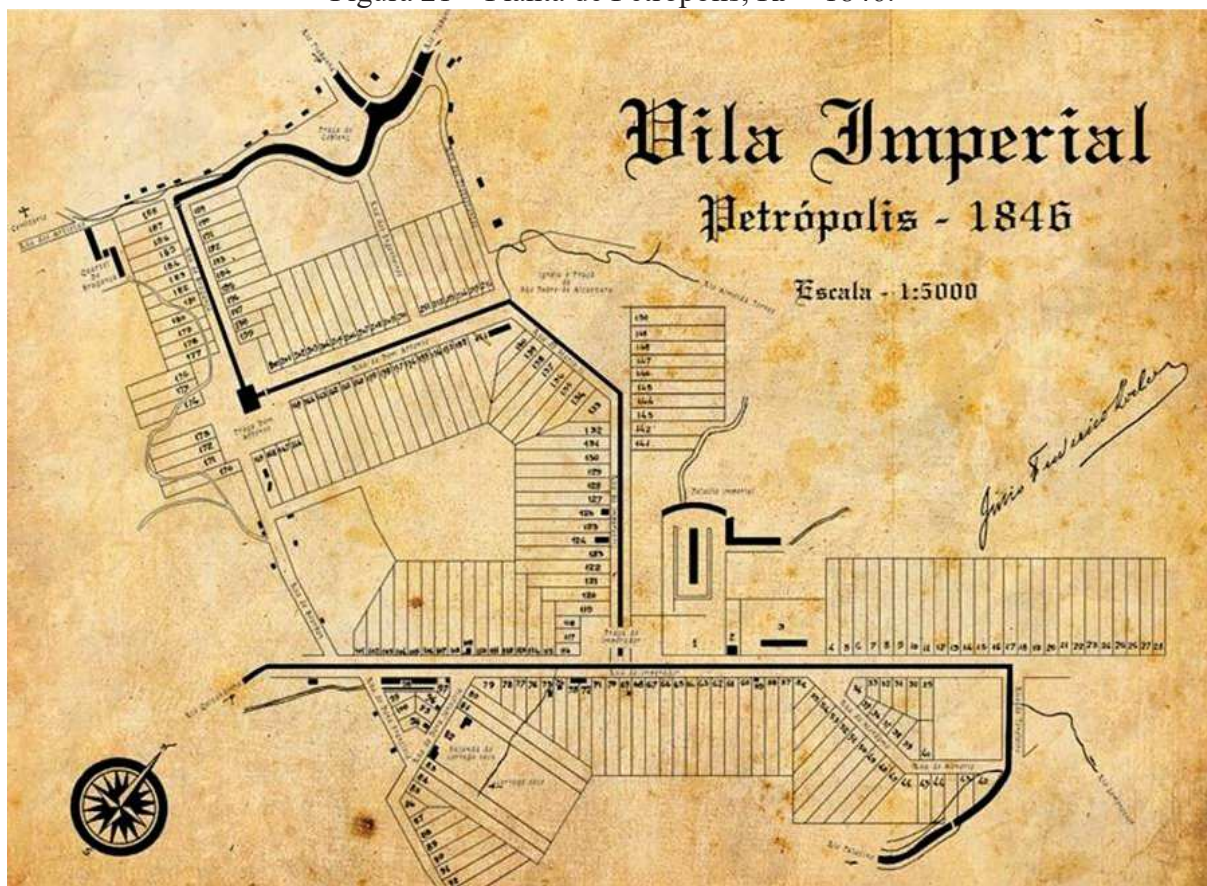
iniciar por si um processo de implantação e desenvolvimento de suas indústrias, numa tentativa de criar e gerir capital. (ibid., s/p)

Essas características definiram durante muito tempo os aspectos urbanísticos e econômicos da cidade. O planejamento urbanístico, elaborado por Koeler, direcionou a ocupação da área por décadas e sobre ele, é importante listar alguns elementos. Este foi elaborado com base no curso dos três principais rios que cortam a cidade – Palatinado, Quitandinha e Piabanha – e tinha como objetivo central “manter o equilíbrio entre o crescimento e a preservação da cidade, integrando a ocupação humana à paisagem natural” (GONÇALVES e GUERRA, 2001, p. 197). Segundo os mesmos autores, a regulamentação orientava para o aproveitamento, adaptação e preservação das áreas urbanas e suas principais disposições eram

- os lotes seguiam-se ao longo dos rios e tinham mais profundidade e largura (55m x 110m), subindo pelas encostas dos morros, adaptando-se à topografia acidentada;
- era proibido utilizar o topo dos morros; proibida também a subdivisão dos lotes; as áreas com maior declividade não poderiam ser ocupadas, preservando-se a sua cobertura vegetal para evitar deslizamentos;
- os proprietários tinham que plantar árvores nativas na testada dos terrenos; realizar a construção de calçada com 2,20m de largura em alvenaria no prazo de 1 ano e em pedra no prazo de 8 anos;
- obrigação de cercar ou murar solidamente os prazos (lotes) de terra, dentro de um ano no máximo;
- prévia aprovação das fachadas dos prédios;
- obrigação de construir dentro de 2 a 4 anos
- aos proprietários exigia-se que fosse conduzida a água dos telhados para as ruas por meio de canos;
- todas as residências faziam frente para os rios, sendo que os esgotos seriam lançados em fossas no fundo dos terrenos, distantes dos cursos d’água, evitando-se assim qualquer tipo de contaminação dos mesmos. (p. 198)

O plano Koeler, cuja planta consta na Figura 21, embora não reconhecido como um plano urbanístico, traz alguns delineamentos que demonstram que houve um plano de zoneamento, que dividia as terras em vilas e quarteirões com definições de uso e ocupação para cada uma delas, tais como as áreas de povoação e áreas agrícolas. Além disso, é perceptível a preocupação com os tipos de ruas e sua hierarquização, a localização das principais edificações, os padrões construtivos, afastamentos frontais e laterais, abastecimento de água, rede de drenagem e esgoto e preservação dos topos de morro (ASSUMPÇÃO, 2015).

Figura 21 – Planta de Petrópolis, RJ – 1846.



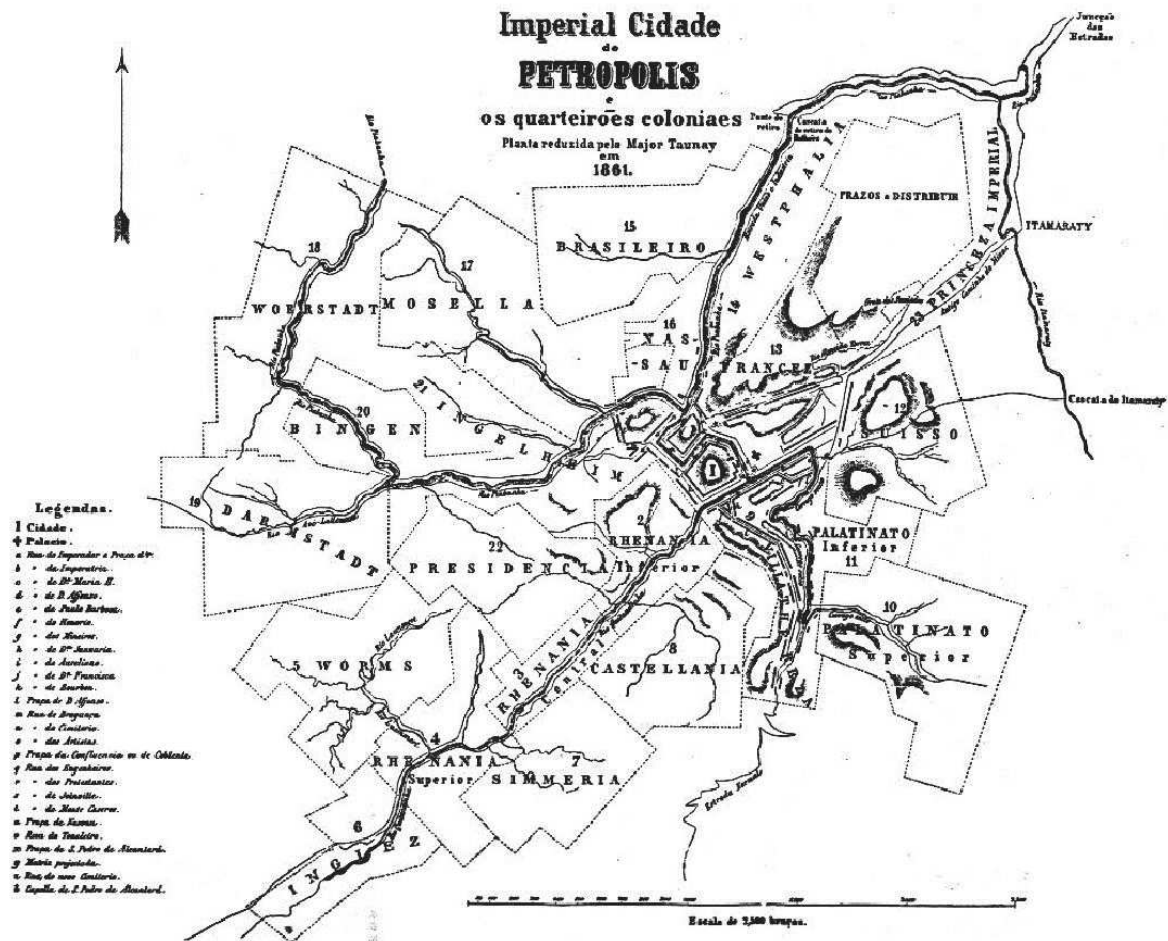
Fonte: Arquivo Digital da Biblioteca Nacional.

Quanto ao assentamento físico da cidade,

A Fazenda do Córrego Seco, e as demais terras a ela adjacentes, eram compostas por vales íngremes com áreas pequenas de várzeas. Desenvolver a cidade ao longo desses vales, sem dúvida, era a única solução de baixo custo e com pouca intervenção. Para atribuir-se qualidades ao plano e dimensioná-lo à frente do seu tempo, poder-se-ia dizer que a cidade foi planejada por bacia hidrográfica, dentro do conceito atual, dado que os quarteirões abrangiam parte ou o total de uma microbacia. (ASSUMPÇÃO, 2015, p. 160)

Essa constatação pode ser validade a partir da planta dos quarteirões coloniais, elaboradas anos mais tarde pelo Major Taunay:

Figura 22 – Planta dos quarteirões coloniais – Major Tauany.



Fonte: Arquivo Digital da Biblioteca Nacional.

Sobre a preocupação com os topos de morro e meias encostas, de acordo com Fróes (2002),

Nitidamente, Koeler imaginara um setor urbano formado pelas Villas e um setor suburbano – ou colonial – formado pelos Quarteirões. As vias de comunicação das Villas ele classificou como Ruas e aquelas destinadas ao acesso aos Quarteirões foram denominadas de Caminhos Coloniais. É importante salientar que para cada Quarteirão deveria haver, apenas, um Caminho Colonial, traçado na base dos morros formadores dos vales que se desenvolviam no local. Nesse Caminho, faziam testada todos os prazos destinados aos aforamentos. Como estavam previstos limites para as linhas de fundo dos prazos, todas as áreas além delas pertenciam à Imperial Fazenda de Petrópolis, ficando, assim, garantida a não ocupação nas cotas mais elevadas das encostas dos morros adjacentes aos Caminhos Coloniais. Dessa forma não havia possibilidade de abertura de vias transversais ou remoção de morros. (s/p)

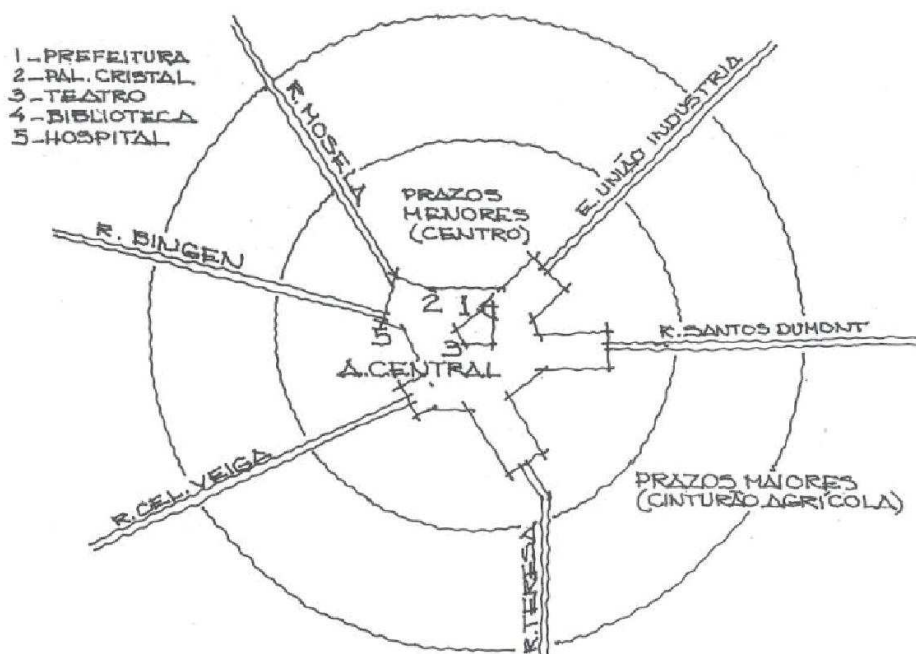
Souza (2013) destaca também que

Considerando-se ainda a topografia e as peculiaridades geológicas e geotécnicas do local, as características de Mata Atlântica e o traçado, volume, etc. dos rios envolvidos, concluiremos que o plano é perfeitamente adequado às condições naturais do sítio e, portanto, elaborado em bases científicas. (s/p)

O autor faz ainda uma comparação do projeto da Vila Imperial de Petrópolis, o Plano

Koeler, com o modelo básico ideal das *ciudades-jardim*¹¹ proposto por Howard e a partir da abstração dos condicionantes naturais, caracteriza como “intrigante” a proximidade entre ambos. (Figura 23)

Figura 23 – Modelo comparativo entre o plano da Vila Imperial e o modelo das cidades-jardim.



Fonte: Souza (2013).

Esses direcionamentos restringem-se à pequena área de abrangência do plano. É claro que, com o passar do tempo, a cidade se expandiu e passou a ser construída de forma conflituosa com essa regulamentação inicial. Esse conflito é observado, de acordo com Gonçalves e Guerra (2001) a partir de 1945, quando há uma grande expansão urbana e algumas mudanças nas leis de ocupação do solo, o que possibilita o parcelamento indiscriminado dos lotes e o início da ocupação das encostas mais íngremes, antes proibidas de modificação. A situação se agrava a partir de 1976, quando

além da abertura de loteamentos executados sem qualquer critérios quanto às limitações dos terrenos, a expansão urbana passa a se dar também através de invasões em áreas públicas ou em terrenos não ocupados, até por apresentarem maior declividade e/ou se constituírem áreas sob legislação da APA (Área de Proteção Ambiental) de Petrópolis, convertendo-se em áreas de risco, situadas no sítio urbano. (ibid., p. 195)

¹¹ As cidades-jardim, modelo proposto por Howard, enquadra-se no escopo dos modelos urbanísticos culturalistas. “O espaço do modelo culturalista é irregular e assimétrico, ligado à natureza (áreas verdes preservadas em seu estado natural ou cuidadosamente arrumadas), dividido em áreas limitadas, de baixa densidade. No centro, os prédios (imponentes), os jardins e as vias principais, e na periferia, as habitações (diferentes umas das outras), limitado o conjunto, por uma área verde, (cinturão agrícola) num arranjo orgânico.” (SOUZA, 2013, s/p)

É importante ressaltar que esse processo se efetua em uma área serrana, com rochas fraturadas e falhadas e encostas íngremes, que variam entre 5° e 80° de declividade (GONÇALVES e GUERRA, 2001, p. 170). Petrópolis está assentada Serra da Estrela, parte integrante da Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar, na Unidade Geomorfológica da Serra dos Órgãos (RADAM, 1983). Segundo Hack *et al.* (2003), as características de um sítio urbano acidentado condicionaram a ocupação da área e são responsáveis por formar “unidades urbanas isoladas, separadas por pontões graníticos e morros” (p. 2). Assim, “atualmente a cidade de Petrópolis tem sua expansão horizontal limitada pelo seu próprio relevo e apresenta a mesma forma tentacular que caracterizou o Plano Koeler em 1843” (ibid., p. 2).

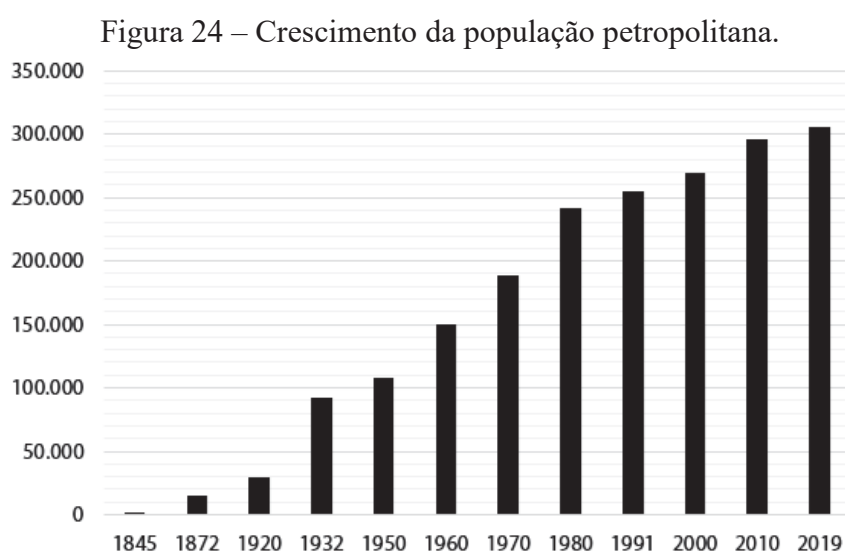
O clima do município é classificado como tropical mesotérmico brando superúmido (NIMER, 1989) e suas características climáticas devem-se, sobretudo, à sua localização – a barlavento da Serra da Estrela –, que propicia a ocorrência de chuvas e queda da temperatura, visto que, por processo orográfico, a umidade proveniente do Oceano Atlântico ascende e influencia na dinâmica climática e atmosférica (LOPES *et al.*, 2003). A média anual pluviométrica é de 2.200mm e as chuvas concentram-se no período de outubro a março, com maior intensidade em dezembro, que total pluviométrico alcança 15% das chuvas anuais (TAVARES *et al.*, 2019).

A vegetação predominante é do tipo Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) e são encontradas na área as seguintes subdivisões, de acordo com a altimetria: Floresta Submontana, Floresta Montana, Floresta Alto Montana e Vegetação Secundária (GONÇALVES e GUERRA, 2014). Essas são encontradas tanto nas áreas de preservação ambiental, quanto intercaladas com as áreas edificadas da cidade, na forma de pequenas ilhas, que, vez ou outra, se encontram com outros fragmentos vegetais.

É nesse contexto fisiográfico que a cidade se desenvolve populacional e economicamente. Petrópolis, enquanto uma cidade nova planejada e sem uma relação de dependência com sua área rural – até porque percebeu-se que seu solo não era adequado para a atividade agrícola – recebe um impulso à industrialização. Segundo Gonçalves e Guerra (2014), “as limitações físicas acabaram concorrendo para o desinteresse da atividade agrícola, mas, por outro lado, estimularam a atividade fabril, pois, em 1858, 13 anos após a fundação de Petrópolis, a indústria já superava a agricultura” (p. 200). Além disso, os autores demonstram que a colonização alemã serviu como um importante fator de desenvolvimento industrial no século XIX, uma vez considerada a presença de mão-de-obra especializada.

Ademais, Angelo (2014) destaca que “Petrópolis pode ser referenciada como a cidade que se desenvolveu a partir do fluxo de viajantes” (p. 69) e esse elemento apresenta-se como

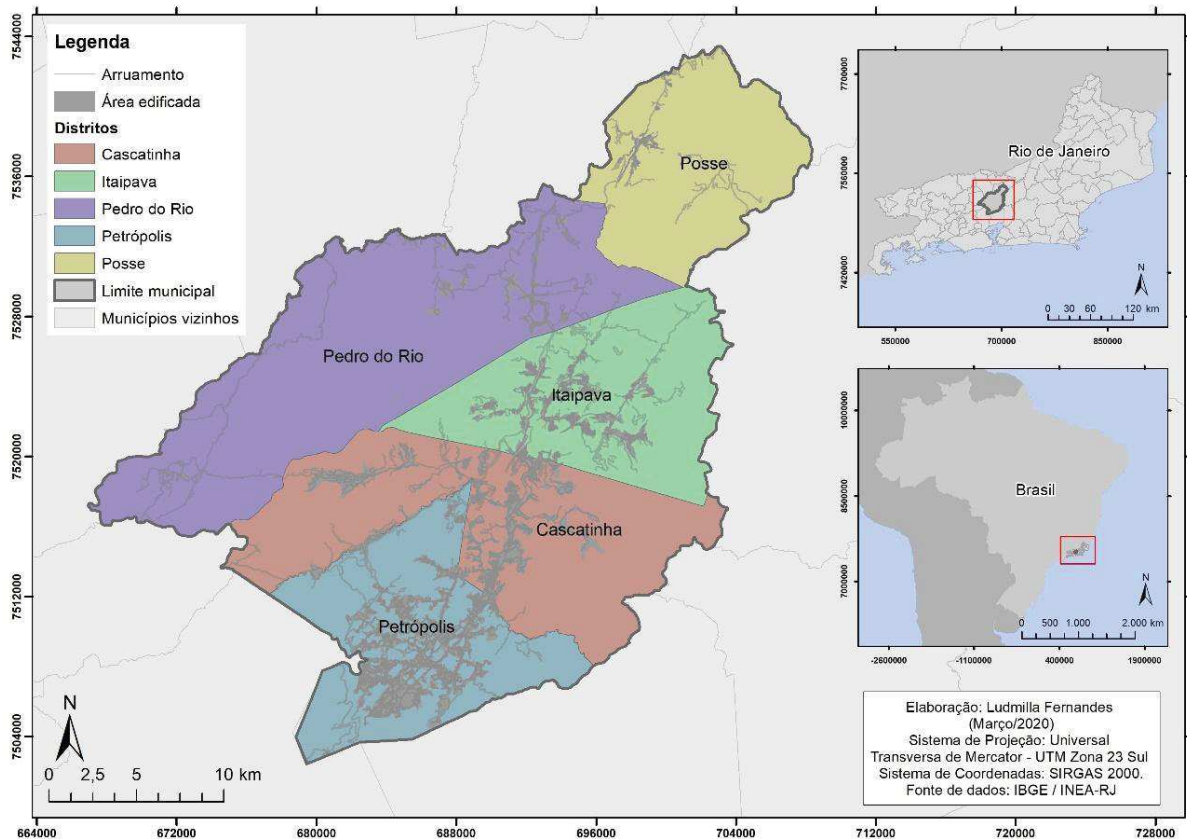
chave para compreender a sua vocação turística e o processo pelo qual, mais recentemente, “os espaços foram paulatinamente sendo apropriados pelo Turismo e o segmento cultural foi também sendo o mais evidente pela própria configuração física, espacial e cultural.” (p. 69). Assim, a cidade caracteriza-se pelas atividades de prestação de serviços, sobretudo, atreladas ao turismo e hospedagem e, atividades industriais, principalmente, no ramo têxtil e cervejeiro. Como, singularmente, não havia uma forte ligação campo-cidade, Petrópolis destaca-se nessas atividades e sua expansão populacional é delas derivada (PEDROSO, 2007). Essa expansão pode ser observada na Figura 24.



*2019: população estimada. Fonte: Gonçalves e Guerra (2014) e IBGE Cidades.

Ao observar o gráfico da Figura 22, percebe-se que a expansão populacional de Petrópolis ocorreu de maneira gradativa, sem um grande salto como é comum das cidades brasileiras que passam pelo processo de urbanização com base no êxodo rural. Esse é mais um efeito do processo de ocupação e expansão da cidade, baseado na criação de uma nova cidade. Essa população, hoje, se distribui nos cinco distritos do município – Petrópolis, Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio e Posse – e se concentra nos dois primeiros devido ao próprio histórico de criação da cidade e ocupação da área. (Figura 25)

Figura 25 – Mapa de localização de Petrópolis – Distritos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Weckmüller e Vicens (2013), ao analisar a modificação da cobertura da terra no município de Petrópolis entre os períodos de 1985-1994 e 1994-2011, demonstram que, embora não tenha havido uma elevada taxa de modificação, é possível observar uma tendência de aumento do desmatamento e da urbanização – compreendida como o aumento das áreas edificadas.

Se por um lado, os impactos a expansão urbana e populacional parecem não ser tão significativos, por outro, considerando as características fisiográficas e climáticas da cidade de Petrópolis, torna-se importante a supervisão dessas modificações, que nas últimas décadas evidenciam que a *qualidade* das transformações podem impactar tão fortemente quanto ao analisar apenas sua *quantidade*. É nesse sentido que se torna também interessante e importante a construção de um Mapa Climático Urbano para a cidade de Petrópolis, já que as transformações de cunho climático e atmosférico – do ponto de vista da produção de um clima urbano – parecem estar em estágio inicial, o que facilita a ações de planejamento urbano e urbanístico.

No que se refere aos impactos, tem-se observado uma série de problemas socioambientais advindos da ocupação de áreas impróprias, desmatamento, impermeabilização

do solo, etc., atrelados, sobretudo, às características climáticas e atmosféricas, com ênfase para os eventos de precipitação. A ocorrência desses impactos ganha expressividade a partir da década de 80, quando do aumento populacional conjugado com a crise que afetou as indústrias locais, como descrito por Gonçalves e Guerra (2001). Os autores demonstram que, nesse momento

A população de baixo poder aquisitivo passou a ocupar as encostas que até então estavam preservadas por sua vegetação, devido às limitações impostas pelos terrenos, como a declividade. Os interesses especulativos e políticos locais abriram loteamentos irregulares, apoiados em uma legislação flexível, e agora estavam voltados para a população de baixa renda que crescia rapidamente, tanto pela falência das indústrias locais como pelas crises econômicas nacionais e internacionais que o Brasil passou até o final da década de 80. (p. 205)

Guerra *et al.* (2007) elucidam, ainda, que

Especificamente no caso de Petrópolis, a desestabilização das encostas, feita pela construção de casas populares e condomínios, tem provocado o desencadeamento de uma série de problemas ambientais, principalmente quando não existe uma legislação urbanística em sintonia com as limitações físicas, ou quando, apesar de sua existência, ela não consegue ser colocada em prática de forma eficaz, como é o caso da área urbana. (p. 38).

Por esse motivo, compreender o clima urbano da cidade de Petrópolis e suas reverberações requer um conhecimento de mais uma variável, que se relaciona com as demais já abordadas aqui: a dinâmica da precipitação.

