

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PABLO VINICIUS SOARES DAMAS

**ELABORAÇÃO DE MAPA CLIMÁTICO DE RECOMENDAÇÃO PARA BELO
HORIZONTE - MG**

BELO HORIZONTE

2023

PABLO VINICIUS SOARES DAMAS

**ELABORAÇÃO DE MAPA CLIMÁTICO DE RECOMENDAÇÃO PARA
BELO HORIZONTE - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr^a Simone Queiroz da Silveira Hirashima

Coorientadora: Dr^a Daniele Gomes Ferreira

BELO HORIZONTE

2023

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PABLO VINICIUS SOARES DAMAS

**ELABORAÇÃO DE MAPA CLIMÁTICO DE RECOMENDAÇÃO PARA BELO
HORIZONTE - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Simone Queiroz da Silveira Hirashima - Orientadora
DEC – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Prof^a. Dr^a. Daniele Gomes Ferreira - Coorientadora
IEPHA-MG / Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues
DEC – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Prof^a. Dr^a. Luciana Londero Brandli
PPGEng - Universidade de Passo Fundo (UPF)

Prof. Dr. Rogério Palhares Zschaber de Araújo
URB - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

DEDICATÓRIA

Dissertação dedicada à minha avó Maria Tereza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo, sempre e em primeiro lugar. Agradeço à minha família, em especial à minha mãe, pelos conselhos preciosos de perseverança e a meu pai pelo exemplo de caráter. Agradeço a todos os professores que já tive pela dedicação ofertada, em especial à minha irmã Sônia, entusiasta da vida acadêmica e minha primeira professora. Agradeço ao meu irmão Gabriel por elucidar dúvidas e pelas várias discussões frutíferas. Aos meus outros irmãos, agradeço pelo convívio e aprendizado durante todos esses anos. Aos companheiros que permanecem comigo, em especial à Tathiana, amiga de todas as horas que me apresentou a pós-graduação. Ao Francisco, pela parceria e apoio incondicional nesta caminhada. E ao Laerte, pela estimada companhia e alívio cômico.

À Dr^a Simone Queiroz da Silveira Hirashima, minha orientadora, que despertou meu interesse científico para novas perspectivas, e à minha coorientadora, Dr^a Daniele Ferreira Gomes, pelo direcionamento pertinente dado à pesquisa e pelas valiosíssimas sugestões.

Gratifico a todos os membros do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG, em especial aos professores Dr^a Hersília Santos, Dr. Rogério Azevedo e Dr. Conrado Rodrigues, pela dedicação prestada ao programa e aos discentes. Aos professores Dra. Luciana Brandli e Dr. Rogério Araújo pelo aceite em participar da avaliação deste trabalho e pelas contribuições construtivas. E ao professor Dr. Lutz Katzschner pelos esclarecimentos e auxílio durante o trabalho.

Exalto a memória do Professor Dr. Ruskin Fernandes Marinho de Freitas, membro da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), que contribuiu para o relevante encaminhamento deste trabalho, por sua atenção, profissionalismo e gentileza.

Agradeço a todos que contribuíram para a minha trajetória acadêmica e profissional, em particular aos professores Esp. Marcos Oliveira de Paula, Dr. Thiago Bomjardim Porto, Dr. Everaldo Bonaldo e Dr. José Magno Senra Fernandes pelo apoio e incentivo desde a graduação.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela oferta de bolsa de pós-graduação para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, pelo seu ambiente plural, desafiador, engajado e inclusivo por me ofertar as melhores oportunidades desde o ensino médio.

EPÍGRAFE

“A natureza não faz nada em vão.”
Aristóteles

RESUMO

As alterações no clima de áreas urbanas representam um dos principais enfoques no estudo das mudanças climáticas por impactar a vida de um grande número de pessoas. A busca por alternativas que permitam a melhoria das condições de conforto e o combate ao agravamento dos impactos antropogênicos tornam-se cada vez mais urgentes. O objetivo deste trabalho é a elaboração de um mapa climático de recomendações (UC-ReMap) para Belo Horizonte, de acordo com as informações coletadas no Mapa Climático Analítico (UC-AnMap) da cidade. Os mapas climáticos urbanos (UC-Maps) são instrumentos de avaliação da interação entre o clima de determinada área com o ambiente construído instalado e servem para analisar a dinâmica climática para fins de planejamento urbano. Os UC-Maps ao redor do mundo são, geralmente, constituídos pelo UC-AnMap, que verifica informações como a geografia local e aspectos climáticos, e pelo UC-ReMap que atua no planejamento de diretrizes que contribuem para o clima a partir das condições identificadas na área urbana. Este trabalho desenvolveu um mapa climático de recomendações a partir das informações disponíveis no UC-AnMap de Belo Horizonte e das demandas apresentadas pelo Plano Diretor da cidade. A metodologia incluiu a sobreposição do mapa de zoneamentos e do mapa de climatopos desenvolvidos no UC-AnMap de Belo Horizonte. A partir da definição de recomendações gerais e da determinação de parâmetros-chave, foram desenvolvidas as recomendações finais. Como resultados deste estudo, foram identificados os zoneamentos representativos em cada climatopo e foram propostas recomendações climáticas de acordo com as três zonas de planejamento sugeridas e com os parâmetros de área verde e volume edificado. Por fim, foi gerada a representação gráfica do UC-ReMap de Belo Horizonte. O trabalho busca contribuir com os esforços municipais para melhoria do planejamento urbano e combate aos efeitos das mudanças climáticas na cidade.

Palavras-chave: Clima Urbano, Planejamento Urbano, Mapa Climático de Recomendações, Plano Diretor, Belo Horizonte.

ABSTRACT

Changes in the climate of urban areas represent one of the main topics in the climate change studies due to their consequences for a large number of people. The search for alternatives that allow the improvement of comfort conditions and the efforts to avoid the worsening of anthropogenic impacts becomes increasingly urgent. The main goal of this work is the elaboration of an urban climate recommendation map (UC-ReMap) for Belo Horizonte, according to information collected from the Analytical Climatic Map (UC-AnMap). Urban climate maps (UCMaps) are instruments for checking the interaction between the climate conditions of a specific area and the local built environment. It analyzes the climate dynamics during the urban planning. The UC-Maps around the world are usually created from the composition of a UC-AnMap, which verifies information such as local geography and other climate aspects, and a UC-ReMap, which elaborates guidelines that contribute to urban climate based on conditions identified in the area. This work developed a climate map of recommendations based on information available in the UC-AnMap of Belo Horizonte and demands presented by the Master Plan. The methodology included map overlay between zoning map and the climatope map from UC-AnMap of Belo Horizonte. After the definition of general recommendations and the determination of key parameters, final recommendations were developed. As a result, representative zonings were identified in each climatope and climate recommendations were proposed according to the three suggested planning zones considering the parameters of green area and building volume. Finally, the graphical representation of the UC-ReMap of Belo Horizonte was generated following the precepts of German standardization. The work seeks to contribute to municipal efforts to improve urban planning and combat the effects of climate change in the city.

Keywords: Urban Climate, Urban Planning, Climate Map of Recommendations, Master Plan, Belo Horizonte.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ação do vento na atmosfera urbana.	22
Figura 2: Representação do fenômeno das ilhas de calor	24
Figura 3: Delineamento da ilha de calor nos aglomerados urbanos.....	24
Figura 4: Emissões de GEEs no Brasil por setor (2009-2019).....	27
Figura 5: Implementação das metas dos ODS no Brasil.....	28
Figura 6: Alinhamento estratégico das políticas públicas para mitigação	33
Figura 7: Estruturação básica de um mapa climático urbano.....	37
Figura 8: Fatores analíticos e avaliativos apresentados na parte 1 da VDI 3787.....	39
Figura 9: Esquema do fluxo de balanço energético superficial urbano.....	42
Figura 10: Climatopos do mapa climático analítico de Belo Horizonte.....	43
Figura 11: Distribuição das classes de climatopos em Belo Horizonte.....	44
Figura 12: Zoneamento em Belo Horizonte.....	50
Figura 13: Mapa das iniciativas de adaptação urbana no mundo	52
Figura 14: Planos climáticos locais de mitigação e adaptação vigentes na Europa.....	54
Figura 15: Mapa climático de recomendações de Hong Kong.....	56
Figura 16: Áreas de designação para proposição de recomendações em Arnhem ..	59
Figura 17: Mapa climático urbano de recomendações para Arnhem	60
Figura 18: Mapa climático de recomendações (UC-ReMap) de Pequim.....	61
Figura 19: Localização dos mapas climáticos urbanos no Brasil.	66
Figura 20: Espacialização das recomendações climáticas para Petrópolis	69
Figura 21: Mapa das áreas climáticas de Recife.....	70
Figura 22: Fluxograma do método proposto	74
Figura 23: Características climáticas de Belo Horizonte.....	81
Figura 24: Classificação climática de Minas Gerais e de Belo Horizonte por Köppen e Thornthwaite.....	82
Figura 25: Zonas bioclimáticas brasileiras.....	83
Figura 26: Vulnerabilidade às mudanças climáticas em Belo Horizonte em 2030.....	84
Figura 27: Levantamento do número de mortes, desaparecimentos e acidentes diretos atribuídos a desastres por 100 mil habitantes.....	85
Figura 28: Emissões de dióxido de carbono per capita (tCO ₂ e/hab).....	86
Figura 29: População residente em áreas sujeitas a inundação.....	86
Figura 30: Mapas de climatopos e zoneamentos utilizados no QGIS.....	90

Figura 31: Área dos zoneamentos no climatopo 1.....	98
Figura 32: Área dos zoneamentos no climatopo 2.....	98
Figura 33: Área dos zoneamentos no climatopo 3.....	99
Figura 34: Área dos zoneamentos no climatopo 4.....	99
Figura 35: Área dos zoneamentos no climatopo 5.....	100
Figura 36: Área dos zoneamentos no climatopo 6.....	100
Figura 37: Área dos zoneamentos no climatopo 7.....	101
Figura 38: Área dos zoneamentos no climatopo 8.....	101
Figura 39: Mapa climático de recomendações (UC-ReMap) de Belo Horizonte.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Áreas em km ² das sobreposições entre os zoneamentos e os climatopos de Belo Horizonte.....	95
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Indicadores brasileiros para o ODS 13.....	30
Quadro 2: Ações do PLAC-BH	35
Quadro 3: Princípios de integração climática no planejamento urbano.....	38
Quadro 4: Camadas do mapa climático analítico de Belo Horizonte.....	41
Quadro 5: Classes de climatopos em Belo Horizonte	45
Quadro 6: Zoneamentos em Belo Horizonte	48
Quadro 7: Mapas climáticos urbanos no Brasil.....	65
Quadro 8: Mapa de recomendação climática de Petrópolis	68
Quadro 9: Recomendações climáticas para Recife.....	71
Quadro 10: Desafios apontados pelo Plano Diretor	87
Quadro 11: Agrupamento dos zoneamentos para elaboração das recomendações.....	92
Quadro 12: Recomendações gerais.....	103
Quadro 13: Zonas urbanas de recomendação climática para Belo Horizonte.....	104
Quadro 14: Recomendações climáticas para Belo Horizonte	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADE – Áreas de diretrizes especiais
AEIS-1 – Áreas especiais de interesse social 1
AEIS-2 – Áreas especiais de interesse social 2
AGEE – Áreas de grandes equipamentos econômicos
AGEUC – Áreas de grandes equipamentos de uso coletivo
Aw - Clima tropical
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CL – Centralidades locais
CMMCE - Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência
COP 20 – 20ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
CR – Centralidades regionais
Cwa - Clima temperado quente
DEC - Departamento de Engenharia Civil
ECO-92 – *Earth Summit*
EPA - *Environmental Protection Agency*
GCM – *Global Climate Model*
GEE – Gases do efeito estufa
GT AGENDA 2030 - Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDSC-BR - Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil
IEPHA-MG - Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais
IPCC - *The Intergovernmental Panel on Climate Change*
ISO - *International Organization for Standardization*
LCZ - *Local Climate Zone*
LOMBH - Lei Orgânica Municipal de Belo Horizonte
NAMA - *Nationally Appropriate Mitigation Actions*
ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OM-1 – Zonas de ocupação moderada 1
OM-2 – Zonas de ocupação moderada 2
OM-3 – Zonas de ocupação moderada 3
OM-4 – Zonas de ocupação moderada 4
OP-1 – Zonas de ocupação preferencial 1
OP-2 – Zonas de ocupação preferencial 2
OP-3 – Zonas de ocupação preferencial 3
ONU - Organização das Nações Unidas
PAC - Planos de Ação Climática
PA-1 – Zonas de preservação ambiental 1
PA-2 – Zonas de preservação ambiental 2

PA-3 – Zonas de preservação ambiental 3
PBH - Prefeitura de Belo Horizonte
PLAC-BH – Plano Local de Ação Climática de Belo Horizonte
PNA - Plano Nacional de Adaptação
PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPGEng - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
ProKnow-C - *Knowledge Development Process-Constructivist*
PVP – Áreas de projetos vários prioritários
RGB – *red, green, blue*
SCC - Sistemas de Classificação Climática
SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – Brasil
SIG - Sistema Informação Geográfica
SMMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente
UC-AnMap - *Urban Climatic Analysis Map*
UC-Map - *Urban Climatic Map*
UCMS – *Urban Climate Map System*
UC-ReMap - *Urban Climatic Recommendation Map*
UCZ - *Urban Climate Zone*
UE – União Europeia
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*
UN-Habitat - *United Nations Human Settlement Programme*
UPF - Universidade de Passo Fundo
URB – Departamento de Urbanismo
VDI - *Verein Deutscher Ingenieure*
WASP - *Wind Atlas Analysis and Application Program*
ZEIS-1 – Zonas especiais de interesse social 1
ZEIS-2 – Zonas especiais de interesse social 2
ZP-1 – Zona de planejamento 1
ZP-2 – Zona de planejamento 2
ZP-3 – Zona de planejamento 3

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	PERGUNTA DE PESQUISA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos	19
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	19
1.4	RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	20
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	O CLIMA URBANO	22
2.2	AS DIRETRIZES CLIMÁTICAS	25
2.2.1	Acordo de Paris	25
2.2.2	Agenda 2030	27
2.2.3	Agenda Climática Brasileira	32
2.2.4	Planos de Ação Climática	34
2.2.5	Mapas Climáticos Urbanos	36
2.2.6	Normatização	39
2.2.7	Mapa Climático Urbano Analítico de Belo Horizonte	40
2.2.8	Legislação Urbanística de Belo Horizonte	45
3	ESTADO DA ARTE	51
4	MATERIAIS E MÉTODOS	72
4.1	MÉTODO DE ABORDAGEM	72
4.2	MÉTODO DE PROCEDIMENTOS	73
4.2.1	Revisão da literatura	75
4.2.1.1	Seleção do portfólio bibliográfico	75
4.2.1.2	Análise bibliométrica	76
4.2.1.3	Análise sistêmica	78
4.2.2	Área de estudo	80
4.2.3	Identificação das demandas municipais	86
4.2.4	Análise do Mapa Climático Analítico e do Plano Diretor de Belo Horizonte	88
4.2.5	Sobreposição de camadas de mapas	89
4.2.6	Recomendações gerais	90
4.2.7	Parâmetros-chave do planejamento climático	91
4.2.8	Recomendações finais	92
4.2.9	Elaboração do Mapa Climático de Recomendações	93
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	94

5.1	ESCOLHA DOS ZONEAMENTOS REPRESENTATIVOS.....	97
5.2	RECOMENDAÇÕES GERAIS.....	102
5.3	MAPA CLIMÁTICO DE RECOMENDAÇÕES	104
5.3.1	Zona de planejamento 1: baixa sensibilidade climática	104
5.3.2	Zona de planejamento 2: moderada sensibilidade climática	105
5.3.3	Zona de planejamento 3: alta sensibilidade climática	106
5.4	DISCUSSÃO	113
5.4.1	A utilização do Plano Diretor	113
5.4.2	Comparativo dos UC-ReMaps brasileiros.....	113
5.4.3	Zoneamentos principais	115
6	CONCLUSÃO	116
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	118

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são alterações causadas nos padrões climáticos a partir de diversos fatores naturais ou antrópicos, porém a ação humana tem destaque na aceleração desse fenômeno nos últimos 200 anos (IPCC, 2022). Essas modificações no clima estão relacionadas, principalmente, às emissões de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera terrestre e à urbanização no caso do clima urbano (COUTINHO et al., 2021). Estimava-se que o impacto humano contribuiria para um aumento de 1,0°C no planeta, em comparação com o período pré-industrial e seria possível que esse aquecimento chegasse a 1,5°C entre 2030 e 2052, caso os níveis de emissões continuem (IPCC, 2018). Constatou-se que a temperatura da superfície do planeta aumentará gradualmente até meados do século 21 em todos os cenários de emissões analisados e a previsão anterior será excedida a menos que reduções significativas de emissão dos GEE sejam implementadas nas próximas décadas (IPCC, 2018).

As principais consequências imediatas dessas mudanças são a ocorrência de desastres naturais, que conferem risco à existência humana, e o impacto em todo o globo pelas crescentes perdas econômicas. A compreensão da gravidade dos efeitos dessas alterações para a humanidade ocorre a partir do entendimento das suas consequências nos aglomerados urbanos (FAWZY et al., 2020).

Percebe-se, então, que a ocorrência das mudanças climáticas pode interferir na maneira como uma população interage com o meio urbano e compromete diretamente a qualidade de vida de todos. Nos centros urbanos está concentrada a maior parte população mundial atualmente e são foco de estudo por causa do grande número de pessoas impactadas. O desconforto térmico e as alterações no clima são alguns dos pontos mais perceptíveis das modificações presentes neste espaço (IPCC, 2018). Segundo Monteiro (1976) a relação entre as configurações ecológicas, a morfologia geográfica e a densidade urbana compõem o sistema do clima urbano. A partir da análise do clima urbano de um município, é possível determinar o comportamento climático da área e as principais características de vulnerabilidade. O parcelamento do solo previsto pelo projeto urbanístico, por sua vez, busca alternativas que focam no conforto coletivo em escala microclimática e que promovem um planejamento integrado e adequado às demandas locais. Entre as principais ferramentas para a

interpretação dos aspectos locais estão os planos de ação climática, os mapas climáticos urbanos analíticos e, por conseguinte, os mapas de recomendação.

Os princípios comuns de análise e acompanhamento das mudanças climáticas são elaborados a partir das diretrizes climáticas internacionais. As propostas são uma orientação para a elaboração de políticas nacionais e planos de adaptação que contribuem para a conquista das metas esperadas pela comunidade global. Na escala municipal, os mapas climáticos urbanos ou *Urban Climatic Map* (UC-Map) adaptados de normativas estrangeiras constituem-se em uma metodologia que permite o levantamento de informações relevantes para a investigação e proposição de medidas adaptativas e mitigatórias para as alterações climáticas (REN et al, 2011; FERREIRA et al, 2017).

O UC-Map é composto por diversas camadas de dados sobre a área de estudo, como as características geográficas e singularidades climáticas. Geralmente são formados pelo Mapa Climático Urbano Analítico ou *Urban Climatic Analysis Map* (UC-AnMap) e pelo Mapa Climático Urbano de Recomendação ou *Urban Climatic Recommendation Map* (UC-ReMap). O UC-AnMap contempla as análises geográficas e o comportamento climático de determinada região para elaboração de dados e o UC-ReMap identifica as melhores ações de planejamento para uma cidade ou clima urbano específico (REN et al., 2011). A relevância econômica e geográfica de Belo Horizonte para o país, assim como a disponibilidade de seu mapa climático urbano analítico, permite o desenvolvimento de um mapa de recomendação para a cidade. Busca-se atingir esse objetivo a partir da formulação de método baseado em outras experiências de implementação no Brasil e no mundo com o auxílio de referências normativas internacionais.

1.1. PERGUNTA DE PESQUISA

Como elaborar um mapa climático de recomendação para Belo Horizonte?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Proposição de um mapa de recomendação para Belo Horizonte baseado no Mapa Climático Analítico da cidade, considerando a legislação urbanística, normativas de referência e mapas climáticos urbanos nacionais e internacionais.

1.2.2. Objetivos Específicos

A partir do objetivo principal, buscou-se atender aos seguintes objetivos específicos:

- a) Dar continuidade aos estudos realizados a partir do mapa climático analítico de Belo Horizonte;
- b) Criar estratégias municipais de planejamento e gestão urbana para contribuir no combate às mudanças climáticas através de políticas públicas;
- c) Identificar as possibilidades de melhoria nas condições climáticas locais;
- d) Estudar o método de elaboração de mapas de recomendação a partir das normas existentes e verificar a possibilidade de adaptação para a realidade da cidade;
- e) Desenvolver um método replicável de elaboração de mapas de recomendação para outros municípios brasileiros.

1.3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a cidade de Belo Horizonte registrou uma população de 2.375.151 habitantes, ocupando a sexta colocação na lista das cidades mais populosas do Brasil (IBGE, 2010). Por conta da grande ocupação, é necessária a busca por medidas que contribuam para a adaptação da cidade em um modelo sustentável de desenvolvimento. Para isso, é preciso gerenciar causas e consequências das mudanças climáticas para o conforto e qualidade de vida de seus habitantes.

A situação climática no mundo nunca foi tão séria e urgente. A busca por alternativas para atenuação imediata das alterações climáticas é constante e muito divulgada pelos órgãos responsáveis para toda a comunidade internacional. Planos de recomendação elaborados para diversas escalas territoriais são um dos primeiros

passos para que mudanças substanciais na esfera política tomem forma e se iniciem de fato.

A grande maioria das cidades brasileiras não possuem planos de ação climática ou mapas climáticos. Pretende-se disseminar os estudos climáticos nos municípios brasileiros a partir da proposição de um método de elaboração de mapas de recomendação. A elaboração dos mapas articulados a planos de mitigação e adaptação climática é uma técnica de baixo custo, de fácil implantação e com relevância sustentável para o planejamento urbano. Além disso, a proposição desses mapas possibilita melhor entendimento sobre a vulnerabilidade urbana e auxilia no apontamento de estratégias para a melhoria ou manutenção do conforto térmico urbano.

Esta pesquisa se faz necessária uma vez que ainda não há uma metodologia para elaboração de mapas de recomendação adaptada ao contexto nacional. O mapa climático analítico de Belo Horizonte, elaborado por Ferreira, Assis e Katzschner (2017), não apresenta proposta para formulação de recomendações. Para dar prosseguimento aos estudos iniciados naquela pesquisa e contornar a ausência de tal instrumento nos mapas climáticos brasileiros, sugere-se o estudo neste campo do conhecimento.

1.4. RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As análises realizadas para a elaboração dos mapas de recomendação estão diretamente relacionadas aos mapas climáticos urbanos analíticos ou aos planos climáticos da região de estudo. Por conta disso, a pesquisa fica restrita aos locais onde as ações serão propostas. Como as características do clima urbano são próprias da região de análise, as estratégias de mitigação também sofrem alterações entre os pontos de coleta de informações.

Devido às dificuldades de planejamento e ao pouco engajamento político nos municípios brasileiros com relação ao tema do combate às mudanças climáticas, o método de elaboração pode não se adequar a todas as situações de trabalho ou até mesmo ser ineficaz para determinadas cidades. Os UC-AnMaps devem ser elaborados antes da proposição dos mapas de recomendação, logo pode ser um processo mais moroso e com mais dificuldades para cidades menores. A capital

mineira possui tradição com o planejamento urbano, dispõe de vasto arcabouço legal e estrutura consolidada de gestão, além de ter um mapa climático analítico e um plano local de ação climática, apresentando uma realidade muito diferente quando comparada com a situação de outros municípios do país.

Por fim, o reduzido número de referências nacionais disponíveis para o trabalho, relacionadas ao tema de pesquisa, contribui para a busca de parâmetros, normas e procedimentos internacionais ocasionando em uma análise com pouca similaridade à realidade brasileira, fato que pode comprometer a implementação de metodologia nos municípios. O levantamento bibliográfico também fica restrito aos trabalhos internacionais e algumas adaptações podem ser necessárias para a implantação de mapas de recomendação no Brasil.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1 – Introdução: O primeiro capítulo apresenta as primeiras ideias sobre a temática examinada, assim como a descrição dos objetivos da pesquisa, relevância, justificativa e as limitações dos trabalhos.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: A segunda parte do trabalho contém uma contextualização sobre o clima urbano, as principais diretrizes preconizadas no mundo atualmente e a participação brasileira no combate às mudanças climáticas. São consideradas as definições de mapa climático urbano, a normatização internacional relacionada ao tema e a legislação urbanística em vigor na área em estudo.

Capítulo 3 – Estado da Arte: Neste tópico, são apresentados os principais estudos sobre a elaboração de tecnologias sobre o uso de UC-reMaps em diversas partes do mundo e como a pesquisa vem se desenvolvendo no Brasil nos últimos anos.

Capítulo 4 – Materiais e Métodos: São apresentados os materiais necessários para a pesquisa e o método proposto para sua elaboração.

Capítulo 5 – Resultados e Discussão: Neste capítulo são discutidos os resultados da pesquisa, considerando a sobreposição do zoneamento da cidade e o mapa de climatopos do mapa climático analítico de Belo Horizonte. É apresentado também o mapa climático de recomendação proposto.

Capítulo 6 – Conclusão: O último capítulo apresenta as conclusões alcançadas pelo trabalho realizado e as sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

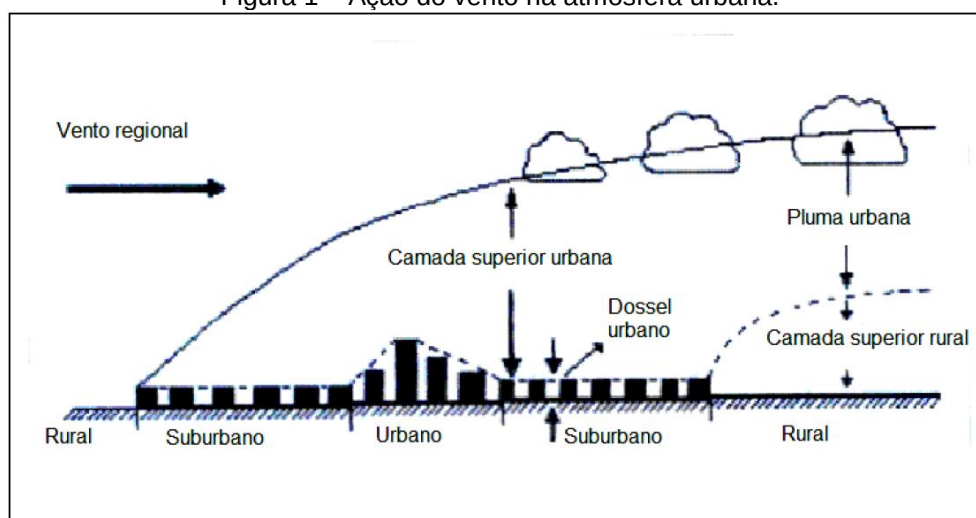
Neste capítulo são abordados conceitos que contribuem para a contextualização do tema trabalhado. O clima urbano é apresentado a partir da sua relação com as principais diretrizes relacionadas com o combate às mudanças climáticas. O material exposto foi obtido por meio de revisão da literatura e a pesquisa forneceu referências para a análise do estado da arte deste trabalho.

2.1. O CLIMA URBANO

De acordo com Souza, V. S. (2010), existem diferenças significativas entre os componentes climáticos do ambiente natural e o construído. A elaboração de um mapa climático urbano permite verificar e detalhar as informações sobre as condições climáticas locais, identificar o impacto ambiental urbano causado na cidade e dar suporte para proposição de medidas mitigadoras para situações de vulnerabilidade, além de promover a integração dos habitantes com o meio construído.

Segundo Souza, V. S. (2010) a relação energética natural existente entre a atmosfera e o solo também pode sofrer modificações substanciais por causa das características físicas e tipologia das cidades. O clima urbano pode ser influenciado por características da paisagem urbana como o tamanho do município, aglomeração e porte das edificações, porosidade do solo, rugosidade da superfície, tamanho da cidade, uso e ocupação do solo, permeabilidade do solo urbano, além da ação do vento como observado na Figura 1.

Figura 1 – Ação do vento na atmosfera urbana.



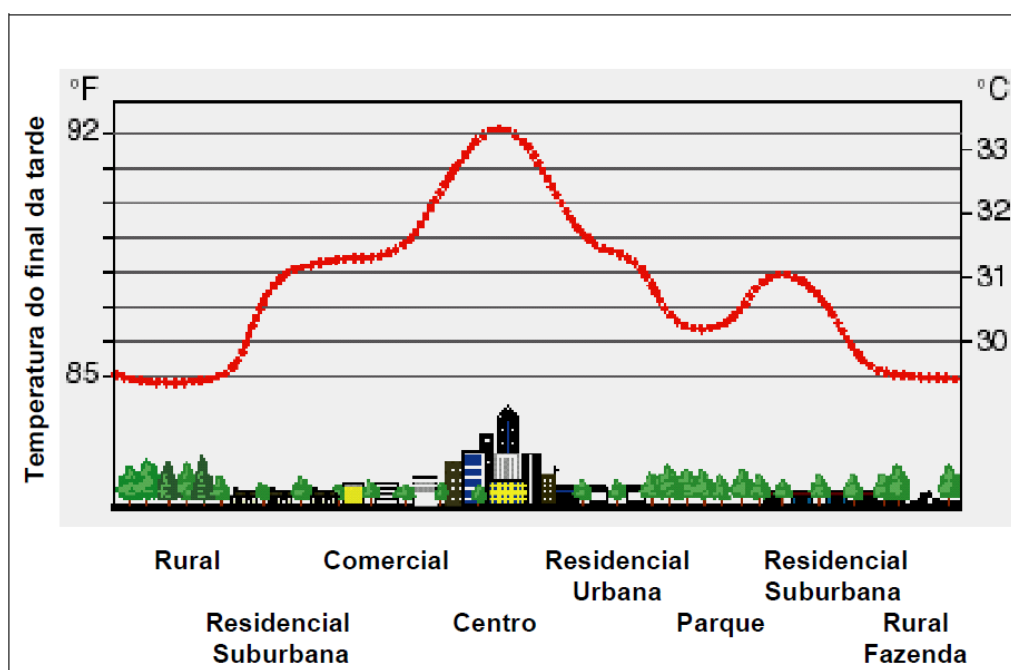
Fonte: Adaptado de Henderson-Sellers e Robinson (1989); Souza, M.B. (2010).

O clima urbano pode ser definido como as variações ocorridas em um clima local causadas pelo processo de urbanização. O crescimento demográfico nos centros urbanos interfere na configuração natural da região e causa a concentração de calor por conta das diversas atividades e circulação de pessoas. O adensamento nas grandes cidades compromete a dissipação de calor contribuindo negativamente para uma distribuição homogênea da temperatura e colaborando para níveis piores de conforto humano e qualidade ambiental urbana (VIEIRA, 2020).

O crescimento da população urbana e o desenvolvimento das cidades proporciona modificações consideráveis no ambiente original de diversos centros metropolitanos. A interferência humana no meio através da migração em massa, desmatamento, construção de habitações e impermeabilização do solo, modificam as características naturais e ocasionam alterações climáticas pontuais. Desde o começo da década de 1990 a comunidade internacional tem trabalhado para avaliar os riscos da interferência humana no clima global, e como essas considerações poderiam ser incorporadas em políticas locais, nacionais e internacionais (LUCAS, 2021).

O clima urbano é característico dos aglomerados metropolitanos e é configurado por um sistema diverso e de grande complexidade. Monteiro (1976) define o clima urbano como um conjunto que formado pelo clima de um determinado local e a sua urbanização. Para Taha (1997) o clima urbano apresenta fenômenos atmosféricos próprios e com alterações na circulação de ar, temperatura, manutenção do calor e no balanço energético superficial devido às suas características singulares. Geralmente o clima urbano é associado às mudanças climáticas através do fenômeno das ilhas de calor. A ocorrência do fenômeno em cada região dos municípios, considerando o tipo de ocupação, é apresentada na Figura 2.

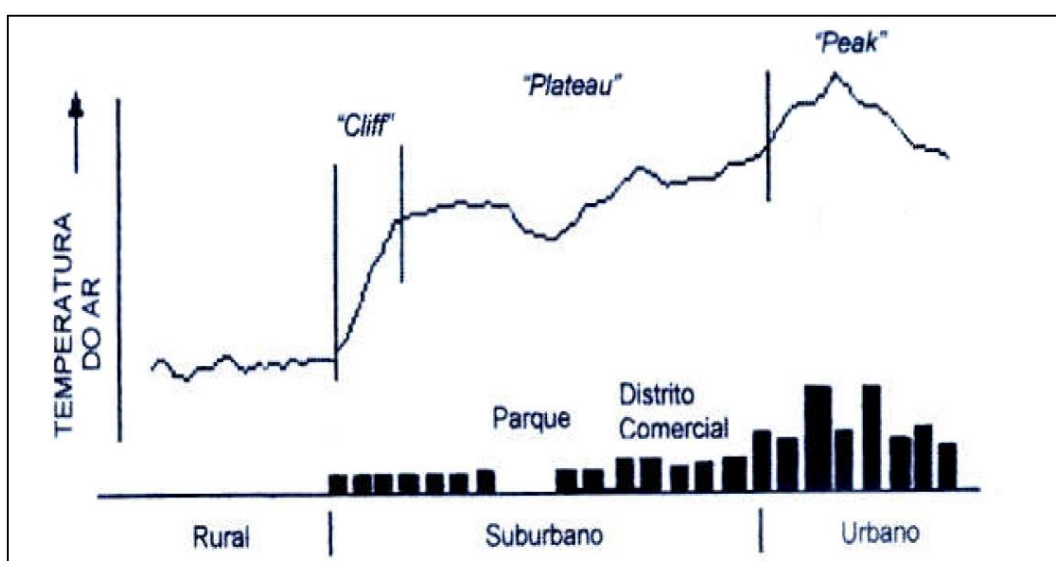
Figura 2 – Representação do fenômeno das ilhas de calor



Fonte: Adaptado de Oke (1974); EPA (1992); Souza, M.B. (2010).

Dennis et al. (2008) dizem que a ilha de calor é a representação fundamental do clima das grandes cidades e tópico de destaque nas discussões sobre mudanças climáticas. O estudo por sensoriamento remoto e a busca pela atenuação dos efeitos causados por ilhas de calor tornaram-se os principais métodos de trabalho da climatologia urbana nos últimos anos. Os trechos característicos de mudanças de temperatura pelo efeito da ilha de calor de acordo com a ocupação do espaço são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Delineamento da ilha de calor nos aglomerados urbanos.



Fonte: Adaptado de Oke (1978); Souza, M.B. (2010)

O clima urbano também pode ser definido como o estudo do ambiente construído e das interações existentes entre o meio e a população presente. Hebbert (2014) questiona se as técnicas de planejamento climático desenvolvidas em nações ricas poderiam ser transferidas para locais com contextos políticos e climáticos diferentes. Países desenvolvidos possuem padrões ambientais extremamente altos, a regulação ambiental é culturalmente bem aceita e possuem recursos financeiros e científicos disponíveis. Apesar da climatologia urbana ser uma ramificação da ciência climática e poder ser considerada como um campo de estudo tradicional, a sua aplicação ainda é relativamente recente. Desta maneira, é importante a elaboração de protocolos locais para monitoramento do clima urbano e gerenciamento efetivo das alterações causadas por ele.

2.2. AS DIRETRIZES CLIMÁTICAS

A legislação climática internacional prevê a intervenção nas ações humanas como medida mitigatória ou mitigadora dos efeitos das mudanças climáticas. Por se tratar de um tema de interesse global, a maioria das nações buscam contribuir para a manutenção das condições do clima e retardar os efeitos causados na natureza pela humanidade. Entre as principais ferramentas de acompanhamento estão os acordos internacionais e a instituição de políticas de alcance local para o desenvolvimento responsável.

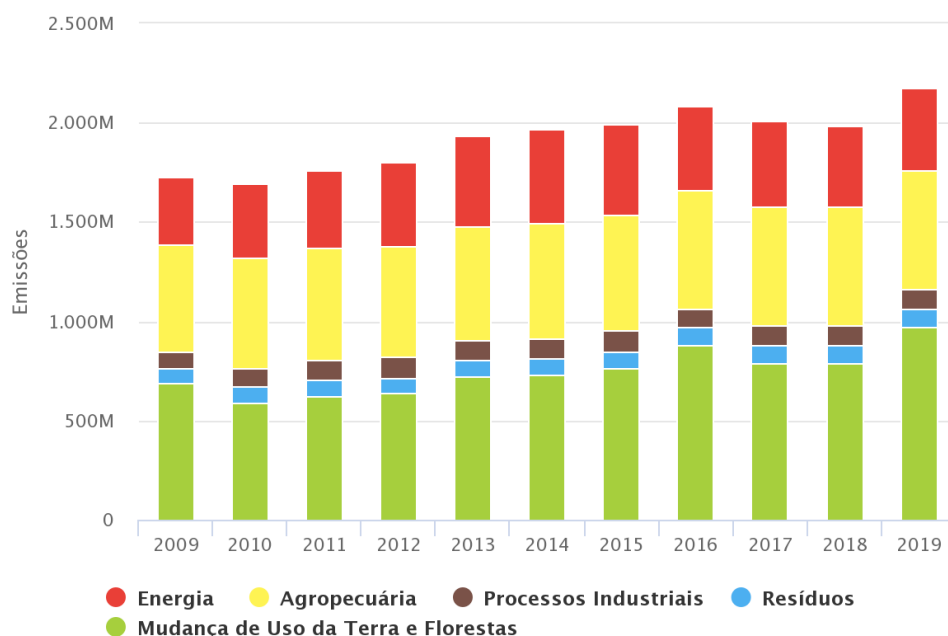
2.2.1. Acordo de Paris

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas ou *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) busca alternativas para a mitigação dos efeitos causados pelos GEE na atmosfera terrestre. A conferência foi estabelecida logo após a *Earth Summit* (ECO-92) em 1992 no Rio de Janeiro e, após sua fundação em 1994, passou a realizar encontros anuais com os países membros. O Protocolo de Kyoto foi aprovado em 1997 na terceira conferência e se tornou o primeiro tratado mundial para redução das emissões de gases. O Acordo de Paris foi elaborado em 2015 com a assinatura de todos os membros. A iniciativa promove o combate às mudanças climáticas e incentiva estratégias para obtenção de um futuro mais sustentável (UNFCCC, 2021).

O Acordo de Paris é um tratado conciso composto por 29 artigos e 16 parágrafos preambulares organizados em 11 páginas. O documento está anexado à decisão tomada na 20ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 20) de adotar formalmente o acordo de combate às mudanças climáticas e apresenta medidas técnicas para auxiliar a implementação de suas medidas. O acordo não é restritivo sobre a maneira como cada membro empreenderá as ações de combate. Porém, pela primeira vez, garante o compromisso de todos os membros em atender aos níveis globais de emissões de GEE o mais rápido possível (Savaresi, 2016).

Apesar dos esforços em se criar um consenso global sobre a urgência para a tomada de ações, Gunfaus e Waisman (2021) explicam que o mundo ainda não está no caminho para alcançar as metas de longo prazo do Acordo de Paris. A expectativa do tratado em manter o aumento da temperatura preferencialmente em até 1,5° C está longe de ser atendida e a meta máxima de aumento em até 2° C torna-se cada vez mais difícil. A criação de sistemas mitigatórios mais ambiciosos é fundamental para cumprir as exigências do tratado e não deve ser considerada apenas a questão dos GEEs. Devem ser projetadas ações que ajudem a transformar a sociedade em vários aspectos para que os objetivos sejam atingidos. Além de ser necessário alcançar o patamar mínimo de emissões, é preciso considerar as realidades locais em cada região do mundo para que a colaboração internacional seja efetiva. A representação do aumento das emissões de GEEs no Brasil nos últimos anos pode ser visto na Figura 4.

Figura 4: Emissões de GEEs no Brasil por setor (2009-2019)



Fonte: SEEG, 2021

2.2.2. Agenda 2030

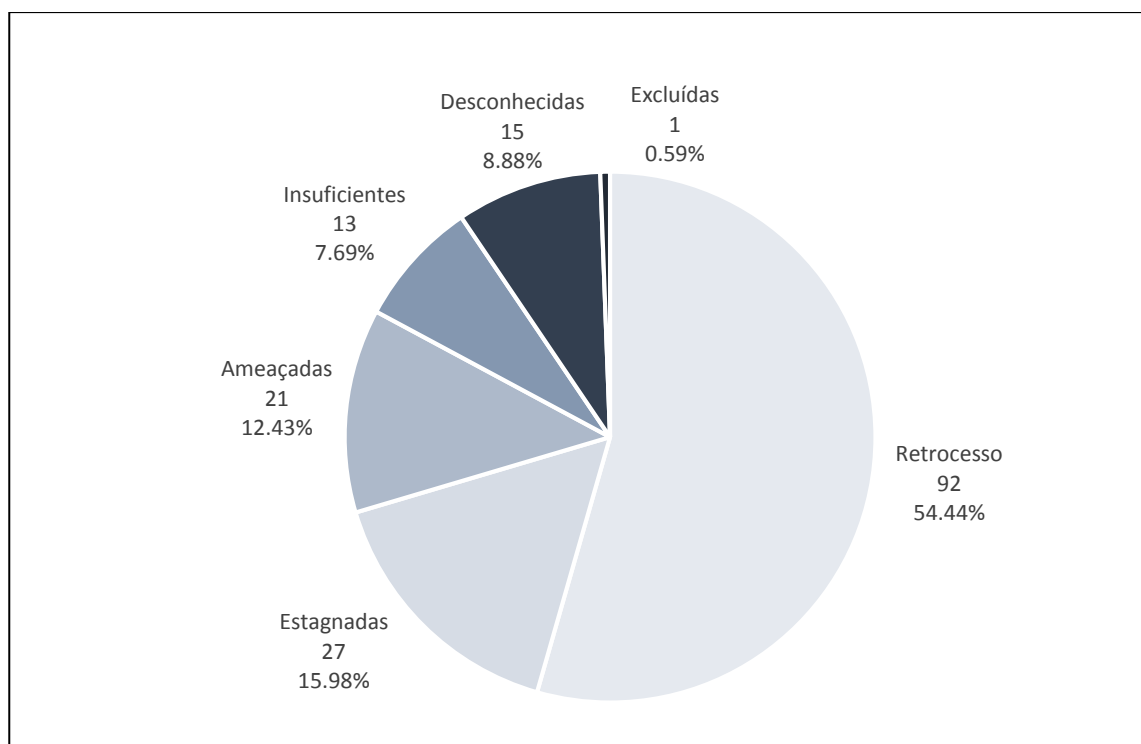
A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável foi apresentada na Cúpula do Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos ou *United Nations Human Settlement Programme* (UN-Habitat) em setembro de 2015 e o documento contempla o conjunto de 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Trata-se de metas a serem cumpridas até 2030 em setores estratégicos da sociedade para a promoção de um futuro melhor para todos. Os ODS absorveram e aprofundaram os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio que haviam sido instituídos em 2000 pela Organização das Nações Unidas (ONU) (DIAZ-SARACHAGA, JATO-ESPINO, CASTRO-FRESNO, 2018).

Além dos 17 ODS, a Agenda 2030 agrupa 169 metas e 232 parâmetros para acompanhar o progresso em direção ao cumprimento das demandas ambientais, econômicas e sociais até 2030. A partir disso é possível considerar que as mudanças climáticas dependam de fatores bem próximos ao cotidiano. A ODS 11: Cidades e comunidades sustentáveis propõe a transformação das cidades e aglomerados humanos em ambientes de inclusão, sustentáveis, resilientes e seguros. A conquista

desse objetivo pode contribuir para a discussão sobre o conforto e a qualidade de vida. A ODS 13: Ação contra a mudança global do clima busca reprimir a ameaça climática causada pelas alterações provenientes da atividade humana. A performance desse objetivo atua indiretamente a favor da manutenção da saúde, diminuição da vulnerabilidade ambiental e prevenção contra a pobreza, condições comumente colocadas em risco durante situações de crise climática (DIAZ-SARACHAGA, JATO-ESPINO, CASTRO-FRESNO, 2018).

O quinto Relatório Luz da Sociedade Civil da GT AGENDA 2030 (2021) apresenta o panorama de implementação das metas da Agenda 2030 no Brasil e atesta uma realidade preocupante sobre o gerenciamento dos ODS no país. De acordo com a publicação, 92 metas, dos 169 componentes da agenda referentes a todos os 17 ODS, estão em retrocesso. As demais metas se classificam como estagnadas, ameaçadas, com progresso insuficiente e carentes de informações. A meta 8.a da agenda trata do apoio ao comércio para países com menor desenvolvimento relativo e foi excluída da análise por não ser aplicável ao Brasil. Os números de cada classificação mencionada são apresentados na Figura 5.

Figura 5: Implementação das metas dos ODS no Brasil



Fonte: GT AGENDA 2030, (2021).

De acordo com a Agenda 2030 (2015) a UNFCCC é a principal referência internacional e intergovernamental para gerenciar as propostas de intervenção às mudanças climáticas. O 13º objetivo procura ampliar a resiliência dos países através da eficiente adequação das políticas locais aos riscos referentes ao clima e aos desastres naturais. Além disso, busca educar e conscientizar sobre a mitigação do clima na esfera internacional e promover uma gestão competente em comunidades locais nos países menos desenvolvidos. Para o êxito do objetivo, é preciso a integração das metas junto à administração de cada país. As metas do ODS 13 e a situação dos respectivos indicadores brasileiros podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1: Indicadores brasileiros para o ODS 13

ODS 13: Ação Contra a Mudança Global do Clima			
Metas	Indicadores	Descrição	Situação
13.1: Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países	13.1.1	Número de mortes, pessoas desaparecidas e pessoas diretamente afetadas atribuído a desastres por 100 mil habitantes	Produzido
	13.1.2	Número de países que adotam e implementam estratégias nacionais de redução de risco de desastres em linha com o Quadro de Sendai para a Redução de Risco de Desastres 2015-2030	Produzido
	13.1.3	Proporção de governos locais que adotam e implementam estratégias locais de redução de risco de desastres em linha com as estratégias nacionais de redução de risco de desastres	Produzido
13.2: Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais	13.2.1	Número de países com Contribuições Nacionalmente Determinadas, estratégias de longo prazo, planos nacionais de adaptação, estratégias como reportadas nas comunicações nacionais e de adaptação	Produzido
	13.2.2	Emissões totais de gases de efeito estufa por ano	Produzido
13.3: Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima	13.3.1	Grau em que a (i) a educação para a cidadania global e (ii) a educação para o desenvolvimento sustentável são integradas nas (a) políticas nacionais de educação; (b) currículos escolares; (c) formação de professores; e (d) avaliação de estudantes	Sem dados

13.a: Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima por meio de sua capitalização o mais cedo possível	13.a.1	Quantidades fornecidas e mobilizadas em dólares dos Estados Unidos por ano em relação à meta continuada de mobilização coletiva existente do compromisso de US\$100 bilhões até 2025	Não se aplica ao Brasil
13.b: Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas	13.b.1	Número de países menos desenvolvidos e pequenos Estados insulares em desenvolvimento com Contribuições Nacionalmente Determinadas, estratégias de longo prazo, planos nacionais de adaptação, estratégias como reportadas nas comunicações nacionais e de adaptação	Não se aplica ao Brasil

Fonte: Brasil, 2022.

2.2.3. Agenda Climática Brasileira

De acordo com Freitas (2012) uma das primeiras iniciativas brasileiras sobre a temática ambiental ocorre em 1909, concomitante ao Congresso Internacional para a Proteção da Natureza que ocorria na Europa. Apesar de o país não participar da reunião, realizou ações significativas na legislação local para alinhamento com as políticas estrangeiras. Desde então, o país passou a integrar o cenário internacional e se envolver com as questões ambientais. A mudança climática passou a figurar como tema de destaque no Brasil a partir da ECO-92 e alguns movimentos ganharam maior visibilidade nas duas décadas seguintes como a divulgação dos biocombustíveis, a identificação do desmatamento como origem fundamental das emissões de gases de efeito estufa e a adesão de metas para a redução das emissões.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) foi implementada no Brasil através da Lei Federal nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009 e teve origem a partir do Plano Nacional de Mudança Climática elaborado em 2008. A lei torna-se o marco inicial da coordenação de ações mitigatórias e combate às alterações climáticas no Brasil como pode ser observado na Figura 6. A PNMC prevê metas para a redução de emissões no Brasil até o ano de 2020 por meio do planejamento estratégico em setores específicos da economia e a criação de um mercado nacional de carbono. Após a consolidação da lei, Estados e Municípios passaram a legislar sobre a temática climática (BRASIL, 2009). O governo federal apontou que o Brasil havia alcançado as metas de redução de emissões previstas nas Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMA) e na PNMC no ano de 2018. Porém, o atendimento às metas é questionado pela sociedade civil, que indica incoerências na redução de emissões, principalmente por causa do aumento do desmatamento no país nos últimos anos (SANTOS, 2021).

Figura 6: Alinhamento estratégico das políticas públicas para mitigação



Fonte: Rodrigues, 2013.

O Plano Nacional de Adaptação (PNA) é uma segmentação da PNMCM, instituída em 2016, com o objetivo de articular o gerenciamento e diminuição dos riscos provenientes da mudança climática. A proposta principal é realizar projetos nas 11 esferas basilares da administração pública brasileira: saúde, infraestrutura, biodiversidade, gestão de risco de desastres, povos e populações vulneráveis, recursos hídricos, agricultura, zonas costeiras, mineração, cidades e indústria (BRASIL, 2016).

Para Lima e Duarte (2020) as disposições e atuações do PNA foram traçadas para serem comandadas pelas três instâncias federativas destacando a presença, colaboração e entendimento dos componentes envolvidos. O ponto mais importante do plano é a elaboração de pauta geral inclinada para as ações básicas para acelerar a elaboração de projetos nos eixos de interesse.

A busca por melhorias na maneira como a gestão da sustentabilidade urbana ocorre é administrada por meio de diretrizes que ditam a forma como são realizadas as ações de combate às mudanças climáticas, de acordo com o grau de comprometimento causados ao meio ambiente. A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) define as ações de gestão de impactos como preventivas, mitigatórias, além das ações de preparação, resposta e recuperação. Tratam-se de protocolos que devem ser seguidos no caso de danos à natureza. A proteção ocorre

com o intuito de prevenir a ação danosa enquanto que a mitigação busca por alternativas que amortecem os impactos causados por ações consideradas em andamento. A adaptação das ações de impacto no ambiente é desmembrada em reações de preparação da área para receber os impactos de forma controlada, com respostas e registros sobre como o impacto afeta a área e ações de recuperação para o restabelecimento e regeneração das características originais (BRASIL, 2012).