3.2. Aspectos da legislação urbanística e planejamento urbano da cidade

Se nos primórdios da ocupação urbana de Petrópolis a preocupação com o planejamento e gestão da cidade era realidade, com o passar das décadas e séculos vê-se ir às ruínas o zelo e a atenção às questões socioambientais no processo de planejar e gerir o espaço urbano. Como na maioria das cidades brasileiras, a partir de meados do século XX observa-se forte degradação da qualidade socioambiental

A legislação urbanística de Petrópolis é composta pelo Plano Diretor (PETRÓPOLIS, 2014) e Lei de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo (PETRÓPOLIS, 1998).

No primeiro deles, já nas disposições preliminares, destaca-se que um de seus objetivos é a preservação do meio ambiente natural e construído. Mais precisamente, sua

finalidade principal é estabelecer diretrizes para orientar o processo permanente de planejamento participativo, condicionando a expansão urbana à garantia do bem estar e melhoria da qualidade de vida dos habitantes e ao pleno ordenamento das diversas funções sociais da cidade por meio de critérios objetivos de justiça social e de preservação do meio ambiente natural e construído. (s/p)

No Art. 7º, ao tratar dos objetivos gerais do planejamento municipal, com base no Estatuto das Cidades, a preocupação com as questões socioambientais volta a ser descrita, uma vez que o primeiro objetivo estratégico do plano é:

I - Estabelecer, de maneira participativa e prioritária, um plano de metas exequíveis, com vistas à implantação de uma política de desenvolvimento urbano e rural sustentável, incorporando, **integrando e compatibilizando as dimensões social, ambiental, econômica, política e cultural**, por meio de uma agenda pública baseada em 12 eixos temáticos, a saber: (I) governança (II) bens naturais comuns (III) equidade, justiça social e cultura de paz (IV) gestão local para sustentabilidade (V) planejamento e desenho urbano (VI) cultura para sustentabilidade (VII) educação para a sustentabilidade e qualidade de vida (VIII) economia local dinâmica, criativa e sustentável (IX) consumo responsável e opções de estilo de vida (X) melhor mobilidade, menos tráfego (XI) ação local para saúde (XII) do local para o global. (s/p, grifo meu)

Somente a partir dos eixos dessa agenda pública, torna-se possível dialogar com as teorias do clima urbano, apresentadas no Capítulo 1. Mas é interessante, antes disso, observar de maneira particular de que forma o clima é abordado no documento. Embora uma certa preocupação socioambiental seja perceptível ao longo do texto, a referência às questões climáticas, especificamente, surge em duas passagens.

A primeira delas no Art. 18., que estabelece os objetivos básicos para ações da Política Ambiental e Paisagística de Petrópolis. Neles, como número I, descreve-se: “ Promover o desenvolvimento e a democratização do meio ambiente saudável urbanizados, de produção rural e nas áreas naturais, tendo em vista as mudanças climáticas em curso” (s/p). Mais pra frente, no Art. 39., quando da descrição das diretrizes que orientarão a elaboração e implementação de programas de valorização e incentivo ao turismo e à cultura, o clima aparece na diretriz XIII: “Promover festivais culturais – em todas as áreas de expressão artística – que deem visibilidade e repercussão nacional e internacional à cidade, aproveitando o potencial identificado, a partir da história, da geografia, do clima e da infraestrutura existente” (s/p)

Com isso, a preocupação com a inserção do município num contexto global torna-se nítida. Tanto do ponto de vista cultural e econômico, mas também da perspectiva socioambiental. Há o reconhecimento das mudanças climáticas em curso e a necessidade de pensar em ações práticas na escala local, corroborando com as proposições de Monteiro e Sant’Anna Neto. Por outro lado, observa-se a lógica da utilização do clima como um recurso, ao ser considerado um *potencial*, juntamente com a história e geografia da cidade. Petrópolis tem o início de seu processo de ocupação estimulado por suas condições climáticas e, ainda hoje, o clima permanece sendo visto não apenas enquanto elemento vital para a população mas, sobretudo, enquanto elemento de atração e impulsionamento do turismo – uma das principais atividades que sustentam a balança econômica do município.

Quanto às ações concretas de preservação socioambiental, o Plano Diretor descentraliza as responsabilidades para as pastas e pouco define. Por esse motivo, considera-se que a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LUPOS) merece também atenção. Embora na lei não haja a menção ao clima e ao clima urbano, ao delimitar o zoneamento do município e suas especificações urbanísticas possibilita a análise do substrato espacial material, condição fundamental para a produção de um clima tipicamente urbano.

Por meio da LUPOS, são instituídas quatro zonas, consideradas como parcelas do território diferenciadas pelas características gerais de uso e ocupação do solo. São elas: Rural (ZRL), Rurbana (ZRB), Urbana (ZRU) e Proteção Especial (ZPE). Essas zonas, por sua vez, são subdivididas em setores, definidos como parcelas menos extensas do território, correspondentes a logradouros e manchas. Quanto a esses setores, são definidos alguns índices e parâmetros urbanísticos, tais como gabarito, afastamento frontal, índice do aproveitamento, taxa de ocupação, área mínima por unidade de lote, taxa de permeabilidade e altura máxima das edificações.

Para melhor visualização dos setores, parâmetros urbanísticos e atividades permitidas em cada um deles (com exceção da Zona Rural considerando a área de estudo dessa pesquisa) foi construído o Quadro 8.

Quadro 8 – Zoneamento municipal de Petrópolis: zonas, setores e parâmetros urbanísticos.

Zona	Setor	Características	Parâmetros urbanísticos
Rurbana	Rururbano (SRU)	mescla de atividades urbanas e rurais	gabarito: máx. 3 / 10 a 13m afast. frontal: mín. 5m taxa de ocup.: 5 a 40% taxa de perm.: 50 a 60%
	de Atividades Rururbano (SAR)	eixo ou núcleo de atividades de comércio, serviços e indústria (até classe B)	gabarito: máx. 3 / 13m afast. frontal: mín. 3m taxa de ocup.: 60% taxa de perm.: 10%
Urbana	Setor Residencial (SRE)	áreas nas quais prevalece o uso residencial	gabarito: máx. 4 / 13 a 20,50m afast. frontal: mín. 3 a 5m taxa de ocup.: 25 a 50% taxa de perm.: 15 a 25%
	Setor de Atividades Urbano (SAU)	eixo ou núcleo de atividades de comércio, serviços e indústria integrado ao uso residencial	gabarito: máx. 3 / 13 a 15,50m afast. frontal: mín. 3m taxa de ocup.: 70% taxa de perm.: 10%
	Setor de Uso Diversificado (SUD)	áreas de atividades predominantemente comerciais, de serviços e indústrias	gabarito: máx. 3 / 13 a 15,50m afast. frontal: mín. 3m taxa de ocup.: 70% taxa de perm.: 10%
	Setor Histórico	contém os imóveis, logradouros, sítios, praças,	parâmetros definidos pela legislação federal, estadual e

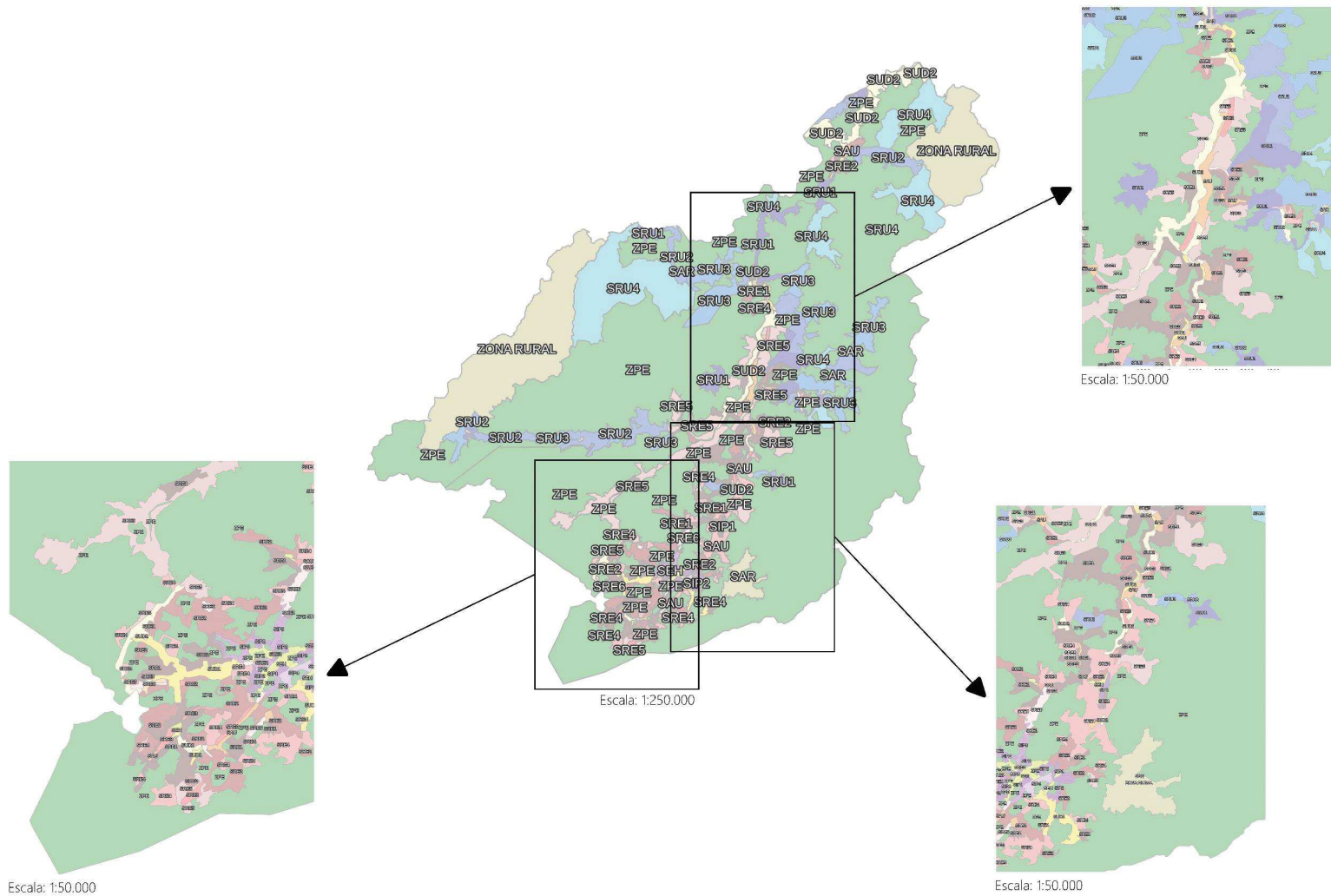
	(SEH)	elementos e monumentos tombados	municipal específica
	Setor de Interesse à Proteção (SIP)	áreas de entorno e tutela dos bens tombados	gabarito: máx. 4 / 14m afast. frontal: mín. 3 m taxa de ocup.: 30 a 70% taxa de perm.: 15 a 60%
Áreas de Especial Interesse	Social (AEIS)	áreas para as quais se estabelecem regras específicas em função de suas peculiaridades e relevância para o desenvolvimento municipal, proteção do meio ambiente e do patrimônio e para o bem estar da população	parâmetros definidos pela legislação federal, estadual e municipal específica
	Urbanístico (AEIU)		
	À Proteção (AEIP)		
	Econômico (AEIE)		

Fonte: PETRÓPOLIS (2014), adaptado.

Além da Tabela, o mapa da Figura 26 demonstra a espacialidade desses setores no município de Petrópolis. Sobre ele, é válido fazer algumas observações.

Figura 26 - Zoneamento

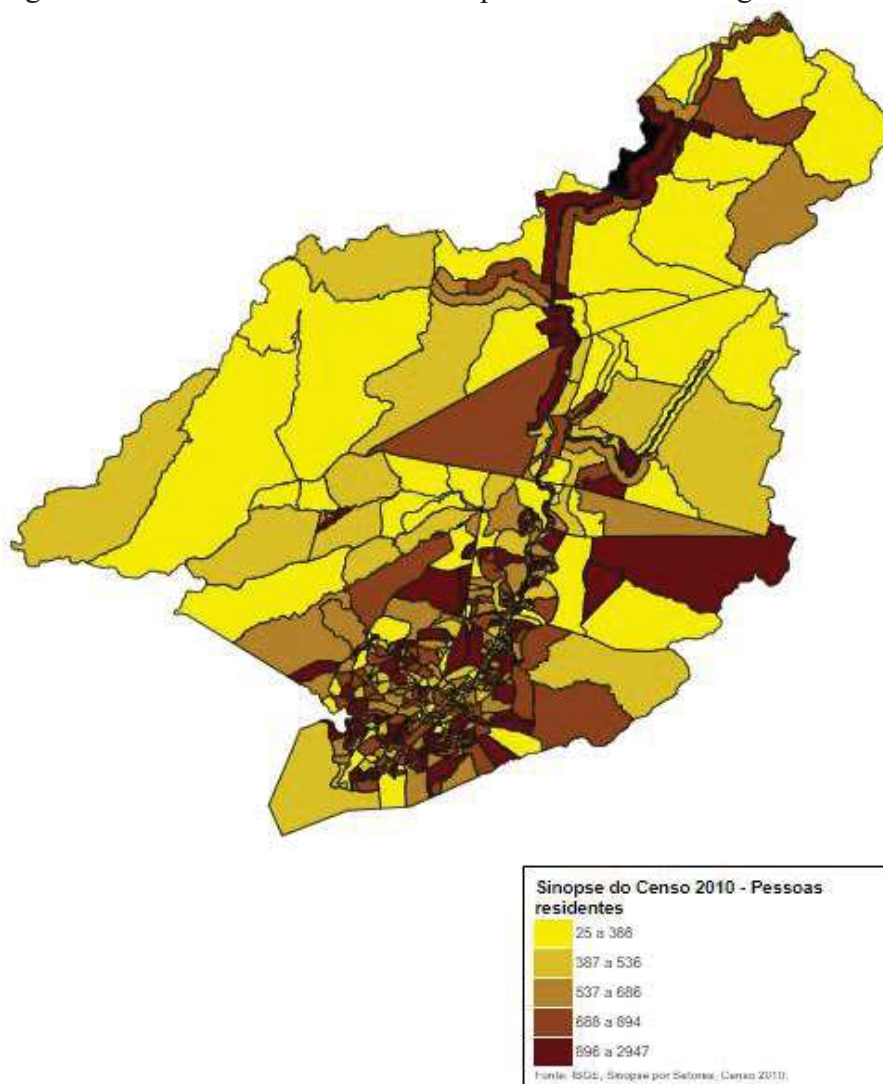
MAPA DE ZONEAMENTO DA CIDADE DE PETRÓPOLIS



Fonte: Prefeitura Municipal de Petrópolis

Ao analisar o zoneamento é possível perceber que a área central da cidade – no distrito de Petrópolis –, de maior densidade populacional (Figura 27) e de edificações, é composta, além de setores residenciais e de uso diversificado, por setores mais restritivos do zoneamento, a exemplo dos setores histórico e de interesse à proteção, no entorno dos equipamentos urbanos tombados. Isso pois Petrópolis se desenvolve e expande de forma tentacular, nas bordas dos cursos d’água, sem se emancipar do centro inicial (hoje considerado histórico) no que se refere às atividades de comércio e serviços, principalmente. Fato interessante e condicionante da dinâmica urbana ao considerar que a área mais pujante da cidade, que centraliza as funções administrativa e econômica, coincide com uma área de restrição de uso. Lemos (*et al.*, 2018) demonstram, inclusive, que “o tráfego intenso de veículos na área central vem abalando a estrutura [dos patrimônios históricos], tanto em função da trepidação, quando da emissão de gases poluentes.” (p. 116).

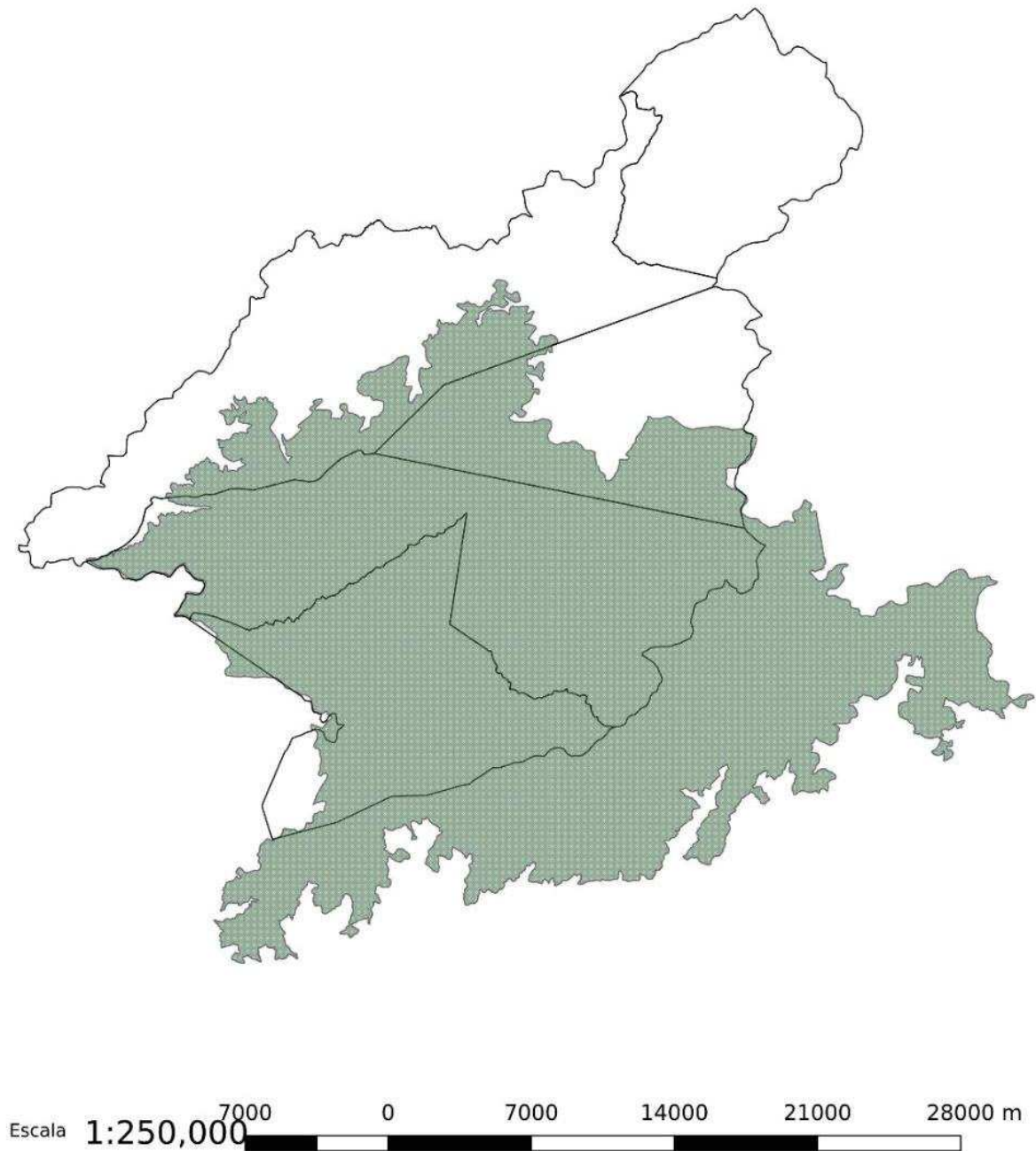
Figura 27 – Pessoas residentes – Sinopse do Censo Demográfico 2010.



Fonte: IBGE, 2020.

Além disso, percebe-se que há um espraiamento da Zona de Proteção Especial, que abrange inúmeras manchas que vão desde a área central até os distritos mais afastados. Essa extensão deve-se a Área de Proteção Ambiental (APA-Petrópolis) (Figura 28).

Figura 28 – Localização – APA Petrópolis.



Fonte: Prefeitura Municipal de Petrópolis, 2020.

A APA Petrópolis engloba uma área de quase 600km² e abrange parte dos municípios de Petrópolis, Duque de Caxias, Magé e Guapimirim. Foi criada no ano de 1982 e oficializada

em 1992 pelo IBAMA (atual ICMBio) com o intuito de preservar os remanescentes de Mata Atlântica, severamente degradada devido à intensa ocupação da região litorânea brasileira. Além desta, existem mais sete Unidades de Conservação Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Reserva Biológica do Tinguá, Zona da Vida Silvestre da Maria Comprida, Reserva Biológica de Araras, Parque da Serra da Estrela, Reserva Ecológica da Alcobaça e Zona de Vida Silvestre de Araras. (GUERRA, *et al.*, 2007; MICELI, *et al.*, 2015). Ao comparar os mapas de pessoas residentes (Figura 8) e do limite da APA (Figura 9), nota-se que o centro (histórico, administrativo e econômico) está contido nos seus limites, bem como outros bairros residenciais. Isso se torna, evidentemente, fator gerador de conflitos socioambientais.

Assim, com subsídio no referencial bibliográfico e no conhecimento da área de estudo, com base nos objetivos propostos, buscou-se elaborar uma metodologia que abarcasse os principais fatores que condicionam a configuração do clima de cidade para a construção do Mapa Climático Urbano, além do estudo dos seus mecanismos de planejamento e gestão urbana, que se transformaram ao longo de sua história e foram responsáveis, de certa forma, por gerar essa realidade urbana petropolitana socioambientalmente conflituosa e divergente.

4. CAMINHOS E PROCESSOS: A METODOLOGIA

Passado o delineamento teórico e a apresentação da área de estudo, dedica-se este capítulo ao encaminhamento metodológico do processo de pesquisa desenvolvido.

Considerando o objetivo proposto – compreender a relação existente entre o clima urbano e os aspectos urbanos e urbanísticos na cidade de Petrópolis (RJ) –, a pesquisa aqui realizada pode ser compreendida, em um primeiro momento, como um estudo de caso, ao sugerir o entendimento de um caso específico – o clima urbano em Petrópolis – e a apresentação de um quadro descritivo e interpretativo, alimentando o arcabouço teórico desses estudos em cidades de médio porte. Por outro lado, pode ser entendida como uma pesquisa experimental, por buscar investigar relações de causa-efeito entre as variáveis estudadas.

Tendo isso em vista, a partir do método dialético, foram utilizados como procedimentos metodológicos a coleta de dados e os trabalhos de campo, no recorte espacial da área urbana da cidade de Petrópolis. Esse recorte deve-se, sobretudo, à capacidade de execução da proposta inicial, tendo em vista a qualidade do trabalho. Optou-se por dividir o trabalho em dois momentos, que se apresentam, também, enquanto etapas do processo de pesquisa. São eles: o levantamento de dados preliminares, e; a construção do Mapa Climático Urbano (UC-Map). Essa segunda etapa, no entanto, foi a que direcionou todo o trabalho realizado, ou seja, a coleta de dados, as análises e os mapeamentos.

Quanto ao levantamento de dados preliminares, esse deu-se por meio da pesquisa bibliográfica e aquisição de dados secundários.

A primeira delas – pesquisa bibliográfica – teve como objetivo encontrar subsídios teóricos para a compreensão do processo de produção do espaço urbano, de produção do clima urbano, da relação entre clima e planejamento urbano e da realidade climática e urbana da cidade de Petrópolis. Partiu-se de um conciso levantamento bibliográfico, nacional e internacional, de artigos, dissertações, teses e livros. Essa etapa, embora apresentada como a primeira, se estendeu ao longo de todo o trabalho, uma vez que o conhecimento não se esgota e tampouco é estático.

A aquisição de dados secundários, por sua vez, realizou-se junto de órgãos públicos e materiais bibliográficos encontrados anteriormente, com o intuito de coletar dados geoespaciais que subsidiassem o conhecimento da área de estudo e pudessem ser utilizados, posteriormente, para a construção do mapa climático urbano – enquanto ferramenta que possibilita o alcance do objetivo geral. Assim, foram buscadas informações na Prefeitura de Petrópolis – sobretudo, na Secretaria de Meio Ambiente, na Coordenadoria de Planejamento e Gestão Estratégica e no

Instituto Histórico e Geográfico de Petrópolis –, no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e no Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Não houve colaboração da administração pública da cidade, uma vez que suas partes parecem, também, carecer de dados geoespaciais editáveis. Sua contribuição restringiu-se aos mapeamentos e plantas da cidade já elaboradas, importantes para a construção da historicidade da dinâmica espacial urbana petropolitana. Isto posto, os dados secundários, aqui trabalhados para a elaboração de mapeamentos, consistem naqueles encontrados nos sites oficiais do IBGE e do INEA. Além disso, em razão do município não possuir a lei de abairramento, todos os mapeamentos – que serão metodologicamente apresentados mais à frente – foram confeccionados com base na delimitação dos setores censitários classificados como urbanos (IBGE, 2010) e não de acordo com os bairros. Esses, no entanto, poderão ser citados ao longo do texto, conforme seus nomes coloquiais, fundamentados no conhecimento informal.

Uma vez feitos os trabalhos ditos preliminares, partiu-se para a construção do Mapa Climático Urbano. Essa etapa abarcou as análises climáticas, urbanas e urbanísticas, requeridas para o estudo das suas relações e a construção do UCMaP. Para isso, o estudo foi realizado em nove etapas, cada uma delas referente a uma variável socioambiental analisada. A metodologia utilizada para construir o UCMaP foi elaborada de acordo com variadas referências bibliográficas, já bastante explanadas no Capítulo I. Assim, foram elaborados seus dois componentes: o mapa de análise climática (UC-AnMaP) e o mapa de recomendação climática (UC-ReMaP). Em vistas de facilitar a compreensão, essas etapas foram subdivididas nos tópicos a seguir.

4.1. A construção do Mapa de Análise Climática – UCAnMaP

A metodologia utilizada para construir o UCMaP foi elaborada de acordo com variadas referências bibliográficas, já bastante explanadas no Capítulo I. Assim, foram elaborados seus dois componentes: o mapa de análise climática (UC-AnMaP) e o mapa de recomendação climática (UC-ReMaP).

A construção do primeiro deles foi feita por meio da classificação de climatopos. Esses são definidos para representar uma distribuição espacial de tipologias de clima urbano, que são produto do uso e cobertura distintos do solo, com base na análise e entendimento dos fatores básicos da produção desse clima tipicamente urbano (REN et al., 2011).

De acordo com Ferreira et al. (2017) “o princípio que norteia esta construção é o método de análise multicritério, aplicado à análise espacial, com o objetivo de construir um modelo descritivo do território.” (p. 260). Dessa maneira, é elaborada uma série de mapas-base (ou,

mapas temáticos) que, posteriormente, a partir da soma de todos eles, encontram-se os climatopos – áreas de características climáticas similares. Para melhor visualização das variáveis utilizadas aqui e do processo realizado para o mapeamento de cada uma delas, foi cruado o Quadro 9. Optou-se por essas considerando os elementos do balanço de energia, que influenciam ora positivamente ora negativamente no aumento da carga térmica e no potencial dinâmico das superfícies urbanas.

Quadro 9 - Variáveis (camadas) mapeadas para a construção do UCMaP de Petrópolis.