2.2.4. Planos de Ação Climática

Para Coutinho et al. (2021) a governança climática brasileira busca adaptar as políticas públicas às demandas previstas pelos órgãos internacionais de regulação. Frente aos desafios apontados pelas previsões preocupantes sobre as mudanças climáticas, a elaboração de estratégias coordenadas para o combate e mitigação de alterações ganha cada vez mais importância entre as administrações municipais. Os Planos de Ação Climática (PAC) são estudos que promovem o levantamento de dados, a busca por soluções sustentáveis e a gestão preventiva dos riscos climáticos, além de permitir melhor gerenciamento das medidas de adaptação necessárias para o cumprimento de metas específicas. Estes instrumentos objetivam a redução da vulnerabilidade dos municípios onde são desenvolvidos e utilizam alternativas de combate baseadas no planejamento urbano.

O planejamento urbano trata das diretrizes técnicas necessárias para abordar as mudanças climáticas por meio de medidas de adaptação e mitigação. A organização antecipada das ações a serem tomadas permite o bom funcionamento das políticas públicas e facilita a tomada de decisão pela administração responsável. Através deste artifício, é possível que os gestores possam criar e concretizar medidas de combate às mudanças climáticas e viabilizar melhorias para a qualidade de vida e para o meio ambiente (MAUAD, 2018; TEIXEIRA E PESSOA, 2021).

Teixeira e Pessoa (2021) explicam que a adaptação climática pode ser entendida como um sistema harmonioso de alterações na conduta pública e individual com o propósito de prever as possíveis consequências das mudanças climáticas em escala local e arquitetar a redução das vulnerabilidades aos riscos socioambientais. A partir dos PAC são geradas diversas ferramentas que auxiliam a tomada de decisão como o desenvolvimento inclusivo, a promoção da resiliência e da justiça climática e os mapas climáticos urbanos.

O Plano Local de Ação Climática de Belo Horizonte (PLAC-BH) busca associar estrategicamente metas locais de equidade, adaptação e mitigação junto ao planejamento urbano de maneira a atender aos preceitos do Acordo de Paris. O objetivo principal do documento é o empenho para zerar as emissões dos gases de efeito estufa até o ano de 2050. O PLAC-BH é composto por dezesseis ações que representam as carências coletivas, divididas em três eixos temáticos, com abrangência temporal referentes ao curto, médio e longo prazos e foram apontadas durante oficinas públicas. As ações consolidadas do PLAC-BH são apresentadas no Quadro 2 (PBH, 2022).

Quadro 2: Ações do PLAC-BH

Eixo	Ação
Mais vozes, menos desigualdades	Ação 1: Elaborar e implementar um Plano Contínuo de Comunicação Social e Educação Ambiental sobre Mudança Climática, reforçando os espaços de comunicação já existentes
	Ação 2: Estruturar um Plano de Governança Climática
	Ação 3: Instituir um Painel de Monitoramento de Indicadores Climáticos
	Ação 4: Fortalecer a utilização do critério de justiça climática na concepção de novos projetos de infraestrutura
	Ação 5: Promover o Turismo Sustentável e Comunitário
Mais vida, menos vulnerabilidade	Ação 1: Estruturar e promover Ações Territoriais
	Ação 2: Fortalecer o sistema de prevenção de risco e desastre considerando o enfoque nos eventos climáticos extremos
	Ação 3: implementar uma Política Municipal de Segurança Hídrica
	Ação 4: Fortalecer a Política Municipal de Apoio à Agricultura Urbana
	Ação 5: Adotar Soluções baseadas na Natureza e priorizar os espaços de passagem da Trama Verde-Azul
Mais verde, menos emissões	Ação 1: Reduzir o passivo ambiental do município
	Ação 2: Universalizar a Arborização Urbana através da ampliação da arborização das vias e dos espaços públicos de Belo Horizonte
	Ação 3: Proteger e fortalecer a biodiversidade local
	Ação 4: Priorizar e acompanhar ações de mobilidade com maior potencial de efetiva redução de emissões de GEE
	Ação 5: Priorizar e acompanhar ações de saneamento e resíduos com maior potencial de efetiva redução de emissões de GEE
	Ação 6: Priorizar e acompanhar ações que promovam fontes energia com maior potencial de efetiva redução de emissões de GEE

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2.5. Mapas Climáticos Urbanos

Segundo Souza, V. S. (2010) a primeira referência ao estudo do clima urbano por meio de mapas surgiu na Alemanha em 1980. A cidade de Stuttgart foi a primeira cidade europeia a utilizar um mapa climático junto ao planejamento urbano. De acordo com Marques, Ganho e Cordeiro (2012) um dos primeiros registros do desenvolvimento da metodologia alemã que pondera as características positivas e negativas do potencial dinâmico de ventilação e da carga térmica, assim como a identificação de faixas com características climáticas similares utilizadas no planejamento urbano, ocorreram em Hong Kong. A partir dos climatopos classificados na região, foi realizada a conferência dos dados sobre as situações de conforto bioclimático e de vulnerabilidade climática urbana na cidade.

A norma número 3787 da Associação de Engenheiros Alemães ou *Verein Deutscher Ingenieure* – 3787 (VDI 3787) trata da meteorologia ambiental, clima e mapas de poluição do ar para as cidades e regiões da Alemanha. De acordo com a norma os climatopos são unidades espaciais designadas onde os fatores microclimáticos mais importantes são relativamente homogêneos e as características microclimáticas não se diferem de maneira considerável. As áreas podem ser classificadas a partir da circulação de ar, presença de espaços verdes, densidade construtiva e carga térmica. A metodologia é desenvolvida a partir das considerações positivas e negativas de diferentes informações relacionadas às características geográficas locais. A partir daí, categorias climáticas são determinadas para interpretar a condição da ventilação e as cargas térmicas atuantes nas camadas da atmosfera urbana (VDI 3787, 2015).

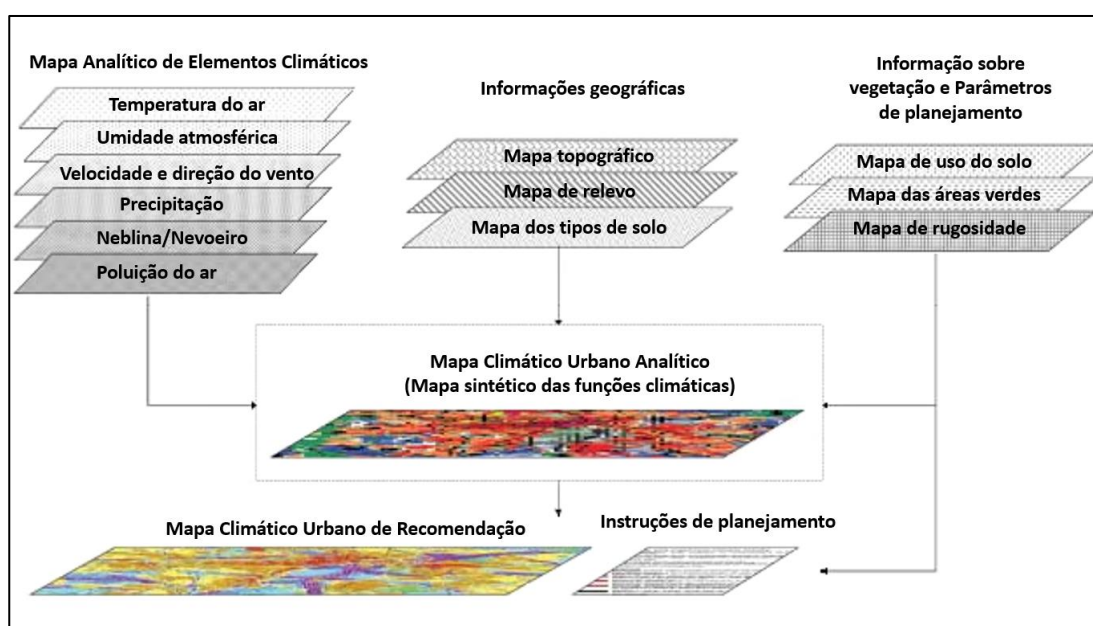
Freitas et. al. (2021) explicam que os mapas climáticos podem ser entendidos como representações gráficas do espaço e dos diferentes comportamentos observados nas variáveis climáticas que ocorrem nestas áreas. O mapa sintetiza as informações relacionadas com características morfológicas, climáticas e ambientais distintas, assim como dados resultantes de outras metodologias que contribuem para o estudo do clima urbano e do planejamento urbano.

Para Vieira (2020) o UC-Map é um mecanismo de checagem da interação existente entre o ambiente construído e o clima local. É uma ferramenta estratégica para a análise climática durante o planejamento urbano, já que permite definir sugestões para políticas urbanísticas.

O agrupamento dos dados espaciais e climáticos são responsáveis pela definição das camadas-base utilizadas para a construção de um mapa climático analítico, a partir da obtenção de informações sobre a macroescala, a mesoescala e a microescala. Os dados que indicam valores positivos para o acúmulo de calor originam o mapa de carga térmica, enquanto que dados que identificam valores negativos para a retenção calor estabelecem o mapa de potencial dinâmico. A combinação destes dois mapas estabelece o mapa climático analítico, aplicado para o estudo das características climáticas de determinada região. As classes determinadas no mapa climático analítico são tratadas para que formulem o mapa de recomendações, direcionado para a gestão e o planejamento urbanos, através da sugestão de instruções pertinentes para as demandas existentes (NG et al., 2012).

De acordo com Ren, Ng e Katzschner (2011), a estrutura básica de um mapa climático urbano (UC-Map) consiste na sobreposição das várias camadas de informações geográficas e climáticas. O UC-Map é composto pelo Mapa Climático Urbano Analítico (UC-AnMap) e pelo Mapa Climático Urbano de Recomendação (UC-ReMap). O UC-AnMap considera a geografia e o comportamento das características climáticas para a produção de informações, enquanto o UC-ReMap realiza o levantamento das instruções de planejamento a partir das necessidades do clima urbano como mostrado na Figura 7.

Figura 7: Estruturação básica de um mapa climático urbano



Fonte: Adaptado de Ren, Ng e Katzschner (2011).

A diversificação dos métodos de planejamento urbano permite a elaboração de mapas de recomendação cada vez mais adequados às necessidades urbanas. Apesar da produção científica relacionada à temática das mudanças climáticas ter um crescimento considerável nas últimas décadas, não há evidências de que todo esse conhecimento tenha contribuído para melhorias substanciais no planejamento urbano em termos de recomendações (MILLS et al., 2010).

Segundo Mills et al. (2010) a elaboração de recomendações climáticas para um planejamento urbano efetivo conta com a utilização de estratégias tecnológicas, mudanças na concepção de projetos e formulação de ferramentas para adequação comportamental da sociedade. O sistema de planejamento urbano baseado nas mudanças climáticas deve promover a integração entre todos os níveis de gestão com ações abrangentes e universais. Os princípios que podem ser considerados para a integração entre planejamento urbano e estudos climáticos estão no Quadro 3.

Quadro 3: Princípios de integração climática no planejamento urbano

Princípios de Integração		
Princípio	Ação	Objetivo
Propósito	Conhecimento climático integrado ao planejamento	Definição dos melhores alvos estratégicos para julgamento dos planos apresentados
Conveniência	Realização da análise climática no início do planejamento	Aproveitar todas as estratégias climáticas e evitar retificações futuras
Assistência	Estabelecer os requisitos de otimização do processo de planejamento	Antecipar os resultados por meio da abordagem adequada
Complexidade	Síntese das informações climáticas	Refinar as metas desejadas e reconhecer soluções que fogem ao resultado esperado
Viabilidade Econômica	Estruturação das estratégias climáticas recomendadas	Avaliação das consequências econômicas
Sustentabilidade	Incorporação da sustentabilidade nas análises climáticas de projeto	Considerações sociais, econômicas, administrativas e ambientais no planejamento
Benefícios Imediatos	Elaboração de ferramentas de previsão confiáveis	Validação da perspectiva climática em números absolutos
Abordagem de solução	Adequação das prioridades de planejamento	Atribuir importância e urgência das questões climáticas na agenda da administração

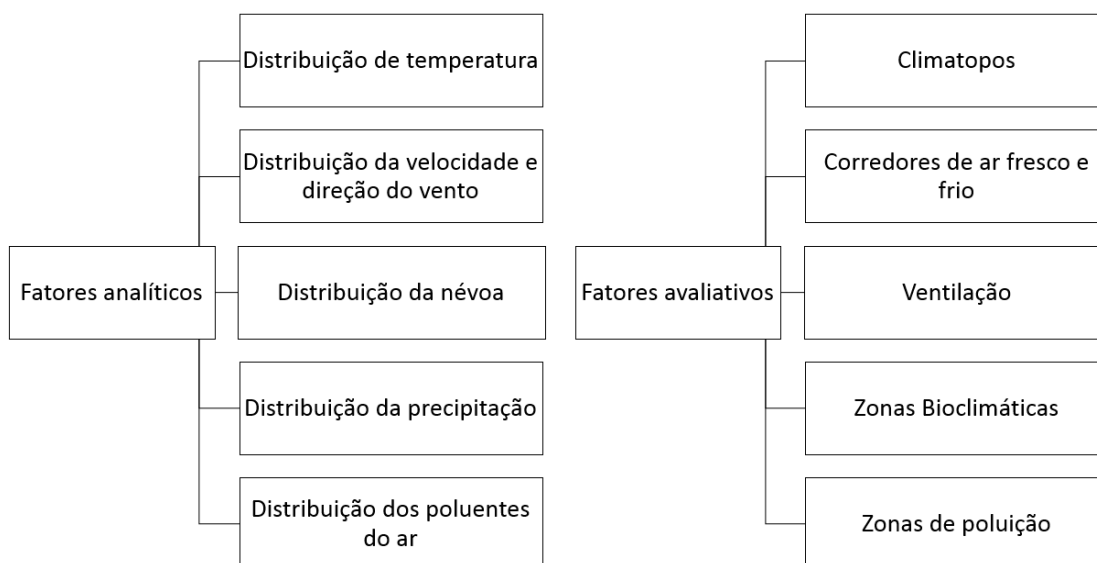
Fonte: Adaptado de Mills et al. (2010)

2.2.6. Normatização

Apesar da temática sobre as mudanças climáticas influenciar a implementação de políticas e planos de ação no Brasil, não foram encontradas referências nacionais para a elaboração de mapas climáticos de recomendação. O planejamento urbano passou a considerar o mapa climático na concepção de projetos em meados da década de 1970 na Alemanha e, a partir da demanda, a normatização das atividades de planejamento integrado passou a ser desenvolvida (SOUZA, V. S., 2010).

A norma alemã VDI 3787 é considerada um marco inicial para a legislação de diretrizes para a integração do planejamento urbano junto aos mapas climáticos. Desde a década de 1980 são prescritas as condutas de planejamento para a introdução do desenvolvimento sustentável nas cidades alemãs. Em 1997 a *German National Guideline VDI 3787 Part 1: Environmental meteorology climate and air pollution maps for cities and regions* foi instituída como legislação nacional. A norma promove a oferta de pareceres técnicos sugeridos para a elaboração de mapas climáticos urbanos, define a simbologia para microclima e mesoclima além de indicar as representações utilizadas no UC-AnMap e UC-ReMap. Devido ao pioneirismo alemão nos estudos sobre a adaptação de mapas climáticos, a norma se torna uma das referências mais importantes para a elaboração de estudos neste campo. Os fatores analíticos e avaliativos recomendados na primeira parte da norma VDI 3787 são apresentados na Figura 8 (REN; NG; KAZTSCHNER; 2009).

Figura 8: Fatores analíticos e avaliativos apresentados na Parte 1 da VDI 3787



Fonte: Adaptado de Ren, Ng e Katzschner (2009)

A norma VDI 3787 (2015) apresenta em seu conteúdo as diretrizes para a elaboração de mapas climáticos de acordo com as considerações do clima, qualidade do ar e os diferentes níveis de planejamento urbano. Os processos de criação e representação de mapas climáticos e a concepção dos estudos com base na criação de climatopos também são abordados no documento. Tanto os fenômenos climáticos quanto os fundamentos teóricos, métodos de produção de mapas climáticos e os procedimentos de cálculos dos sistemas de informação geográfica são abordados para a formulação de ferramentas de análise para uso junto ao planejamento urbano.

O documento prevê, ainda, os princípios gerais para a elaboração de mapas climáticos de recomendações. A criação do documento deve ser baseada nas designações presentes no mapa analítico e contar com os conhecimentos sobre o clima urbano local. A proposição de recomendações ocorre através de sugestões para a compensação de impactos em áreas verdes e áreas de assentamentos humanos (VDI 3787, 2015).

Segundo Ganilho (2020) existe um grande número de normas internacionais que versam sobre a proteção ambiental, desempenho e eficácia energética e atuam de maneira integrada para permitir ações de mitigação das alterações climáticas. A *International Organization for Standardization* (ISO) discute sobre as mudanças climáticas e conta com normas que incluem a temática sob o ponto de vista operacional. A 14090:2019 apresenta os princípios, requerimentos e diretrizes de adaptação para combater as mudanças climáticas dentro das organizações empresariais. A ISO 14092:2020 aborda os requerimentos e orientações para a adaptação do planejamento em comunidades e governos municipais. Por fim, a ISO 14091:2021 associa as diretrizes de combate às mudanças climáticas com a avaliação de vulnerabilidades, impactos e riscos ambientais associados.

2.2.7. Mapa Climático Urbano Analítico de Belo Horizonte

De acordo com Ferreira, Assis e Katzschnner (2017) a elaboração do mapa climático urbano de Belo Horizonte se deu pelo uso de metodologia alemã baseada no emprego de climatopos. A verificação das condições microclimáticas de Belo Horizonte leva em conta componentes do balanço energético superficial. No cenário positivo a carga térmica urbana diminui, promovendo dissipação da temperatura, e no cenário negativo ela aumenta ocasionando retenção da temperatura.

Simultaneamente, o potencial dinâmico é examinado a partir da sua contribuição para a dissipação da carga térmica na cidade. Quanto maior é o potencial dinâmico, maior será sua contribuição. Dessa maneira, em cada camada do mapa são indicadas as contribuições para o balanço de energia na superfície urbana na região. O mapa climático é composto por cinco camadas e elaborado segundo mapas-base da cidade e trabalhados para permitir a comparação de elementos e a álgebra dos mapas. As camadas do mapa, a contribuição dessas para o clima urbano e as implicações para o balanço energético são apresentadas no Quadro 4 (FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER; 2017).

Quadro 4: Camadas do mapa climático analítico de Belo Horizonte

Camada	Impacto no clima urbano	Critério Físico	Dado utilizado	Mensuração
Volume edificado	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo)	Classificação da ocupação urbana, incluindo número de pavimentos	Volume de edificações (m ³)
Áreas verdes	Resfriamento noturno, mitigação de efeitos adversos de aumento da carga térmica urbana	Térmico (efeito positivo)	Classificação de áreas verdes a partir de imagem de satélite (resolução de 30 m)	Presença de vegetação rasteira ou vegetação arbórea (m)
Declividade	Circulação local de ar induzida termicamente pelo relevo	Dinâmico (efeito positivo)	Modelo digital de terreno (topografia)	Declividade (em graus)
Áreas não permeáveis	Armazenamento de calor e redução dos fluxos de ar	Térmico e dinâmico (efeito negativo)	Classificação da cobertura do solo a partir de imagem de satélite (resolução de 30 m)	Existência de áreas não edificadas e pavimentadas (m)
Rugosidade	Circulações locais de vento	Dinâmico (efeito negativo)	Mapa de redução da velocidade do vento diante da ocupação urbana	Redução da velocidade do vento (m/s)

Fonte: Ferreira, Assis e Katzschnner, 2017

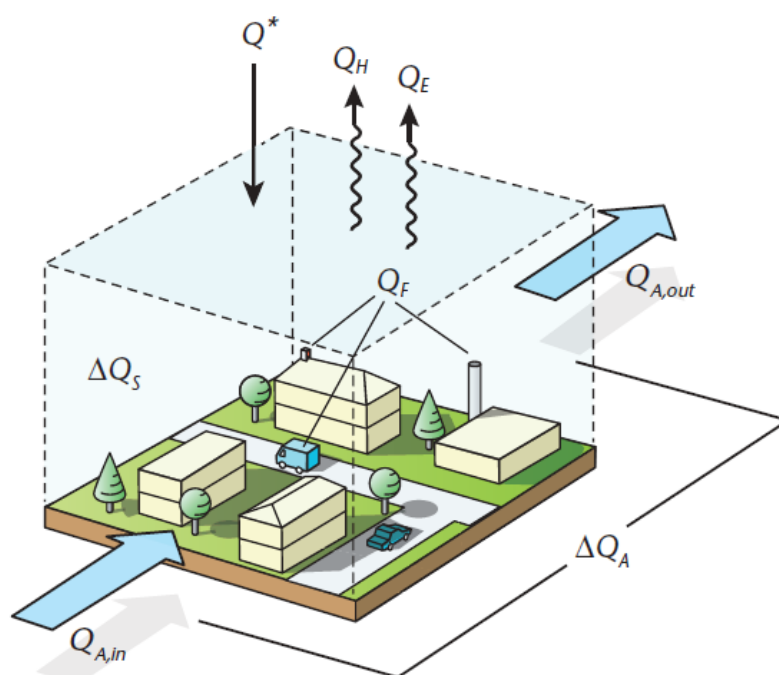
Ferreira (2021) apresenta em sua tese a Equação de balanço de energia na superfície urbana, a partir dos conceitos da climatologia física apresentados por Oke et al (2017). O balanço energético de determinado ambiente pode ser estabelecido a partir de fontes de ganho, perda e retenção de energia. A Equação 1 sintetiza o balanço de energia em uma superfície urbana.

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A(1)$$

O fluxo de radiação (Q^*) somado ao fluxo de energia antropogênica presente no sistema (Q_F) é igual ao somatório dos fluxos turbulentos de calor sensível (Q_H) e latente (Q_E), além da variação do volume de energia armazenado (ΔQ_S) e da advecção horizontal de calor sensível e latente (ΔQ_A) (OKE, 2017).

A equação de balanço de energia também pode ser entendida a partir do método de trocas térmicas estudado por Gartland (2010), onde o saldo de radiação somado com o calor antropogênico resulta na soma entre a convecção, evaporação e a retenção de calor. O esquema de fluxos presentes no balanço de energia superficial de uma área urbana é apresentado na Figura 9 (FERREIRA, 2021).

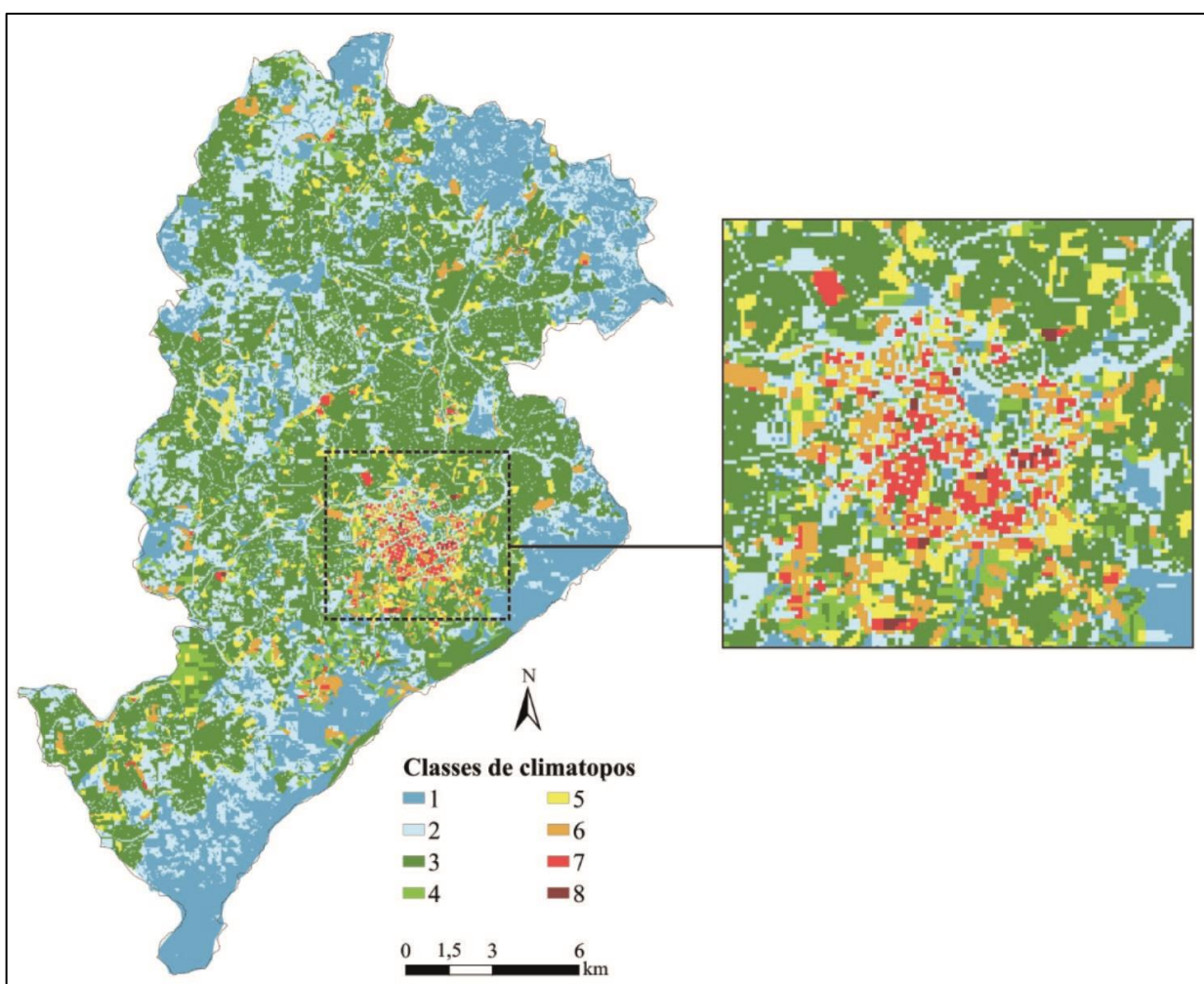
Figura 9: Esquema do fluxo de balanço energético superficial urbano



Fonte: Adaptado de Oke, 2017

Segundo Ferreira, Assis e Katzschner (2017), também foram considerados aspectos geográficos dados de uso do solo e referências sobre os ventos para a formulação das camadas de mapas temáticos para a elaboração do mapa climático analítico de Belo Horizonte. A premissa que rege a elaboração do mapa é o esquema de análise multicritério, vinculado à investigação espacial, cujo propósito é elaborar um sistema detalhado do município. Foram sugeridas oito classes climáticas urbanas chamadas de climatopos, a partir da análise dos efeitos positivos e negativos causados pela carga térmica do ambiente urbano juntamente com o potencial dinâmico observado no local e também pelas contribuições de cada camada no ambiente urbano. A associação destas informações permitiu a elaboração do mapa analítico para a cidade, como pode ser observado na Figura 10.