Camada	Impacto no clima urbano	Critério físico	Dado utilizado	Classificação
<i>Temperatura</i>	representa a modificação advinda da transformação do meio natural em um ambiente urbanizado	termo-higrométrico	mapa de temperatura de superfície e temperatura do ar	temperatura (em °C)
<i>Precipitação</i>	resfriamento e aumento da umidade relativa do ar	termo-higrométrico	mapa de precipitação, a partir dos dados das estações da ANA ¹²	índice de precipitação (mm)
<i>Topografia</i>	resfriamento adiabático, circulação de ar induzida termicamente pelo relevo, em escala regional	dinâmico	modelo digital de elevação	altitude (m)
<i>Declividade</i>	circulação de ar induzida termicamente pelo relevo, em escala local	dinâmico	mapa de declividade, gerado a partir de curvas de nível	declividade (em graus)
<i>Orientação de vertentes</i>	quantidade de radiação solar recebida	térmico	mapa de orientação de vertentes	orientação por quadrante (norte, sul, leste, oeste)
<i>Áreas verdes</i>	resfriamento noturno, aumento da umidade relativa do ar, mitigação de efeitos adversos de aumento da carga térmica urbana	termo-higrométrico	classificação de áreas verdes a partir de imagem de satélite	presença de vegetação rasteira ou vegetação arbórea
<i>Afloramentos rochosos</i>	armazenamento de calor e direcionamento dos fluxos de ar	térmico	classificação de afloramentos rochosos a partir de imagem de satélite	presença de afloramentos rochosos
<i>Uso do solo</i>	condicionamento da produção de calor	térmico	classificação do uso do solo, empiricamente e a partir de imagem de	tipologia de uso

¹² Agência Nacional de Águas.

			satélite	
<i>Ocupação do solo</i>	armazenamento de calor	térmico	classificação da ocupação do solo, a partir de imagem de satélite	área ocupada (%)
<i>Edificações</i>	armazenamento de calor e redução dos fluxos de ar	térmico	classificação do volume edificado, a partir de imagem de satélite	volume edificado médio por setor censitário
<i>Rugosidade</i>	circulações locais de vento	dinâmico	mapa de circulação de ventos em diante da ocupação urbana	direcionamento dos ventos

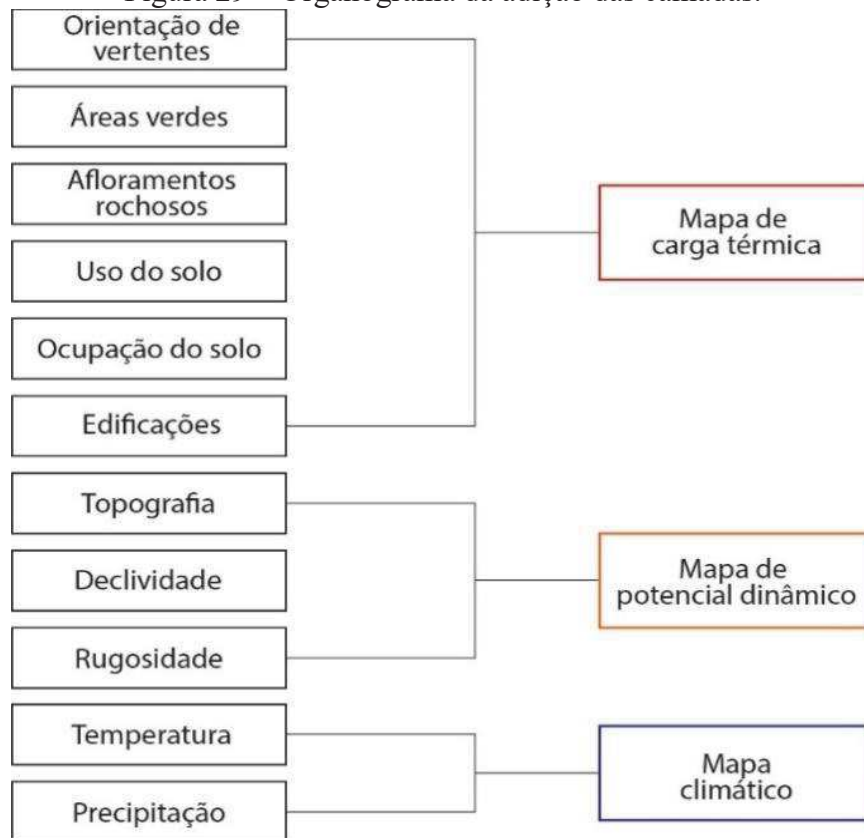
Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse processo, “cada camada de mapa representa uma contribuição para o balanço de energia superficial em determinada área urbana” (ibid., p. 261). Os mapas-base serão somados – através da ferramenta álgebra de mapas, em ambiente GIS – de forma a gerar um mapa de carga térmica e um mapa de potencial dinâmico, assim como em Souza e Katzschner (2018). Além desses, será gerado um mapa climático, com os dados de temperatura de superfície e precipitação. Para isso, faz-se a junção das camadas a partir do critério físico e do impacto no clima urbano, expresso na Tabela 4.

Embora os trabalhos de construção do UCMMap trabalhem apenas com os dois primeiros mapas, optou-se por cruzar esses mapeamentos com o mapeamento de dados já coletados de temperatura e precipitação por acreditar que traria uma leitura espacial mais aproximada da realidade climática. Assim, seria possível, também, já compreender de que forma os vários fatores contribuem para a conformação do clima da cidade, no caso da temperatura, e de que maneira a cidade tem capacidade de responder aos impactos advindos da precipitação – elemento indispensável para a análise do clima de Petrópolis, considerando a importância da sua intervenção no espaço urbano.

A maneira como os mapas-base foram conjugados para a elaboração dos mapas deles derivados está representada na Figura 29.

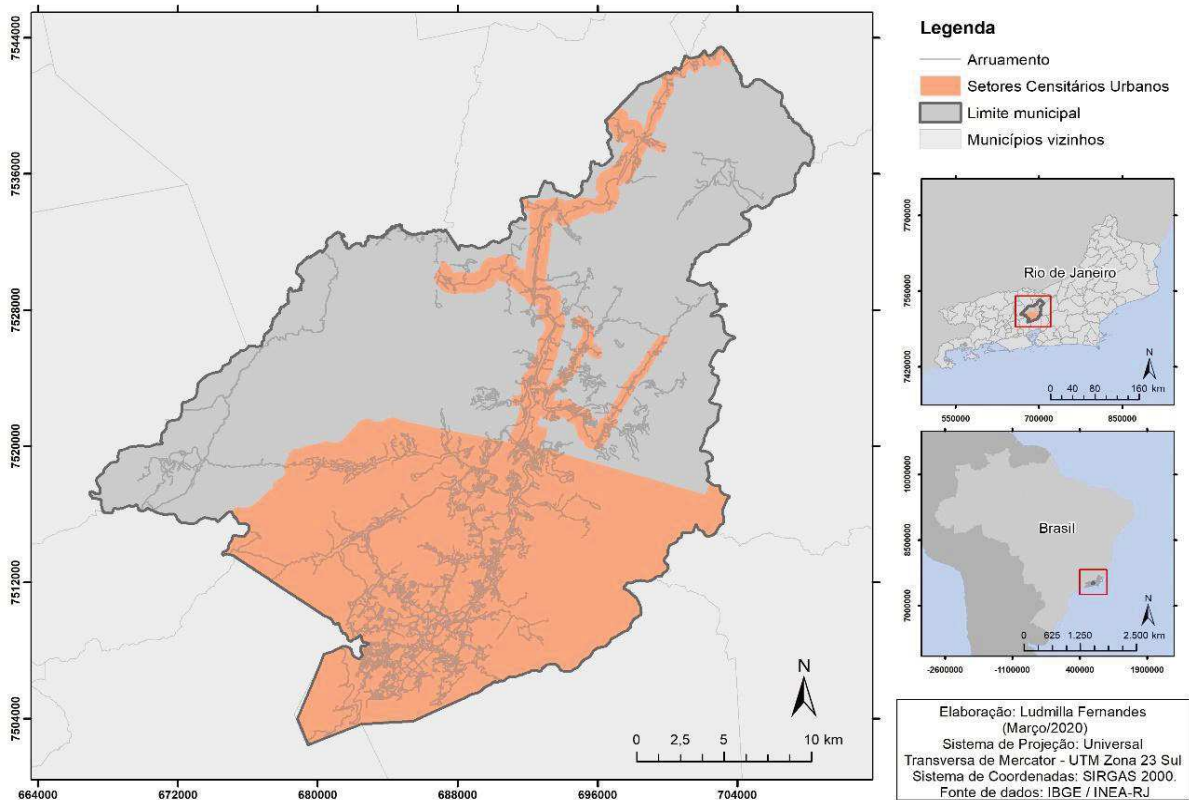
Figura 29 – Organograma da adição das camadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

No que tange à escala espacial, todos os mapeamentos estão sendo gerados a partir do arquivo *shapefile* dos setores censitários urbanos (IBGE, 2010), como já mencionado anteriormente, em escala de 1:220.000, no *software* ArcGIS 10.6. A escala de apresentação das variáveis deve-se à abrangência dos setores censitários urbanos, que cortam o município de norte a sul (Figura 30). As análises de cada uma delas, porém, estão sendo feitas na escala microclimática (aproximadamente, 1:2:000), considerando a visibilidade a partir dos limites de cada um dos setores censitários urbanos.

Figura 30 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, os mapas de topografia, declividade, orientação de vertentes, áreas verdes, afloramentos rochosos, rugosidade, temperatura de superfície e precipitação serão confeccionados considerando a área total de abrangência dos setores censitários urbanos, representada na Figura 20, uma vez que seus aspectos ultrapassam os limites da compartimentação setorial. Por outro lado, os mapas de uso do solo, ocupação do solo e edificações serão confeccionados a partir da unidade setorial, ou seja, para cada setor censitário urbano será encontrado um valor médio referente a cada variável analisada. Essas duas escalas, sobrepostas, resultará na definição dos climatopos a nível dos setores censitários, visto que este é o menor nível escalar.

Considerou-se esta unidade de análise primeiro por Petrópolis não possuir a lei de abairramento – e, por isso, não ser possível o mapeamento dos fatores urbanos e urbanísticos à nível dos bairros. Segundo, por entender que o trabalho desenvolvido não requer uma especialização escalar tão grande como ao nível das quadras. Além disso, trabalhar com os setores censitários abre um leque de possibilidades de acesso a dados e estudos integrados e interdisciplinares uma vez que

Os dados oriundos dos censos demográficos decenais, desagregados em setores censitários, constituem a fonte de informações estatísticas com maior detalhamento espacial disponível sobre os aspectos socioeconômicos das áreas urbanas brasileiras. Uma interessante possibilidade é a realização de estudos evolutivos com esses dados, pois podem revelar, de forma minuciosa, transformações que ocorrem no território das cidades. (LOBO, 2009, p. 72)

Considerando esse limite, os mapeamentos estão sendo elaborados, a depender das possibilidades de aquisição de dados tanto com base em dados primários – o mapa de temperatura de superfície – quanto secundários – os demais mapas. Para a elaboração destes e, também, dos mapas de carga térmica e potencial dinâmico são atribuídos pesos diferenciados a depender da interferência de cada um na conformação climática urbana. Esse trabalho é feito de forma empírica e requer acurado conhecimento da área de estudo. É nessa etapa, de elaboração dos mapas e definição dos pesos, que se encontra esta pesquisa.

Dentre todos os componentes apresentados, já foram produzidos os mapas: de topografia, declividade, orientação de vertentes, temperatura de superfície e áreas verdes. O processo de confecção de cada um deles consta a seguir. Aqueles que ainda não foram produzidos contam com uma breve explicação da fonte de dados e do processo a ser realizado. Os tópicos a seguir foram divididos de acordo com a metodologia utilizada para a elaboração de cada mapa-base, agrupando aqueles confeccionados por métodos similares.

4.1.1. Temperatura

Dentre os atributos do clima que são modificados em função da construção de espaços urbanizados, a temperatura é aquela que se sobressai, uma vez que as ilhas de calor são seu fenômeno mais significativo (AMORIM, 2003). Devido às características dos materiais construtivos, há um incremento de energia e, portanto, calor nas cidades. Por esse motivo, optou-se por trabalhar a partir da temperatura.

Quanto ao recorte temporal, o trabalho abrange as duas estações do ano mais bem definidas em regiões de clima tropical – o verão e o inverno. As características climáticas

opostas dessas duas estações fazem com que sejam ideais para a realização de estudos deste tipo, com base em Monteiro (1990), ao elucidar que “em termos práticos um experimento inicial deve conter, no mínimo, dois eventos em estações opostas – verão e inverno – obtidas ambas as mensurações em condições de tempo meteorológico equivalentes, em situações relativamente **neutras**” (p. 62, grifo do autor). Apoiada nessa proposição, privilegiou-se aqueles dias de céu claro e pouca ou nenhuma nebulosidade.

Sem dúvida, embora não haja uma função exata que transforme a temperatura de superfície em temperatura atmosférica, há uma relação diretamente proporcional entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar, de maneira que o aquecimento da superfície repercute na temperatura do ar, que é aquecido em detrimento da radiação de onda curta – solar – e da radiação de onda longa – terrestre, ou, superficial (NICHOL, 1994). No entanto, é interessante validar a associação entre temperatura de superfície e do ar, visto que, além dos materiais construtivos, há uma série de fatores que podem interferir nessa relação, aparentemente, direta. Por isso, aqui, a análise da temperatura se dividiu em duas etapas.

Na primeira etapa foi gerado um mapa de temperatura de superfície. Quanto a esse mapeamento, é válido ressaltar sua importância para o estudo de áreas nas quais não há uma rede de monitoramento, como é o caso da cidade de Petrópolis, que conta apenas com uma estação automática supervisionada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Assim, por ser gerado a partir do geoprocessamento de imagens orbitais, sua abrangência e a possibilidade de aplicação em quaisquer áreas são amplas e reais.

Já a segunda etapa consistiu na realização de transectos móveis na área urbana da cidade de Petrópolis, para fins de análise da associação entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar. O estudo dessa relação e validação dos dados foi realizado, sobretudo, por meio de *software* GIS e pelo Microsoft Excel, pelo qual foram gerados gráficos e tabelas. A explicação procedimental dessas duas etapas, entretanto, será detalhada a partir daqui.

f) De superfície

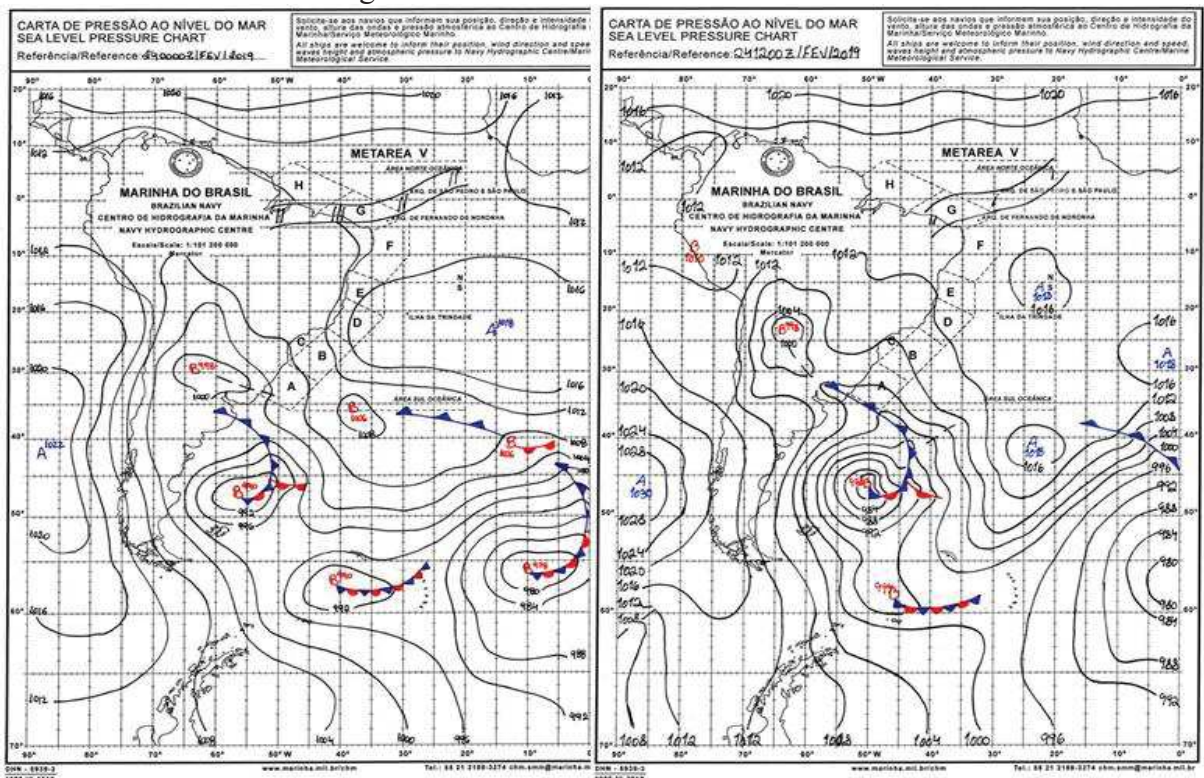
A temperatura de superfície foi mapeada a partir de duas cenas – considerando os limites do município de Petrópolis – do sensor *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*, operado pela plataforma Landsat-8¹³, de acordo com a metodologia proposta por Coelho e Corrêa (2013), em

¹³ O satélite Landsat-8 é o mais recente de sua série e seu lançamento, realizado pela NASA, data de 2013. De acordo com dados da USGS opera “a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosincrona com inclinação de 98,2° (ligeiramente retrógrada) [...] O tamanho aproximado da cena é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste.” (COELHO e CORREA, 2013, p. 33) Além disso, opera com dois instrumentos imageadores: Operational Land

software de Sistema de Informações Geográficas (GIS).

As imagens utilizadas são disponibilizadas gratuitamente pelo Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS) e correspondem à banda 10, referente à faixa do infravermelho termal (10.6 - 11.19 μm - micrômetro), com resolução espacial de 30 metros, órbita 217, pontos 75 e 76, com data de passagem 24/02/2019 e horário central 12:51 UTC ou, 9:51 no horário de Brasília, para ambas. A escolha da imagem foi realizada a partir do critério da cobertura de nuvens, buscando a mínima possível. Em razão disso, e em detrimento da resolução temporal do sensor, que passa em um mesmo ponto a cada 16 dias, não foi possível encontrar uma imagem ideal no período do verão de 2020, que coincide com o período de realização da etapa dos transectos móveis. No entanto, a imagem adquirida refere-se, também, ao período de verão, sob as mesmas condições de tempo – céu claro e condições de estabilidade atmosférica, sob atuação do Sistema Tropical Atlântico (Figura 31) –, fazendo com que não haja prejuízo nos resultados obtidos.

Figura 31 – Cartas sinóticas – 24/02/2019.

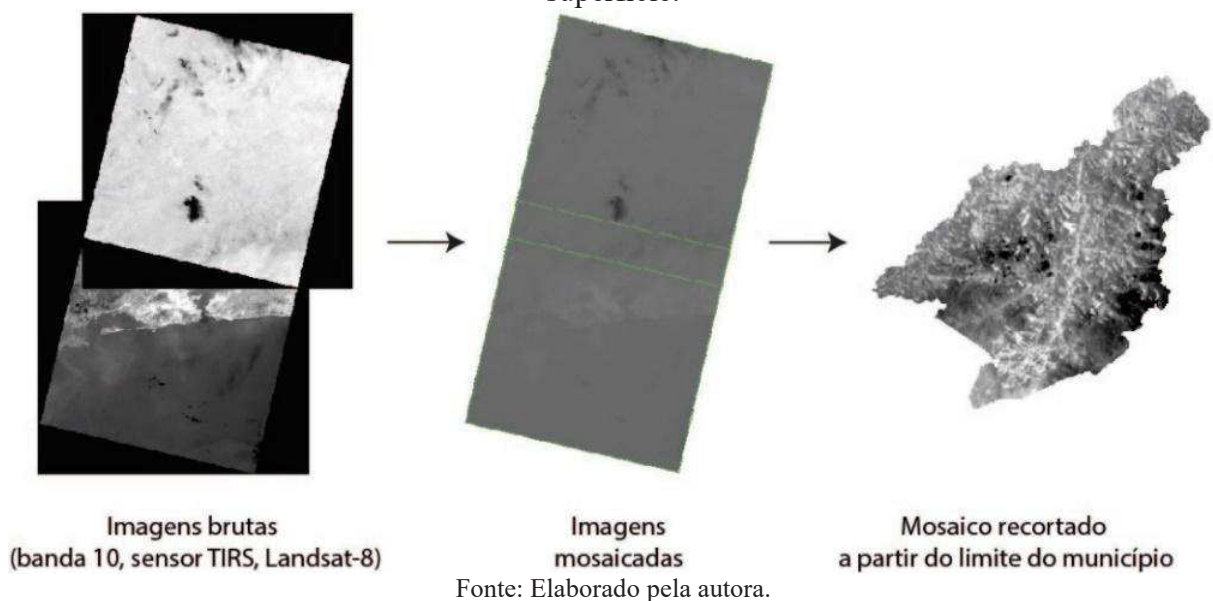


Fonte: Elaborado pela autora.

Imager (OLI), composto por nove bandas espectrais, dentre elas a banda pancromática e; o Thermal Infrared Sensor (TIRS), composto por duas bandas de pixel de 100 metros, que são processadas e disponibilizadas em 30 metros para coincidir com a maioria das bandas multispectrais do sistema imageador OLI (USGS, 2013 *apud* CORREA e COELHO, 2013).

Após a aquisição das imagens orbitais, foi preciso fazer um *mosaico de imagens*, uma vez que o município de Petrópolis se localiza na interseção de duas cenas. O procedimento faz com que duas imagens, antes sobrepostas, sejam adicionadas, transformando-as em uma. Posterior à construção do mosaico, este foi recortado de acordo com o *shapefile* do limite municipal de Petrópolis, posteriormente para os limites dos setores censitários urbanos (IBGE, 2010), e reprojetoado para o Datum SIRGAS 2000, Zona 23 Sul, projeção UTM. Um resumo desses procedimentos consta na Figura 32.

Figura 32 – Procedimento de tratamento da imagem anterior à geração da temperatura de superfície.



Feito isto, deu-se início ao processo de geração da temperatura de superfície a partir da imagem infravermelha termal recortada para a área de estudo. Este, foi realizado por meio da ferramenta “calculadora de raster”, a partir da conversão dos níveis de cinza (NC) em valores de radiância que, depois, foram convertidos em temperatura em Kelvin (K) e, por fim, em graus Celsius (°C). Para isso, foram aplicadas as fórmulas apresentadas por Coelho e Correa (2013, p. 33-34), com base nas fórmulas disponibilizadas pelo Serviço Geológico Americano:

$$L\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L(2)$$

Em que: $L\lambda$: radiância espectral do sensor de abertura em Watts/m² sr μm/

M_L : fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04

Q_{CAL} : valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

A_L : Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Em que:

T = temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)

K1: constante de calibração 1 = 774.89 (K)

K2: constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)

Lλ: radiância espectral do sensor de abertura em Watts/m² sr μm)

Deste modo, foi gerado um arquivo *raster* que representa a temperatura de superfície em Kelvin (K). Para a conversão em graus Celsius (°C), bastou subtrair deste arquivo, também na calculadora de raster, o valor absoluto de 273,15, já que 0°C equivale a 273,15 K. Assim, aquele arquivo raster em Kelvin foi convertido em um arquivo raster que representa a temperatura de superfície em Celsius. Os procedimentos posteriores consistiram na modificação da simbologia e confecção do *layout*.

g) Do ar

Para o estudo da temperatura do ar, foram realizados três transectos móveis na área urbana da cidade de Petrópolis, a partir dos quais foram coletados os dados de temperatura atmosférica. Esses foram realizados no verão, no dia 18 de fevereiro de 2020. O trabalho que seria realizado no inverno de 2020, entretanto, devido às condições impostas pela pandemia do covid-19 foi impossibilitado de acontecer. Mas, optou-se por continuar a apresentar os dados obtidos no verão.

O transecto móvel consiste em um método de pesquisa espacial de temperatura e umidade relativa do ar no qual a coleta de dados é realizada por um sensor carregado pelo pesquisador atravessando áreas de interesse com o objetivo de identificar a diferenciação termo-higrométrica (OKE, 2004). A escolha desse método explica-se por suas vantagens apresentadas por Fialho (2009, p. 66): descreve melhor a heterogeneidade do meio urbano; possibilita um maior número de pontos de coleta inseridos na área de estudo, e; permite maior agilidade no processo de monitoramento. Além disso, foi crucial para a escolha a disponibilidade – em quantidade – dos sensores para a realização dos trabalhos e a dificuldade em encontrar alocações para possíveis instalações fixas.

Ao realizar uma análise espacial para fins de estudo do clima urbano, é preciso buscar revelar o caráter geocológico do sítio, a estrutura urbana (morfologia + função) e o dinamismo urbano – representado pelas funções atreladas à morfologia urbana, como fluxo de tráfego de veículos, atividade industrial, entre outros (MONTEIRO, 1991). Isso significa que o clima

urbano deve ser considerado como um sistema singular que abrange o clima local – fato natural – e a cidade – fato social (MONTEIRO; MENDONÇA, 2009). Assim sendo, foram definidos três transectos considerando os aspectos geocológicos do sítio, a estrutura urbana e o dinamismo urbano. Em resumo, os critérios para essa definição foram: maior abrangência da área urbana no que tange a espacialidade dos pontos; facilidade no acesso aos pontos e otimização do tempo gasto para percorrê-los, de modo que todos eles foram marcados no decorrer de ruas e avenidas; o caráter geocológico do sítio urbano, buscando abranger áreas de características distintas, e; melhor representação da heterogeneidade da estrutura urbana e do dinamismo urbano, de maneira que todos os pontos foram pensados de acordo com a diferenciação do uso e ocupação do solo e funções urbanas.

Ademais, é válida a ressalva de que o processo de escolha dos trajetos e pontos foi feito por meio da análise de imagem de satélite, sobretudo, do Google Earth, e dois trabalhos de campo, que possibilitaram estimar o tempo gasto em cada um deles e confirmar os melhores pontos de medição a partir dos critérios estabelecidos anteriormente.

Concomitantemente, foi instalado um sensor fixo – da marca HOBO, modelo UA-001-64 – para fins de detectar as possíveis mudanças climáticas e atmosféricas durante a realização dos transectos. A escolha do ponto foi feita de acordo com a possibilidade de instalação em local aberto, que fosse localizado em uma área comum de passagem dos três transectos e oferecesse segurança ao equipamento no que se refere a furtos e interrupção dos registros.

A instalação, seguindo esses critérios, foi feita no Centro da cidade de Petrópolis, na agência do banco Bradesco, localizada na Rua da Imperatriz. (Figura 33). O equipamento esteve instalado de acordo com as orientações da Organização Meteorológica Mundial, como citado por Varejão-Silva (2006), a 1,50 metro de altura em relação ao nível do solo, acoplado a um abrigo meteorológico alternativo, no período de 17 a 19 de fevereiro de 2020.

Figura 33 – Sensor instalado no centro da cidade de Petrópolis.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os detalhes do abrigo meteorológico alternativo podem ser observados na Figura 34, a seguir. De acordo com Vianna (2018) sua vantagem reside no peso, dimensão e custo. Isso pois sua estrutura é composta de isopor, em duas camadas – um copo internamente e uma tampa de um porta garrafa de 1 litro –, e cobertura feita por um prato, também, de isopor. O uso desse material tem como objetivo isolar e sombrear parte das superfícies do abrigo, com o intuito de eliminar a interferência da radiação direta. As perfurações em toda a estrutura desempenham função semelhante, mas, no que se refere à ventilação.

Figura 34 – Abrigo meteorológico alternativo.

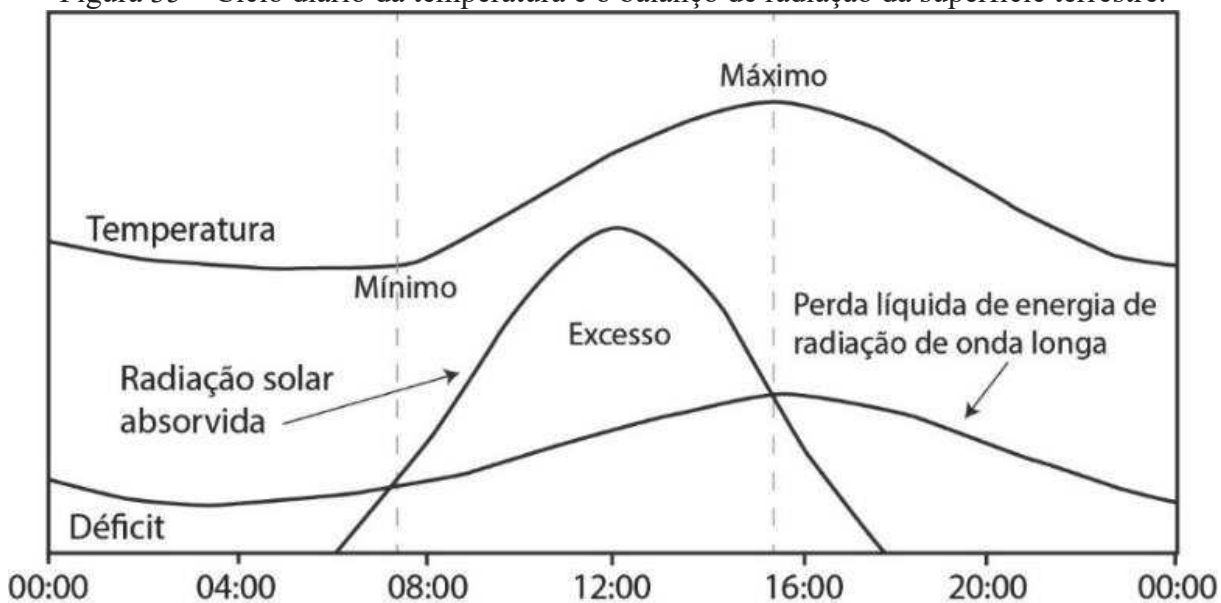


Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto aos transectos, novamente, esses foram realizados com um veículo automóvel. Existe uma variedade de formas de deslocamento, que são “adotadas segundo o julgamento do pesquisador em função dos recursos que possui (equipamentos, meio de transporte) e obtenção do tempo mínimo possível para percorrer todos os pontos amostrais” (ALVES, 2019, p. 100). O deslocamento pode ser feito por meio de carro (PEZZUTO, 2007; AMORIM, 2010), motocicleta (PIMENTEL, 2010; FIALHO *et al.*, 2016), bicicleta (SANTOS, 2007; FIALHO, 2009), e até a pé (PIMENTEL, 2010; MACIEL, 2011). A escolha do carro, aqui, deveu-se ao tamanho da área de estudo, que impossibilitou quaisquer outras formas.

As medições foram realizadas no período da tarde, com início às 15 horas, e no período da noite, com início às 21 horas. Os horários se justificam, primeiramente, por serem os horários padrões de coleta de dados. Por outro lado, justifica-se pelo ciclo diário da temperatura e do balanço de radiação, presente na Figura 35, a partir da qual percebe-se que as 15 horas se aproximam do pico positivo, enquanto as 21 horas do pico negativo. Esses dois horários representam ainda uma distinção na dinâmica da cidade, já que às 15 horas dispõe do funcionamento do comércio, escolas, alto fluxo de veículos e pessoas, e o inverso se encontra no horário de 21 horas.

Figura 35 – Ciclo diário da temperatura e o balanço de radiação da superfície terrestre.



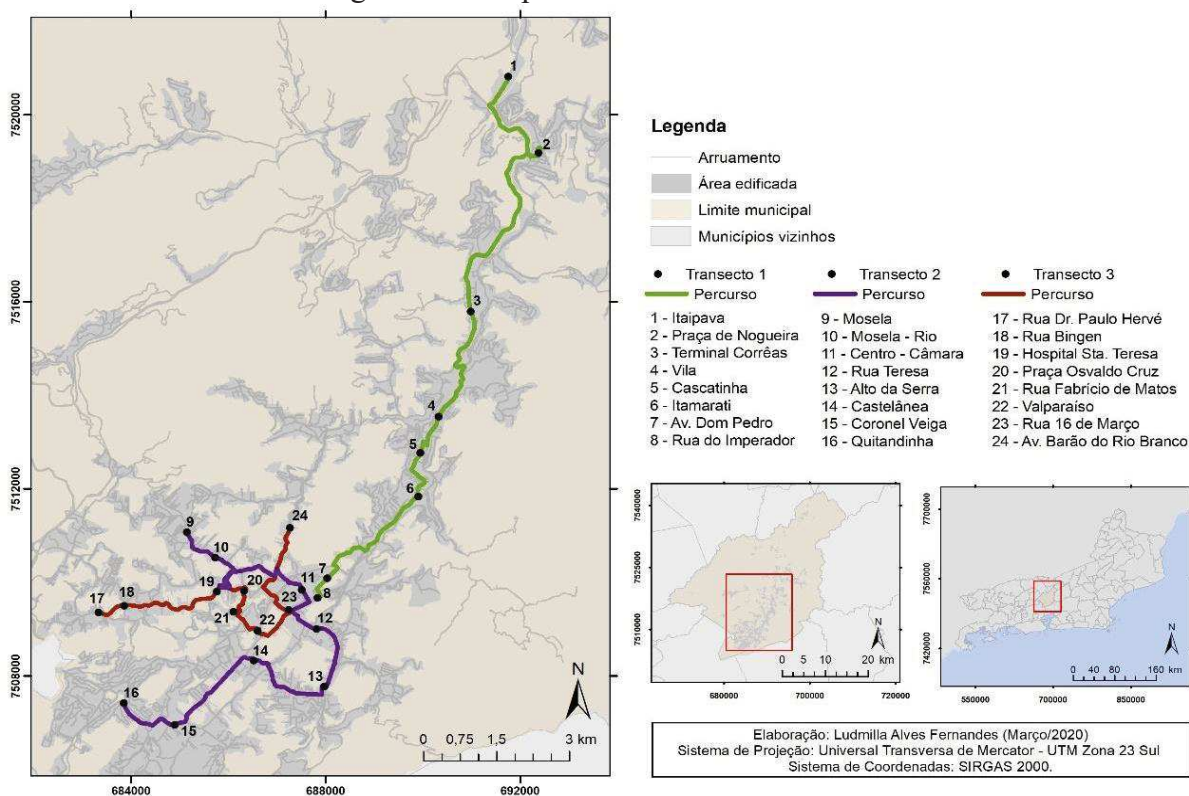
Fonte: Cuadrat e Pita (2000), Fialho (2009), adaptado.

Alves (2019), com base em Hasenack e Becke (1985), demonstra que “as medições com transectos móveis podem ser categorizadas como intermitente ou contínua. A primeira [...] consiste em parar em cada ponto para fazer o registro. A segunda consiste na passagem pelo ponto e realização do registro no exato instante, em movimento” (p. 100). Aqui, fez-se o uso

do método intermitente, visto que o método de medição contínua requer rigorosa padronização do instrumental, o que não seria possível no presente estudo, pela diferenciação dos carros utilizados.

No que se refere à espacialidade dos pontos de coleta, cada transecto foi composto por oito pontos de medição (Figura 36), e as durações variaram devido à distância entre o ponto inicial e final e ao trânsito das ruas e avenidas percorridas.

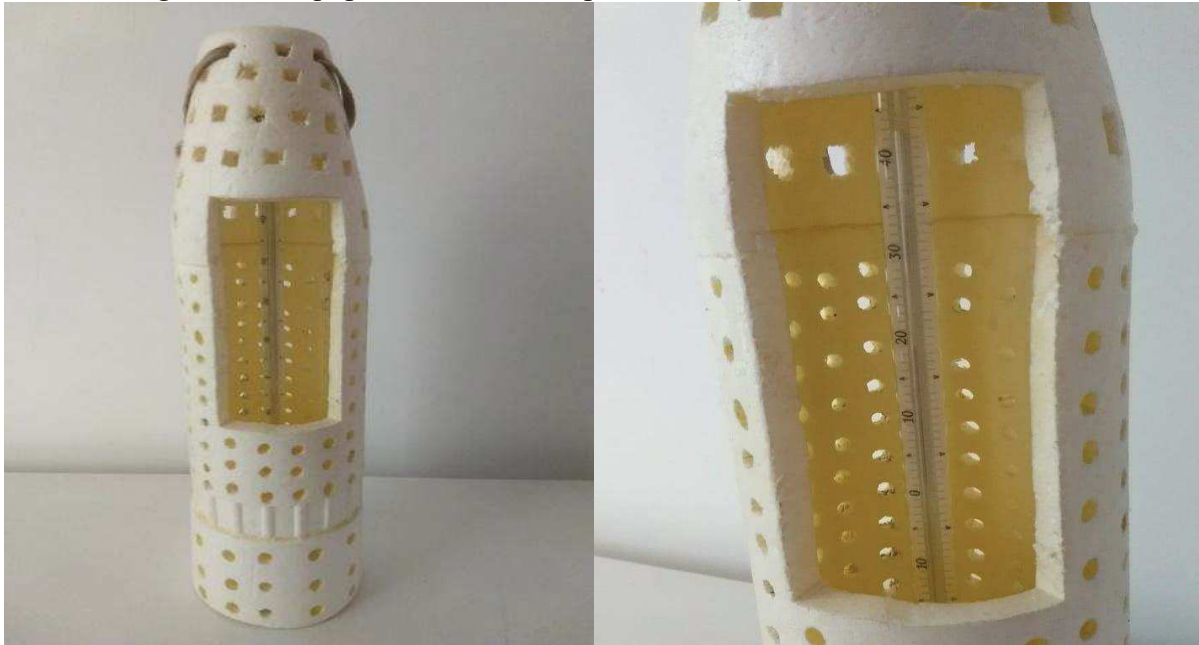
Figura 36 – Mapa dos transectos realizados.



Fonte: Elaborado pela autora.

As medições foram feitas por meio de um termômetro de mercúrio acoplado a um abrigo meteorológico alternativo (Figura 37), também à, aproximadamente, 1,50 metro do nível do solo, no exterior dos carros, com vistas a eliminar as possíveis interferências do mesmo nos dados obtidos, considerando as propriedades físicas de seus materiais constituintes. Assim, em cada um dos pontos, a pessoa responsável por fazer os registros saiu do veículo, se distanciou na direção contrária ao motor e esperou 3 minutos antes de fazer o registro, tempo suficiente para a estabilização do termômetro. Devido à medição ser externa e à distância a ser percorrida nos transectos ser grande, não foi estabelecida a velocidade média do veículo.

Figura 37 – Equipamento utilizado para a medição nos transectos móveis.



Fonte: Elaborado pela autora.

Buscou-se que nenhum deles ultrapassasse a duração de 1 hora (60 minutos). No entanto, no *Transecto 1*, de Itaipava ao Centro, foi percorrida a distância (aproximada) de 16km em 67 minutos no período da tarde e 57 minutos no período da noite. Embora tenha ultrapassado o tempo estipulado à tarde, não houve prejuízo, já que ao observar os dados obtidos pelo ponto fixo, este demonstrou não ter havido mudanças bruscas de temperatura neste período. Já no *Transecto 2*, da Mosela ao Quitandinha, foi percorrida a distância de, aproximadamente, 13km em 53 minutos à tarde e 45 minutos à noite, e no *Transecto 3*, foi percorrida a distância de, aproximadamente, 8,5km em 48 minutos no período da tarde e 40 minutos no período noturno. Os pontos de coleta no percurso de cada um deles estão representados nas Figuras 38, 39 e 40.

Figura 38 – Pontos de Coleta – Transecto 1.



1 - Itaipava
Uso: Misto
(residencial e comercial)
Fluxo: Médio



2 - Praça de Nogueira
Uso: Misto
(residencial e comercial)
Fluxo: Médio



3 - Terminal Correias
Uso: Misto
(residencial, comercial e
institucional)
Fluxo: Alto



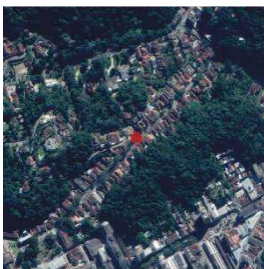
4 - Vila
Uso: Residencial
Fluxo: Baixo



5 - Cascatinha
Uso: Misto
(residencial e comercial)
Fluxo: Médio



6 - Itamarati
Uso: Misto
(comercial e residencial)
Fluxo: Alto



7 - Av. Dom Pedro
Uso: Misto
(residencial e institucional)
Fluxo: Alto



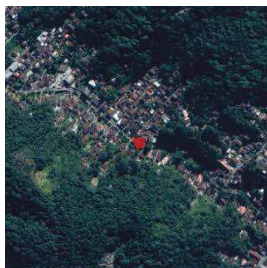
8 - Rua do Imperador
Uso: Misto
(comercial e residencial)
Fluxo: Alto

Fonte: Google Earth, elaborado pela autora.

Figura 39 – Pontos de Coleta – Transecto 2.



1 - Mosela
Uso: Misto
(residencial e comercial)
Fluxo: Médio



2 - Mosela - Rio
Uso: Residencial
Fluxo: Médio



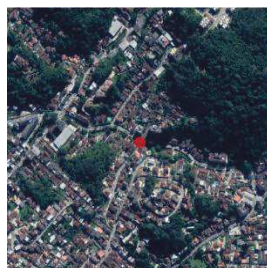
3 - Centro - Câmara
Uso: Misto
(institucional e residencial)
Fluxo: Alto



4 - Rua Teresa
Uso: Comercial
Fluxo: Alto



5 - Alto da Serra
Uso: Misto
(comercial e residencial)
Fluxo: Alto



6 - Castelânea
Uso: Residencial
Fluxo: Médio



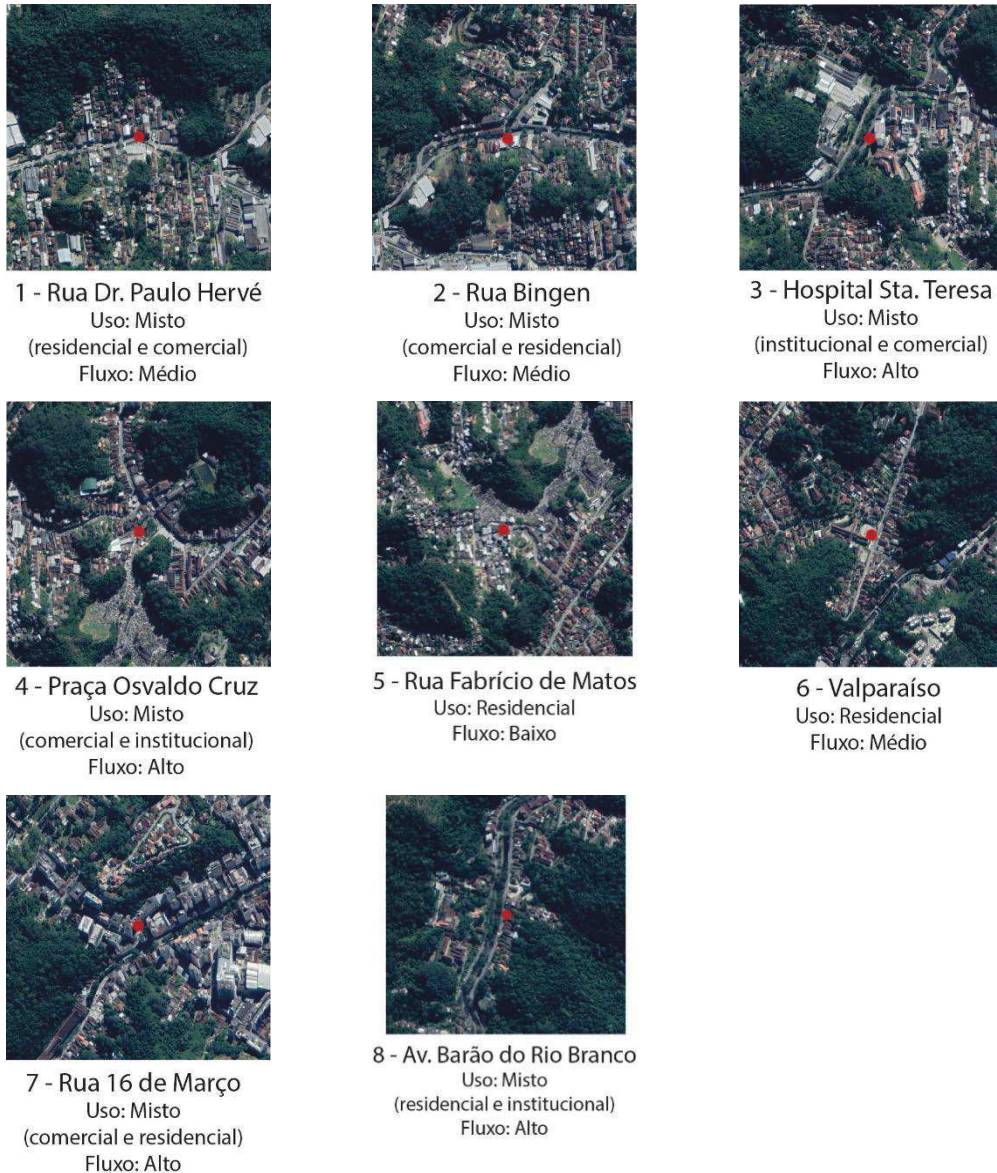
7 - Coronel Veiga
Uso: Misto
(comercia e residencial)
Fluxo: Alto



8 - Quitandinha
Uso: Residencial
Fluxo: Médio

Fonte: Google Earth, elaborado pela autora.

Figura 40 – Pontos de Coleta – Transecto 1.



Fonte: Google Earth, elaborado pela autora.

Os pontos do Transecto 1 estão distribuídos em três distritos do município de Petrópolis: tem seu início no distrito de Itaipava (Ponto 1), passando pelo distrito de Cascatinha (Pontos 2 a 5) e sendo finalizado no distrito de Petrópolis (Pontos 6 a 8). Os pontos do Transecto 2 e 3 estão distribuídos apenas no distrito de Petrópolis. Isso pois, como este distrito é aquele que apresenta maior densidade populacional, possui também maior variedade morfológica e de usos.

Considerando as distinções morfológicas e socioeconômicas, nota-se que o Ponto 1 (Itaipava) encontra-se em uma área na qual predominam edificações e vias urbanas (largas) planejadas e abriga uma população de maior poder aquisitivo, das classes petropolitanas mais abastadas. Os Pontos 2 a 5 (Cascatinha) encontram-se em áreas de características variadas, estando: os Pontos 2 e 3 localizados em uma área na qual as edificações e vias urbanas (de

larguras variáveis) são parcialmente planejadas, conta a presença de alguns condomínios verticais do Programa Minha Casa Minha Vida e abriga uma população, majoritariamente, de classe baixa a média alta; os Pontos 4 e 5 localizados em uma área onde predomina a autoconstrução, as vias urbanas (estreitas) não planejadas e abriga uma população tanto de classe baixa como classe média; o Ponto 6 localiza-se em uma área de características semelhantes aos Pontos 4 e 5, onde predomina a autoconstrução, as vias urbanas são estreitas e abriga uma população de classe baixa a média; os Pontos 7 e 8 encontram-se na área de abrangência do Plano Koeler, nas proximidades do centro histórico da cidade de Petrópolis, mas apresentam, ainda, distinção morfológica e socioeconômica – o Ponto 7 localiza-se em uma área de edificações e vias (de larguras variáveis) planejadas e abriga uma população de maior poder aquisitivo; o Ponto 8 localiza-se no centro comercial da cidade, onde predomina as atividades de serviço e comércio, edificações verticais de características múltiplas, vias planejadas e, quanto às habitações, abriga uma população também de classes mais altas em edificações.

Em relação aos pontos do Transecto 2: os Pontos 1 e 2 estão localizados em uma área na qual as edificações e vias urbanas são parcialmente planejadas e abriga uma população de renda média; os Pontos 3 e 4 encontram-se na área central da cidade, mas, enquanto o Ponto 3 localiza-se no centro histórico, onde predominam edificações (tanto verticais como horizontais) e vias planejadas (de larguras variáveis) e abriga uma população de alta renda, o Ponto 4 localiza-se em uma área comercial onde há o predomínio de edificações autoconstruídas e vias que, embora sejam planejadas, são mais estreitas; o Ponto 5, assim como o 4, localiza-se em uma área comercial onde há o predomínio de edificações autoconstruídas e vias que, embora sejam planejadas, são mais estreitas; o Ponto 6 encontra-se em uma área residencial, onde as edificações e as vias possuem características variáveis quanto ao método de construção e à largura e abriga uma população de classe média e, por fim; os Pontos 7 e 8 localizam-se em uma área onde há o predomínio de edificações e vias planejadas e abriga uma população de média a alta renda.

Em relação aos pontos do Transecto 3, esses se dividem em: Pontos 1 a 3 em áreas nas quais as edificações e vias são parcialmente planejadas e abrigam uma população de classe média a alta, o Ponto 3 destaca-se por encontrar-se numa área onde há uma faculdade e um hospital, o que transforma a sua caracterização morfológica; Ponto 4 localiza-se em uma praça na região central da cidade de uso comercial, onde há poucas edificações residenciais e as vias são parcialmente planejadas; Ponto 5 e 6 localizam-se em áreas residências que se diferenciam de forma que o entorno do Ponto 5 é composto por edificações autoconstruídas, vias não planejadas e abriga população de baixa a média renda, enquanto o entorno do Ponto 6 é

composto por edificações e vias planejadas e abriga uma população de média a alta renda; o Ponto 7 localiza-se na área central da cidade de Petrópolis, em um dos principais trechos comerciais, onde predominam edificações verticais, vias planejadas e abriga uma população de média a alta renda; o Ponto 8 localiza-se em uma área onde as edificações e vias são planejadas, nas proximidades de uma faculdade e do rio Piabanha, e abriga uma população de alta renda.

Para a construção do mapa-base de temperatura do ar, foram definidos os seguintes pesos, considerando a proporcionalidade entre o aumento da temperatura – carga térmica – e a formação e intensificação do clima urbano.

Quadro 10 – Pesos atribuídos à variável Temperatura do ar.

Temperatura	Peso
< 15°C	0,1
15°C < temperatura < 20°C	0,3
20°C < temperatura < 25°C	0,6
25°C < temperatura < 30°C	0,9
30°C < temperatura	1

Fonte: Elaborado pela autora.

h) Validação dos dados de temperatura de superfície

A validação dos dados do mapeamento da temperatura de superfície foi feita por meio da análise comparativa entre esses dados e os dados obtidos nos três transectos realizados. Para isso, foram utilizados os dados de temperatura do ar coletados nos transectos e, para a temperatura de superfície, foram extraídos os valores dos pixels nos quais se localizam os pontos de coleta dos transectos. Essa extração foi feita por meio da conversão do arquivo raster em um arquivo shapefile de pontos, através da ferramenta Raster to point, no ArcGIS 6.1. Assim, para um mesmo ponto, tem-se o valor da temperatura do ar e o valor da temperatura de superfície.

Feita esta validação, foram definidos os pesos a seguir para a construção do mapa-base de temperatura de superfície, seguindo a mesma lógica de distribuição dos pesos utilizada para a temperatura do ar.

Quadro 11– Pesos atribuídos à variável Temperatura de superfície.

Temperatura	Peso
< 15°C	0,1
15°C < temperatura < 20°C	0,3
20°C < temperatura < 25°C	0,6
25°C < temperatura < 30°C	0,9
30°C < temperatura	1

Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.2. Topografia, declividade e orientação de vertentes

O mapa de topografia foi elaborado a partir das curvas de nível, extraídas do banco de dados do INEA, por meio da ferramenta *TIN*. Os mapas de declividade e orientação de vertentes, foram gerados com base no TIN, criado anteriormente, a partir das ferramentas *Slope* e *Aspect*, respectivamente. Para cada um deles, foram definidos os pesos a seguir.

Os pesos dados à topografia – altitude – derivam da noção do gradiente adiabático da atmosfera. Por isso, seguiu-se uma diminuição proporcional entre as classes, até o -1, uma vez que o aumento da altitude representa um potencial mitigador no que se refere ao clima.

Quadro 12 – Pesos atribuídos à variável Topografia.

Topografia - Altitude	Peso
< 100	-0,1
100 < altitude < 500	- 0,2
500 < altitude < 1000	- 0,4
1000 < altitude < 1500	- 0,6
1500 < altitude < 2000	- 0,8
2000 < altitude	- 1

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a declividade seguiu-se a lógica apresentada por Ferreira *et al.* (2017) ao combinar os dados de declividade e vegetação “pois o efeito da declividade para melhoria da circulação local do ar só é considerado efetivo quando as áreas são cobertas por vegetação” (p. 264). Assim como para a topografia, os pesos negativos foram dados considerando o potencial mitigador da variável declividade somada à vegetação.

Quadro 13 – Pesos atribuídos à variável Declividade.

Declividade	Com cobertura vegetal?	Peso
qualquer	Não	-0,1
0 < declividade < 10	Sim	-0,3
10 < declividade < 25	Sim	-0,5
25 < declividade < 45	Sim	-0,5
declividade < 45	Sim	-1

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à orientação de vertentes, de acordo com a trajetória aparente do Sol, aquelas vertentes voltadas para leste recebem maior quantidade de radiação no período da manhã, já as vertentes voltadas para oeste recebem maior quantidade de radiação no período da tarde. Considerando que Petrópolis localiza-se no Hemisfério Sul, compreende-se, também com base na trajetória aparente do sol, que as vertentes voltadas para Norte recebem maior índice de

radiação se comparadas com as demais orientações e, o inverso ocorre naquelas orientadas para Sul. Por isso, o peso dado a essas vertentes foi maior. É válido, ainda, ressaltar que, diferenciando da topografia e da declividade, para a variável orientação de vertentes foram atribuídos pesos positivos ao passo que apresentam-se como um potencializador dos efeitos do clima urbano, sobretudo, para o aumento da carga térmica.