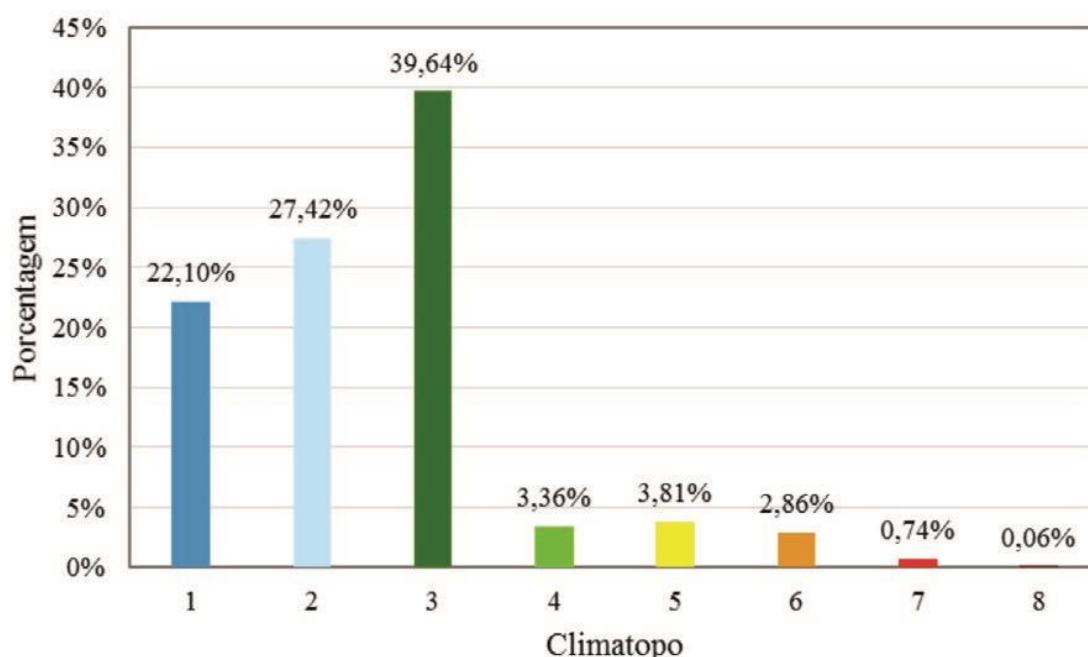
Figura 10: Climatopos do mapa climático analítico de Belo Horizonte



Fonte: Ferreira, Assis e Katzschner, 2017

Ferreira, Assis e Katzschner (2017) explicam que a camada 1 de volume edificado representa as consequências do volume de edificações na retenção de calor no perímetro urbano. As áreas onde ocorrem a concentração de prédios mais altos são onde esta variável possui maior relevância. A região central da cidade concentra as construções mais altas e por isso recebe a maior contribuição dessa camada. A segunda camada se refere às áreas verdes e identifica a presença de espaços de vegetação na capital. As regiões periféricas que não apresentam áreas construídas foram atribuídas valor nulo. A camada 3 relacionada à declividade mostra o relevo do município e considera a variação topográfica. A camada 4 de áreas não permeáveis verifica os efeitos da impermeabilização e pavimentação na manutenção do calor diurno e a camada 5, referente à rugosidade, considera como a ocupação do solo interfere na circulação dos ventos. Ambas as camadas são destacadas na região central onde existe a maior densidade construtiva. A distribuição das classes de climatopos em Belo Horizonte pode ser verificada na Figura 11.

Figura 11: Distribuição das classes de climatopos em Belo Horizonte



Fonte: Ferreira, Assis e Katzschner, 2017

As classes 1 e 2 indicam a presença de carga térmica negativa, com menor retenção de calor, e com bom potencial dinâmico, que significa maior capacidade de resfriamento pela circulação de ar. O climatopo 3 é o mais representativo na cidade, sendo caracterizado pela baixa carga térmica e bom potencial dinâmico. Os demais

climatopos configuram regiões de maior impacto quanto a carga térmica e potencial dinâmico e correspondem a aproximadamente 10% do território do município. Uma razão possível para esse fato é a maneira como Belo Horizonte foi urbanizada, com uma concentração da densidade construtiva na região central e com um entorno pouco adensado. A definição de cada climatopo de acordo com as respectivas classes climáticas urbanas que representam é apresentada no Quadro 5. (FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER; 2017).

Quadro 5: Classes de climatopos em Belo Horizonte

Classes de climatopos em Belo Horizonte	
Climatopo	Classe climática urbana
1	Carga térmica moderadamente negativa e bom potencial dinâmico
2	Carga térmica ligeiramente negativa e bom potencial dinâmico
3	Baixa carga térmica e bom potencial dinâmico
4	Alguma carga térmica e algum potencial dinâmico
5	Carga térmica moderada e algum potencial dinâmico
6	Carga térmica moderadamente alta e baixo potencial dinâmico
7	Carga térmica alta e baixo potencial dinâmico
8	Carga térmica muito alta e baixo potencial dinâmico

Fonte: Ferreira, Assis e Katzschner, 2017

2.2.8. Legislação Urbanística de Belo Horizonte

A Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) estabelece a regulação das atividades humanas com potencial impactante para o ambiente urbano e para a qualidade de vida dos habitantes. Tais medidas limitantes tem o objetivo de oferecer melhores condições de locomoção, trabalho, moradia e lazer em toda a mancha urbana. O planejamento urbano deve considerar as diretrizes locais para a elaboração de projetos com respaldo legal e é imperativo que alterações de qualquer natureza no meio urbano sejam executadas a partir de um planejamento aprovado pela prefeitura considerando as escalas de projeto arquitetônico e projeto urbanístico (PBH, 2021).

O Código de Edificações do Município de Belo Horizonte estipula os requerimentos necessários para o desenvolvimento de atividades construtivas, reformas, adaptações, demolições, reestruturação urbanística e proteção patrimonial em todas as regionais da cidade. As alterações provenientes das tentativas de mitigação das

alterações climáticas na cidade devem levar em conta as disposições do código, assim como outras orientações legislativas (BELO HORIZONTE, 2009).

O licenciamento ambiental e urbanístico também deve ser considerado nos casos de interferência que cause impacto de qualquer natureza na cidade. O decreto nº17.266 de 28 de janeiro de 2020 estabelece os procedimentos necessários para que empreendimentos realizem alterações urbanísticas e prevê as providências que devem ser tomadas para a implantação dos projetos (BELO HORIZONTE, 2020).

A Lei Orgânica Municipal de Belo Horizonte (LOMBH) determina que a elaboração e execução do planejamento urbano deve garantir o bem-estar público por meio da organização espacial apropriada, integração das atividades urbanas e a participação da sociedade civil de maneira ativa. Além dos dispositivos previstos na legislação estadual e federal, fazem parte do planejamento urbano o Plano Diretor, normas de parcelamento, ocupação e uso do solo, normas de posturas municipais que incidem sobre o uso dos logradouros públicos e vários outros instrumentos de desenvolvimento urbano (BELO HORIZONTE, 2021).

O Plano Diretor de Belo Horizonte implementado pela Lei nº 11.181/2019 propõe o desenvolvimento sustentável como ferramenta de combate às mudanças climáticas a partir da adaptação do desenvolvimento econômico e social em conjunto com a preservação ambiental. O documento estabelece também a promoção de alternativas de planejamento que incentivem a resiliência na cidade e reduzam os riscos de desastres e promova medidas de adaptação e mitigação das alterações climáticas em ambientes, construções, infraestrutura e serviços. Sugere, ainda, reduzir a emissões de GEE na cidade, racionalizar o consumo de água, energia e aprimorar a gestão de resíduos sólidos, entre outras medidas, a fim de enfatizar os princípios de planejamento recomendados pelas políticas de combate às mudanças climáticas (BELO HORIZONTE, 2019).

O zoneamento de Belo Horizonte é definido pelo Plano Diretor da cidade e busca a adequação do uso e ocupação do solo na capital mineira para o melhor aproveitamento do espaço e otimização dos processos construtivos. A definição do zoneamento em cada região ou área específica da cidade ocorre de maneira a propiciar as melhores condições para a capacidade de suporte do solo, para a instalação de infraestrutura e para a promoção do ordenamento territorial no ambiente urbano, dentre outros aspectos. Os estudos que determinam as condições em que cada região será ocupada proporcionam a correta distribuição dos equipamentos

urbanos, residências dos cidadãos, indústrias, infraestrutura pública e serviços para a população. Além de prevenirem a segregação socioespacial e o crescimento desordenado, estes estudos buscam a integração de todas as regiões da cidade. O zoneamento de Belo Horizonte, com as respectivas subdivisões definidas pelo Plano Diretor, está listado no Quadro 6 (BELO HORIZONTE, 2019).

Quadro 6: Zoneamentos em Belo Horizonte

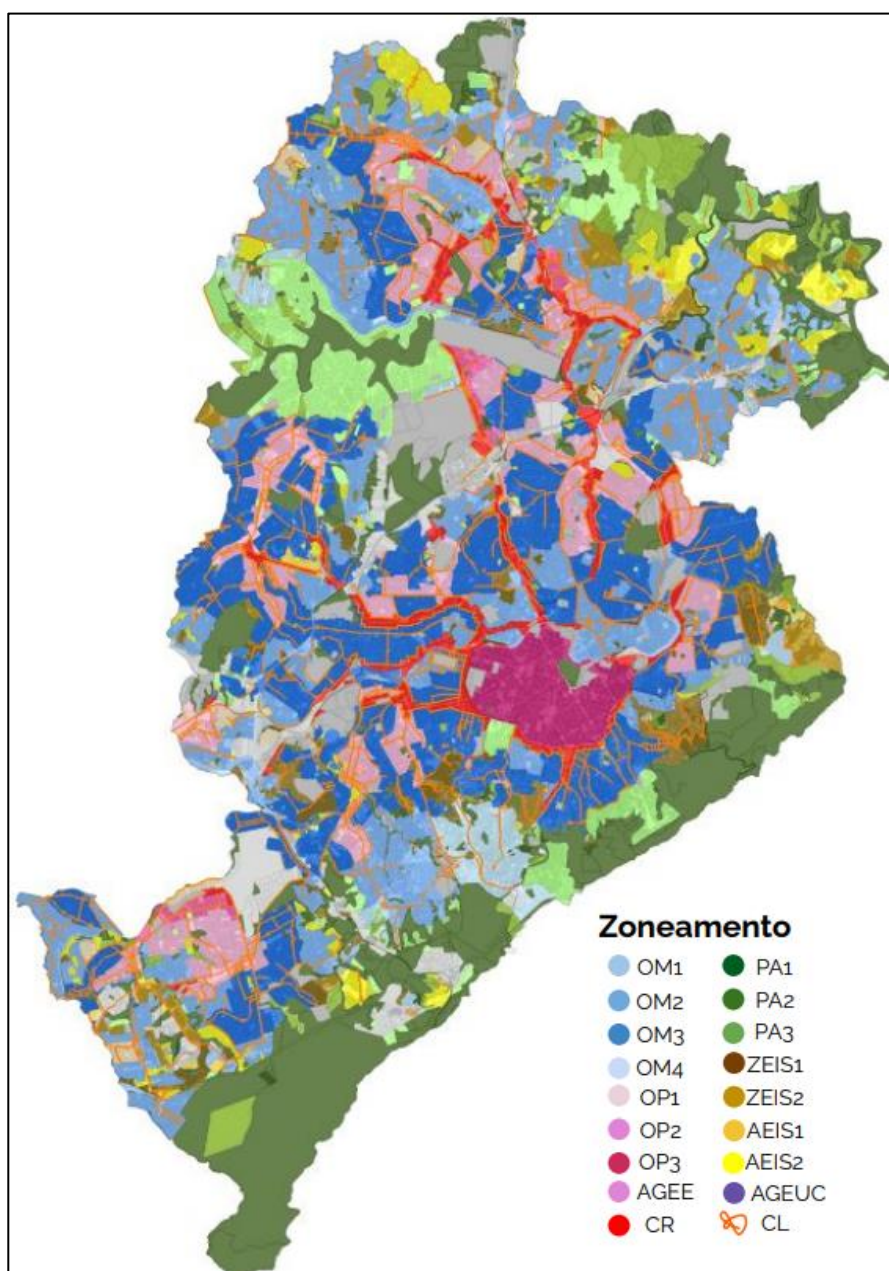
Classes	Zoneamento	Sigla	Descrição
Zonas de preservação ambiental	Zonas de preservação ambiental 1	PA-1	Classificam-se de acordo com a importância ambiental que possuem e pela competência na adequação das características ambientais com a ocupação urbana.
	Zonas de preservação ambiental 2	PA-2	
	Zonas de preservação ambiental 3	PA-3	
Zonas de ocupação moderada	Zonas de ocupação moderada 1	OM-1	São classificadas considerando as condições de infraestrutura, aspectos físicos do terreno, acessibilidade e carência de manutenção.
	Zonas de ocupação moderada 2	OM-2	
	Zonas de ocupação moderada 3	OM-3	
	Zonas de ocupação moderada 4	OM-4	
Zonas de ocupação preferencial	Zonas de ocupação preferencial 1	OP-1	Classificam-se pelas condições de ocupação favorecidas levando em conta as características de acessibilidade, poucas restrições paisagísticas e topográficas, além das boas condições de infraestrutura
	Zonas de ocupação preferencial 2	OP-2	
	Zonas de ocupação preferencial 3	OP-3	
Zonas especiais de interesse social	Zonas especiais de interesse social 1	ZEIS-1	Regiões ocupadas majoritariamente por pessoas de baixa renda. As ZEIS-1 são ocupações espontâneas com caráter desordenado. As ZEIS-2 são implantações de conjuntos habitacionais realizadas pelo Executivo
	Zonas especiais de interesse social 2	ZEIS-2	
Áreas especiais de interesse social	Áreas especiais de interesse social 1	AEIS-1	Áreas edificadas ou não direcionadas para a implementação de ações de interesse social, especialmente de cunho habitacional. As AEIS-1 são áreas de interesse ambiental e as AEIS-2 são áreas ocupadas com características ambientais importantes.
	Áreas especiais de interesse social 2	AEIS-2	
Áreas de centralidades	Centralidades locais	CL	Regiões de adensamento populacional, comercial e construtivo nos principais eixos de mobilidade locais, na área central e nos respectivos entornos.
	Centralidades regionais	CR	

Áreas de grandes equipamentos	Áreas de grandes equipamentos de uso coletivo	AGEUC	Nas AGEUCs predomina a destinação de atividades não residenciais com a presença de equipamentos já instalados ou com a previsão de fins coletivos. As AGEE se caracterizam pela presença ou previsão de equipamentos utilizados para atividades econômicas de grande porte e com grande geração de impactos.
	Áreas de grandes equipamentos econômicos	AGEE	
Áreas de diretrizes especiais	-	ADE	São áreas com singularidades ambientais, urbanísticas ou culturais que necessitam de legislação específica para uso e ocupação, parcelamento ou restrições.
Áreas de conexões ambientais	-	-	Trata-se de áreas majoritariamente lineares que formam um envoltório ambiental para a proteção de nascentes e cursos d'água, evitar efeitos erosivos e perda de porções permeáveis. Podem ser divididas em conexões verdes e conexões de fundo de vale.
Áreas de projetos viários prioritários	-	PVP	São regiões destinadas a implementação de infraestrutura viária prioritária para acesso e mobilidade. Trata-se de vias onde os terrenos lindeiros dos quais fazem parte podem sofrer ação de recuo e alinhamento durante o processo de aprovação das edificações, com o intuito de aprimorar o sistema de circulação.

Fonte: Elaborado pelo autor

A capital mineira conta com dez classes, sendo que a composição básica do zoneamento municipal inclui zonas de preservação ambiental (PA), zonas de ocupação moderada (OM), zonas de ocupação preferencial (OP), zonas especiais de interesse social (ZEIS), áreas especiais de interesse social (AEIS), áreas de centralidade (CR e CL), áreas de grandes equipamentos, áreas de diretrizes especiais (ADE), áreas de conexões ambientais e áreas de projetos viários prioritários (PVP). A representação do zoneamento pode ser observada na Figura 12 (BELO HORIZONTE, 2019).

Figura 12: Zoneamento em Belo Horizonte



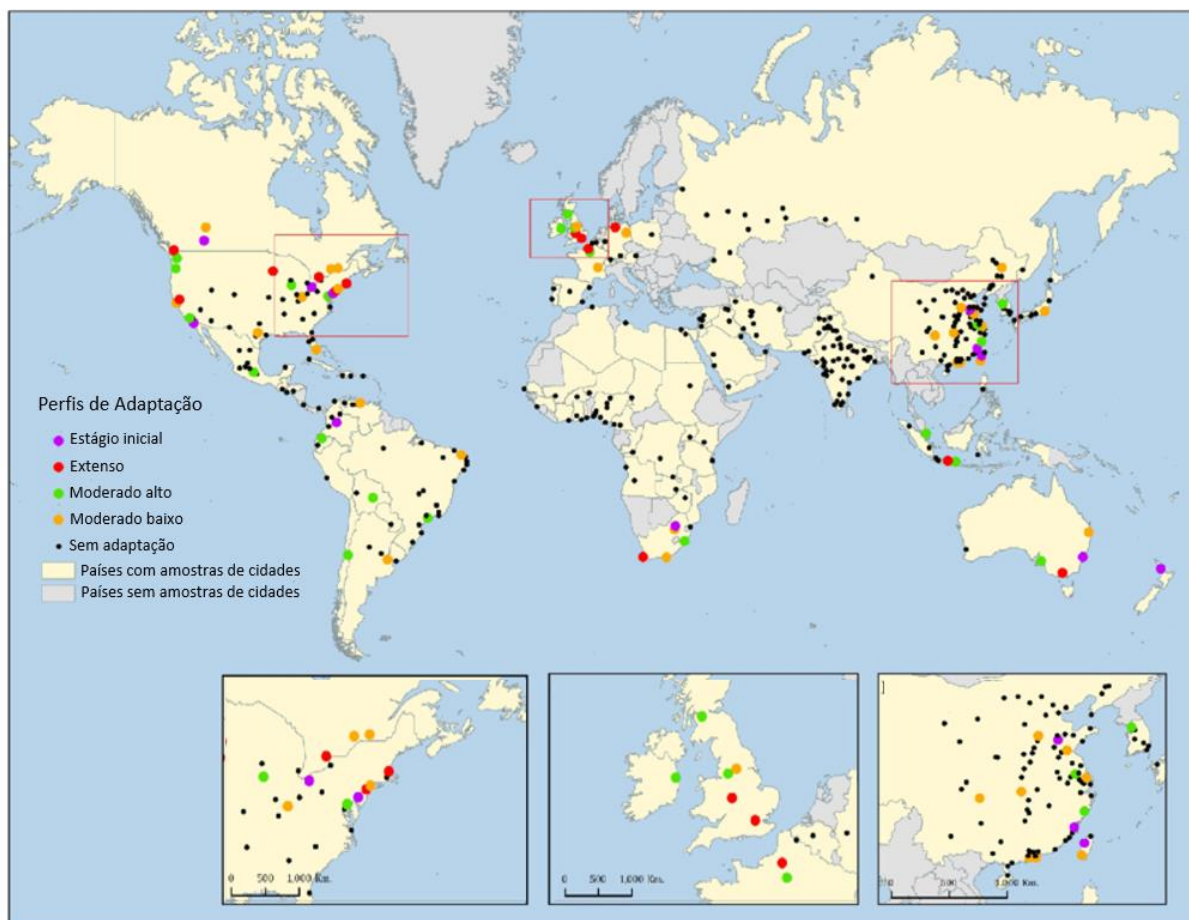
Fonte: PBH, 2020b.

3. ESTADO DA ARTE

Diversas pesquisas analisaram o impacto de interferências urbanas nas variáveis climáticas evidenciando os novos desafios de planejamento apresentados às cidades. Neste sentido, pesquisas como o presente trabalho, abordam as metodologias que possam ser utilizadas para fomentar a eficiência e sustentabilidade das cidades a partir de mapas climáticos de recomendação.

De acordo com Araos et al. (2016) grande parte das cidades em todo o mundo encaram riscos significativos causados pelas mudanças climáticas e cada vez mais os administradores públicos se preocupam em formular e implementar políticas de adaptação a essas mudanças. Porém existem poucas avaliações de adaptação sendo elaboradas. Os autores desenvolveram e aplicaram uma fórmula de acompanhamento de políticas de adaptação à mudança climática urbana a partir de relatórios de adaptação municipal. Foram analisados 401 governos municipais ao redor do mundo de cidades com áreas urbanas com mais de 1 milhão de habitantes. Foi constatado que apenas 61 cidades (15%) relataram qualquer iniciativa de adaptação e 73 cidades (18%) relataram o planejamento da política de adaptação. A percepção da necessidade de mudanças e adaptação pode ser entendida como o primeiro passo para implementação e melhoria de mapas climáticos eficazes. Com poucas exceções, as adaptações mais expressivas foram localizadas em grandes cidades de regiões de alta renda, em países da América do Norte, Europa e Oceania. Esta pode ser mais uma evidência de que países em desenvolvimento como o Brasil precisam de incentivos substanciais para implementar políticas de gestão climática. Capitais nacionais como Belo Horizonte podem se beneficiar durante a implementação de mapas climáticos por possuírem dados históricos e capacidade institucional. As adaptações urbanas pelo mundo são apresentadas na Figura 13.

Figura 13: Mapa das iniciativas de adaptação urbana no mundo



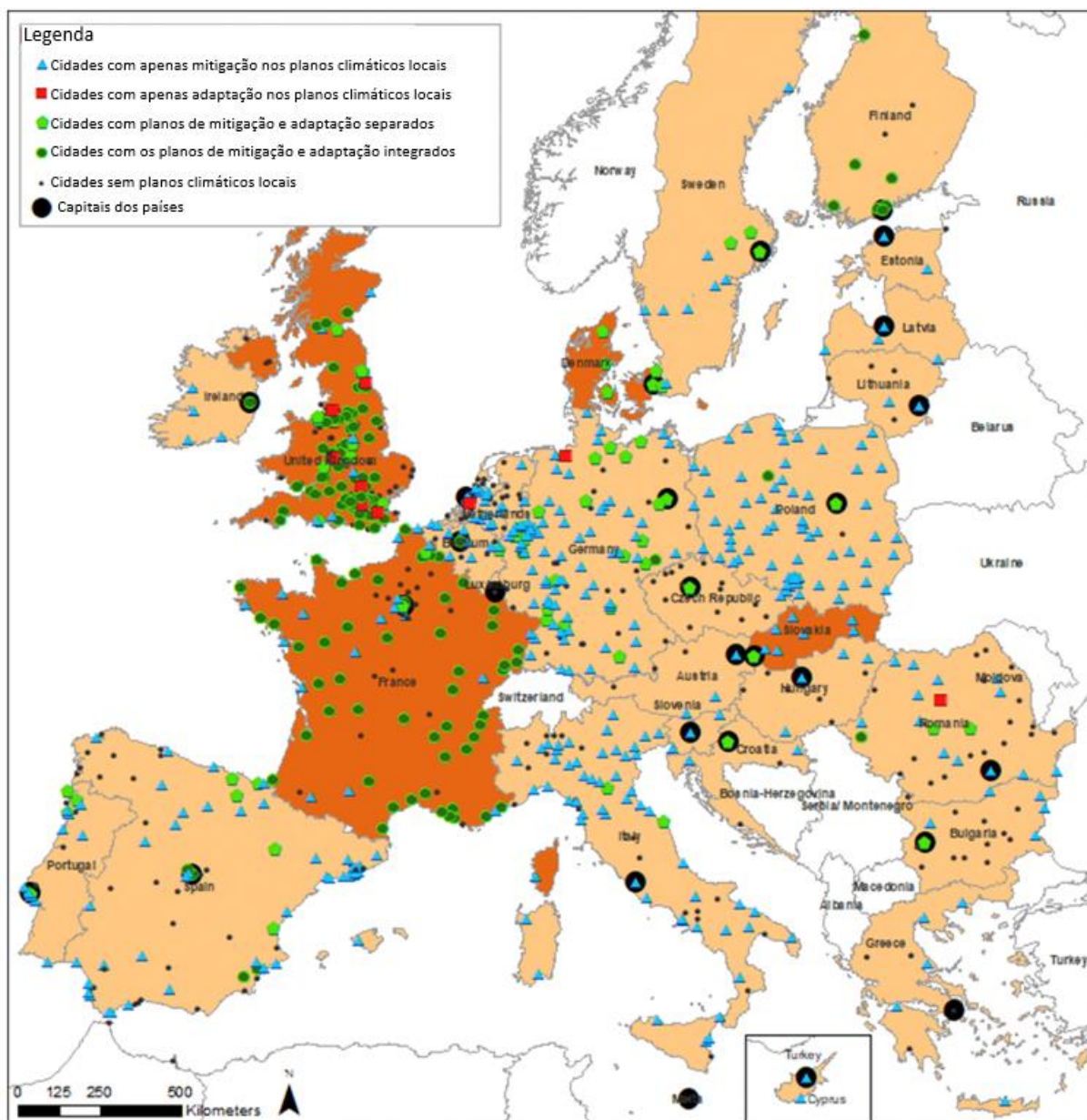
Fonte: Adaptado de Araos et al., 2016.