Quadro 14 – Pesos atribuídos à variável Orientação de vertentes.

Orientação	Peso
<i>sul</i>	0,2
<i>leste</i>	0,2
<i>oeste</i>	0,2
<i>norte</i>	1

Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.3. Vegetação

O mapeamento de áreas verdes foi feito com base em dados secundários, extraídos do banco de dados do INEA. A atribuição dos pesos foi feita, por sua vez, a partir do entendimento de que a vegetação desempenha importante função mitigadora no contexto do clima urbano, proporcionando o aumento da umidade relativa do ar e diminuição das temperaturas. Sendo assim, os pesos variam de 1 – quando não há vegetação e, por consequência, são áreas onde há ausência dos seus efeitos mitigadores – até -1, para áreas vegetadas.

Quadro 15 – Pesos atribuídos à variável Vegetação.

Presença de vegetação	Peso
<i>não</i>	1
<i>sim</i>	-1

Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.4. Rugosidade

Para o segundo, foram analisados e demarcados os possíveis caminhos percorridos pelos ventos, considerando a conformação do relevo e a morfologia urbana. Os ventos proporcionam o aumento do potencial dinâmico e, por esse motivo, desempenham também uma função mitigadora. Então, os pesos foram distribuídos entre o “sim”, onde há passagem de ventos locais e, como consequência, o aumento do potencial dinâmico, e o “não”, para áreas onde há a ausência de corredores de ventos.

Quadro 16 – Pesos atribuídos à variável Rugosidade.

Fluxo de ventos	Peso
<i>não</i>	0,5
<i>sim</i>	-1

Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.5. Precipitação

O mapeamento da precipitação foi elaborado com base em dados secundários, obtidos no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Utilizou-se as médias mensais históricas, de 2009 a 2019. Sua espacialização será feita por meio da interpolação de dados, pelo método da *krigagem*, o que se explica por apresentar um melhor desempenho para a espacialização da precipitação quando comparadas com outras técnicas geoestatísticas (OLIVEIRA et al., 2019). Os pesos definidos estão apresentados no Quadro 17. A precipitação representa uma potencial diminuição da carga térmica e aumento do potencial dinâmico, o que explica os pesos dados, que variam entre o “sim” e o “não”. Quando há precipitação, atribuiu-se um peso negativo, já que seu potencial é mitigador. Quando não há, atribuiu-se o peso 1, considerando a ausência deste potencial.

Quadro 17 – Pesos atribuídos à variável Precipitação.

Precipitação	Peso
<i>não</i>	1
<i>sim</i>	-1

Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.6. Uso e ocupação do solo e edificações

Os mapeamentos de uso do solo, ocupação do solo e edificações foram classificados considerando cada unidade setorial do Censo Demográfico (IBGE, 2010), a partir das quais foi encontrado um valor predominante para cada uma das variáveis socioambientais analisadas. A imagem utilizada para a classificação foi extraída do Google Earth. A escolha deveu-se à disponibilidade – gratuita – da imagem em alta resolução.

O mapa-base de uso e ocupação do solo, foram feitos de acordo com as classes definidas no Plano Diretor de Petrópolis, adaptadas com base no objetivo deste trabalho. A saber: residencial, comercial, serviços, misto, público e religioso. Os pesos considerados para a elaboração do mapa-base foram:

Quadro 18 – Pesos atribuídos à variável Uso e ocupação do solo.

Uso e ocupação	Peso
<i>residencial</i>	0,4
<i>público / institucional</i>	0,3
<i>comércio / serviços</i>	1
<i>misto</i>	1

Fonte: Elaborado pela autora.

O uso e ocupação define os fluxos, tanto de pessoas quanto de veículos, em cada uma das áreas. Os fluxos, por sua parte, apresentam-se como potencializadores da carga térmica, ao passo que há certa produção de calor a depender das atividades desenvolvidas. Por esse motivo, os pesos foram atribuídos por meio da ponderação entre as atividades desenvolvidas em cada uma das classes e sua capacidade potencializadora.

Por fim, o mapa-base de edificações foi elaborado com base no número de gabaritos predominante em cada setor censitário urbano. Os pesos definidos para a elaboração do mapa-base constam na Tabela X. Considerou-se, para a atribuição dos pesos, que o aumento do número de gabaritos representa o aumento da massa construída e, por consequência, o incremento da carga térmica e diminuição do potencial dinâmico. Assim, entre as classes estabeleceu-se um aumento proporcional desde 1 gabarito até 5 (ou mais).

Quadro 19 – Pesos atribuídos à variável Edificações.

Gabarito	Peso
1	0,2
2	0,4
3	0,6
4	0,8
5 ou +	1

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2. A construção do mapa de recomendação climática – UCReMap

No que se refere à construção do segundo componente do UCMap – o mapa de recomendação climática, UC-ReMap –, esse foi gerado com base nos climatopos, anteriormente definidos. Para cada climatopo serão formulados alguns direcionamentos ao planejamento urbano, com base nos parâmetros urbanísticos estipulados pela regulamentação da cidade de Petrópolis, sobretudo, a partir do Plano Diretor e da Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do solo. Essas recomendações, no entanto, somente podem ser definidas já de posse do primeiro mapa – de análise climática.

Sobre o UC-ReMap é importante ainda compreender que as considerações aqui feitas possuem caráter introdutório, considerando que “O UC-ReMap com instruções de planejamento relevantes é o resultado da comunicação entre climatologistas, meteorologistas, planejadores e governadores locais” (REN *et al.*, p. 2224, tradução minha) e esse diálogo ultrapassa o âmbito acadêmico, no qual se insere este estudo.

5. O UC-MAP: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em busca de discutir os resultados de cada uma das etapas metodológicas, este capítulo será dividido em três grandes partes. A primeira, subdividida em tópicos, refere-se à análise das variáveis socioambientais estudadas. Em cada um destes tópicos estarão expostos os mapas-base em seus valores brutos e pós-reclassificação, feita a partir dos pesos dados. Uma segunda parte será destinada à apresentação e discussão do Mapa de Análise Climática (UC-AnMap). Por fim, na última parte será designada ao Mapa de Recomendação Climática (UC-ReMap) sua análise e argumentação.

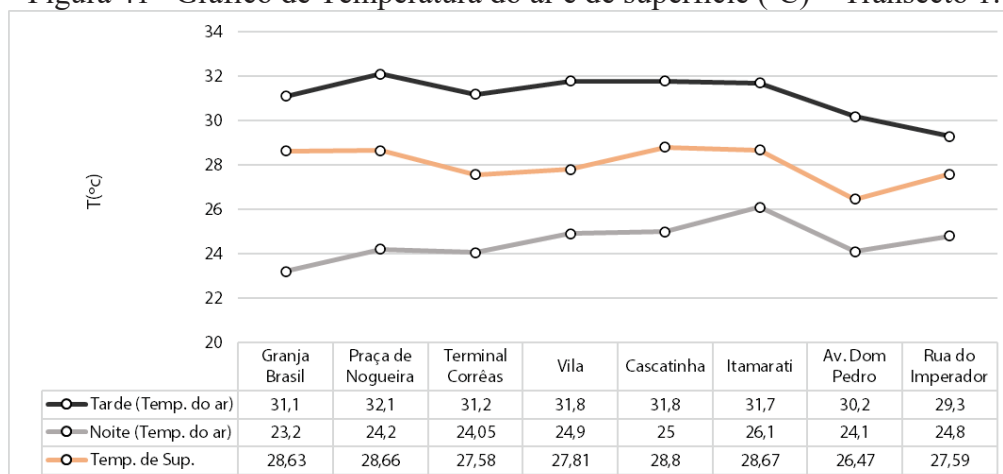
5.1. As variáveis socioambientais

5.1.1. Temperaturas do ar e de superfície

Em princípio, é preciso considerar que os valores de temperatura de superfície e de temperatura do ar referem-se a horários diferentes, o que provavelmente ocasiona uma diferença térmica entre ambos. Além disso, a temperatura de superfície consiste no dado térmico dos alvos, resultante de suas propriedades físicas, enquanto a temperatura do ar consiste na temperatura atmosférica, passível de influência de uma série de outros fatores que não atuam diretamente sobre a temperatura superficial, como o sítio urbano, os ventos, altimetria, entre outros. Weng (2003), sobre essa diferença, destaca que a temperatura de superfície apresenta, normalmente, valores mais elevados se comparados com a temperatura do ar.

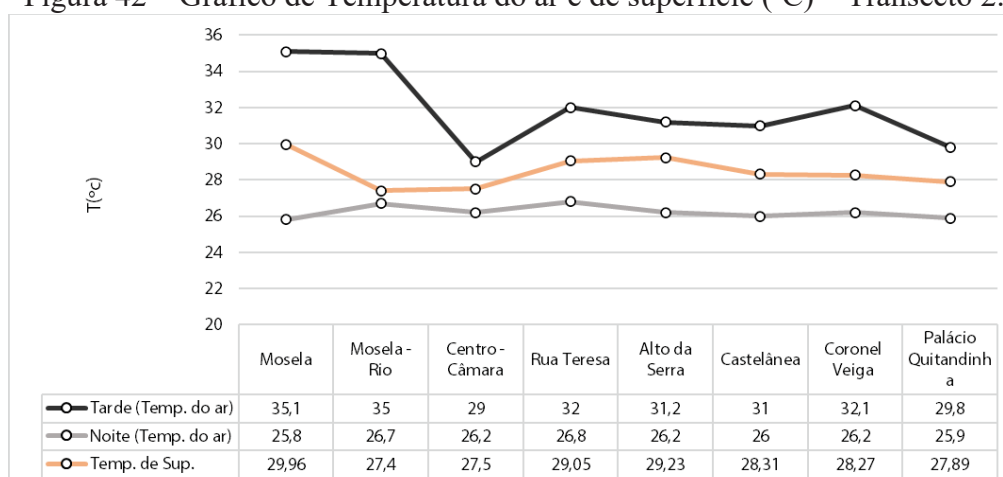
A variação dos dados obtidos para cada ponto consta nos gráficos da Figuras 41 a 43.

Figura 41– Gráfico de Temperatura do ar e de superfície (°C) – Transecto 1.



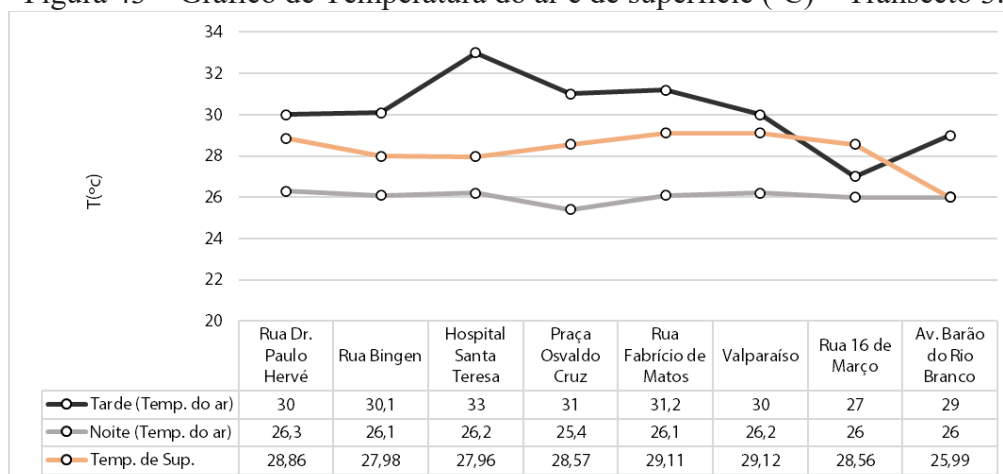
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42 – Gráfico de Temperatura do ar e de superfície (°C) – Transecto 2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 43 – Gráfico de Temperatura do ar e de superfície (°C) – Transecto 3.



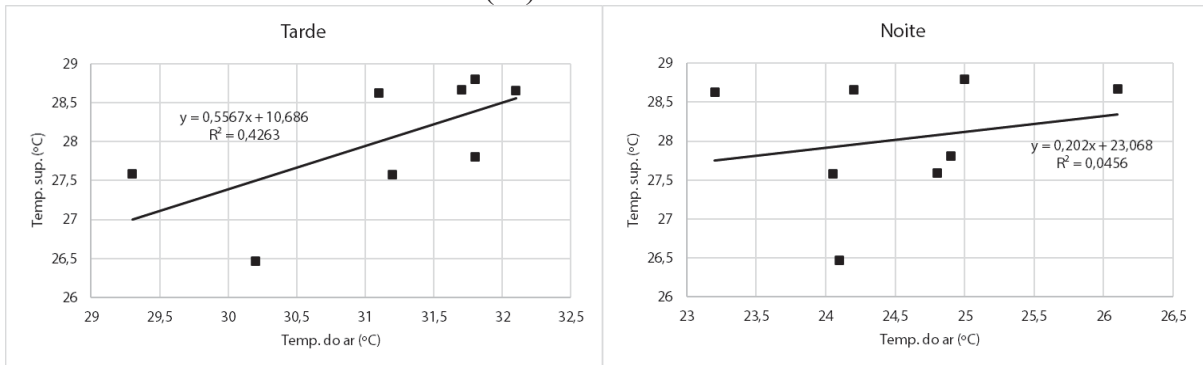
Fonte: Elaborado pela autora.

A partir deles, é possível notar que os dados de temperatura de superfície, assim como a sua curva de variação, aproximam-se mais dos dados e da curva de variação da temperatura do ar no turno da noite. É importante salientar que a noite é o período no qual, sem o recebimento da radiação de ondas curtas (solar), há o predomínio da emissão da radiação de ondas longas, proveniente da superfície terrestre (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2009).

Ademais, analisou-se os gráficos de dispersão, dispostos a seguir na Figuras 41, 42 e 43, e os coeficientes de determinação (R^2) e de correlação (r), dispostos no Quadro 9. O coeficiente de determinação (R^2) demonstra a qualidade de um modelo estatístico linear generalizado, ou seja, o quanto o modelo é capaz de explicar a série de dados ou o quanto uma variável é dependente da outra. O R^2 varia entre 0 e 1, de maneira que quanto mais próximo de 1 mais explicativo é o modelo e maior é a dependência entre as variáveis. Já o coeficiente de correlação de Pearson (r) – ou correlação linear – demonstra o grau de relação entre as variáveis, num intervalo de variação entre -1 e 1, de forma que valores positivos demonstram uma

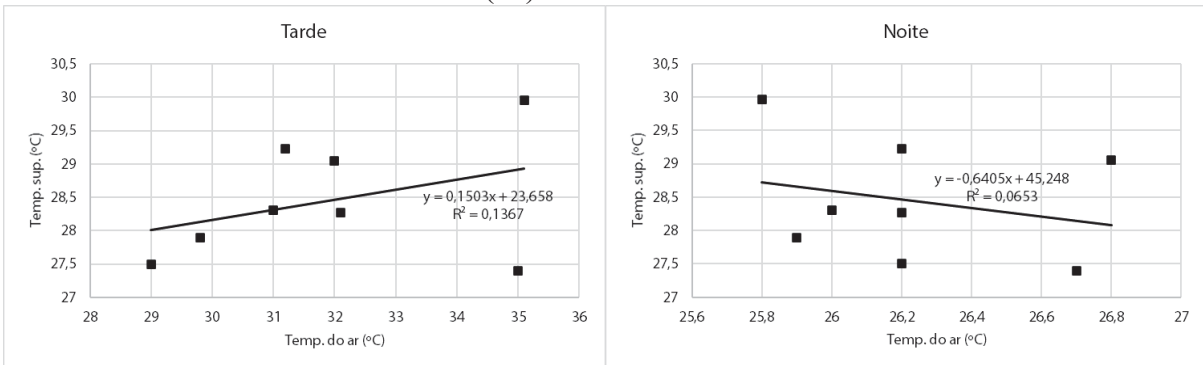
correlação linear positiva, ou seja, as variáveis são diretamente proporcionais, e valores negativos demonstram uma correlação linear negativa, ou seja, as variáveis são inversamente proporcionais. Quanto mais próximo dos valores máximo -1 e 1 - mais forte é a correlação entre as variáveis e quanto mais próximo de 0 indica que não há relação entre as variáveis analisadas

Figura 44 – Gráfico de dispersão da temperatura do ar em função da temperatura de superfície (°C) – Transecto 1.



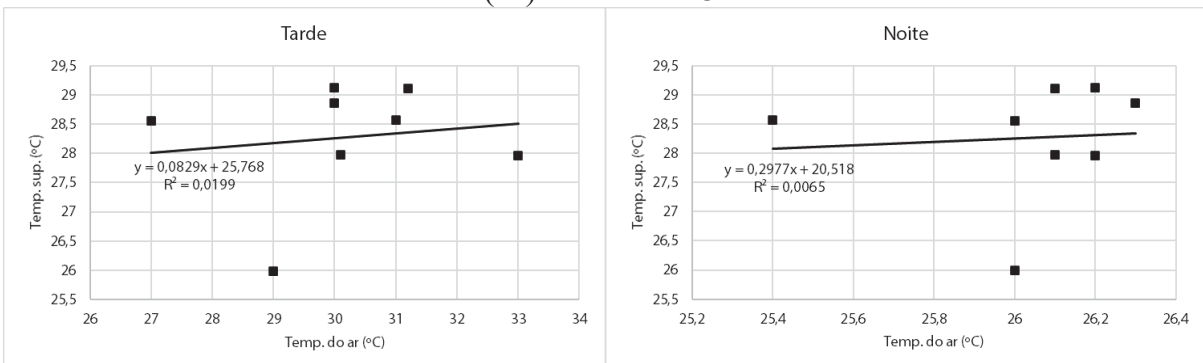
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 45 – Gráfico de dispersão da temperatura do ar em função da temperatura de superfície (°C) – Transecto 2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 46 – Gráfico de dispersão da temperatura do ar em função da temperatura de superfície (°C) – Transecto 3.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 19 – Coeficientes de correlação (r) e determinação (R²) – Temperatura de superfície e temperatura do ar.

	Transecto 1		Transecto 2		Transecto 3	
Turno	r	R ²	r	R ²	r	R ²
Tarde	0,653	0,4263	0,370	0,1367	0,141	0,020
Noite	0,214	0,0456	0,256	0,0653	0,081	0,0065

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que as variáveis apresentaram correlação linear positiva em todos os transectos e turnos, o que atesta a proporcionalidade direta entre a temperatura do ar e a temperatura de superfície. Porém, a correlação encontrada entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar não foi forte em nenhum dos transectos realizados no período do verão, tanto para o turno da tarde quanto para o turno da noite. Os maiores coeficientes foram encontrados a partir dos dados do Transecto 1 e do Transecto 2: no turno da tarde o maior foi encontrado no Transecto 1 (0,653), seguido pelo Transecto 2 (0,37); no turno da noite o maior foi encontrado no Transecto 2 (0,25), seguido pelo Transecto 1 (0,21). Essa constatação corrobora com o fato de que existe uma série de outros fatores, que não apenas as propriedades físicas dos materiais construtivos, que interferem e condicionam as temperaturas do ar em partes distintas da cidade.

Figura 47 - Temperatura do ar

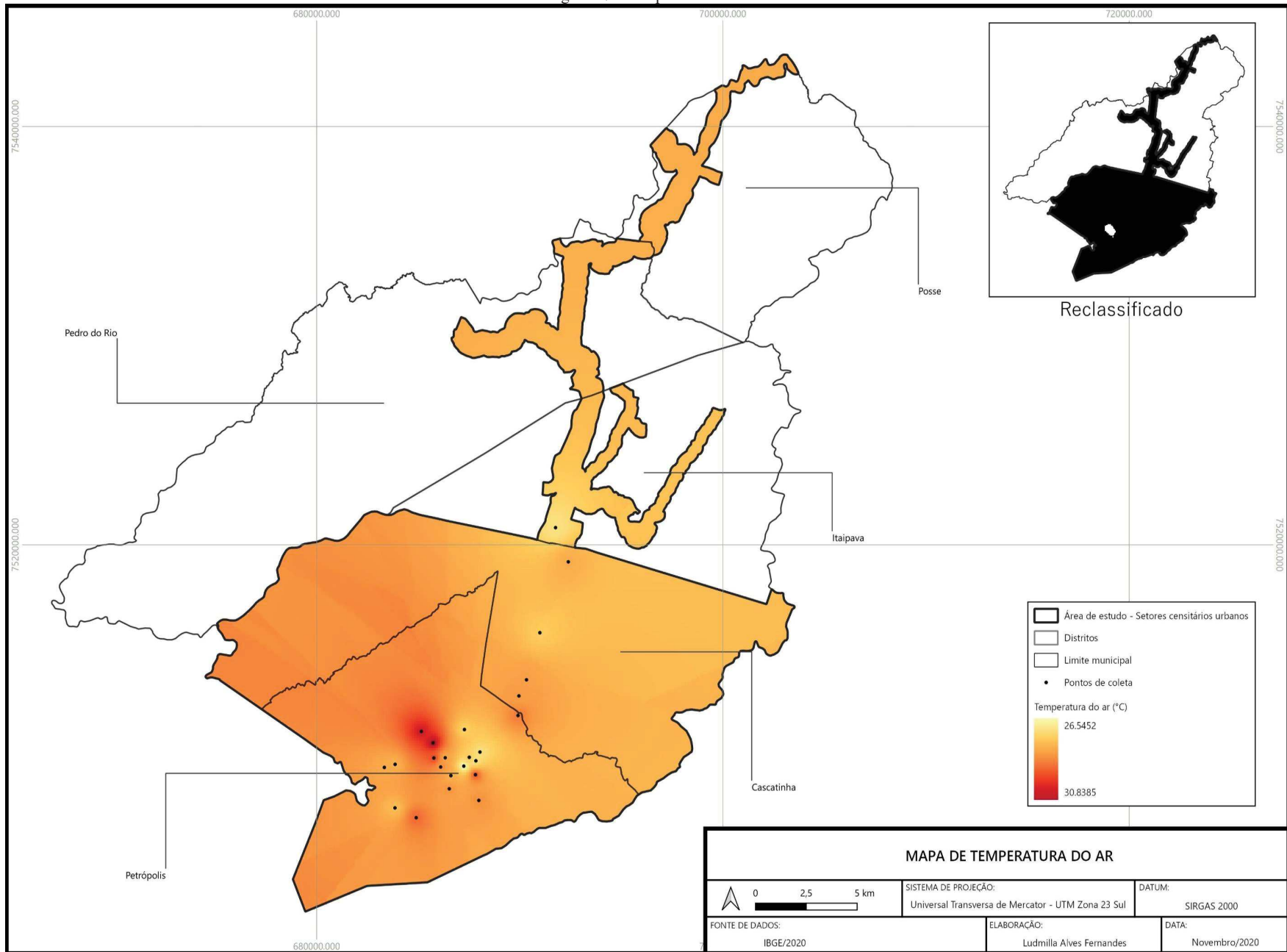
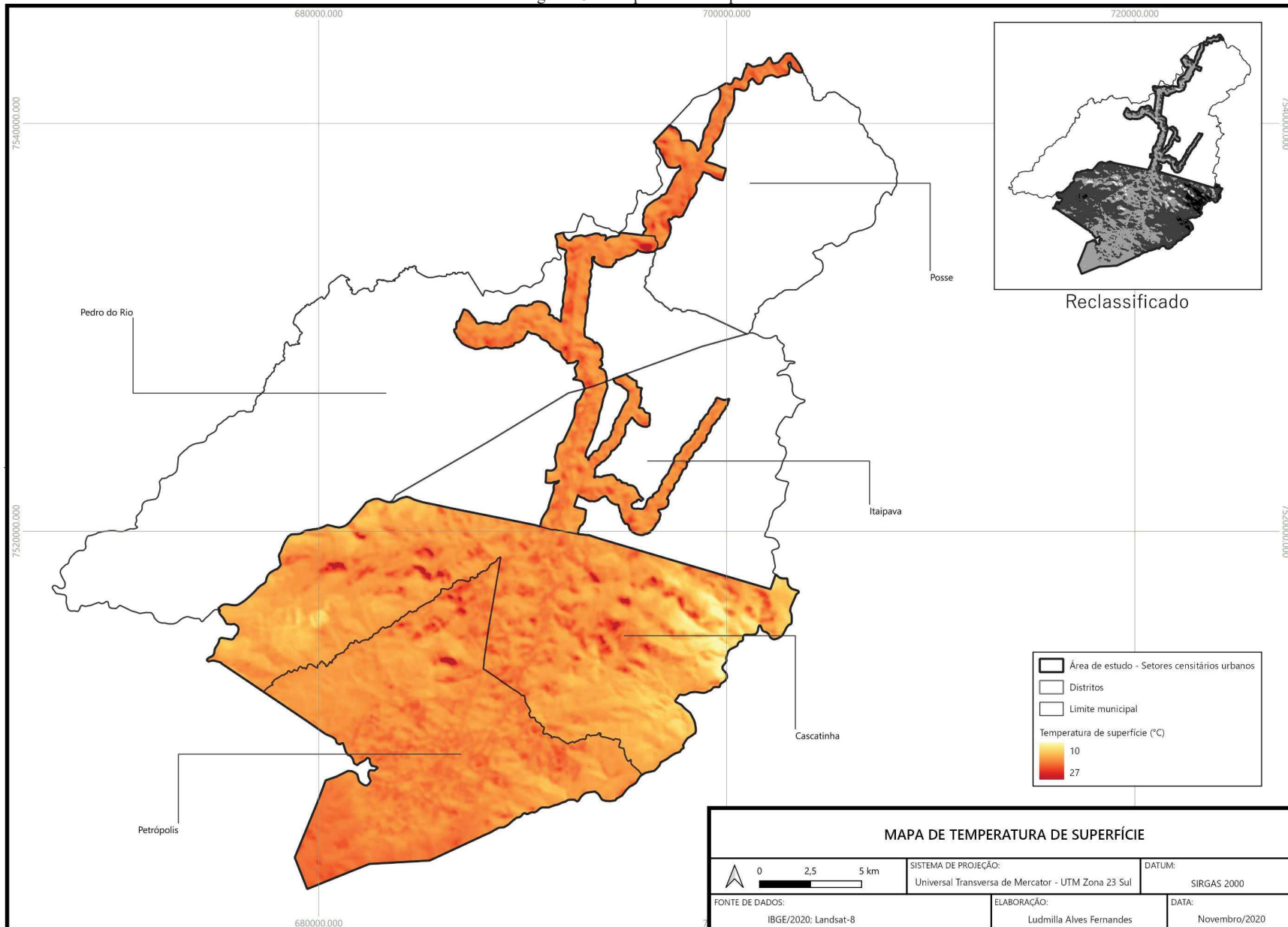


Figura 48 - Temperatura de superfície



5.1.2. Precipitação

As chuvas constantes são uma realidade petropolitana. Hack *et al.* (2013) destacam que “a dinâmica atmosférica regional associa-se a elevada topografia local provocando o aumento da turbulência do ar, o que resulta em uma boa frequência de chuvas durante a maior parte do ano, principalmente a barlavento do relevo.” (p. 2). Sobre a sua distribuição anual, Tavares e Ferreira (2020) demonstram que “as chuvas na cidade de Petrópolis concentram-se de outubro a março apresentando maior intensidade no mês de dezembro quando o total pluviométrico chega a 316 mm (15% chuvas anuais)” (p. 761), no entanto, nos meses menos úmidos, o total pluviométrico mantém-se acima de 36mm, o que caracteriza o clima da cidade como mesotérmico úmido (NIMER, 1989).