Para Jackson et al. (2010) a urbanização das cidades deve ser incluída nos modelos climáticos globais (GCMs) para facilitar a compreensão dos efeitos impactantes do crescimento urbano nos climas locais e das consequências causadas pelas mudanças climáticas nas populações urbanas. Os GCMs utilizam bancos de dados globais com diversas características urbanas para capturar adequadamente toda a variabilidade espacial em áreas urbanas. O artigo descreve os métodos utilizados para levantar um conjunto de dados que pode ser útil para a simulação de sistemas urbanos em uma escala global. O conjunto de dados proposto pelos autores conta com três categorias principais de propriedades urbanas: extensão espacial, morfologia urbana e propriedades térmicas e radiativas dos materiais de construção. A ideia de utilizar dados globais para a simulação da interferência humana no clima, em diferentes locais do planeta, permite criar uma base de dados comum no Brasil para a análise dos fenômenos de maneira uniforme, contribuir para uma resposta

padrão aos impactos e para identificar o grau de adaptação de cada localidade às mudanças climáticas.

O trabalho de Reckien et al. (2018) relata a situação do planejamento local para as mudanças no clima através da coleta e análise de informações a respeito dos planos de mitigação e adaptação ao clima em 885 regiões urbanas da União Europeia (UE). Foi elaborada uma tipologia de análise que classifica os planos climáticos locais a partir de seu alinhamento espacial, sendo eles locais, nacionais ou internacionais, e a partir das políticas relacionadas ao clima em cada país membro do bloco. Cerca de 66% das cidades do bloco econômico europeu possuem um plano de mitigação produzido de maneira autônoma, para cumprir os regulamentos nacionais ou desenvolvidos para compor redes climáticas internacionais. Aproximadamente 26% das cidades possuem um plano de adaptação e 17% contam com plano de adaptação e mitigação em conjunto. Cerca de 33% das cidades não possuem plano climático local independente. Os locais onde existem planos de mitigação e adaptação na UE são mostrados na Figura 14. A pesquisa conclui que o tamanho do município, a legislação ambiental nacional e as relações internacionais entre os países influenciam a implementação de planos climáticos locais. Países desenvolvidos, apesar de estarem adiantados na elaboração de medidas mitigadoras para as mudanças do clima e na instituição de planos climáticos em relação aos países em desenvolvimento, ainda encontram dificuldades na implementação de planos abrangentes e plenamente eficazes. A partir dessas experiências é possível criar novos métodos de estudo para a criação de planos de recomendação mais apropriados para a realidade brasileira.

Figura 14: Planos climáticos locais de mitigação e adaptação vigentes na Europa



Fonte: Adaptado de Reckien et al. (2018)

Segundo Houet e Pigeon (2011) o uso de mapas como o *Urban Climate Zone* (UCZ), que está integrado às diretrizes da Organização Meteorológica Mundial, poderia ser uma opção instintiva para qualquer área de amostra, já que se trata de um mapa genérico. Os resultados dos autores mostram que o UCZ sofre alterações de acordo com a temperatura da superfície terrestre e do ar. Desta maneira, é possível determinar a adesão das regiões de amostra ao mapa UCZ utilizando equipamentos de leitura, com cálculos automáticos com o Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir de dados de sensoriamento remoto. Apesar de ser uma boa alternativa para o

mapeamento climático de Belo Horizonte, seriam necessários estudos de viabilidade para comprovarem a eficácia deste mapa para a realidade mineira.

Wang et al. (2018) defendem a análise da morfologia urbana como um dos indicadores mais importantes para o planejamento urbano, gestão de informação e aplicações climáticas em centros urbanos. Devido às dificuldades de harmonização dos dados morfológicos urbanos, baixa confiabilidade e disponibilidade escassa de dados em países em desenvolvimento, o trabalho dos autores busca uma nova abordagem de análise da morfologia urbana baseada em leituras de satélite para extrair informações em alta resolução e comparar com as informações coletadas com os recursos usuais para modelagens climáticas urbanas.

Alguns parâmetros morfológicos urbanos básicos usados para mapeamentos climáticos como altura dos edifícios, índice de cobertura dos edifícios, densidade do volume dos edifícios e comprimento de rugosidade foram calculados e validados na área urbana mais complexa e de alta densidade em Hong Kong. Foi identificado que todos os parâmetros levantados tinham alta precisão na leitura por satélite, em comparação com os dados reais em mapeamentos espaciais e este conjunto de dados morfológicos urbanos poderiam ser empregados para a elaboração de um mapa climático urbano de Hong Kong. Trata-se de uma metodologia interessante para aquisição de informações essenciais para a elaboração de mapas analíticos. Por conta da alta precisão dos dados coletados, o método pode servir como substituto confiável para regiões onde não existem dados de qualidade ou ausência de informações (WANG et al., 2018).

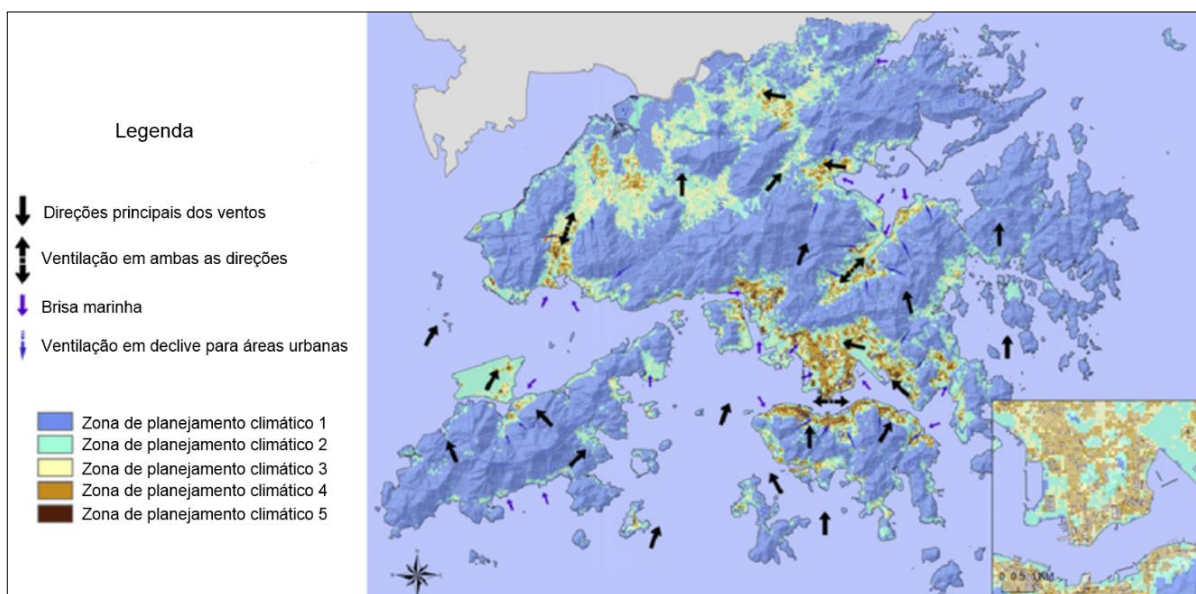
A partir das informações coletadas pelo UC-Map é possível prever as diretrizes necessárias para realizar melhoria das condições climáticas de determinado local. O mapa de recomendação climática de Hong Kong é um manual elaborado pelo governo que determina a escala de análise, localização e requisitos para o uso e ocupação do solo. O documento é utilizado para realizar estudos de planejamento, além de contribuir para a elaboração e revisão de planos diretores. São abordados no plano, entre diversos pontos de interesse, as densidades populacionais, residenciais e industriais, a infraestrutura de serviços e transportes, a conservação do meio ambiente e as orientações para a formulação de projetos no perímetro urbano (HONG KONG, 2021).

Apesar da metodologia UC-Map ser composta pelos UC-AnMap e pelo UC-ReMap, pode ser observado que a maneira como os mapas são elaborados variam

de acordo com sua estrutura, finalidade, composição e abrangência. Entretanto, é comum o zoneamento do território para a proposição de recomendações entre as cidades que possuem os mapas de recomendações. Ng et al. (2012) consideraram as camadas do UC-AnMap de Hong Kong como parâmetros-chave para a elaboração das recomendações juntamente com a observação do uso da VDI 3787 em outros países. Por fim, foi realizada a comparação das recomendações elaboradas com as orientações propostas em estudos anteriores para validação, seguida da elaboração do mapa com a divisão do território em cinco zonas urbanas de planejamento climático.

No mapa climático de Hong Kong realizado por Ng et al. (2012), a cidade é caracterizada em oito classes, nas quais são listados os efeitos de amenização, impacto neutro e efeitos de aquecimento em cada uma delas. Após as considerações sobre as áreas de maior sensibilidade, foram sugeridas recomendações para minimização de efeitos negativos e sugestões de melhorias e preservação para as áreas com efeitos positivos. A representação gráfica do mapa climático de recomendações de Hong Kong pode ser vista na Figura 15.

Figura 15: Mapa climático de recomendações de Hong Kong



Fonte: Adaptado de Ng et al., 2012

Seguindo a temática sobre a importância do planejamento urbano para a mitigação dos efeitos climáticos nos centros urbanos, Ren et al. (2013) identificaram maneiras de promover a aplicação dos conhecimentos climáticos urbanos para o planejamento

das cidades. Utilizando dados de fácil obtenção, os autores apresentam um método que se baseia no planejamento urbano através do uso de um UC-Map amigável ao SIG. O estudo se concentrou em Kaohsiung, Taiwan, e focou em solucionar questões climáticas urbanas na área. Foram identificadas áreas sensíveis e oferecidas recomendações de planejamento para os planejadores da cidade.

O trabalho de Ashie et al. (2015) apresenta as considerações sobre o UC-AnMap e o UC-ReMap para a cidade de Yokohama no Japão. O mapa de recomendação contém três orientações básicas. São diretrizes para o uso eficaz da brisa do mar, manutenção dos corredores de ventilação e utilização dos espaços verdes durante o planejamento na cidade para o controle das temperaturas durante o dia. Tanaka e Moriyama (2015) elaboraram o UC-ReMap para a cidade de Sakai na província japonesa de Osaka seguindo requerimentos para atender as prerrogativas do sistema de planejamento japonês. Os autores utilizaram um modelo meteorológico de mesoescala e leituras da direção do vento para elaborar o mapa. O UC-ReMap descreve o trajeto do vento para mitigação de ambientes com temperaturas severas.

Ren (2015) desenvolveu o UC-ReMap para Kaohslung em Taiwan considerando três níveis de ações para o planejamento em escala local, urbana e municipal. As medidas possíveis de execução para o efetivo controle para cada distrito da cidade foram elaboradas considerando aspectos como ventilação, vegetação, coeficiente de reflexão, calor antropogênico liberado, sombreamento e poluição do ar para auxiliar os projetistas. Katzschner e Campe (2015) investigaram Frankfurt na Alemanha por meio de análise microclimática e simulações para fornecer referências sobre as melhores alternativas para a implantação de medidas de mitigação e diminuir a carga térmica na cidade. O plano de recomendação proposto para a cidade indica a necessidade de espaço para a manutenção dos canais de ventilação e áreas para a produção de ar fresco. A orientação ainda sugere a menor interferência possível nas estruturas já existentes.

Smith, Cavan e Lindley (2015) produziram o UC-ReMap para a região metropolitana de Manchester pela combinação da análise climática, utilização dos dados de uso e ocupação do solo e a sobreposição de informações locais de planejamento. Foram criadas oito categorias para identificar a sensibilidade climática na região e indicar as diretrizes de planejamento mais apropriadas para cada local.

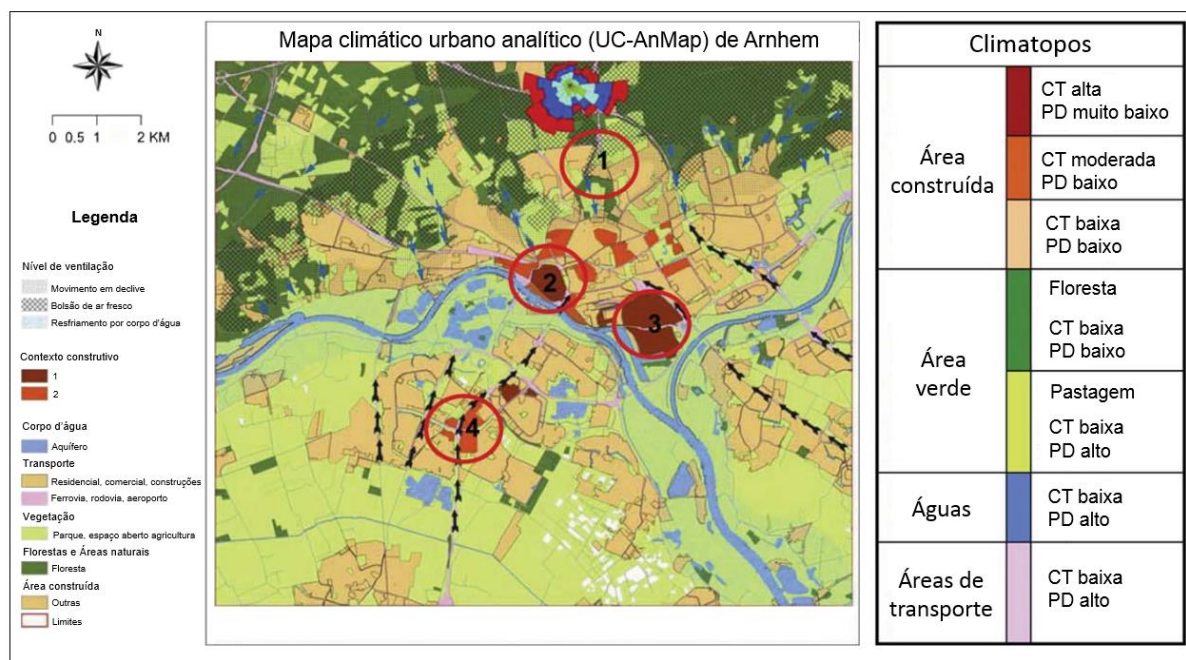
Katzschner e Acero (2015) elaboraram o UC-ReMap de Bilbao na Espanha com foco em aspectos relevantes encontrados em cada climatopo definido pelo UC-AnMap

e definiram três zonas de sensibilidade climática. O mapa foi elaborado de maneira colaborativa com climatologistas e planejadores urbanos para assegurar a inclusão de perspectivas climáticas logo nos primeiros estágios do estudo.

Quanto aos esforços em se otimizar o planejamento urbano a partir da ótica climática, Ren et al. (2012) apresentam uma ferramenta chamada *Urban Climate Map System* (UCMS) que se mostrou capaz de auxiliar cidades menores na adaptação dos efeitos climáticos no processo de planejamento de maneira sistemática. O UCMS foi desenvolvido e apresentado na plataforma SIG. A metodologia do UCMS para cidades moderadamente populosas se concentra em coletar informações sobre os procedimentos construtivos e alguns fatores básicos de entrada como os dados do clima local e dados de planejamento. A ferramenta considerou a cidade de Arnhem na Holanda que se localiza em uma região que sofre rápido desenvolvimento e renovação urbana. Assim como a capital mineira, a cidade holandesa apresentava carência de políticas locais e planejamento urbano para a proteção do clima local e dos recursos ambientais, diante às mudanças climáticas e do crescimento urbano. A proposta de utilizar um método rápido de coleta das condições climáticas e levantamento dos dados de planejamento disponíveis se apresenta como uma alternativa para auxiliar a elaboração de mapas de recomendação climático.

O mapa climático analítico proposto por Ren et al. (2012) para a cidade de Arnhem na Holanda prevê a identificação de quatro áreas de designação para a proposição de soluções aos problemas encontrados para a região. As regiões são categorizadas de acordo com as características que possuem quanto as condições climáticas predominantes e com o uso para o qual se destinam. A indicação das áreas de designação para as recomendações no mapa analítico para a cidade de Arnhem é retratada na Figura 16.

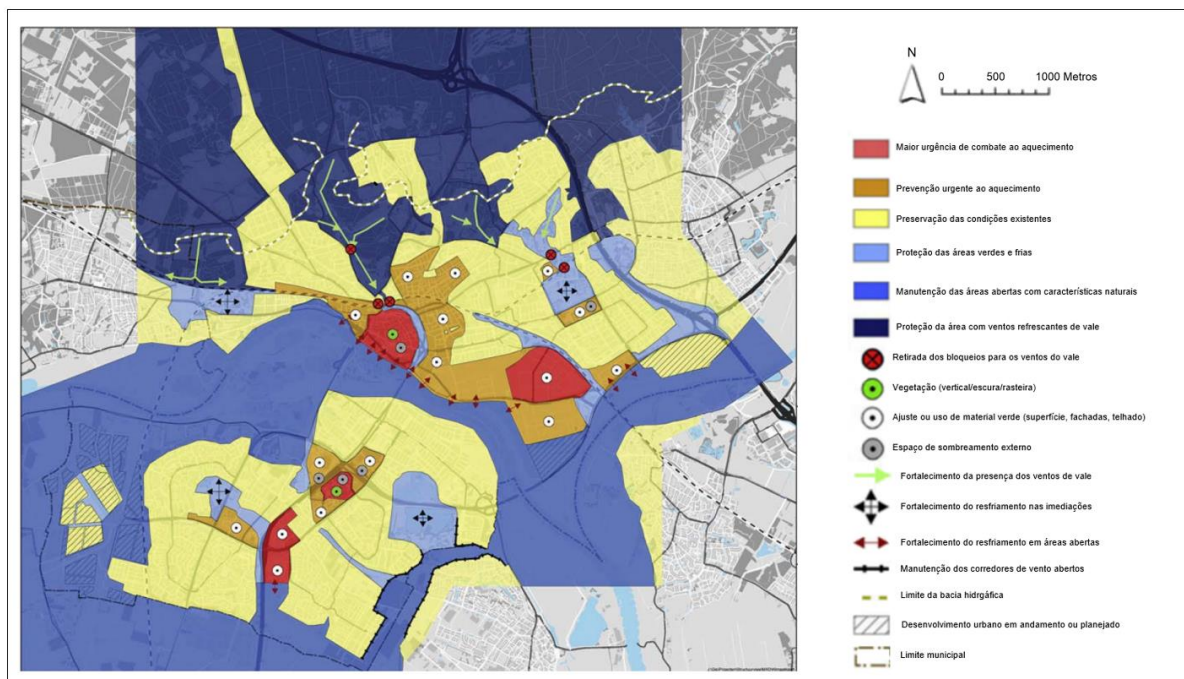
Figura 16: Áreas de designação para proposição de recomendações em Arnhem



Fonte: Adaptado de Ren et al. (2012)

Ren et al. (2012) explicam que a aplicação das recomendações para a cidade de Arnhem considera o sistema de planejamento holandês e são adotadas para a melhoria da infraestrutura e de esquemas de zoneamento. Os autores apresentam seis zonas de planejamento e cada uma indica o grau de urgência para o combate ao aquecimento e medidas para prevenção, preservação, manutenção e proteção das características originais de condições e temperatura. O mapa de recomendações para o município é apresentado na Figura 17.

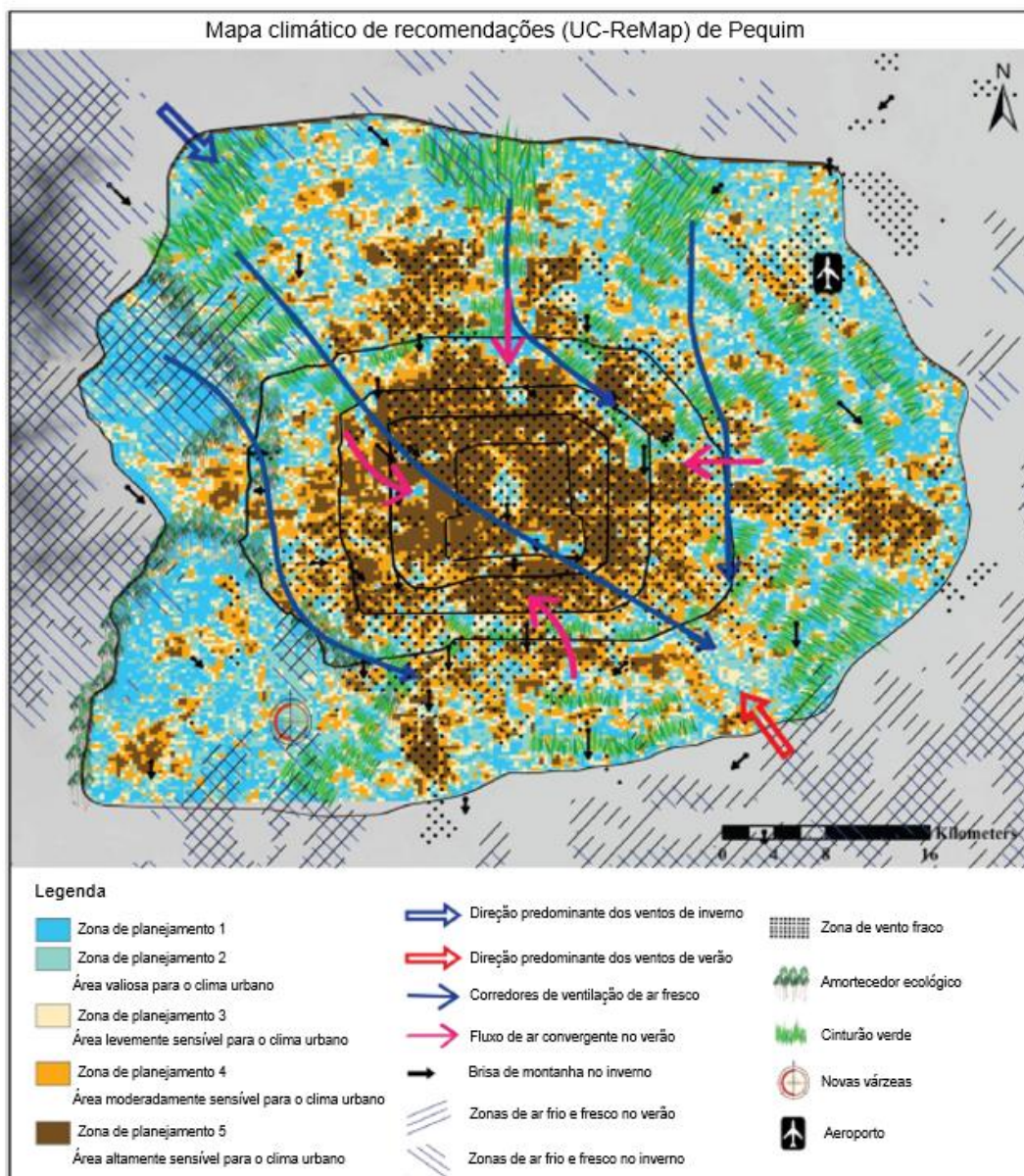
Figura 17: Mapa climático urbano de recomendações para Arnhem



Fonte: Adaptado de Ren et al. (2012)

Na cidade de Pequim, capital da República Popular da China, He et al. (2015) elaboraram o UC-ReMap da cidade a partir do refinamento das classificações climáticas urbanas em cinco zonas de planejamento climático urbano. Os três componentes considerados para a formulação das recomendações em cada zona foram as informações coletadas do UC-ReMap realizado no mesmo estudo, os dados de ventilação natural coletados por simulação numérica e a análise das brisas em vales e montanhas e da circulação de ilhas de calor urbanas. Algumas recomendações focadas na redução do carregamento térmico foram elaboradas seguindo as demandas apresentadas pelo Plano Diretor do município. O mapa climático de recomendações de Pequim é apresentado na Figura 18.

Figura 18: Mapa climático de recomendações (UC-ReMap) de Pequim



Fonte: Adaptado de He et al., 2015

Segundo Ren, Ng e Katzschner (2011) mais de 15 países ao redor do mundo utilizavam mapas climáticos urbanos para desenvolver princípios de planejamento e implementar medidas mitigatórias para a transição das cidades em ambientes mais apropriados ao desenvolvimento sustentável. De acordo com Bala (2021), em publicação mais recente, constatou que já foram elaborados mapas em 77 cidades de 29 países. O Brasil figura entre esses países que já possuem estudos no âmbito de integração do planejamento urbano com os mapas climáticos.