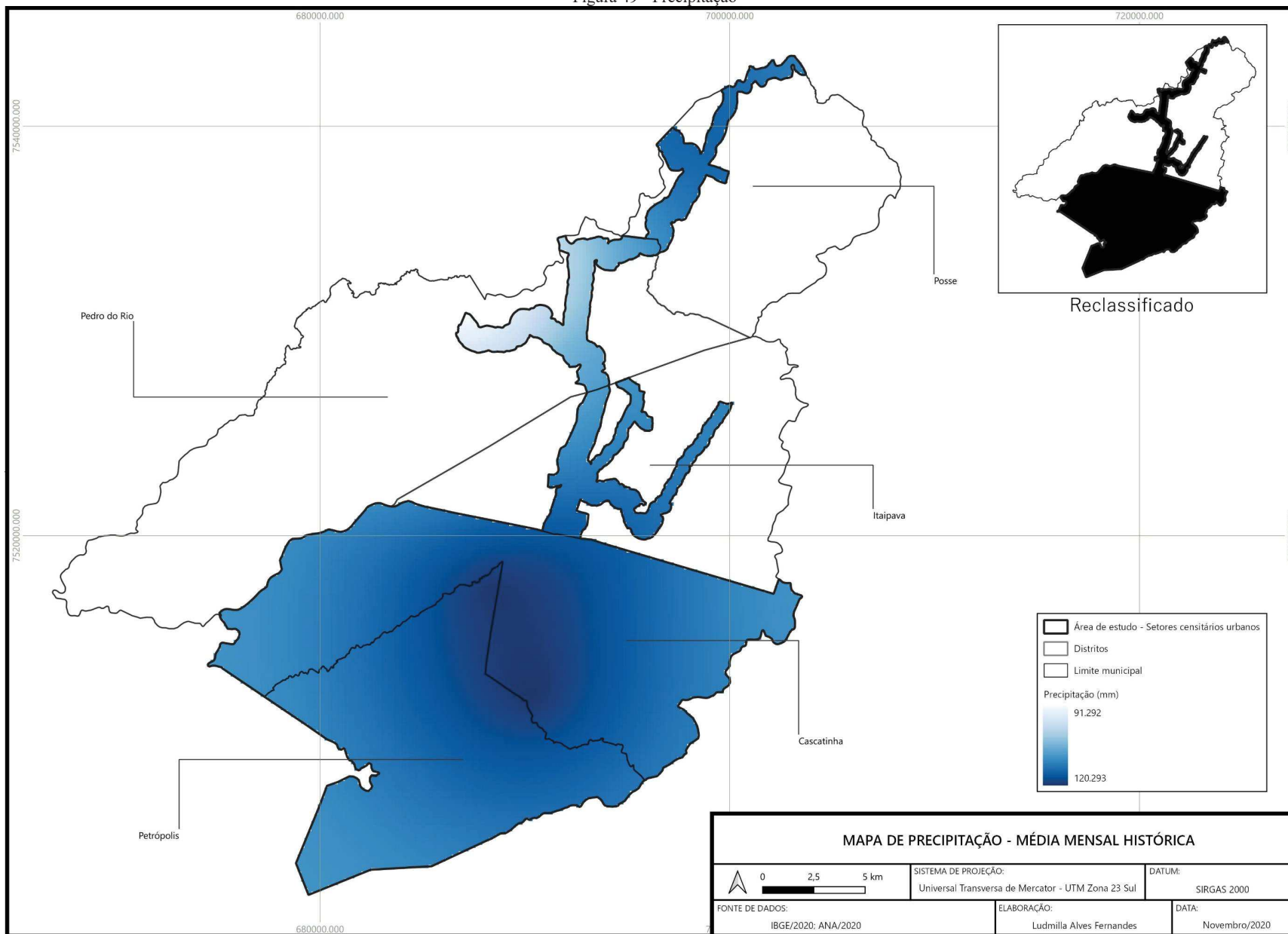
A cidade de Petrópolis está, na maior parte do ano sob influência do Sistema Tropical Atlântico e da atuação de frentes frias, resultantes do encontro dos sistemas Tropical Atlântico e Polar Atlântico. Por esse motivo, observa-se certa homogeneidade das chuvas ao analisar sua espacialidade (Figura 50). Nota-se, no entanto, que há uma concentração de chuvas na área que abrange parte do distrito-sede e Cascatinha, o que é explicado pela própria conformação do relevo, que aprisiona a umidade, chegada a partir do vale do rio Palatinato e internalizada pelos estreitos corredores compostos pelos cursos d’água e seu entorno imediato.

É preciso considerar o impacto da precipitação na conformação de um clima tipicamente urbano ao passo que a precipitação ora pode ser fruto do aquecimento da atmosfera e consequente produção de nuvens, ora pode interferir na temperatura do ar, da superfície, na umidade relativa do ar, na direção dos ventos, na pressão atmosférica, etc. O segundo caso é mais recorrente em Petrópolis, onde destacam-se as chuvas orográficas e frontais sobre as chuvas convectivas.

Para ilustrar a importância de considerar a precipitação em qualquer análise sobre o clima urbano de Petrópolis foram analisados os dados de dias com chuva, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) para as estações que localizam-se na área de estudo aqui considerada. São elas: Itamarati-SE (código: 2243010), Rio da Cidade (código: 2243011) e Pedro do Rio (código: 2243012). Nos últimos dez anos (2009-2019¹⁴), na estação Itamarati-SE observa-se uma média de 114 dias (31,23%) com chuva por ano, já a estação Rio da Cidade apresentou uma média de 140,7 dias (38,54%) com chuva por ano. Já a estação Pedro do Rio, por possuir medições apenas a partir do ano de 2015, apresentou uma média de 52,9 dias (14,49%) com chuva por ano. Em outras palavras, nota-se que ao menos 1/3 (um terço) do total de dias ao ano chove em Petrópolis.

¹⁴ Considerou-se esse recorte temporal, apenas até o ano de 2019, devido à indisponibilidade dos dados completos do ano de 2020.

Figura 49 - Precipitação

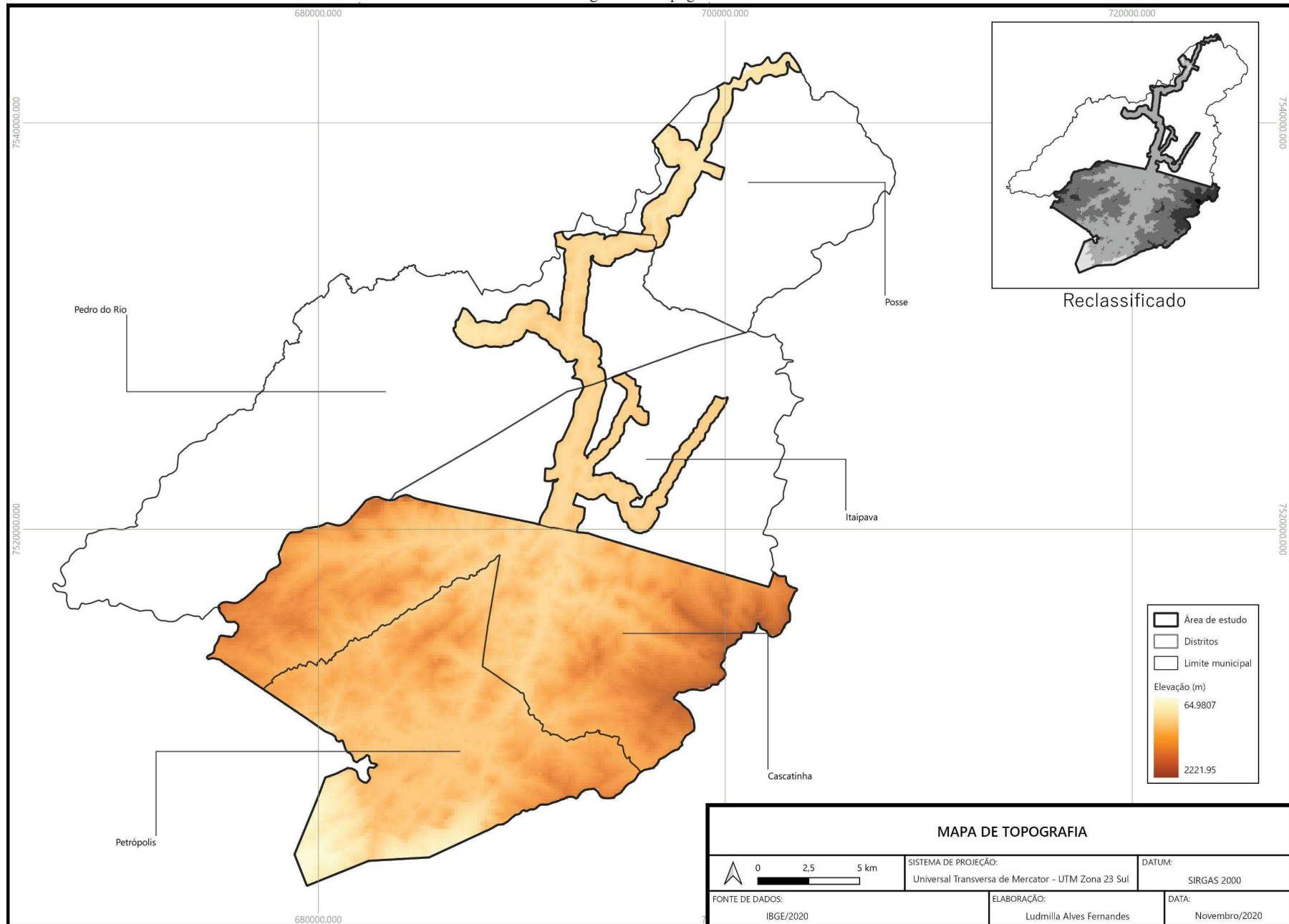


5.1.3. Topografia – Altitude

A variação topográfica da área de estudo está representada na Figura 50. A ocupação da cidade, desde o Plano Koeler, se dá de maneira majoritária nas porções mais baixas do relevo, nas proximidades com os principais rios que cortam a cidade, estabelecendo-se em forma tentacular. Essa ocupação, no entanto, expande-se para as porções mais elevadas – e declivosas – a partir do incremento populacional não precedido de planejamento urbano, tal como demonstrado na caracterização da área de estudo.

Através do mapa topográfico, é possível notar que o traçado da ocupação urbana da cidade possui também um impeditivo físico no que se refere a sua expansão. Isso porque as áreas mais elevadas da superfície são compostas tanto por vegetação quanto por afloramentos rochosos. Na área de estudo, as áreas mais elevadas encontram-se nos distritos Sede (Petrópolis) e Cascatinha. Nos demais (Itaipava, Posse e Pedro do Rio), as áreas consideradas urbanas (IBGE, 2010) estão assentadas nas bordas da Estrada União e Indústria e demais vias que cortam o município. Tendo essas vias de acesso sido construídas no entorno dos rios, pela facilidade oferecida pelo relevo e para obtenção de água, localizam-se em áreas mais aplanadas e de menor altimetria.

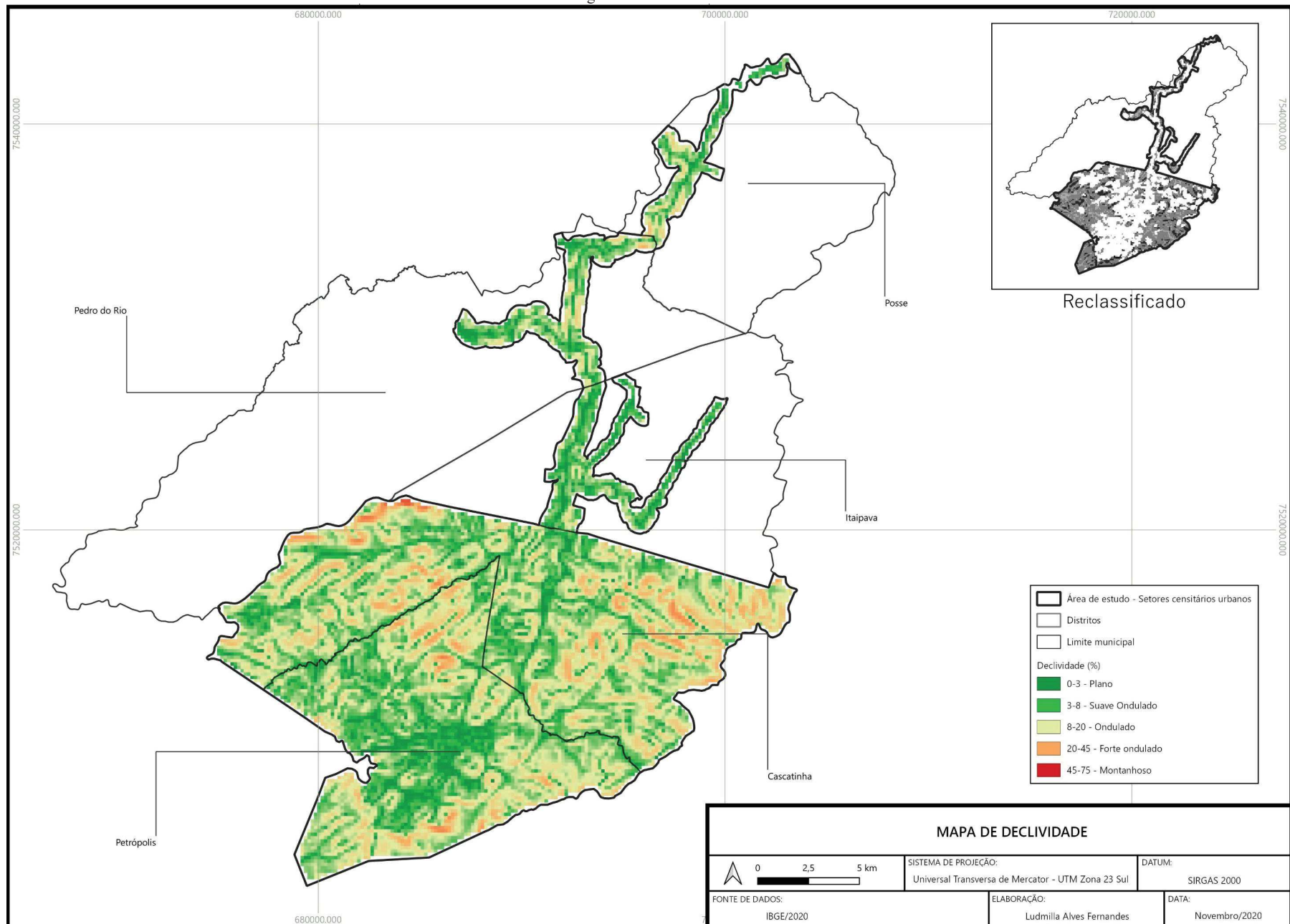
Figura 50 - Topografia



5.1.4. Declividade

A declividade da área de estudo pode ser observada na Figura 51. Processo de ocupação semelhante àquele descrito quanto às áreas mais elevadas do relevo ocorre quando analisa-se a declividade. A história de ocupação da cidade de Petrópolis teve início nas áreas menos declivosas e, posteriormente, passa a se expandir para as vertentes mais declivosas, criando e/ou intensificando o risco ambiental, já que estas caracterizam-se como áreas vulneráveis a movimentos de massa, por exemplo. De acordo com o mapeamento, a área urbana da cidade possui vertentes com declividade de 0% a 62,8%. Assim como demonstrado para a topografia e pelo mesmo motivo, as áreas mais declivosas encontram-se nos distritos Sede e Cascatinha.

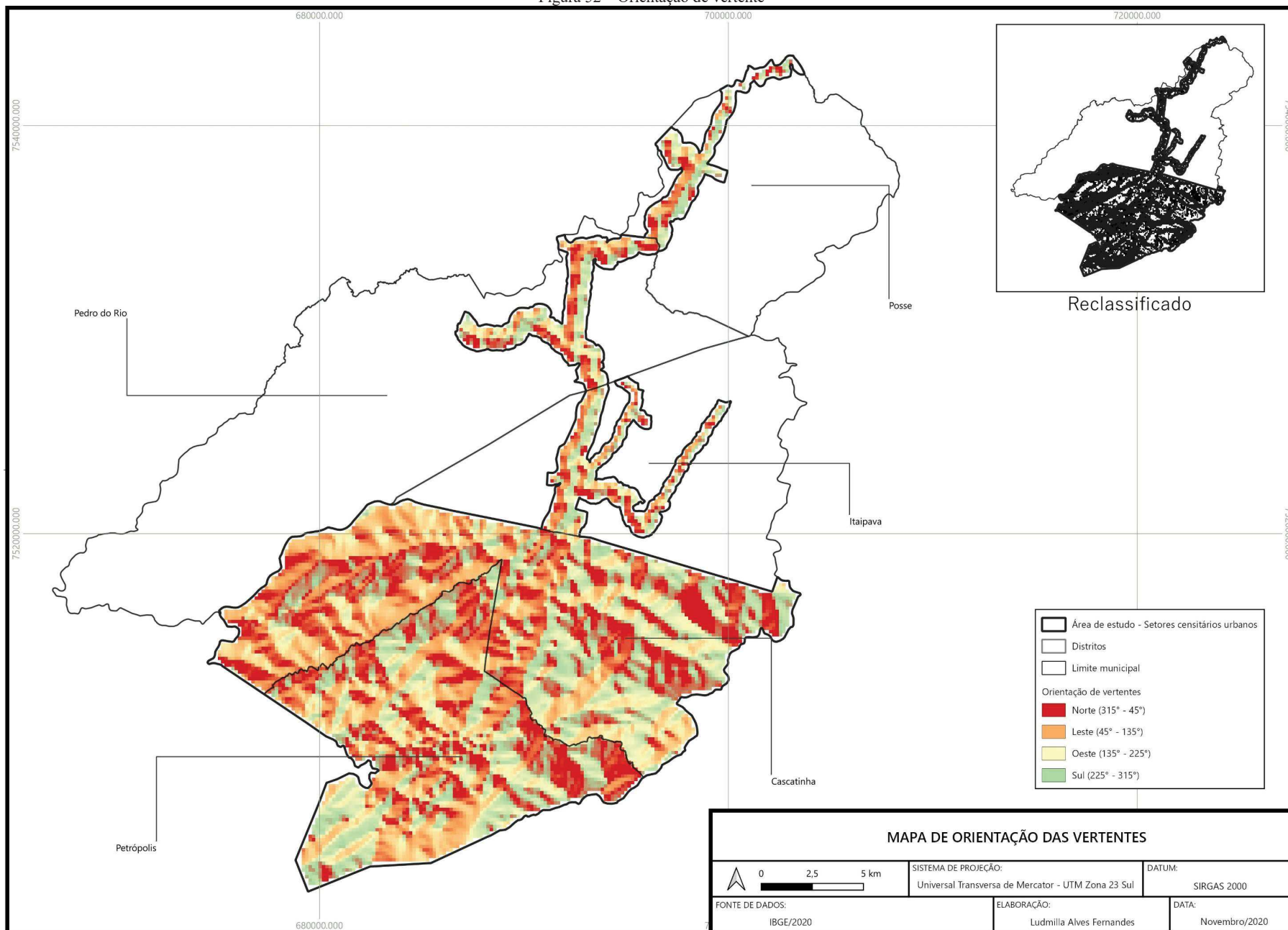
Figura 21 - Declividade



5.1.5. Orientação de vertentes

Quanto à orientação de vertentes, representada no mapa da Figura 52, observa-se que grande parte das vertentes da área de estudo estão voltadas para Leste e Oeste e em menor número para Norte e Sul. Por consequência, nota-se também que grande parte das vertentes da área de estudo recebem radiação solar mais intensamente apenas no período da manhã ou apenas no período da tarde, o que, possivelmente, traz implicações para conformação da carga térmica, uma vez que as áreas são sombreadas de maneira distinta durante um dia.

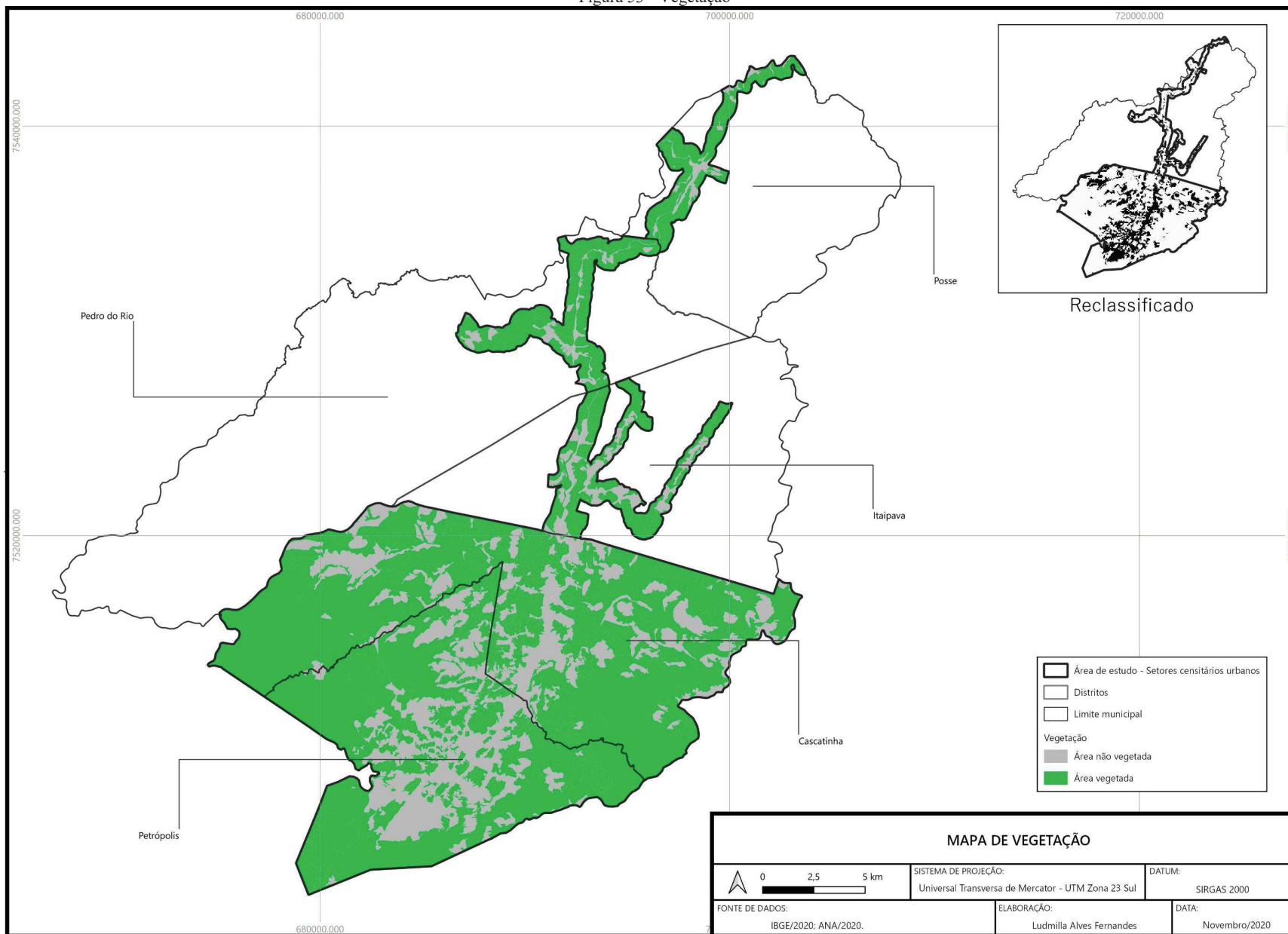
Figura 52 – Orientação de vertente



5.1.6. Vegetação

No que tange a cobertura vegetal, observa-se por meio do mapa da Figura 53 que a área de estudo tem extensas porções compostas por vegetação, seja por floresta ou campo. Essa característica é derivada tanto da dificuldade de ocupação das áreas, considerando que localizam-se, em grande parte, nas áreas mais elevadas e declivosas do relevo, quanto das medidas protetivas, sobretudo, da APA Petrópolis. Mesmo no distrito-sede e no Cascatinha, onde há maior ocupação, é possível encontrar parcelas significativas vegetadas, o que confere à cidade um clima mais ameno – com menor temperatura e maior umidade relativa do ar. Sobre essas parcelas vegetadas, no entanto, é importante ressaltar que, embora significativas do ponto de vista climático, o intenso processo de ocupação das encostas petropolitanas outrora vegetadas e seu consequente desmatamento apresenta-se como um importante fator de desestabilização das encostas, uma vez destruída a proteção natural contra os processos erosivos e os movimentos de massa catastróficos (GUERRA *et al.*, 2007).