A formulação de mapas climáticos de recomendações nem sempre se comunica diretamente com as necessidades das localidades onde são desenvolvidos os

estudos. É possível perceber que algumas cidades apresentam dificuldades para a execução do planejamento pelos gestores públicos, uma vez que as recomendações de projeto não estão diretamente associadas com o ambiente urbano. A cidade de Arnhem é uma região em particular onde os ventos provenientes da região dos vales precisam ser priorizados para melhorar as condições climáticas da cidade, porém os responsáveis pela execução na administração da cidade não conseguiram atender tal recomendação por desconhecimento das características do clima urbano (BALA, 2021).

Nos últimos 20 anos, diversos estudos foram desenvolvidos no Brasil para fins de elaboração de mapas climáticos urbanos. Santos (2021) apresenta a análise de alguns dos principais mapas climáticos urbanos do país e explica que apesar de a metodologia UC-Map ainda ser rara no país, a região nordeste concentra a maioria destes estudos. Nery et al. (2006) realizou o primeiro trabalho no Brasil por meio do estudo da metodologia UC-Map. Os autores buscaram realizar uma análise quantitativa para a cidade de Salvador seguindo a proposta de análise do balanço térmico.

Outros autores seguiram a proposta do UC-Map em trabalhos no país, como Araújo e Caram (2006) que estudaram as características do bairro de Ribeira em Natal para verificarem se o conforto térmico era afetado pelo fenômeno das ilhas de calor. No estado de Alagoas, Melo (2009) elaborou o mapa climático urbano de Maceió com o objetivo de facilitar a tomada de decisões pelos gestores municipais sobre o uso e ocupação do solo, enquanto que Rocha e Barbosa (2016) criaram o mapa climático de Arapiraca para colaborar com o planejamento municipal.

Para Souza, V. S. (2010) a cidade de São Paulo foi uma das pioneiras na elaboração de mapas climáticos com o objetivo de melhorar o planejamento urbano local no final da década de 1990. O estudo do clima urbano foi realizado por Tarifa e Armani (2000) através da criação de cartas climáticas baseadas no SIG como parte do projeto Atlas Ambiental do Município de São Paulo. Souza, V. S. (2010) apresenta também o mapa climático para a cidade de João Pessoa de maneira aprofundada e com referências aos mapas realizados em outros países. A metodologia de Katzschner (2006) baseada na identificação de climatopos para a tomada de decisões foi utilizada pelo autor para caracterizar o clima urbano por meio do balanço de energia na cidade através da análise da carga térmica e do potencial dinâmico. Ribeiro (2013)

atualizou o mapa climático existente quanto ao uso do solo e aprofundamento sobre as informações das edificações da capital paraibana.

No interior do estado de São Paulo, Prata-Shimomura, Lopes e Correia (2015) criaram um mapa climático urbano para a cidade de Campinas e imprimiram maior importância à ação dos ventos para determinar as camadas que seriam consideradas no mapa. Os autores contaram com o auxílio do software Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) para estimar a altura dos obstáculos superficiais e a topografia da cidade e incluir os resultados em um mapa analítico.

A cidade de Juiz de Fora em Minas Gerais recebeu dois estudos referentes às análises climáticas para a elaboração de mapas climáticos. Ferreira (2014) iniciou os trabalhos determinando as características do desempenho térmico da região central da cidade. Ferreira, Pimentel e Vianna (2019) propuseram uma metodologia inspirada no UC-Map para analisar e esquematizar o potencial térmico e dinâmico na cidade de Juiz de Fora no intuito de mapear os campos térmicos do município.

Como já abordado anteriormente, o mapa climático analítico de Belo Horizonte foi elaborado por Ferreira, Assis e Katzschner (2017) e contou com a identificação de climatopos e a análise do balanço energético para a cidade. Lima Júnior (2018) elaborou o mapa climático para Fortaleza a fim de analisar o impacto do clima urbano na propagação da dengue na capital cearense.

Outros mapas climáticos recentes foram elaborados seguindo o modelo da metodologia UC-Map com o intuito de colaborar para o planejamento urbano. Benedetto (2019) verificou o comportamento do sistema clima urbano em Manaus com base nas unidades climáticas vinculadas ao município e considerou a escala de topoclimas para analisar a sobreposição de mapas. Freitas et al. (2021) utilizaram o agrupamento por climatopos para determinar os microclimas de Recife e sugerir medidas para melhoria do conforto e da gestão ambiental urbana. Santos (2021) organizou a escala microclimática do bairro Jardim Camburi em Vitória para encontrar melhorias para as condições térmicas em núcleos urbanos. Fernandes (2021) desenvolveu o mapa climático de Petrópolis no Rio de Janeiro a partir da associação entre as variáveis socioambientais que intervêm na construção do espaço urbano. Por fim, Moura et al. (2022) deram continuidade com as análises climáticas em Salvador e desenvolveram o mapa climático analítico do município de acordo com o Mapa de Padrões de Ocupação do Solo.

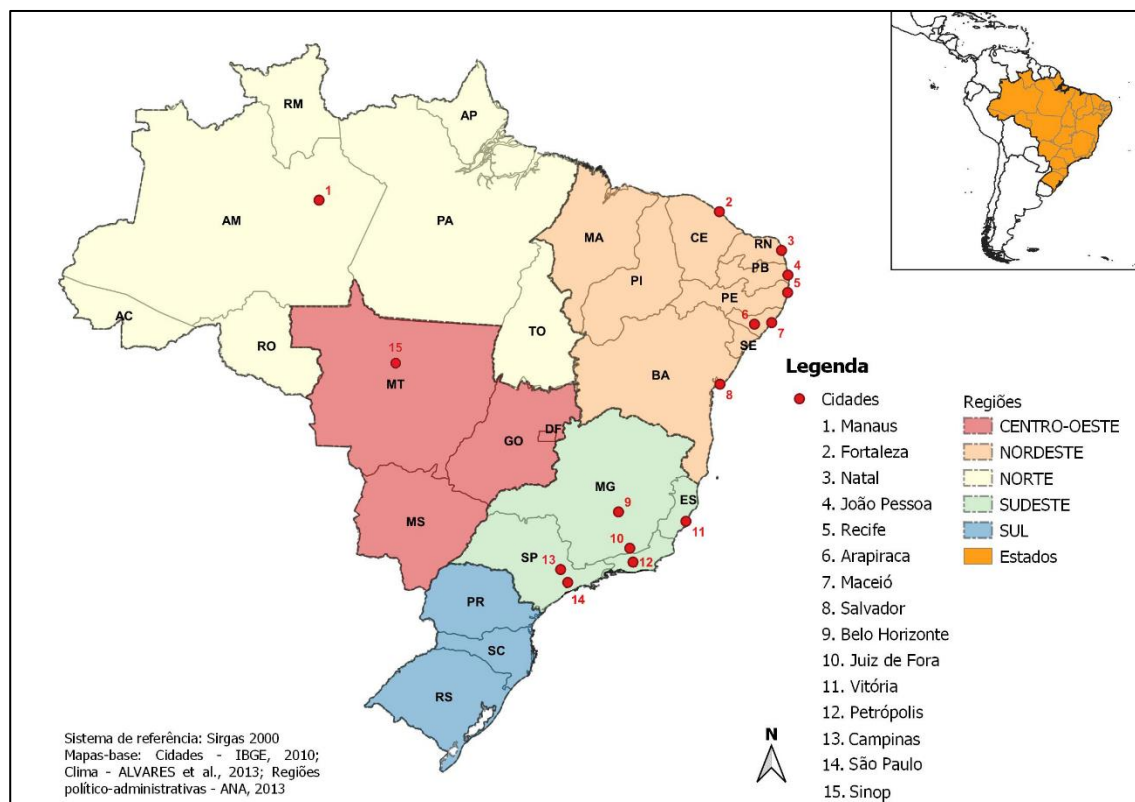
Conclui-se que até o momento há 18 mapas climáticos urbanos no Brasil que utilizam a metodologia UC-Map, distribuídos em 14 cidades do país. As cidades de Salvador e João Pessoa possuem mapas climáticos de atualização referentes a estudos prévios e a cidade mineira de Juiz de Fora possui dois mapas elaborados no município. A região nordeste é o território que possui a maior ocorrência de mapas climáticos urbanos totalizando nove trabalhos. A região sudeste possui seis mapas e as regiões norte e centro-oeste contam com apenas um cada. Observa-se, também, que nos últimos dois anos, foram elaborados quatro mapas climáticos urbanos no país, indicando um aumento significativo desde 2006. A lista dos mapas climáticos brasileiros é apresentada no Quadro 7 e a localização de cada um é ilustrada na Figura 19.

Quadro 7: Mapas climáticos urbanos no Brasil

Referência	Cidade/Estado	Escala	Proposta
Tarifa e Armani, 2000	São Paulo/São Paulo	Município	-
Nery et al., 2006	Salvador/Bahia	Município	UC-AnMap
Araújo e Caram, 2006	Natal/Rio Grande do Norte	Bairro Ribeira	UC-AnMap
Melo, 2009	Maceió/Alagoas	Município	UC-AnMap
Souza, V. S., 2010	João Pessoa/Paraíba	Município	UC-AnMap
Ribeiro, 2013	João Pessoa/Paraíba (atualização)	Município	UC-AnMap
Ferreira, 2014	Juiz de Fora/Minas Gerais	Área central	UC-AnMap
Prata-Shimomura, Lopes e Correia, 2015	Campinas/São Paulo	Município	UC-AnMap
Sanches, 2015	Sinop/Mato Grosso	Município	Recomendações
Rocha e Barbosa, 2016	Arapiraca/Alagoas	Município	Recomendações
Ferreira, Assis e Katschner, 2017	Belo Horizonte/Minas Gerais	Município	UC-AnMap
Lima Júnior, 2018	Fortaleza/Ceará	Município	UC-AnMap
Ferreira, Pimentel e Vianna, 2019	Juiz de Fora/Minas Gerais	Município	UC-AnMap
Benedetto, 2019	Manaus/Amazonas	Município	UC-AnMap
Freitas et al., 2021	Recife/Pernambuco	Bairros Boa Vista e Soledade	UC-Map
Santos, 2021	Vitória/Espírito Santo	Bairro Jardim Camburi	UC-AnMap
Fernandes, 2021	Petrópolis/Rio de Janeiro	Município	UC-Map
Moura et al., 2022	Salvador/Bahia (continuação)	Município	UC-AnMap

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19: Localização dos mapas climáticos urbanos no Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Ferreira (2017) os esforços em realizar as pesquisas sobre mapas climáticos urbanos causam pouco impacto nas cidades brasileiras devido à falta de incorporação das recomendações propostas nas legislações urbanísticas. Isso pode evidenciar o fato de que os municípios precisam de alternativas para elaborar e integrar mapas de recomendação junto ao planejamento urbano local. Apesar deste fato, Petrópolis e Recife aplicaram a metodologia alemã para a elaboração do mapa de recomendações.

Fernandes (2021) elaborou o primeiro mapa climático urbano de recomendações do país para a cidade de Petrópolis considerando as variáveis socioambientais e a configuração do município. Ficou constatado que as variáveis estudadas estavam intimamente ligadas entre si e eram necessárias para o entendimento da estrutura climática do município. A elaboração do mapa climático analítico para a cidade fluminense contou com o trabalho desenvolvido em Belo Horizonte por Ferreira et al. (2017) para fundamentar as etapas da pesquisa.

O mapa de recomendações foi formulado a partir da sensibilidade climática identificada no mapa analítico realizado, devido a inexistência de quantificação das

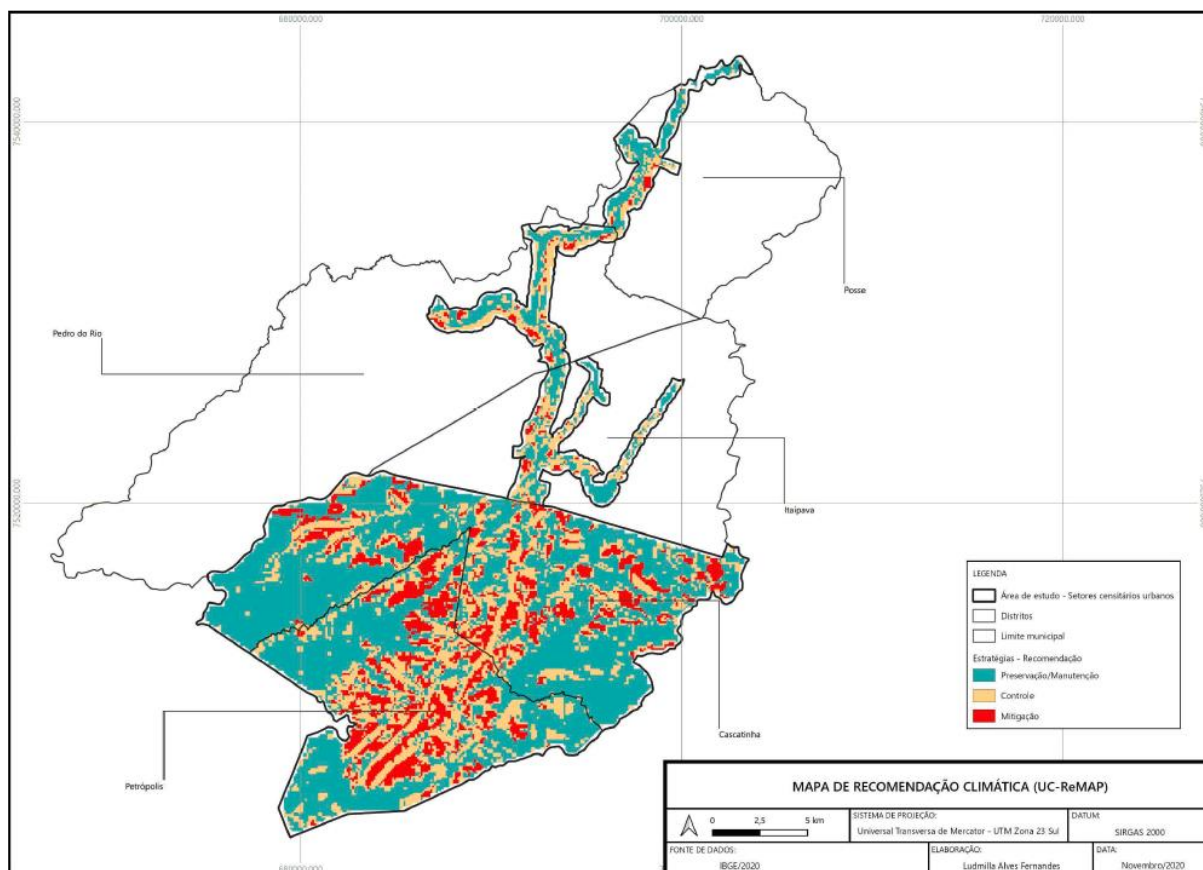
interferências ocorridas no espaço material da cidade pelos elementos climáticos analisados. As estratégias de recomendação sugeridas foram a preservação ou manutenção, controle e mitigação das ações impactantes. As recomendações detalhadas para os 8 climatopos de Petrópolis foram concentradas em três zonas de incidência e podem ser observadas no Quadro 8. A representação gráfica pode ser vista na Figura 20.

Quadro 8: Mapa de recomendação climática de Petrópolis

Mapa de Recomendação de Petrópolis – UC-ReMap					
Climatopos	Impacto	Sensibilidade	Características	Estratégias	Recomendações
Carga térmica moderadamente negativa e bom potencial dinâmico	Resfriamento moderado	Alta	Áreas vegetadas sem ocupação, edificações ou corredores de vento	Preservação / manutenção	Preservação
Carga térmica ligeiramente negativa e bom potencial dinâmico	Ligeiro resfriamento	Muita alta	Áreas vegetadas no entorno da área ocupada/edificada e/ou intercaladas	Preservação / manutenção	Preservação e aumento das áreas existentes
Baixa carga térmica e bom potencial dinâmico	Neutro	Média	Áreas abertas intercaladas com as áreas ocupadas/edificadas	Preservação / manutenção	Aumento da vegetação arbórea nessas áreas abertas e livres
Alguma carga térmica e algum potencial dinâmico	Leve aquecimento	Muito baixa	Áreas residenciais com baixo fluxo de pessoas e veículos	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
Carga térmica moderada e algum potencial dinâmico	Aquecimento moderado	Baixa	Áreas residenciais com médio a alto fluxo de pessoas e veículos	Controle	
Carga térmica moderadamente alta e baixo potencial dinâmico	Aquecimento moderadamente forte	Média	Áreas de uso misto com médio fluxo de pessoas e veículos e pouca ventilação	Mitigação	Controle da expansão da área edificada, em extensão e massa construída; atenção para as taxas de ocupação, permeabilidade, número de gabaritos e afastamentos; manutenção das áreas vegetadas
Carga térmica alta e baixo potencial dinâmico	Forte aquecimento	Alta	Áreas de uso misto com alto fluxo de pessoas e veículos e pouca ventilação	Mitigação	
Carga térmica muito alta e baixo potencial dinâmico	Aquecimento muito forte	Muito alta	Áreas de uso misto com altíssimo fluxo de pessoas e veículos e pouquíssima ventilação	Mitigação	

Fonte: Fernandes (2021)

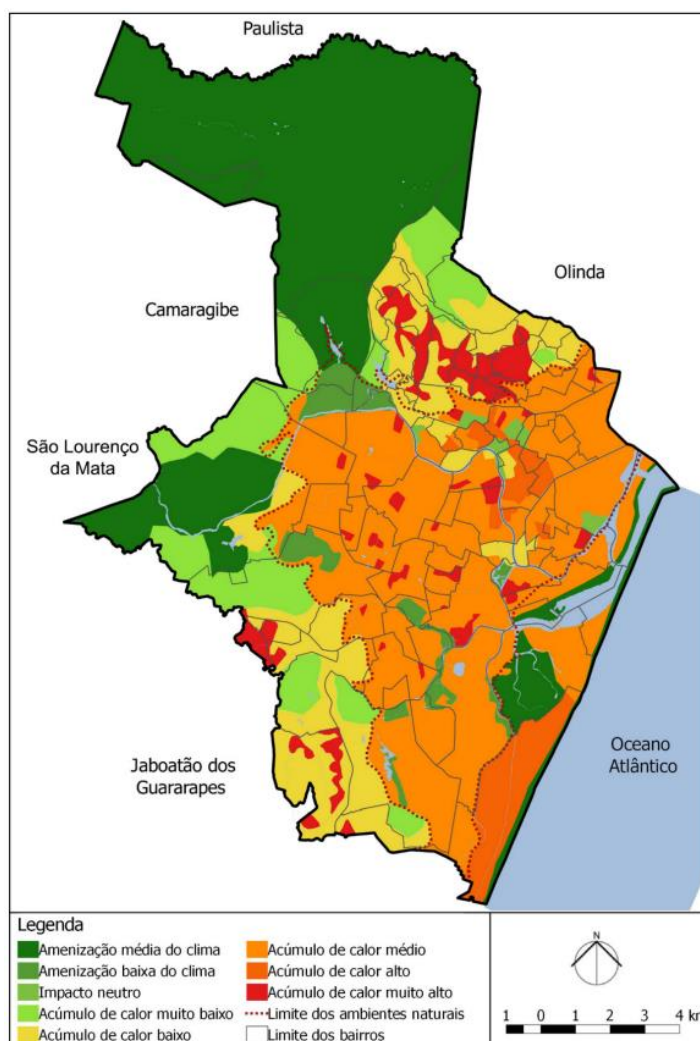
Figura 20: Espacialização das recomendações climáticas para Petrópolis



Fonte: Fernandes (2021)

Freitas et. al. (2021) mostram que a metodologia alemã foi simplificada no caso de Hong Kong, onde as camadas-base e o balanço térmico foram adaptados para representarem as características da estrutura urbana da cidade. Os autores reproduziram a mesma simplificação para a elaboração de um mapa analítico para Recife com recomendações específicas para dois bairros da cidade. A capital de Pernambuco foi classificada em oito áreas climáticas, com as respectivas recomendações, a partir dos 14 microclimas identificados na região. Mais uma vez a pesquisa elaborada em Belo Horizonte por Ferreira et al. (2017) serviu como referência para a formulação do mapa de recomendações. O mapa com as 8 áreas climáticas identificadas para Recife é apresentado na Figura 21.

Figura 21: Mapa das áreas climáticas de Recife



Fonte: Freitas et al., 2021.

As recomendações sugeridas para cada área climática foram elaboradas a partir da observação e avaliação dos impactos causados no clima urbano da cidade. O Quadro 9 a seguir resume as recomendações levantadas para cada área e sugere quais ações podem ser tomadas pela administração municipal para a melhoria do planejamento urbano.

Quadro 9: Recomendações climáticas para Recife

Recomendações climáticas para Recife		
Classe climática	Descrição	Recomendações
1	Amenização média do clima	Proteção integral das áreas vegetadas e do entorno das massas de água que umidificam e resfriam o ar.
2	Amenização baixa do clima	Preservação da região com áreas vegetadas menores em extensão que a classe anterior e manutenção da baixa densidade construtiva para a renovação e circulação do ar.
3	Impacto neutro	Manutenção da permeabilidade aos ventos por meio da conservação do baixo adensamento construtivo e dos espaços abertos no local
4	Acúmulo de calor muito baixo	Manutenção da permeabilidade aos ventos e preservação da região de áreas vegetadas para evitar o aumento de mudanças nas variáveis climáticas no caso de aumento da densidade construtiva e diminuição da massa vegetal
5	Acúmulo de calor baixo	Incorporação de um sistema de áreas verdes, espaços livres abertos e verticalização em algumas localidades para evitar o aumento da densidade construída e diminuição da massa vegetal.
6	Acúmulo de calor médio	Permeabilidade aos ventos, incorporação de um sistema de áreas verdes, espaços livres abertos e aumento da taxa de solo natural no meio urbano para evitar mudanças dos valores das variáveis climáticas. Busca-se prevenir mudanças nos valores das variáveis climáticas, através da diminuição da massa vegetal, diminuição dos fluxos de ventos e impermeabilização excessiva do solo.
7	Acúmulo de calor alto	Permeabilidade dos ventos, a incorporação de um sistema de áreas verdes, espaços livres abertos e aumento da taxa de solo natural no meio urbano, evitando-se o aumento da densidade construída, verticalização, diminuição da massa vegetal, impermeabilização do solo e diminuição do fluxo de vento.
8	Acúmulo de calor muito alto	Permeabilidade dos ventos, a incorporação de um sistema de áreas verdes e de espaços livres abertos e o aumento da taxa de solo natural no meio urbano para combater as intensas alterações dos valores das variáveis climáticas, com possíveis formações de ilhas de calor. Evitar o aumento da densidade construída, diminuição da massa vegetal, impermeabilização do solo e diminuição dos fluxos de ventos.

Fonte: Adaptado de Freitas et al (2021)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A identificação dos métodos e materiais que são utilizados durante a pesquisa é necessária para o desenvolvimento do trabalho e registro dos procedimentos adotados para a continuidade de trabalhos futuros. A definição apropriada da metodologia assegura uma execução fluida entre todas as etapas e a organização dos dados coletados pode proporcionar economia de tempo e recursos, além de evitar erros. A expressão detalhada dos passos realizados garante que os resultados encontrados possam ser reproduzidos e analisados com mais facilidade.

4.1. MÉTODO DE ABORDAGEM

A proposta deste trabalho foi elaborar um mapa de recomendação para a cidade de Belo Horizonte considerando as possibilidades de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e consequente melhoria da qualidade de vida e conforto de seus habitantes. A partir da análise do mapa climático analítico proposto para a cidade e a verificação de outros métodos de planejamento praticados no mundo, buscou-se identificar e avaliar as possibilidades de adaptação e melhorias para a cidade e para a legislação ambiental e urbanística local.

Segundo Azevedo e Ensslin (2020) a classificação de determinada pesquisa é executada para a definição de um alinhamento de trabalho. As regras utilizadas para a formulação do escopo metodológico são escolhidas entre os diferentes autores e auxiliam a identificação adequada dos métodos e procedimentos que serão desenvolvidos.

Esta pesquisa foi considerada exploratória, quanto ao seu objetivo, por analisar uma temática ainda pouco discutida no contexto brasileiro, com o intuito de evidenciar o assunto para o aprofundamento dos estudos na área. O trabalho possui natureza de uma pesquisa aplicada com o objetivo de construir conhecimentos para a imediata aplicação prática para a solução de demandas existentes enquanto que a lógica da pesquisa foi indutiva para a consideração de vários exemplos práticos para a determinação de uma conclusão. O processo de pesquisa se deu pela coleta de dados de natureza secundária, em que as conclusões de outros trabalhos foram analisadas. A abordagem da pesquisa foi qualitativa uma vez que a análise dos dados e os resultados encontrados foram relacionados aos conceitos previamente estabelecidos.

Por fim, quanto aos procedimentos técnicos, este trabalho pode ser considerado como de uma pesquisa bibliográfica e documental, em que os materiais elaborados por outros autores contribuem para o estudo atual.

A elaboração do mapa de recomendação baseou-se no mapa climático analítico de Belo Horizonte para propor uma série de diretrizes com o intuito de facilitar a permanência dos pedestres no meio urbano e melhorar os níveis de conforto. O mapa climático analítico permitiu a leitura e interpretação das condições climáticas da região de estudo e a comparação de dados entre diferentes regiões da cidade. Além disso, a análise das camadas componentes do mapa contribuiu para a compreensão de fenômenos e checagem das vulnerabilidades na região. A compreensão dos dados apresentados em Belo Horizonte pode ser comparada com os mapas climáticos de outras capitais e oferecer alternativas para a legislação ambiental local.

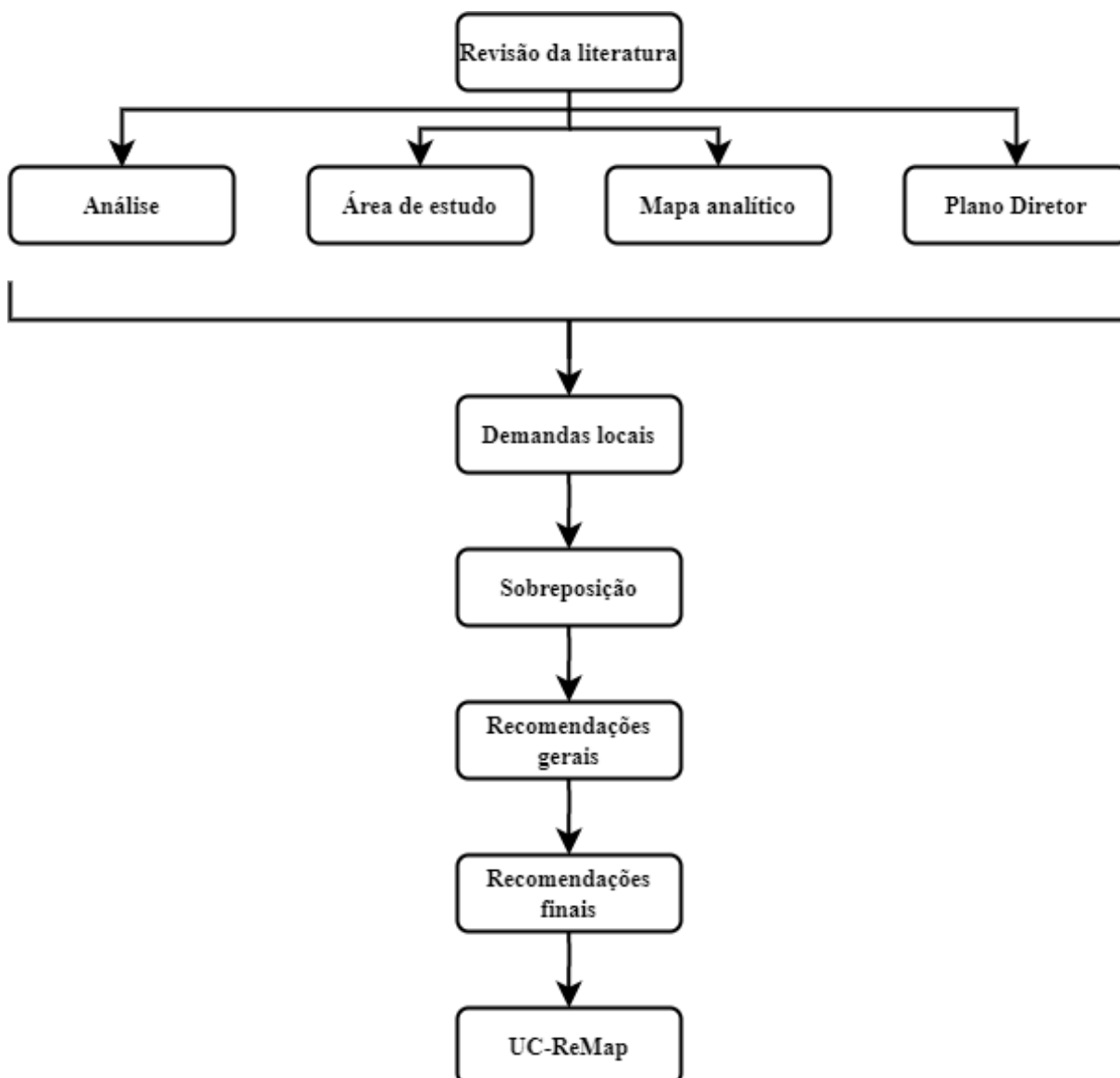
4.2. MÉTODO DE PROCEDIMENTOS

A metodologia proposta neste trabalho é apresentada pelas seguintes etapas:

- Interpretar o mapa climático analítico de Belo Horizonte e obter as informações necessárias para elaboração de recomendações;
- Examinar o Plano Diretor de Belo Horizonte para definição das principais demandas do município que refletem a necessidade de recomendações;
- Analisar outros modelos de elaboração de mapas de recomendações nacionais e internacionais para sugerir adaptações para Belo Horizonte;
- Elaborar a sobreposição de climatopos nos zoneamentos da cidade para definir as áreas de interseção e determinar o somatório de suas dimensões;
- Propor as recomendações gerais para cada climatopo de acordo com as informações obtidas do mapa analítico, Plano Diretor e sobreposição dos zoneamentos;
- Comparar as orientações do Plano Diretor para cada zoneamento com as recomendações gerais sugeridas;
- Adequar as recomendações de acordo com as necessidades de cada zona de planejamento;
- Criar o mapa de recomendações climáticas da cidade.

Para a elaboração da presente pesquisa foi desenvolvido método que considera os procedimentos de outros mapas de recomendação climáticos desenvolvidos no mundo. Foram analisadas etapas comuns aos mapas existentes e estudadas as metodologias estabelecidas que melhor se adaptariam a Belo Horizonte. O fluxograma contendo o método proposto para a implantação de um mapa de recomendação na cidade é apresentado na Figura 22.

Figura 22: Fluxograma do método proposto



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.2.1. Revisão da literatura

A pesquisa se iniciou com a revisão sistemática da literatura para seleção do material que fundamenta e justifica a elaboração do mapa de recomendação. A proposta foi verificar onde ocorrem aplicações dos mapas de recomendação e como eles se comunicam com as demandas locais.

4.2.1.1. Seleção do portfólio bibliográfico

A execução da revisão sistemática da literatura seguiu as etapas de seleção de referências propostas por Azevedo et al. (2013) e por Azevedo, Ensselin e Jungles (2014) com o objetivo de facilitar a tomada de decisão e organizar o gerenciamento da bibliografia utilizada no trabalho. A pesquisa buscou a validação acadêmica a partir da relevância dos materiais selecionados para a composição do trabalho.

Durante a revisão, utilizaram-se etapas para a realização da pesquisa de maneira a permitir sua reprodução, validação e eficácia acadêmica para a busca de um acervo relevante de estudos para o desenvolvimento do trabalho. A primeira etapa da revisão foi a definição da pergunta de pesquisa a partir do tema do trabalho e das expectativas de pesquisa. A existência do Mapa Climático Analítico de Belo Horizonte foi considerada como ponto de partida, assim como as principais dificuldades da administração da cidade apresentadas junto ao Plano Diretor.

Após a confirmação do interesse pelos estudos climáticos ao redor do mundo e do aumento de pesquisas sobre mapas climáticos no país nos últimos anos, foi estabelecido o tema a ser pesquisado. A etapa seguinte contemplou a definição das palavras-chave para a delimitação do universo de pesquisa. Os eixos elaborados para este trabalho permitiram a busca direcionada nos bancos de dados com o objetivo de iniciar a escolha do material que compõe a bibliografia. Os eixos associaram suas palavras-chave entre si para que várias combinações fossem possíveis durante a análise nas bases, nos títulos e nos resumos das publicações.

Foram levantadas a quantidade de mapas climáticos desenvolvidos no Brasil por meio da metodologia UC-Map, a localização de cada um deles no país, assim como a similaridade com os estudos internacionais. Através destas informações, foi possível a identificação de um padrão de elaboração dos trabalhos climáticos. Em seguida

foram definidas as lentes de pesquisa, a escolha das palavras-chave do trabalho e a definição das bases de dados para consulta de acordo com os eixos propostos.

O primeiro eixo contemplou a temática central da pesquisa e possuía as palavras-chave “clima urbano”, “planejamento urbano” e “Belo Horizonte”. O segundo eixo tratou do mapa de recomendações como a ferramenta sugerida para a pesquisa e continha as palavras-chave “mapa climático urbano” e “mapa de recomendação”. Inicialmente, foi realizada a pesquisa com o objetivo de determinar quais municípios possuem mapas climáticos no Brasil. Após a identificação dos mapas, buscou-se entender qual era o objetivo que ocasionou a elaboração dos mesmos, uma vez que a maioria dos mapas identificados não possuíam o UC-ReMap. A pesquisa pelos termos de cada eixo associou as palavras-chave entre si, ocasionando em diferentes combinações para a busca nas bases de dados. Por fim, foram incluídas as palavras-chave "UC-Map" no primeiro eixo e UC-ReMap no segundo eixo para refinar os resultados encontrados.

O site Periódicos CAPES foi a principal fonte para a busca de bases por área de conhecimento utilizadas neste trabalho. A pesquisa se concentrou nas áreas de Arquitetura, Engenharias e subárea Engenharia Civil. A partir dos resultados obtidos, as 27 bases de dados que apresentaram textos completos como retorno passaram a formar o foco da pesquisa. A cronologia estipulada para o intervalo de análise foi de dez anos e a palavra-chave “clima urbano” manteve as aspas para restrição dos resultados em todas as combinações realizadas.

4.2.1.2. Análise bibliométrica

Após a pesquisa das palavras-chaves nas bases de dados, foram encontrados 10.874 artigos, e esta coleção bibliográfica se tornou a fonte principal de referências para este trabalho. A relevância de cada base para o portfólio foi definida de acordo com o número de resultados encontrados em cada uma delas durante a elaboração da revisão sistemática. A validação das bases de dados ocorreu através da escolha das referências que representavam 80% do total de artigos selecionados. Desta maneira, procurou-se selecionar as bases mais representativas e que somassem juntas o número mínimo de 8.699 referências.

As quatro bases mais representativas em número de referências foram selecionadas e reuniam juntas 9.123 resultados, sendo elas: *ScienceDirect* (Elsevier),

PNAS - *Proceedings of the National Academy of Sciences*, SpringerLink e Taylor & Francis Online. A seguir realizou-se o lançamento das informações levantadas no gerenciador de referências Mendeley para que o material selecionado pudesse ser trabalhado.

O primeiro teste a ser executado no Mendeley foi a aderência das palavras-chave. Os termos foram lançados na barra de pesquisa do software e comparados com os resultados encontrados. Como foram encontradas referências aderentes às palavras-chave não foi necessário realizar mudanças nos termos inicialmente selecionados. O passo seguinte foi a eliminação das duplicatas entre os resultados encontrados. Neste momento, 2.179 resultados duplicados foram eliminados, restando na coleção bibliográfica 6.944 artigos.

Os documentos foram organizados em ordem alfabética e, após a análise dos autores de cada publicação, 467 duplicatas foram retiradas do portfólio pois possuíam algumas variações nos títulos e que não haviam sido identificadas na filtragem inicial. Por fim, restaram 6.477 artigos. Após a análise de todas as referências, realizou-se o alinhamento dos títulos com o campo da pesquisa. Neste momento, todo o material que não se enquadrava no escopo do estudo foi desconsiderado e o portfólio bibliográfico se limitou a 192 artigos no fim desta etapa.

O próximo passo tratou-se do reconhecimento científico dos artigos no Google Acadêmico. As citações de todas as publicações restantes foram determinadas para checagem da relevância das referências para a pesquisa. Os 192 artigos somavam 7.384 citações. Considerando novamente os 80% mais representativos, foram selecionados os artigos que, somados, possuíam 5.907 citações. Os artigos foram organizados em ordem decrescente de acordo com o número de citações e observou-se que os 63 artigos mais referenciados no Google Acadêmico possuíam 5.944 citações. Desta maneira, foram considerados todos os artigos que apresentavam 44 ou mais citações.

Os resumos dos 63 artigos restantes do portfólio bibliográfico foram analisados para a verificação do alinhamento com o escopo da pesquisa. Observou-se que apenas 13 artigos estavam adequados ao escopo da pesquisa tanto em relação ao título quanto em relação ao resumo. O estudo de método para elaboração de mapas climáticos ou sugestões de melhorias no planejamento urbano foram apresentados em 18 artigos. Outras 19 referências discutiam a utilização de métodos climáticos para outras finalidades e 13 artigos estavam fora do escopo de pesquisa.

Após a definição das referências selecionadas na revisão sistemática da literatura, realizou-se a checagem e validação final dos artigos recentes que não possuíam número relevante de citações. Assim, os artigos publicados entre os anos de 2019 e 2021 foram reconsiderados para serem integrados à pesquisa independentemente do número de citações que tivessem.

A partir do alinhamento dos títulos e resumos destas publicações mais recentes, três artigos foram considerados adequados para se juntar ao portfólio bibliográfico, somando o total de 16 artigos principais indicados para compor a pesquisa. Devido ao número reduzido de referências disponíveis nas bases do Periódicos Capes, a seleção por referências foi complementada por outras fontes em ferramentas de busca online. Todos os materiais encontrados durante esta etapa de pesquisa foram considerados para a bibliografia final após a confirmação de sua relevância para o tema.

4.2.1.3. Análise sistêmica

A partir da revisão sistemática da literatura foi possível selecionar os artigos que foram utilizados neste trabalho de acordo com a relevância científica de cada um e estruturar a base bibliográfica. Em seguida foram consideradas hipóteses possíveis do trabalho com o objetivo de responder à pergunta da pesquisa e fundamentar a proposta inicial para o direcionamento dos trabalhos. A hipótese foi desenvolvida durante a elaboração da análise sistêmica e foi sugerida para responder se a metodologia desenvolvida para a elaboração de um mapa de recomendações compatível com o mapa climático analítico de Belo Horizonte seguiria a metodologia UC-Map aos moldes internacionais, com a criação de mapas de recomendação concomitantemente aos mapas analíticos e o uso de zonas de planejamento climático para a elaboração das recomendações. A partir da hipótese apresentada, foram desenvolvidas as lentes de pesquisa deste trabalho. As lentes buscam direcionar as possibilidades de estudo da pesquisa de maneira objetiva considerando as áreas mais relevantes para o aprofundamento dos tópicos de interesse.

A primeira lente se refere à elaboração do mapa de recomendações climático compatível e complementar ao mapa analítico de Belo Horizonte, com o objetivo principal de solucionar os desafios apresentados pela Administração Pública no Plano Diretor. A segunda lente identificada aborda a importância da elaboração de mapas

climáticos para agenda climática municipal. Por fim, a terceira lente apresenta a possibilidade de adaptação da metodologia, assim como é reproduzida internacionalmente, para a elaboração de mapas climáticos em Belo Horizonte. A partir da definição das lentes de pesquisa foi possível focar o tema estudado e identificar lacunas de conhecimento que foram abordadas no trabalho.

O enfoque da pesquisa foi direcionado para a busca de referências que apresentaram a utilização da metodologia UC-Map em diversas regiões do mundo, de acordo com a fidelidade dos trabalhos e com o princípio dos mapas em proporcionar melhorias ou sugestões para o aprimoramento do planejamento urbano. A partir da análise realizada nos mapas europeus, especialmente os desenvolvidos na Alemanha, verificou-se que a metodologia poderia se adaptar ao meio em que está sendo aplicada. Desta maneira, inicialmente, optou-se por investigar os trabalhos executados no Brasil, para compreender o andamento dos estudos no país. Porém, foi observado posteriormente que a utilização de referências internacionais era mais relevante para a proposição das recomendações.

Entre as lacunas de pesquisa observadas, notou-se que a elaboração de um mapa climático de recomendações permitiu a identificação de alternativas possíveis para a melhoria das condições de convivência e circulação de pessoas na cidade. Por conta disso, verificou-se que o atendimento às demandas presentes no Plano Diretor pode estar diretamente relacionado às carências observadas pela população em geral. As condições de conforto também puderam ser trabalhadas quando observadas pela ótica dos cidadãos. Os mapas estudados promoveram a interpretação das características de ocupação das regiões que fazem parte e podem oferecer dados para comparações com regiões brasileiras em estudos futuros, uma vez que a análise de outros mapas pode permitir a compreensão de fenômenos e identificar similaridades.

Outra lacuna do trabalho foi a percepção de que a criação de um mapa de recomendações contribui para o atendimento a alguns dos objetivos municipais de caráter sustentável. Assim como existem demanda por melhorias previstas no Plano Diretor, existe também a necessidade de fortalecimento de alternativas de planejamento e gestão para a implementação de projetos de combate às mudanças climáticas.

A comparação de diferentes métodos de elaboração de mapas de recomendações climáticas permitiu a concepção do mapa de Belo Horizonte aos moldes dos mapas

internacionais e promoveu o aprofundamento de conhecimentos sobre o tema para que seu desenvolvimento fosse possível, além de identificar outras possibilidades de pesquisa. A VDI 3787 (2015) serviu como norte para a elaboração de recomendações, uma vez que a maioria dos mapas de recomendações climáticas existentes se utilizam da experiência germânica para a confecção de suas metodologias.

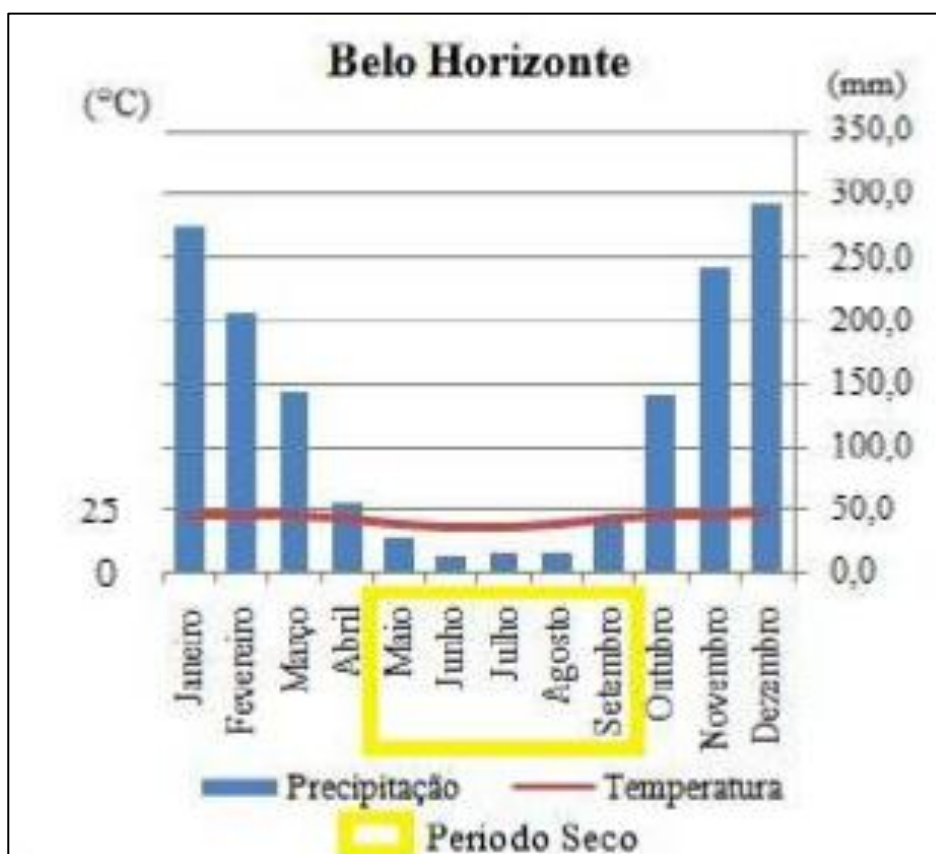
4.2.2. Área de estudo

O município de Belo Horizonte compreende uma área de 331.354 quilômetros quadrados e possui uma população estimada para o ano de 2021 de 2.530.701 pessoas. A capital de Minas Gerais conta com uma população de 389.218 pessoas exposta ao risco de inundações, enxurradas e deslizamentos. Este número corresponde a mais de 15% da população e confere o quarto lugar entre os municípios brasileiros mais susceptíveis a desastres naturais (IBGE, 2010).

Para entender as peculiaridades da capital mineira, Assis e Abreu (2010) mostram que a cidade de Belo Horizonte possui singularidades ambientais e características sociais que contribuem para o estudo do clima urbano. Através dos componentes geográficos da região, é possível analisar as particularidades de seus aspectos climáticos. Outro fator favorável à análise são os altos índices de comprometimento ambiental como a poluição e a concentração de ilhas de calor. Devido ao dinamismo do crescimento econômico da cidade, o aumento populacional, a ampliação dos limites espaciais e a vulnerabilidade climática, é possível observar a expansão dos impactos para toda a região metropolitana. A redução das áreas verdes no entorno da cidade e o crescimento de contaminantes pulverulentos no ar são exemplos desses impactos.

Machado (2014) explica, ao pensar nos aspectos climáticos, que Minas Gerais possui três classes climáticas vinculadas às características térmicas e pluviométricas do estado. São as regiões de clima quente, clima subquente e clima mesotérmico. O levantamento climático realizado em estações meteorológicas no estado identificou que Belo Horizonte possui o tipo climático subquente e semi-úmido, com a média de temperatura entre 15 e 18°C em ao menos um mês do ano e verificou períodos de estiagem com duração de 4 a 6 meses ao ano. As características climáticas identificadas em Belo Horizonte são apresentadas na Figura 23.

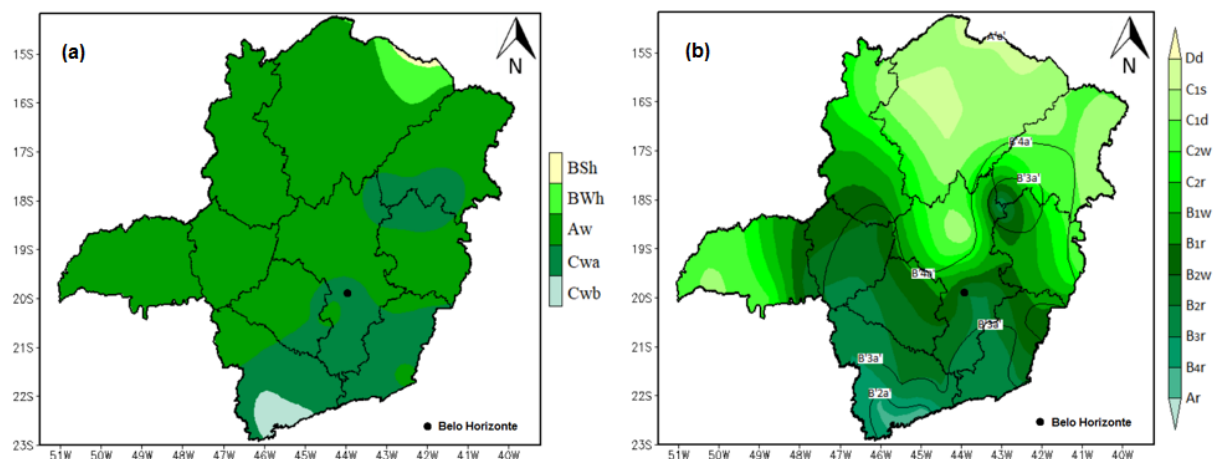
Figura 23: Características climáticas de Belo Horizonte



Fonte: Machado, 2014

Martins et al. (2018) determinaram a classificação climática de Minas Gerais a partir dos Sistemas de Classificação Climática (SCC) de Köppen (1936) e de Thornthwaite (1948). Foram utilizados dados de precipitação e temperatura do ar projetados por modelos climáticos globais para o clima presente entre 1981 e 2010, e para o clima futuro compreendido entre 2011 e 2100. Os autores concluíram que Belo Horizonte está localizada na zona de alternância entre o clima tropical (Aw) e o clima temperado quente (Cwa) pelo SCC de Köppen, com maior incidência deste último na cidade como observado na Figura 24(a). Segundo o SSC de Thornthwaite apresentado na Figura 24(b), a cidade é classificada com o tipo climático B1rB'4a', sendo identificado como úmido (B1) com pequena ou sem nenhuma deficiência hídrica (r) e com linhas que representam limites climáticos referentes a mudanças de umidade e temperatura indicados pelos fatores hídrico A'a', B'2a, B'3a' e B'4a'. De acordo com as previsões do trabalho, esta classificação pode apresentar alterações no SCC a partir de 2041.