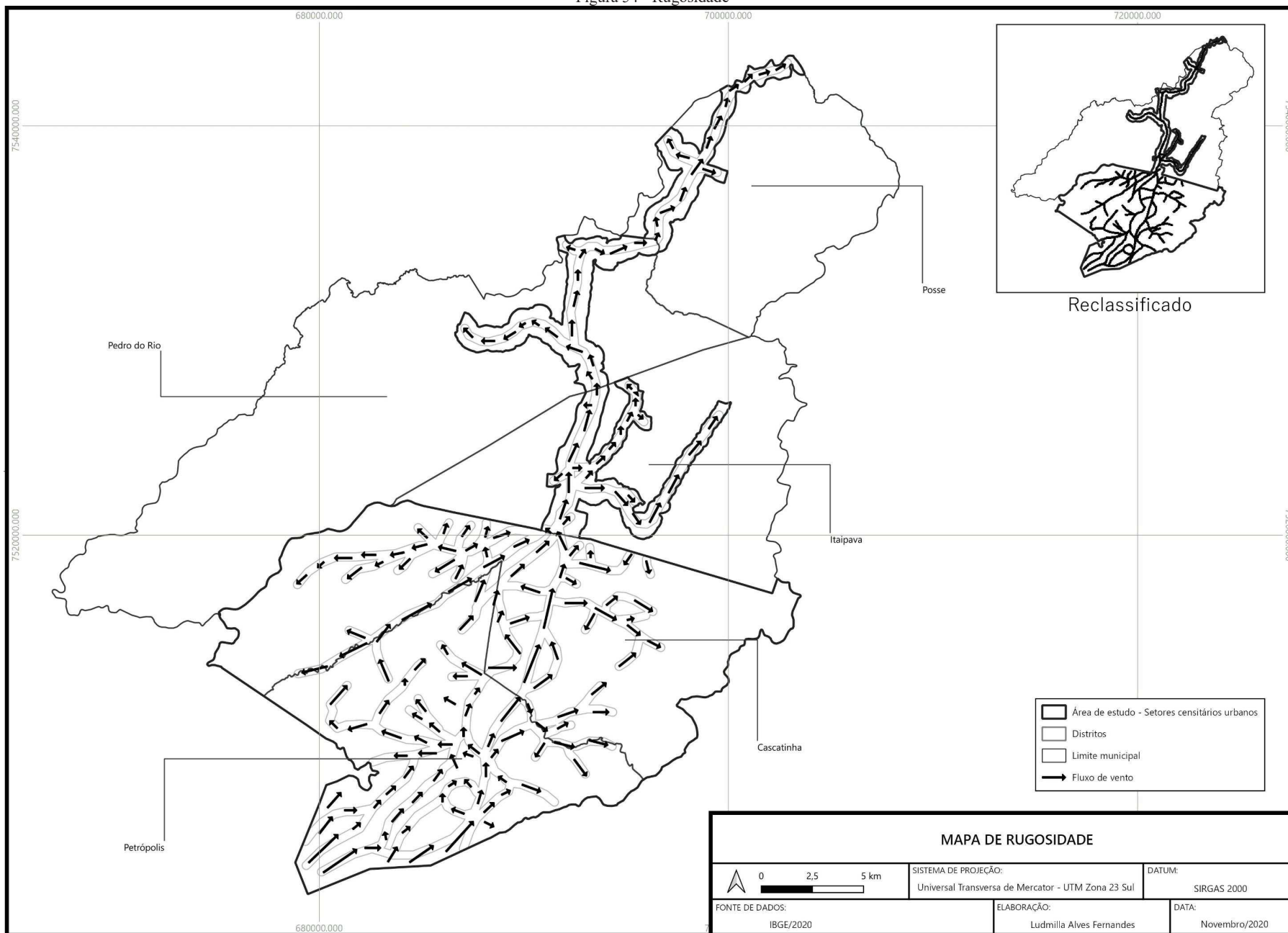
Figura 53 - Vegetação



5.1.7. Rugosidade – Ventos

O mapa de rugosidade demonstra os possíveis caminhos dos ventos que adentram a cidade de Petrópolis. Sobral *et al.* (2018), em uma análise da direção predominante do vento a partir da estação meteorológica do Pico do Couto, demonstram que o padrão de vento não é regular. Assumpção (2015), com base em Canedo (2011) apresenta ainda que há três entradas diferentes: “a primeira, pelo sul no vale do rio Palatino; a segunda, pelo sudoeste no vale dos rios Quitandinha e Piabanha; e, a terceira pelo leste no vale do rio Itamarati”, coincidindo com as partes mais baixas do relevo. Pelo mapa da Figura 54, é possível observar esses trajetos, que adentram pelo distrito-sede e seguem a linearidade dos cursos d’água e vias nos distritos de Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio e Posse.

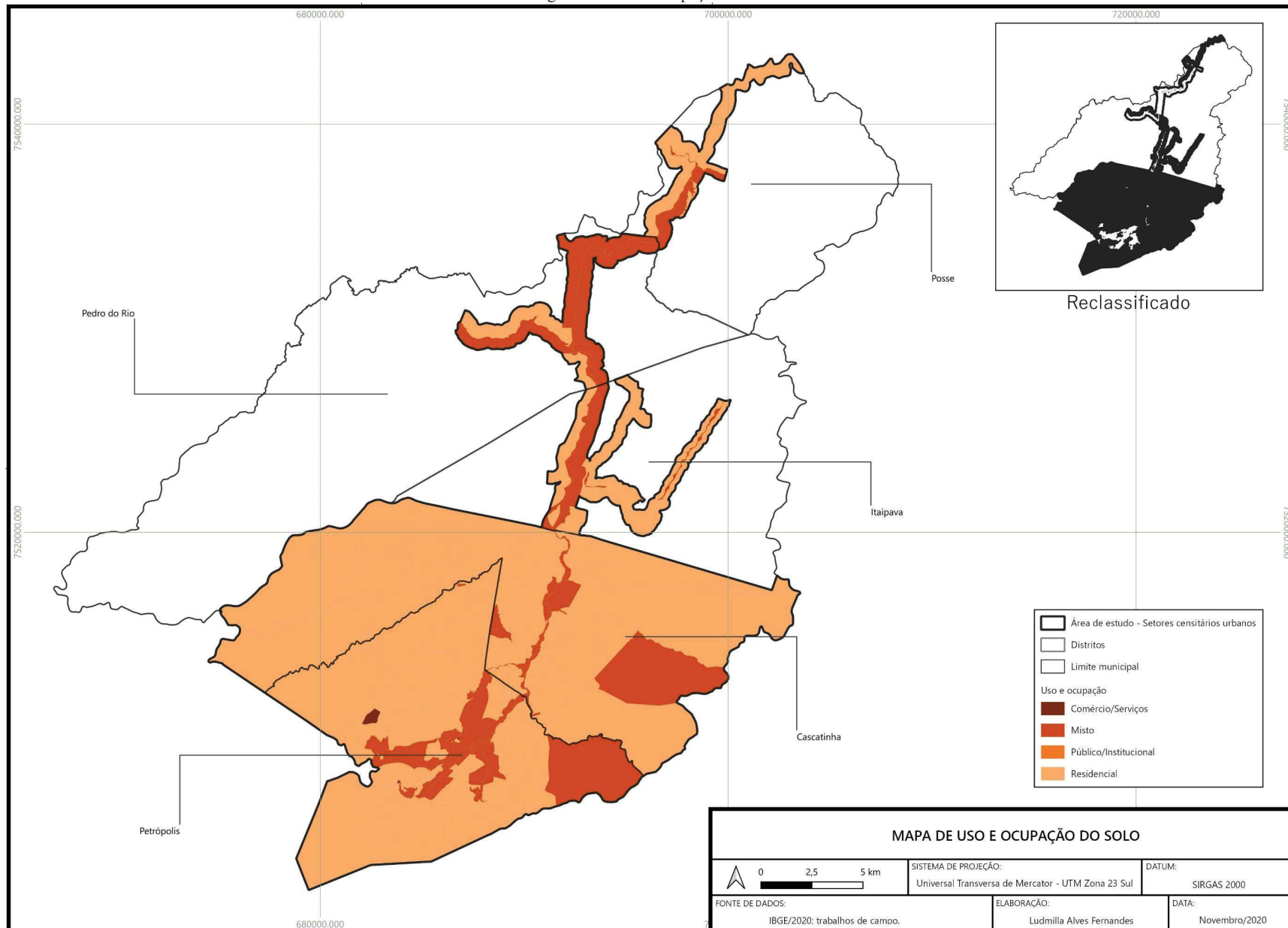
Figura 54 - Rugosidade



5.1.8. Uso e ocupação do solo

Por meio do mapa de uso e ocupação do solo é possível observar a predominância do uso residencial na cidade de Petrópolis, seguido pelo uso misto – quando há mais de uma tipologia de uso. Do total de 431 setores censitários urbanos, 314 (72,9%) foram classificados como uso e ocupação predominante Residencial, 112 (26%) como Misto, 4 (0,9%) como Público/Institucional e 1 Comercial (0,2%). As áreas residenciais distribuem-se ao longo de toda a área de estudo, ao passo que as áreas de uso misto e/ou comercial estão agrupadas tanto na área central – onde também situa-se o centro histórico – e nas vias que ligam o distrito-sede aos demais distritos.

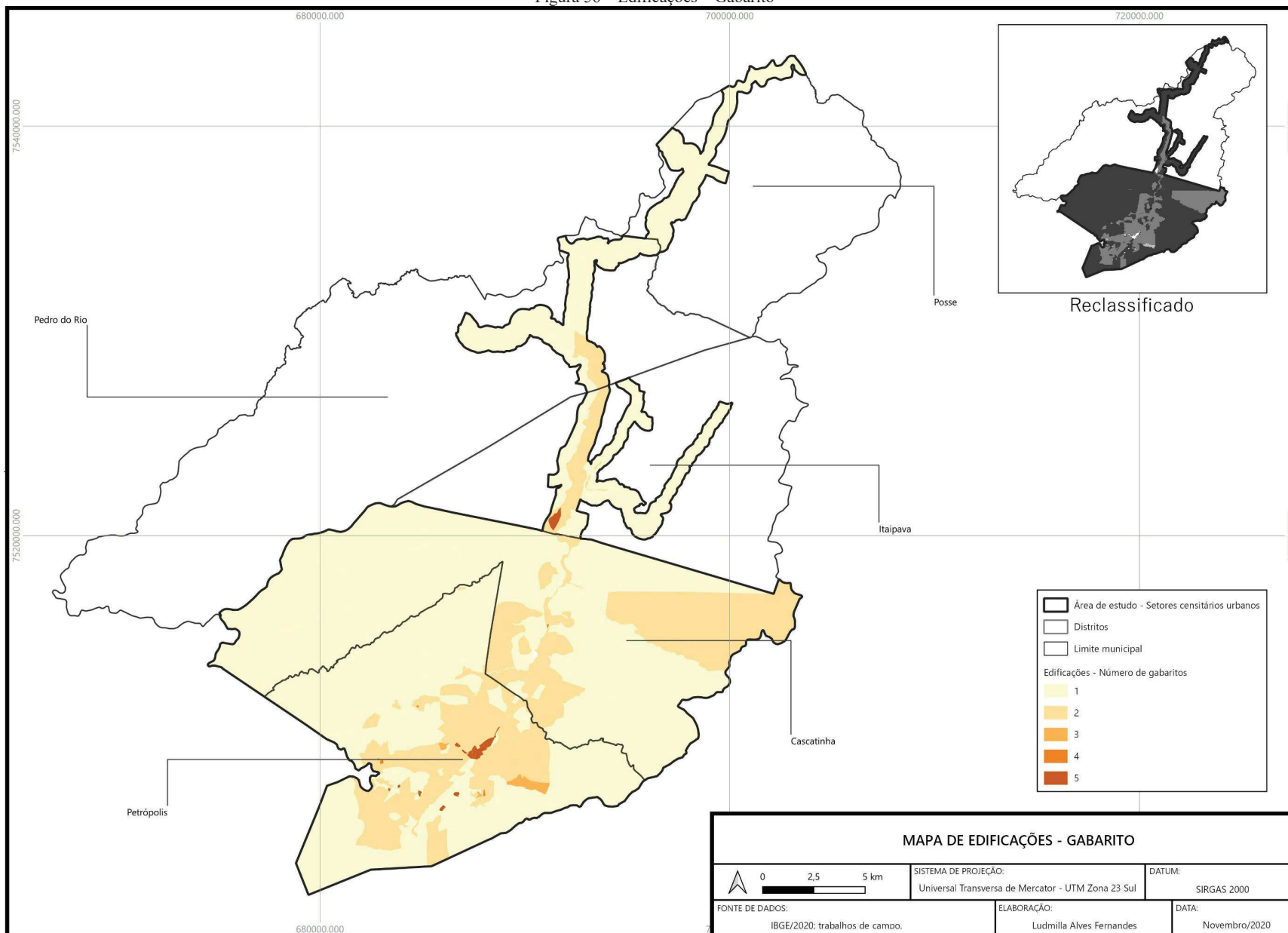
Figura 55 - Uso e ocupação do solo



5.1.9. Edificações - Gabarito

Processo semelhante ao do uso e ocupação do solo ocorre ao analisar a distribuição do número de gabaritos e é possível fazer, inclusive, uma relação entre eles. Através do mapa da Figura 56, torna-se nítida certa homogeneidade do número de gabarito das edificações, mesmo nas áreas mais populosas – com exceção de uma pequena parte do centro, no distrito-sede. Dos 431 setores censitários urbanos, 187 (43,4%) foi classificado com gabarito predominante 1; 207 (48,1%), gabarito 2; 3 (0,7%), gabarito 3; 6 (1,4%), gabarito 4, e; 27 (6,4%), gabarito 5. Os setores onde há predominância de 1 e 2 gabaritos coincidem com aqueles de uso residencial e, em menor medida, aqueles de uso misto (que também abarca o uso residencial em muitos casos). Os maiores gabaritos, por outro lado, foram predominantes em áreas onde, embora classificadas como de uso misto, há certo predomínio do uso comercial e de serviços, como na área central e ao longo e no entorno das vias de ligação entre os distritos.

Figura 56 – Edificações – Gabarito



5.2. O mapa de análise climática (UC-AnMap)

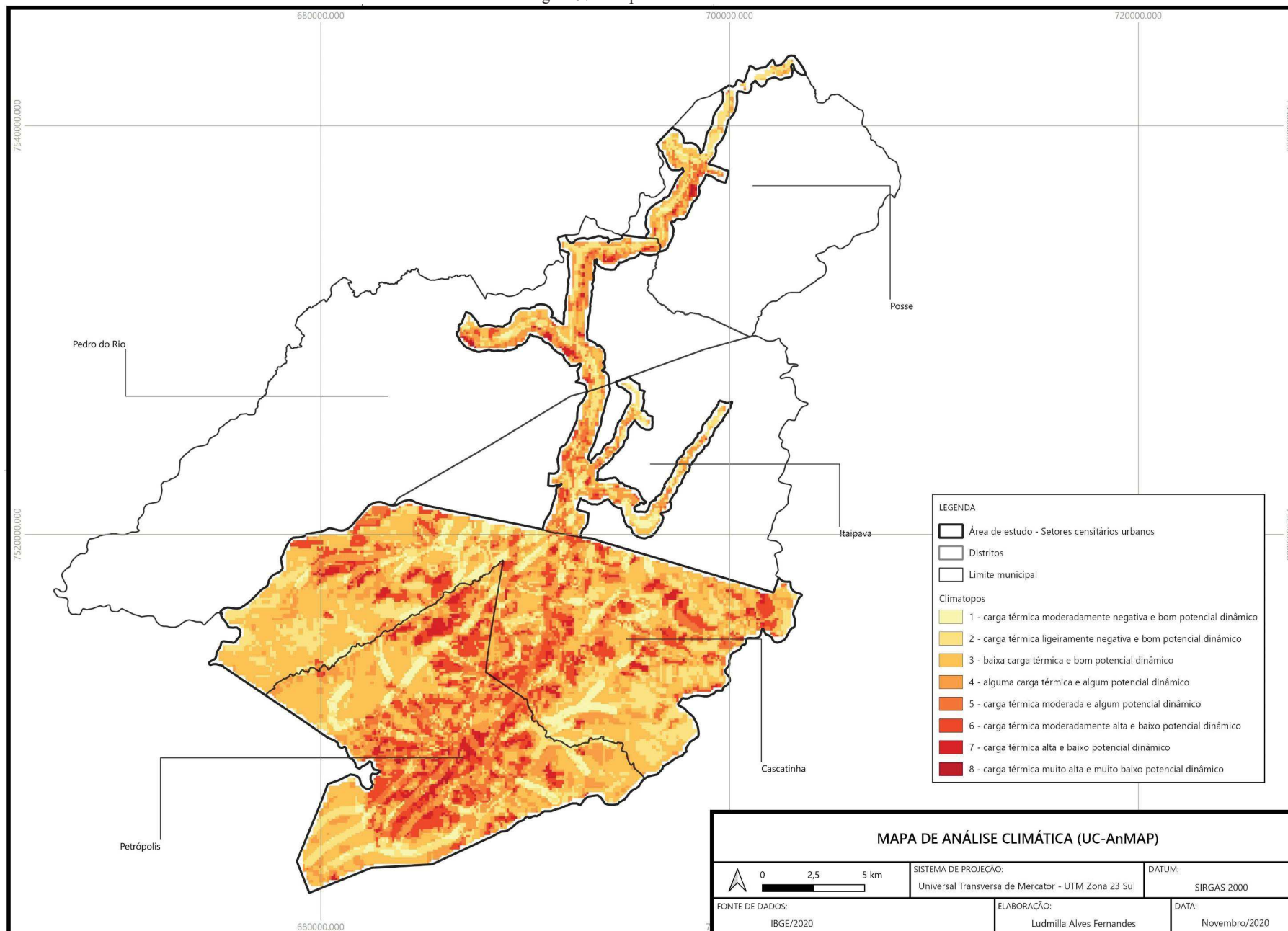
O mapa de análise climática (Figura 57) foi feito com base em oito climatopos:

Quadro 20 - Climatopos.

Climatopos	Classe climática urbana	Impacto
1	<i>carga térmica moderadamente negativa e bom potencial dinâmico</i>	resfriamento moderado
2	<i>carga térmica ligeiramente negativa e bom potencial dinâmico</i>	ligeiro resfriamento
3	<i>baixa carga térmica e bom potencial dinâmico</i>	neutro
4	<i>alguma carga térmica e algum potencial dinâmico</i>	leve aquecimento
5	<i>carga térmica moderada e algum potencial dinâmico</i>	aquecimento moderado
6	<i>carga térmica moderadamente alta e baixo potencial dinâmico</i>	aquecimento moderadamente forte
7	<i>carga térmica alta e baixo potencial dinâmico</i>	forte aquecimento
8	<i>carga térmica muito alta e baixo potencial dinâmico</i>	aquecimento muito forte

Fonte: Ng *et al.* (2008); Marques *et al.* (2012); Ferreira *et al.* (2017).

Figura 57 – Mapa de análise climática



Nota-se, através do mapa, que grande parte da área urbana da cidade de Petrópolis insere-se em climatopos nos quais o impacto do substrato material espacial na conformação do clima urbano é neutro. No entanto, é válido ressaltar que grande parte dessas áreas são parcela do território vegetadas e ambientalmente protegidas – tanto pela APA Petrópolis quanto pelas demais Unidades de Conservação. Ao observar as áreas de fato ocupadas pela população, a situação se modifica e a análise precisa ser cautelosa.

Os climatopos 1 e 2 foram encontrados nas bordas dos distritos Petrópolis e Cascatinha, em áreas nas quais o uso e ocupação demandam menor interferência e destruição dos espaços naturais. Essas áreas são espacialmente produzidas enquanto reservatórios ambientais e/ou áreas urbanas residenciais de baixo fluxo de pessoas e veículos, com elevada taxa de permeabilidade e edificações com menores gabaritos.

Os climatopos de impacto neutro localizam-se em áreas onde há uma baixa carga térmica e um bom potencial dinâmico, o que significa que são áreas nas quais a conformação climática local se aproxima da situação esperada para ambientes naturais – sem intervenção humana. Assim, pode-se dizer que o impacto do substrato espacial material da cidade no clima local é nulo. Essas manchas estão distribuídas, sobremaneira, no entorno da área ocupada da cidade de Petrópolis e, inserida na área urbanizada, foi encontrada em pequenos fragmentos. Esses fragmentos possivelmente caracterizam-se como áreas abertas e/ou vegetadas. Diferem-se dos climatopos 1 e 2 em detrimento de sua extensão e localização. Se por um lado os primeiros climatopos representam extensas áreas cobertas por vegetação localizadas mais distantes da área urbanizada, que desempenham a função de resfriamento, o climatopo 3 é caracterizado por áreas abertas e/ou vegetadas encaixadas nas áreas urbanizadas e, por isso, sua função de resfriamento transforma-se em neutralidade.

Já a partir dos climatopos 4 e 5, a neutralidade climática não é uma característica. São esses definidos por áreas onde há de leve à moderado aquecimento, a carga térmica cresce ao passo que o potencial dinâmico diminui. Por isso, interpreta-se que são áreas, especialmente, de uso residencial com baixo a médio fluxo de pessoas e veículos. A demanda por comércio e serviços especializados é incipiente e, quando a têm, refere-se a serviços essenciais, assim como farmácias, mercearias, barbearias e salões de beleza, entre outros. Os agentes predominantemente produtores desses espaços são os indivíduos sociais, que o produzem na cotidianidade.

Espacialmente, essas áreas se estabelecem ao longo de todos os distritos em porções onde o uso é exclusivamente residencial, com pequenos comércios e estabelecimentos de prestação de serviços, e/ou em áreas de uso misto, onde o uso comercial e de serviços é mais

significativo, mas não há tão grande fluxo de pessoas e veículos se comparadas com a área central e no entorno das vias de circulação entre os distritos.

Os climatopos de menor potencial dinâmico e maior carga térmica (6, 7 e 8) foram encontrados em áreas próximas ao centro, no distrito de Petrópolis (em uma mancha que abrange aproximadamente os bairros do Quitandinha, Bingen, Alto da Serra, Valparaíso, Centro e adjacências) e em algumas áreas do distrito de Cascatinha (abrangendo os bairros Quissamã, Itamarati e Correias), coincidindo com as vias de acesso e seu entorno – onde há maior fluxo de pessoas e veículos durante todo o dia.

Essas são caracterizadas, sobretudo, pelo uso misto – conjugando os usos residencial e de comércio e serviços. É onde observa-se de forma mais fortemente a materialização do urbano e do processo de urbanização, em diálogo com Carlos (1992), que diz que a cidade é, antes de tudo, a sua representação visível. Nota-se uma complexificação das estruturas espaciais. Há uma produção do espaço de maneira mais sistemática, no que se refere à distribuição de equipamentos urbanos, localização de atividades comerciais e de serviços, além da convergência de fluxos, como consequência desta produção. É, também, nessas áreas de Petrópolis em que contempla-se a mais profunda e radical intervenção humana sobre o meio ambiente, característica elementar das cidades segundo Souza (2008). Ademais, aqui associam-se a espacialidade dos agentes de maior poder, como o Estado e o capital, localizados nas áreas mais favorecidas pelo relevo, e aqueles formados pelos grupos sociais, boa parte localizados em regiões de elevado risco ambiental, em aglomerados residenciais de baixa qualidade de materiais construtivos.

Estes climatopos, ao serem comparados com o mapa de rugosidade, observa-se que coincidem com aquelas onde há maior ventilação em detrimento da abertura de corredores no próprio relevo, o que demonstra uma possível influência do substrato material da cidade na conformação do clima urbano em Petrópolis. Por outro lado, é preciso atentar para que: essas áreas estão encaixadas em um vale e, naturalmente, tendem a ser mais aquecidas devido à conformação de seu sítio, considerando que em um sítio convergente há uma dificuldade da dissipação dos ventos, além da retenção de calor.

Além disso, é sabido que em superfícies onduladas ou, em um relevo dissecado como é o caso de Petrópolis, tem-se que considerar a atuação dos mecanismos de brisas de vale e de montanha. Esses seriam responsáveis por gerar uma diferença termo-higrométrica entre os dias e as noites – durante o dia, sobretudo no período da manhã, haveria um resfriamento dos fundos de vale comparativamente aos topos e o inverso ocorreria no período noturno. Então, considerando um balanço entre o aquecimento devido à conformação do relevo e o resfriamento

devido ao mecanismo de brisas e corredores de ventos, pensando nas áreas onde há maior carga térmica e menor potencial dinâmico, pode-se dizer que há uma interferência da cidade na produção de calor e redução da ventilação.

5.3. O mapa de recomendação climática

A partir do mapa de análise climática, nota-se que a influência das variáveis socioambientais estudadas é indissociável, ao passo que se torna impossível compreender a conformação climática urbana de Petrópolis sem que se considere a análise conjunta de todas elas.

Por isso, como não há a quantificação da interferência do substrato espacial material da cidade nos elementos climáticos, em vistas ao planejamento urbano as recomendações serão descritas com base na sensibilidade climática e de forma genérica. A sensibilidade climática foi pensada com base no grau de influência do climatopo para a conformação climática urbana, tanto no que se refere ao potencial mitigador quanto ao potencial intensificador.

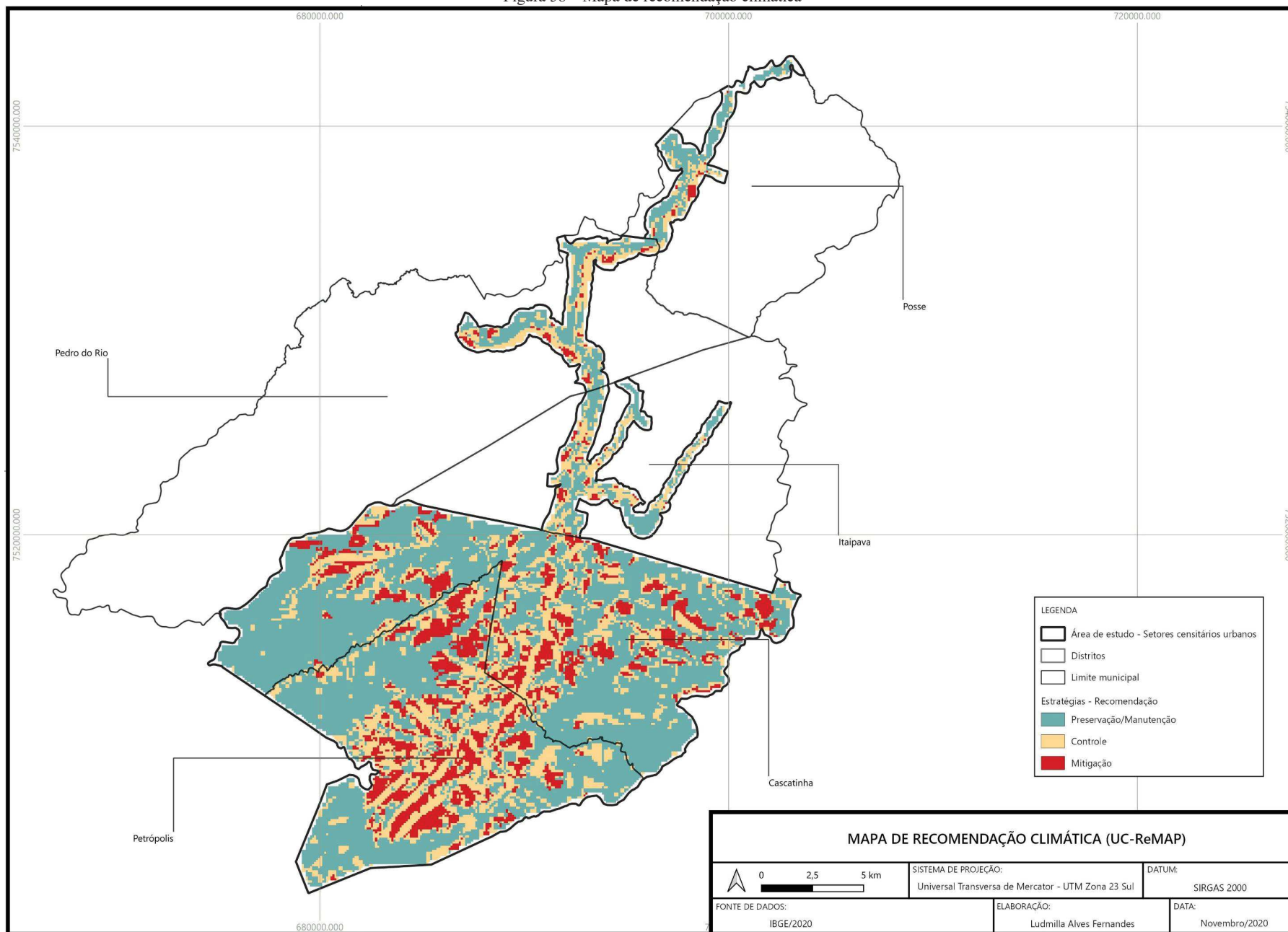
Assim, com base nos climatopos e nos instrumentos de regulamentação urbana da cidade de Petrópolis definiu-se as seguintes recomendações:

Climatopos	Sensibilidade Climática / Relevância	Características	Estratégia	Recomendação
1	<i>alta</i>	<i>áreas vegetadas sem ocupação/edificação e/ou corredores de vento</i>	Preservação / Manutenção	preservação
2	<i>muito alta</i>	<i>áreas vegetadas no entorno da área ocupada/edificada e/ou intercaladas</i>		preservação e aumento das áreas existentes
3	<i>média</i>	<i>áreas abertas intercaladas com as áreas ocupadas/edificadas</i>		aumento da vegetação arbórea nessas áreas abertas e livres
4	<i>muito baixa</i>	<i>áreas residenciais com baixo fluxo de pessoas e veículos</i>	Controle	controle da expansão da área edificada, em extensão; atenção para as taxas de ocupação, permeabilidade e número de gabaritos; aumento de áreas abertas e vegetadas, quando possível
5	<i>baixa</i>	<i>áreas residenciais com médio a alto fluxo de pessoas e veículos</i>		
6	<i>média</i>	<i>áreas de uso misto com</i>	Mitigação	controle da expansão

		<i>médio fluxo de pessoas e veículos e pouca ventilação</i>		da área edificada, em extensão e massa construída; atenção para as taxas de ocupação, permeabilidade, número de gabaritos e afastamentos; manutenção das áreas vegetadas
7	<i>alta</i>	<i>áreas de uso misto com alto fluxo de pessoas e veículos e pouca ventilação</i>		
8	<i>muito alta</i>	<i>áreas de uso misto com altíssimo fluxo de pessoas e veículos e pouquíssima ventilação</i>		

A espacialização dessas recomendações consta no mapa de recomendação climática presente na Figura 58.

Figura 58 – Mapa de recomendação climática



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pensar sobre o clima urbano requer uma reflexão que abarque a cidade – responsável por transformar o clima e definir particularidades termo-higrométricas nesses espaços urbanizados. Esses espaços, por sua vez, são produzidos socialmente e essa produção, dentre outras formas, se materializa no substrato espacial material da própria cidade, inserindo-se na dimensão física do espaço e tornando-se uma das variáveis socioambientais que impactam a atmosfera urbana e cria condições climática ímpares.

No que se refere a estas variáveis socioambientais, é necessário compreender que, embora produto social, a cidade representa a mais profunda relação entre a sociedade e a natureza e, como consequência dessa relação, está submetida também às dinâmicas naturais. É por isso que, além de refletir sobre a cidade, para conhecer a conformação climática urbana é preciso dar atenção às variáveis como a topografia, orientação de vertentes, declividade, vegetação, rugosidade, entre outras.

A ação conjunta destas variáveis socioambientais vem sendo estudada como fator de distúrbio, tanto na atmosfera urbana quanto na qualidade de vida da população, como uma consequência primeira dessa transformação atmosférica e climática. O planejamento urbano, então, surge como uma ferramenta de regulação desse processo e, por isso, torna-se um importante aliado para a melhoria do clima urbano e qualidade de vida da população cidadina. No entanto, é preciso refletir acerca da concepção e método de planejar as cidades numa perspectiva socioambiental que analise e considere seguramente as dimensões social e ambiental inerente à vida urbana.

Inserida nessa lógica, essa dissertação teve como objetivo a construção de um Mapa Climático Urbano para a cidade de Petrópolis (RJ), com base na espacialização e análise de uma série de variáveis socioambientais consideradas essenciais para a compreensão do clima urbano da cidade. Posterior à construção do mapa, objetivou-se estabelecer algumas estratégias e recomendações ao planejamento urbano, genericamente, ao passo que para construí-las com rigor é ideal que sejam discutidas por uma equipe multidisciplinar.

A metodologia utilizada esteve em consonância com trabalhos que vêm sendo desenvolvidos recentemente a partir de experiências alemãs e japonesas, principalmente. No Brasil, alguns importantes trabalhos foram realizados e vêm sendo desenvolvidos, a exemplo de Belo Horizonte em Minas Gerais e João Pessoa na Paraíba.

No que tange os resultados, foram encontrados oito climatopos na área urbana de Petrópolis, que variaram devido à diferenciação da carga térmica e do potencial dinâmico. Analisando a espacialização destes climatopos, que compuseram o mapa de análise climática,

foi possível observar que as áreas de maior carga térmica e menor potencial dinâmico foram aquelas caracterizadas pelo uso misto e alto fluxo de pessoas e veículos. Por outro lado, as áreas de menor carga térmica e maior potencial dinâmico coincidem com áreas vegetadas /ou abertas.

A partir dessas e outras análises, foram definidas as estratégias e recomendações no que se refere ao planejamento urbano. As estratégias foram desde a preservação e/ou manutenção das áreas vegetadas e/ou abertas, passando pelo controle dos parâmetros urbanísticos nas áreas onde a carga térmica começa a aumentar e o potencial dinâmico a diminuir, até a mitigação em áreas onde a carga térmica se mostrou alta ou muito alta e o potencial dinâmico baixo ou muito baixo.

Em resumo, compreendeu-se que o clima urbano de Petrópolis demonstra uma específica relação entre o social e o ambiental/natural. Isso pois a cidade está assentada nas porções mais baixas do relevo, em uma área onde naturalmente há uma tendência de retenção de calor e aumento da carga térmica. De outro lado, tem-se que considerar que essas áreas coincidem com os corredores de vento, que podem influenciar positivamente no potencial dinâmico. Ademais, as extensas parcelas cobertas por vegetação desempenham a função de regulação, diminuindo a carga térmica.

Assim, torna-se difícil compreender seu clima apenas enquanto produto do processo de urbanização e substituição de áreas naturais por áreas antropizadas, mas, a partir do balanço entre as variáveis mitigadoras e as variáveis intensificadoras, conclui-se que a cidade produz calor e reduz o potencial dinâmico, mesmo sob essas condições. Não estranho que os climatopos de menor potencial dinâmico e maior carga térmica correspondem às áreas de uso misto e alto fluxo de veículos e pessoas.

Dessa maneira, os resultados abrem alguns questionamentos e reflexões como frente aos trabalhos futuros. Em que medida o clima urbano petropolitano é influenciado pelo substrato material espacial da cidade? É necessário, sem dúvidas, avançar em estudos sobre a relação entre os parâmetros urbanísticos, tais como as taxas de ocupação, permeabilidade e afastamentos, e a espacialização da carga térmica e potencial dinâmico.

Este trabalho, portanto, não se esgota nele mesmo. Sua importância consiste em estabelecer bases para novas análises e discussões e soma às escassas pesquisas sobre o clima da cidade de Petrópolis e outras cidades da região serrana do estado do Rio de Janeiro. Oferece-se ainda uma contribuição ao arcabouço teórico-metodológico de trabalhos que se debruçam sobre a relação clima-cidade-planejamento, questão-chave para a solução de problemas que tornam-se cada vez mais presentes na vida da população citadina em um contexto global de mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERO, J. A.; ARRIZABALAGA, J.; KUPSKI, S.; KATZSCHNER, L. Deriving an Urban Climate Map in coastal areas with complex terrain in the Basque Country (Spain). **Urban Climate**, v. 4, 2013. pp. 35-60.

ALVES, R. de S. **O campo térmico de Alvinópolis-MG em situação sazonal de verão e inverno**: uma contribuição aos estudos de clima urbano em cidades de pequeno porte. 246 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2019.

ANGELO, E. R. B. Identidades, Festas e Espaços dos Imigrantes em Petrópolis, RJ, e suas Relações com a História do Turismo e da Cidade. **Rosa dos Ventos**, v. 6, n. 2, 2014. pp. 263-279.

AMORIM, M. C. T de. Ritmo climático e planejamento urbano. In: AMORIM, M. C. T de.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (orgs.) **Climatologia urbana e regional: Questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, 2013.

AMORIM FILHO, O. B. Um modelo de zoneamento morfológico-funcional do espaço intra-urbano das cidades médias de Minas Gerais. In: AMORIM FILHO, O. B; SENA FILHO, N de. **A morfologia das cidades médias**. Goiânia: Ed. Vieira, 2005.

ANDRADE, H. Clima urbano – natureza: escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, XL, 80, 2005. pp. 67-91.

ANDRADE, H. O clima urbano – Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, XL, 80, 2005. pp. 67-91.

ANDRADE, I. L. de. **Aplicação do modelo de zoneamento morfológico-funcional para o estudo do espaço intraurbano de cidades médias**: análise da cidade de Viçosa-MG. 75 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

ASSIS, E. S. de. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 7, n. 1, 2006.

ASSIS, E. S.; RAMOS, J. G. L.; SOUZA, R. V. G.; CORNACCHIA, G. M. M. Aplicação de dados do clima urbano no desenvolvimento de planos diretores de cidades mineiras. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, **Anais...** Outo Preto (MG): UFOP, 2007. pp. 152-161.

ASSIS, D. C. de. **O conforto térmico associado às variáveis de cobertura da terra na região central de Juiz de Fora – MG**. 196 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

ASSUMPÇÃO, R. dos S. F. V. **Petrópolis – um histórico de desastres sem solução?** Do Plano Koeller ao Programa Cidades Resilientes. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2015.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BATISTA, M.; CARDOSO, A. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história. **Rev. UFMG**,

Belo Horizonte, v. 20, n.2, 2013. pp. 124-153.

BAUMÜLLER J.; HOFFMANN U.; REUTER, U. **Climate booklet for urban development**, Ministry of Economy Baden-Wuerttemberg (Wirtschaftsministerium), Environmental Protection Department (Amt für Umweltschutz), 1992.

BAUMÜLLER J. A summary of key methodologies. In: NG, E.; REN, C. (org.). *The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning*. New York: Taylor & Francis Group, 2015. pp. 35-44.

BEAUJEU-GARNIER, J. **Geografia urbana**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

BERTALANFFY, L. von. The Theory of Open Systems in Physics and Biology. *Science*, n. 111, 1950.

BRANDÃO, A. M. de P. M. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. In: MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F de A. (Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192p.

BRUNET, Roger. L'espace, règles du jeu. In: AURIACK, F.; BRUNET, R. **Espaces, jeux et enjeux**. Paris: Fayard, Fondation Diderot, 1986.

BURGHARDT, R. Development of an ArcGIS extension to model urban climate factors. 102f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de Kassel, Alemanha, 2014.

CANEDO, Paulo. **Mitigação das Cheias**: Proteção do Centro Histórico de Petrópolis. Palestra apresentada na 5ª Reunião Extraordinária do Comitê Piabanha em 22/09/2011.

CARRASCO, A. de O. T. **Os limites da arquitetura, do urbanismo e do planejamento urbano em um contexto de modernização retardatária**. As particularidades desse impasse no caso brasileiro. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CARLOS, A. F. A. **A cidade**. São Paulo: Contexto, 1992.

_____. **A produção do espaço urbano**. São Paulo: Contexto, 1997.

_____. **A condição espacial**. São Paulo: Contexto, 2011.

CASTELLS, M. **A questão urbana**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.

CARVALHO, S. N. de. Estatuto da cidade: aspectos políticos e técnicos do plano diretor. **São Paulo em Perspectiva**, v. 15, n. 4, 2001. pp. 130-135.

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas – Teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 416 p.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. de S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, 2013. pp. 31-45.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo: Editora Ática, 1989.

CHEN, Y. C.; Lin T. P.; Lin, C. T. A simple approach for the development of urban climatic maps based on the urban characteristics in Tainan, Taiwan. **Int J Biometeorol** 61(6). pp. 1029-

1041.

DAMIANI, A. L. A crise da cidade: os termos da urbanização. In: DAMIANI, A. L. (org.) **O espaço no fim do século**. A nova raridade. São Paulo: Editora Contexto, 1999.

DIRKSEN, M.; RONDA, R. J.; THEEUWES, N. E.; PAGANI, G. A. Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. **Urban Climate**, v. 30, p. 100498, 2019. pp. 1-16.

DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade** – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba. 429 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, 2007.

DOLFUS, O. **O Espaço geográfico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

FERREIRA, C. de C. M. F. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 10, v. 14, 2014. pp. 50-75.

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S. de; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 9, 2017. pp. 255-270.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte**: Um caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FIALHO, E. S.; ALVES, R. S.; LOPES, D. I. Clima e sítio na Zona da Mata Mineira: Uma análise em episódio de verão. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba, ano 7, v. 8, 2011. pp. 118-136.

FRÓES, C. de O. Detalhes interessantes sobre o Plano Koeler. Instituto Histórico de Petrópolis. Disponível em < http://www.ihp.org.br/26072015/lib_ihp/docs/cof20020311.htm > Acesso em: 30/10/2020.

FURTADO, A. E. **Simulação e análise da utilização da vegetação como anteparo às radiações solares em uma edificação**. 138f. Dissertação (Mestrado em Conforto Ambiental) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

GODARD, F.; CASTELLS, M. In: FORTI, R. (org.). **Marxismo e urbanismo capitalista**. São Paulo: LECH – Livraria Editora Ciências Humanas, 1979.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros–MG. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, 2009. pp. 73-91.

GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Bertrand Brasil, 2001. pp. 189-252.

GUERRA, A. J. T.; GONÇALVES, L. F. H.; LOPES, P. B. M. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas

décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, 2007. pp. 35-43.

_____. Características geográficas e geomorfológicas da APA Petrópolis, RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.1, 2007. pp. 77-86.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acesso em 02/04/2020.

HACK, L. P.; NEVES, S.; HUTTER, M. H. As mais recentes calamidades pluviais ocorridas em Petrópolis: os episódios de 2001 e 2003. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicado, Rio de Janeiro, 2003.

HARAWAY, D.; KUNZRU, H.; TADEU, T. (Orgs.). **Antropologia do ciborgue**: as vertigens do pós-humano. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2009.

HIGUERAS, E. Urbanismo bioclimático. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

KAMP, I. V.; LEIDELMEIJER, K.; MARSMAN, G.; HOLLANDER, A. D. Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. **Landscape and Urban Planning**, 65 (1-2). pp. 5-18.

KOESTLER, A. Beyond Atomism and Holism – The Concept of the Holon. **Perspectives in Biology and Medicine**, Baltimore, v. 13, n. 3, 2970. pp. 131-154.

LEFEBVRE, H. **O direito à cidade**. São Paulo: Ed. Documentos, 1969.

_____. **A revolução urbana**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2001.

LENCIONI, S. Observações sobre o conceito de cidade e urbano. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 24, 2008. pp. 109-123.

LIMONAD, E. Reflexões sobre o espaço, o urbano e a urbanização. **GEOgraphia**, ano 1, n. 1, 1999. pp. 71-91.

LOBO, M. A. A. Método para compatibilizar setores censitários urbanos de 1991 e 2000 aplicado ao estudo da dinâmica populacional da região metropolitana de Belém (PA). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 1, n. 1, 2017. pp. 71-84.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

LOPES, M. T.; TEIXEIRA, C. P.; MENDONÇA, M de O.; GUERRA, A. J. T.; SONKIN, L. C.; GONÇALVES, L. F. H. Impactos sócio-ambientais em edificações populares em APP no bairro Quitandinha – Petrópolis – RJ. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Rio de Janeiro, 2003.

LORDEIRO, M de S. **A atualidade do Plano Urbanístico de Koeler**. Instituto Histórico de Petrópolis, Petrópolis, 2000.

MARICATO, E. Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras. **São Paulo em perspectiva**, n. 14, v. 4, 2000. pp. 21-33.

_____. As idéias fora do lugar e o lugar fora das idéias. In: ARANTES, O.; VAINER, C.; MARICATO, E. **A cidade do pensamento único**. Petrópolis: Vozes, 2000.

- MASCARÓ, L; MASCARÓ, J. **A Vegetação Urbana**. Porto Alegre: Hucitec, 2001.
- MELLO FILHO, L. E. Arborização urbana. In: **Anais...** Encontro Nacional sobre arborização Urbana, Porto Alegre, 1985, pp. 45-49.
- MENDONÇA, F. Clima e Planejamento urbano em Londrina. Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do campo termo-higrométrico. In: MONTEIRO, C.A.F; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. pp. 93-120.
- MENDONÇA, F. O Estudo do Sistema Clima Urbano – no Brasil: aplicações e avanços. In: MONTEIRO, C. A. de F.; SANT’ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. de A.; ZAVATTINI, J. A. **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Campinas: Editora Alínea, 2015.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MENEGUETTI, G. I. P. **Estudo de dois métodos de amostragem para inventário da arborização de ruas dos bairros da orla marítima do município de Santos-SP**. 100f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.
- MENEZES, C. L. Emergência e evolução da política ambiental urbana no Brasil: do Estado Novo à Nova República. **Revista de Administração Pública (RAP)**, Rio de Janeiro, v.1, n. 31, 1997. pp. 70-95.
- MILLS, G. Introduction. In: NG, E.; REN, C. (org.). **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. New York: Taylor & Francis Group, 2015. pp. 3-9.
- MONTEIRO. C. A. de F. **Análise rítmica em climatologia**. Climatologia, São Paulo: USP/Igeog, n. 1, 1971.
- _____. **Teoria e clima urbano**. Série “Teses e Monografias nº 25”, São Paulo, Instituto de Geografia da USP, 1976.
- _____. Teoria e Clima Urbano. In: MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F de A. (Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192p.
- _____. A Climatologia Geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma. In: MONTEIRO, C. A. de F.; SANT’ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. de A.; ZAVATTINI, J. A. **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Campinas: Editora Alínea, 2015.
- MONTE-MÓR, R. L. O que é o urbano, no mundo contemporâneo? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, n. 3, 2005. pp. 942-948.
- NAKATA, C. M; SOUZA, L. C. L de; RODRIGUES, D. S. Geometria urbana e ilha de calor noturna: análise baseada em um modelo numérico. **Repositorium Minho**, n.8, 2015. pp. 38-45.
- NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, 2016. pp. 73-87.

- NAMUR, M.; BOEIRA, J. G. Reflexões sobre o papel do Planejamento Urbano no Brasil. In: **Anais...** Encontro Nacional Da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ANPUR, v.11, Salvador, 2005.
- NERY, J.; FREIRE, T.; ANDRADE, T.; KATZSCHNER, L. Thermal comfort studies in a humid tropical city. In: **Preprints of the 6th International Conference on Urban Climate**. Göteborg: ICUC, 2006. pp. 234-237.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE – Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 1989.
- NG, E.; CHENG, V.; CHAN, C. **Urban climatic map and standards for wind environment** - feasibility study. Technical Report for Planning Department HKSAR, 2008.
- OKE, T. R. **Boundary layer climate**. London: Methuen & Co., 1978.
- OLIVEIRA, T. A. de; TAVARES, C. de M. G.; FERREIRA, C. de. C. M. SANCHES, F. Eventos extremos no município de Juiz de Fora: análise das características e da espacialidade do evento de 12/11/2016. **Anais...** XIII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação em Geografia, 2019.
- PAZ, L. H. F. **A influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas-TO**. 169 f. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2009.
- PEDROSO, M. M. M. **Petrópolis: de fazenda a núcleo urbano – A cidade Imperial em sua formação**. Instituto Histórico de Petrópolis, Petrópolis, 2007. Disponível em: <<http://ihp.org.br/?p=4449>>. Acesso em: 05/05/2020.
- PIMENTEL, F. O. **Clima Urbano: O uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora – MG**. 146f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.
- PÉDÉLABORDE, Pierre. **Introduction a l'étude scientifique du climat**. Paris: Centre de Documentation Universitaire, 1956.
- PORTO-GONÇALVES, C. W. **Paixão da terra**. Ensaios críticos sobre ecologia e geografia. Rio de Janeiro: Rocco. Pesquisadores Associados em Ciências Sociais-SOCII, 1984.
- PRATA-SHIMOMURA, A. R.; LOPES, A. S.; CORREIA, E. Urban Climatic Map Studies in Brazil: Campinas. In: NG, E.; REN, C. (org.). **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. New York: Taylor & Francis Group, 2015. pp. 237-246.
- RADAM. Ministério das Minas e Energia – Secretaria Geral. **Levantamento de recursos naturais**, Brasília, v. 32, 1983.
- REN, C.; NG, E.; KATZSCHNER, L. An investigation into developing an urban climatic map for high density living—initial study in Hong Kong. In Paper Presented at the 2nd PALENC, Greece, 2007.
- REN, C.; NG, E.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: a review. **International Journal of Climatology**, 31, 2010. pp. 2213–2233.
- ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Pró-

Editores, 2000.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima: Antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Revista Terra Livre**, São Paulo, n. 17, 2001. p. 49-62.

_____. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, v. 4, 2008. pp. 51-72.

_____. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, 2011. pp. 45-60.

_____. Medir o tempo, ler, interpretar e sentir o clima: uma climatologia a serviço do entendimento das relações entre os homens e seus lugares, entre as sociedades e seus territórios. In: SILVA, C. A. da.; FIALHO, E. S.; STEINKE, E. T. (orgs.) **Experimentos em Climatologia Geográfica**. Dourados (MS): UFGD, 2014. pp. 23-32.

SANT'ANNA NETO, J. L.; RAMPAZZO, C. R. Geoindicadores urbanos para o estudo dos processos termodinâmicos do clima das cidades de pequeno e médio porte. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; AMORIM, M. C. de C. T.; SILVA, C. A. da. (orgs.). **Clima e Gestão do território**. Jundiaí (SP): Paco Editorial, 2016.

SANTOS, A. C. M. dos. Da Colonização à Europa Possível, as Dimensões da Contradição. In: **Uma cidade em questão**. Grandjean de Montigny e o Rio de Janeiro, PUC-RJ, 1979.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo, Hucitec, 1996.

_____. **A Natureza do Espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1997.

SCHERER, D.; FEHRENBACH, U.; PARLOW, E. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. **Atmospheric Environment**, 33, 1999. pp. 4185-4193.

SCHUTZER, J. G. **Cidade e Meio Ambiente: a apropriação do relevo no desenho ambiental urbano**. São Paulo: Edusp, 2012.

SERRA, G. **O Espaço Natural e a Forma Urbana**. São Paulo: Nobel, 1987.

SJOBORG, G. Origem e evolução das cidades. In: **Cidades, a Urbanização da Humanidade** (obra coletiva). 2- ed. Rio de Janeiro, Zahar, 1972.

SOBRAL, B. S.; JÚNIOR, J. F de O.; GOIS, G de; TERASSI, P. M. de B.; PEREIRA, C. R. Regime de Vento na Serra do Mar – Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, 2018. pp. 441-451.

SORRE, M. **Les fondements de la géographie humaine**. Paris: Armand Colin, 1951.

SOUZA, L. A. A. de. **Considerações sobre o plano Koeler**. Instituto Histórico de Petrópolis. Disponível em <<http://ihp.org.br/site/>> Acesso em: 30/10/2020.

SOUZA, N. de. Um olhar geográfico sobre a cidade. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 9, n. 27, 2008. pp. 164-174.

SOUZA, M. L. **Mudar a cidade**: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

_____. **Os conceitos fundamentais da pesquisa sócio-espacial**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

SOUSA, V. S. de. **Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa - PB**. (Dissertação de Mestrado). Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo/Centro de Tecnologia. João Pessoa: UFPB, 2010.

SOUSA, V. S. de; KATZCHNER, L. Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa/PB. In: **Anais...** 8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, Coimbra – Portugal, 2018. pp. 1622-1635.

SOUZA, R. J. de. CATALÃO, I. Da “Cidade-Cyborg” à “Atmosfera-Cyborg”: contribuições à análise do espaço e do clima urbanos. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, 28 (2), 2016. pp. 199-213.

SPOSITO, M. E. B. A produção do espaço urbano: escalas, diferenças e desigualdades socio-espaciais. In: CARLOS, A. F. A.; SOUZA, M. L. de. SPOSITO, M. E. B. **A produção do espaço urbano**: agentes e processos, escalas e desafios. São Paulo: Contexto, 2011. p. 123-145.

_____. Morfologia urbana. In: SPOSITO, E. S. (org.). **Glossário de Geografia Humana e Econômica**. São Paulo: Editora Unesp, 2017.

_____. **O chão em pedaços**: urbanização, economia e cidades no Estado de São Paulo. Tese (Livre Docência em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

STERNBERG, H. O. Enchentes e movimentos coletivos do solo no vale do Paraíba em dezembro de 1948: influência da exploração destrutiva das terras. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 11, n. 2, Rio de Janeiro, 1949. pp. 67-103.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço Geográfico Uno e Múltiplo. **Scripta Nova**, Barcelona, v. 93, 2001.

SWYNGEDOUW, E. A cidade como um híbrido: natureza, sociedade e “urbanização-cyborg”. In: ACSELRAD, H. **A duração das cidades**: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas. Rio de Janeiro: D, P & A, 2001.

TAULOIS, A. E. de A. **História de Petrópolis**. 2007. Disponível em: <<http://guiadepetropolis.wordpress.com/historia-de-petropolis/pag02/>>. Acesso em: 05/05/2020.

TAVARES, C. de M. G.; FERREIRA, C de C. M. A relação entre a orografia e os eventos extremos de precipitação para o município de Petrópolis – RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020. pp. 752-783.

UGEDA JÚNIOR, J. C.; AMORIM, M. C. de C T. Indicadores ambientais e planejamento urbano. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 31, v. 2, 2009. pp. 5-35.

UGEDA JÚNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. 373 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

- VERVLOET, R. J. H. M. A paisagem do diabo contemporâneo – como a dinâmica espacial articula as transformações da paisagem urbana segregando classes sociais. **Geografares**, Vitória, n. 3, 2002. pp.133-142
- VIANA, S. S. M.; AMORIM, M. C. de C. T. Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP: uma introdução. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 2, 2008. pp. 19-42.
- VIANNA, Y. C. G. **Modelagem e identificação de Ilhas de Calor em Ubá – MG**. 190f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.
- VILLAÇA, F. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Nobel, 1998.
- VILLAÇA, F. Dilemas do plano diretor. In: CEPAM. **O município no século XXI: cenários e perspectivas**. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima– CEPAM, 1999. pp. 237-247.
- WECKMÜLLER, R.; VICENS, R. S. Análise temporal da cobertura da terra do município de Petrópolis/RJ numa abordagem pós-classificação de detecção de mudanças. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 03, 2013. pp. 456-469.
- WHITACKER, A.; MIYAZAKI, V. O estudo das formas da cidade no âmbito da Geografia Urbana - Apontamentos metodológicos. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 2, 2012. pp. 307-327.
- YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, 2006. pp. 105-120.