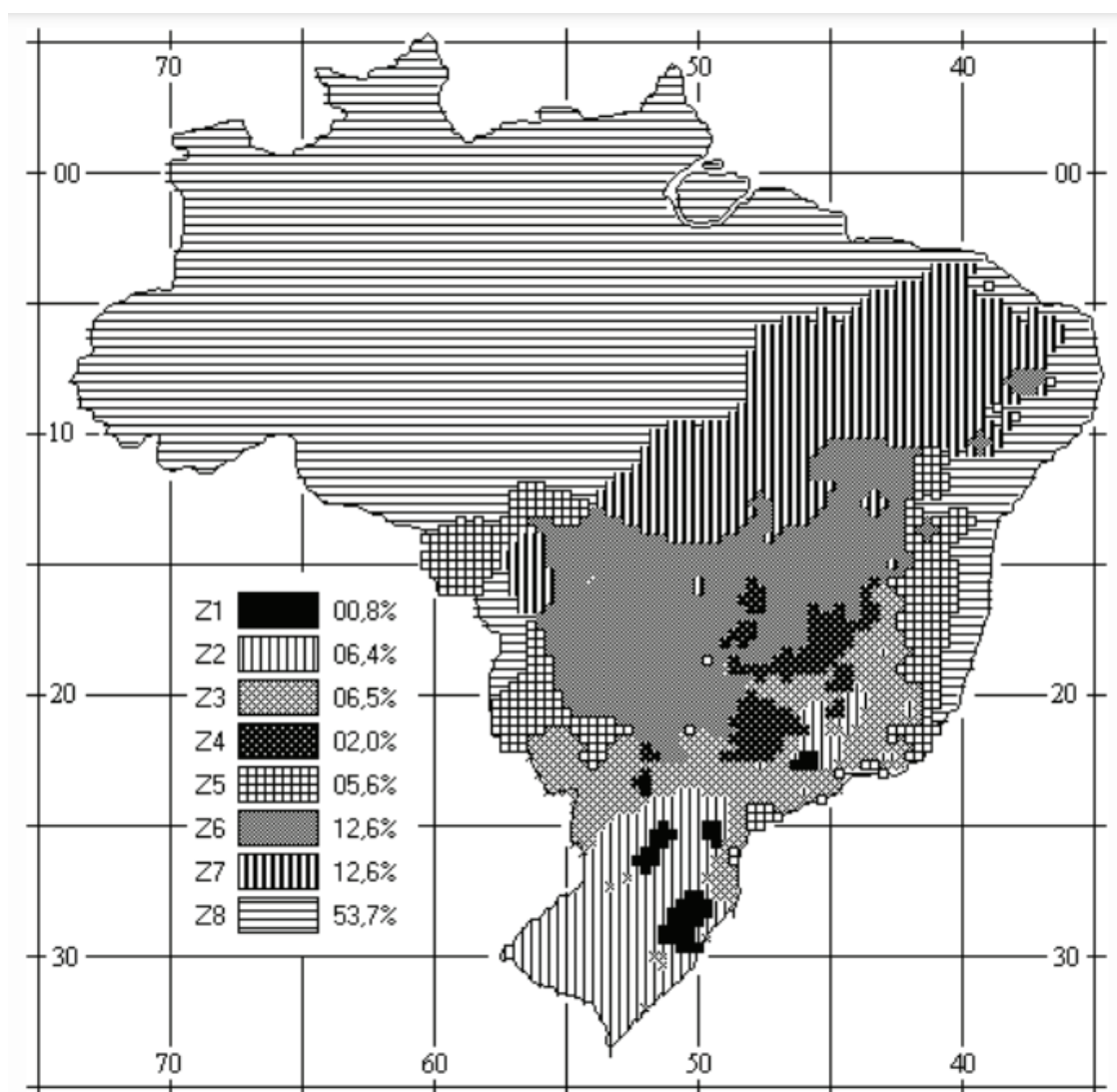
Figura 24: Classificação climática de Minas Gerais e de Belo Horizonte por Köppen e Thornthwaite



Fonte: Martins et al., 2018

Uma outra ferramenta para o entendimento das características climáticas da capital mineira se apresenta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 15220-3:2005. De acordo com essa norma o Brasil possui oito zonas bioclimáticas e a cidade de Belo Horizonte localiza-se na zona 3 como pode ser visto na Figura 25. Entre as medidas de condicionamento térmico passivo para a zona em questão incluem-se a ventilação cruzada no verão e o aquecimento solar das edificações durante o inverno. A análise do planejamento climático urbano para futuras recomendações deve considerar estratégias construtivas, como as apresentadas pela norma, para que o conforto ambiental seja eficaz.

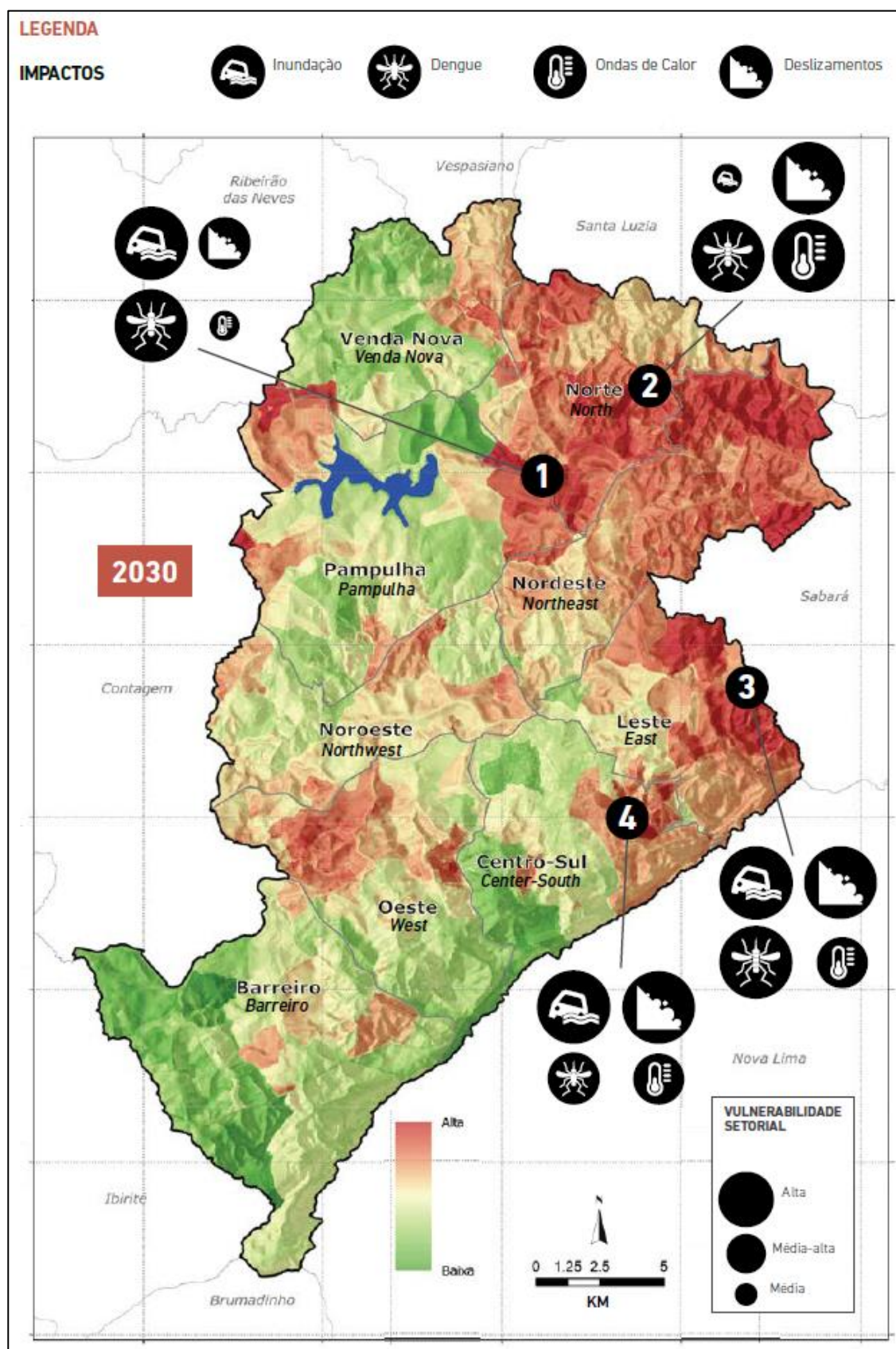
Figura 25: Zonas bioclimáticas brasileiras



Fonte: Brasil, 2015

A partir do aprofundamento dos estudos frente às necessidades da cidade, das normas específicas e da análise de informações climáticas disponíveis, a PBH desenvolveu um mapa de vulnerabilidade que corresponde a previsões para o ano de 2030 como pode ser observado na Figura 26. As inundações e deslizamentos causados pela ausência de permeabilidade, a proliferação de doenças pela má gestão dos resíduos e a ocorrência de ilhas de calor associadas a falta de áreas verdes e circulação de ar durante o dia podem ser fatores correlacionados ao planejamento urbano. O mapa contribuiu para a elaboração das principais demandas do município para o combate aos riscos causados pela exposição da população aos impactos climáticos no ambiente urbano (PBH, 2016).

Figura 26: Vulnerabilidade às mudanças climática em Belo Horizonte em 2030

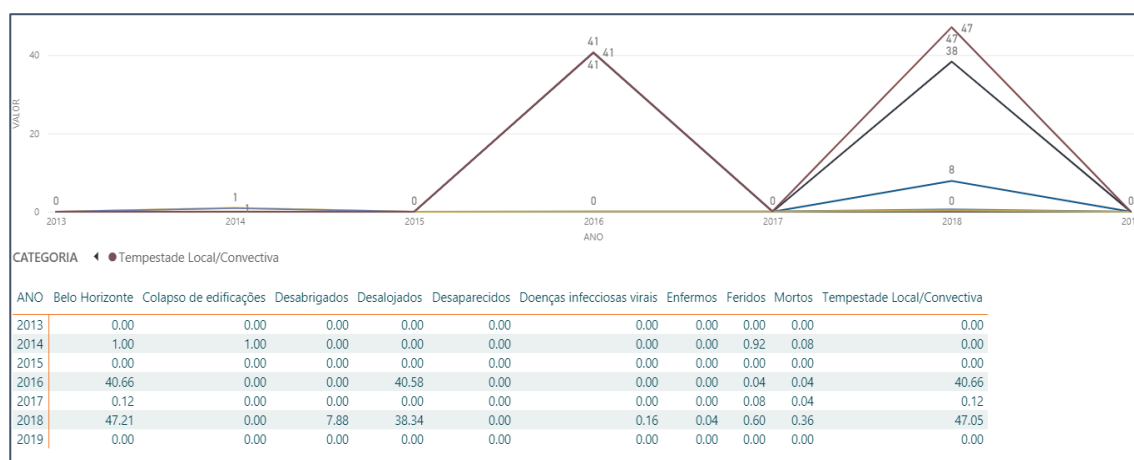


Fonte: PBH, 2016.

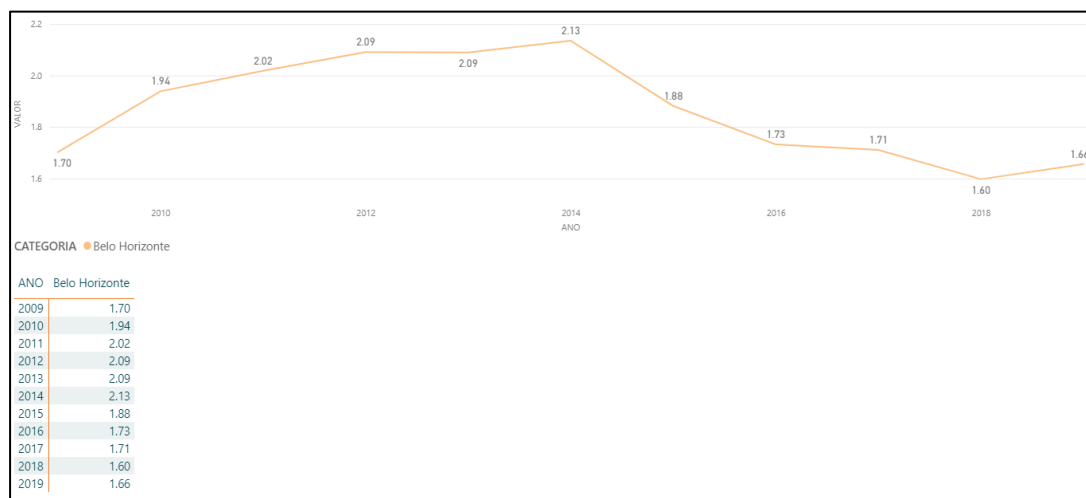
Segundo Macedo (2017), Belo Horizonte é uma das primeiras cidades brasileiras que definiram marcos legais para o gerenciamento das ações climáticas. Tal fato se deu pela implementação da Política Municipal de Mitigação dos Efeitos da Mudança Climática, estabelecida pela Lei nº10.175 de 6 de maio de 2011. A política é articulada pelo Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência (CMMCE) criado em 2006 e é vinculado à Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA). Este posicionamento aponta indícios de que a administração pública municipal possui interesse em implementar medidas que melhorem o planejamento urbano a partir da incorporação de ações climáticas.

A busca pelo cumprimento das metas da ONU, no que se refere às mudanças climáticas, vem sendo trabalhada em diversas cidades do mundo por meio de estratégias diversas com o intuito de se alcançarem os ODS. Segundo o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR), Belo Horizonte se destaca entre as cidades brasileiras com mais de 1 milhão de habitantes no ranking de melhor atendimento às metas dos ODS. A cidade também é referência no atendimento ao ODS 13 referente à ação contra a mudança do clima. A importância do município na agenda ambiental nacional é notável e pode ser aprimorada com as melhorias provenientes da implantação de ferramentas adequadas de planejamento. Os indicadores do 13º objetivo para a capital mineira são apresentados nas Figuras 27, 28 e 29 (IDSC-BR, 2021).

Figura 27: Levantamento do número de mortes, desaparecimentos e acidentes diretos atribuídos a desastres por 100 mil habitantes

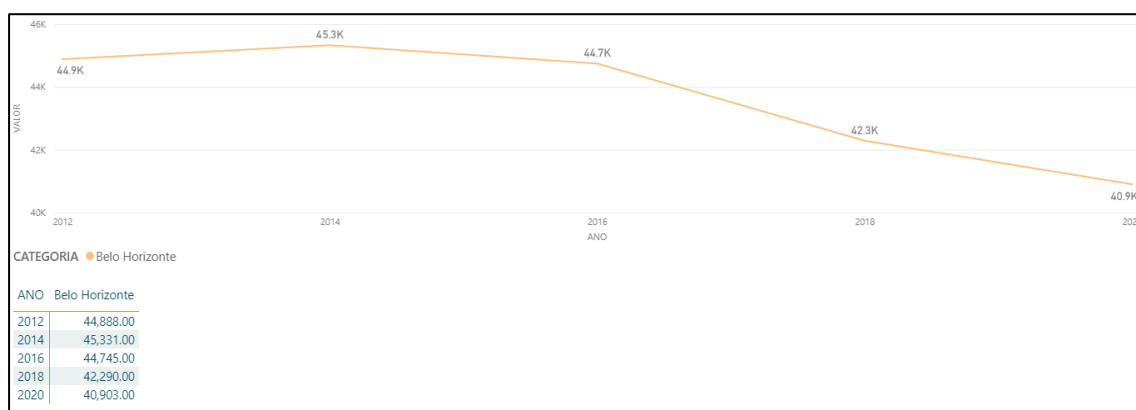


Fonte: PBH, 2020a.

Figura 28: Emissões de dióxido de carbono per capita (tCO₂e/hab)

Fonte: PBH, 2020a

Figura 29: População residente em áreas sujeitas a inundação



Fonte: PBH, 2020a

4.2.3. Identificação das demandas municipais

O Plano Diretor de Belo Horizonte - Lei Municipal nº 11.181/2019 - serviu como base para a determinação das principais demandas para as recomendações da cidade (BELO HORIZONTE, 2019). A escolha da lei como norte para a pesquisa de orientações a se cumprir se deu por sua abrangência de informações acerca dos potenciais problemas de uso e ocupação do solo, especialmente pelo fato de se tratar da ferramenta básica para o entendimento da política urbana na cidade e por sua recente implementação.

A pesquisa utiliza como instrumento de análise o E-book Plano Diretor de Belo Horizonte desenvolvido pela Secretaria Municipal de Política Urbana no ano seguinte

para a apresentação do novo documento para a sociedade (PBH, 2020b). A verificação da capacidade de suporte no perímetro da cidade por meio da interpretação dos dados de ocupação, adensamento construtivo e circulação de pessoas permitiu a identificação de desafios para o sucesso do Plano Diretor. Os desafios propostos pelo documento serviram de base para a busca de estratégias que permitiam o levantamento de recomendações iniciais para este trabalho. Os desafios apontados pela administração estão indicados no Quadro 10.

Quadro 10: Desafios apontados pelo Plano Diretor

DESAFIOS APONTADOS PELO PLANO DIRETOR DE BELO HORIZONTE	
1	Equilíbrio entre densidade construtiva e capacidade de suporte do município
2	Presença de 25% da população da cidade em vilas e favelas
3	Ocupação irregular em regiões com fragilidade ambiental
4	Celeridade nos serviços oferecidos e no retorno aos munícipes
5	Diminuição da dependência do transporte individual
6	Diminuição da dependência da área central da cidade
7	Financiamento de projetos para qualificação urbanística
8	Melhoria da permeabilidade do solo urbano

Fonte: Adaptado de PBH 2020b

Segundo Belo Horizonte (2020) entre as principais estratégias que podem ser utilizadas para a resolução dos desafios encarados pelo Plano Diretor podem ser citadas o gerenciamento espacial e outorga do direito de construir para o desenvolvimento urbano, estruturação urbana com alinhamento e ordenamento do adensamento populacional e construtivo, melhorias nos serviços de mobilidade urbana, de habitação e de inclusão social, proteção e requalificação do meio ambiente, restauro dos espaços públicos e manutenção do patrimônio.

Diante deste cenário, foram elaboradas recomendações iniciais que abarcassem alguns dos desafios e que buscassem alternativas alinhadas com as estratégias propostas pela administração. Foram considerados os desafios apresentados pelo Plano Diretor mais pertinentes ao estudo climático na cidade, assim como a adaptação do mapa de Belo Horizonte, para que ele tivesse zonas de planejamento climático condizentes às desenvolvidas em outros países. Desta maneira, foram escolhidos para a elaboração de recomendações os desafios para o equilíbrio da densidade construtiva de acordo com a capacidade de suporte na cidade, a diminuição da

ocupação irregular de áreas com fragilidade ambiental e a busca por melhorias para a permeabilidade do solo urbano.

4.2.4. Análise do Mapa Climático Analítico e do Plano Diretor de Belo Horizonte

Após a revisão bibliográfica, assim como o levantamento de dados da região de interesse e de suas demandas, o mapa climático analítico de Belo Horizonte foi analisado para que fossem identificadas as etapas do método utilizado para sua elaboração e as informações pertinentes para a formulação de recomendações para a cidade. Inicialmente, foi realizada uma análise dos demais mapas brasileiros para conferência da similaridade de execução com os demais mapas climáticos elaborados no país com a metodologia UC-Map e verificação do cruzamento de referências bibliográficas. Através dessa checagem foi possível determinar as fontes mais comuns entre os trabalhos.

Em seguida, foram verificadas as camadas utilizadas na elaboração do mapa. Apesar da coleta de dados ter sido realizada há mais de 10 anos optou-se por não realizar uma atualização das informações devido ao curto período de tempo e a quantidade de trabalho necessário. A partir do mapa analítico, pensou-se na sobreposição dos climatopos com o zoneamento proposto da cidade para a conferência da relação existente entre o uso e ocupação do solo com o balanço energético da cidade. Através desta análise, buscou-se identificar causas e consequências para a formulação de recomendações.

Foi feita a classificação do território municipal de acordo com seus zoneamentos. Desta maneira seria possível pontuar as sugestões de acordo com o que já estivesse sendo executado pela administração da cidade em termos de políticas públicas. O levantamento das informações sobre o zoneamento foi colhido no site da prefeitura de Belo Horizonte, nas informações de uso e ocupação do solo, provenientes do Plano Diretor. Foram considerados no levantamento deste trabalho todos os zoneamentos apresentados para a cidade.

Após a coleta do mapa de zoneamentos, foi preciso definir como as informações dos climatopos originados pelo mapa analítico seriam relacionadas com a formação das recomendações para Belo Horizonte. Para isso, foi realizada a sobreposição do

mapa de zoneamento da cidade, com o mapa dos climatopos para a determinação das zonas de planejamento climático.

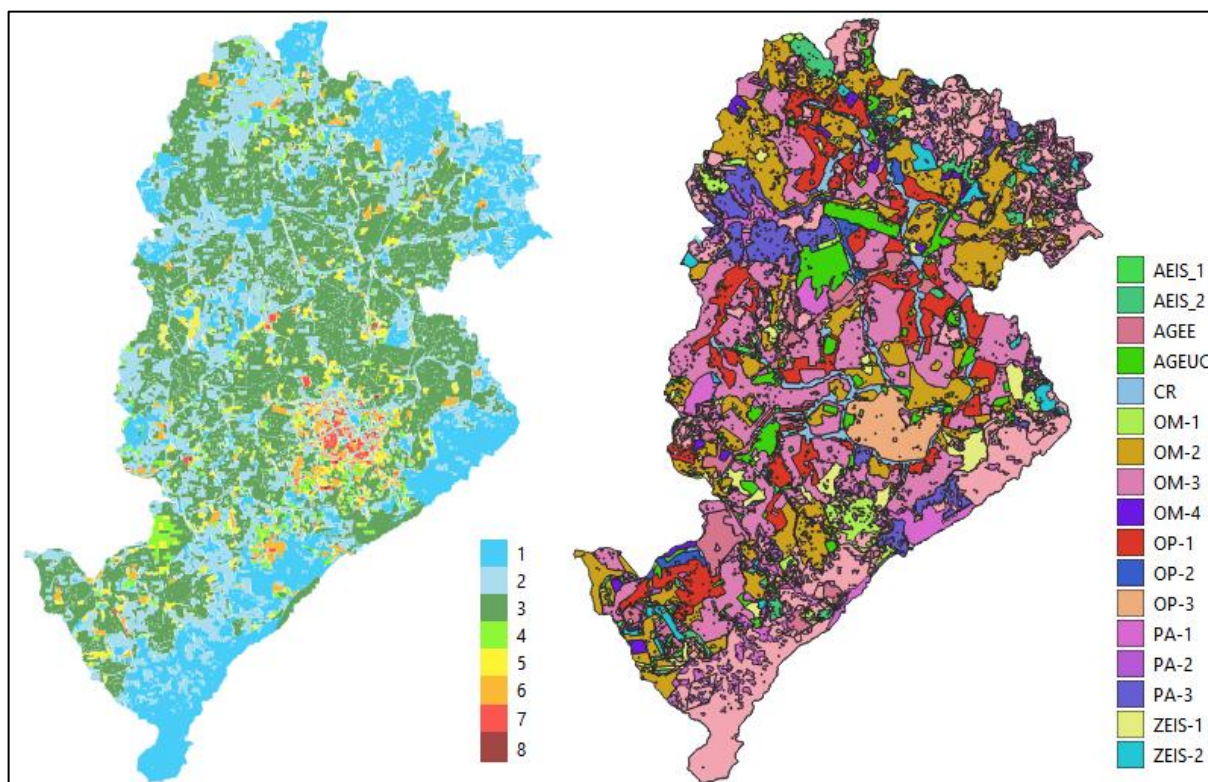
4.2.5. Sobreposição de camadas de mapas

A partir dos dados dos climatopos gerados pelo mapa analítico e a identificação das características de cada zoneamento da cidade, foi possível cruzar informações e gerar recomendações para cada região. A ideia original para a elaboração do mapa de recomendações consistia apenas na indicação de sugestões baseadas na sobreposição entre os mapas de climatopos e o zoneamento da cidade, sem a definição de zonas de planejamento climático. Porém, a identificação de agrupamentos das classes de climatopos para a formulação de recomendações é relativamente comum nos trabalhos internacionais e percebeu-se também tal aplicação nos UC-ReMap desenvolvidos no Brasil.

A sobreposição inicial dos mapas ocorreu com a utilização do software QGIS para a definição das áreas dos zoneamentos que fossem correspondentes a cada climatopo da cidade. O objetivo ao quantificar cada uma das áreas era a determinação dos zoneamentos com maior incidência em cada climatopo para que as recomendações fossem construídas de maneira a considerar as particularidades da região e determinar quais ações seriam as mais indicadas.

A partir dos recursos do software foram calculadas as áreas de interseção e a quantidade de área de cada zoneamento, em quilômetros quadrados, localizado em cada climatopo. Por fim uma tabela com as áreas foi gerada para determinação da porcentagem de cada zoneamento na área de interesse. Foram considerados os zoneamentos que compreendiam a 60% ou mais da área do climatopo para a elaboração das recomendações de maneira a facilitar sua preparação e privilegiar as principais sugestões propostas pelo Plano Diretor homogeneamente. Os mapas dos oito climatopos e dos 17 zoneamentos utilizados nos QGIS para cálculo das áreas de interseção são apresentados na Figura 30.

Figura 30: Mapas de climatopos e zoneamentos utilizados no QGIS



Fonte: Adaptado de Ferreira, Assis e Katzschner, 2017

Em seguida, optou-se pela criação de zonas urbanas de planejamento climático que buscam valorar as interferências climáticas de acordo com as características de cada região da cidade através da análise de parâmetros pontuais do clima urbano para criação das recomendações.

4.2.6. Recomendações gerais

As recomendações gerais foram desenvolvidas a partir dos eixos estipulados pelo E-book explicativo do Plano Diretor (PBH, 2020b) para a maior abrangência dos desafios apontados pela Prefeitura Municipal. Considerando a aderência de cada demanda para a análise climática, definiram-se como eixos estruturantes para elaboração de recomendações os seguintes desafios: o equilíbrio da densidade construtiva de acordo com a capacidade de suporte, a redução da ocupação irregular em áreas ambientalmente frágeis e a melhoria da permeabilidade do solo.

O objetivo que norteou a proposição das recomendações foi a priorização da equação de balanço de energia no clima urbano. Nos casos de preservação, para os

climatopos 1 e 2, buscou-se a proteção das condições carga térmico e potencial dinâmico na região. Para as áreas dos climatopos 3 e 4, com a previsão de manutenção, foi sugerida abordagem que mantivesse as condições para evitar a piora nas condições de balanço energético. As regiões de mitigação recomendada e essencial, dos climatopos 5, 6, 7 e 8, exigiram adequações de maneira a atenuar e reverter os efeitos sobre a situação do balanço de energia local, observando que a recomendações de mitigação essencial eram as mais urgentes.

A norma alemã VDI 3787 (2015) serviu como base para a definição dos princípios utilizados no planejamento das recomendações. A partir das orientações do documento, buscou-se definir ações preventivas para proteger as condições de vida e trabalho para os residentes, proteção das condições favoráveis do clima local, valorização das áreas verdes e dos espaços abertos como alternativas positivas para o clima urbano e contenção das atividades comerciais e industriais para favorecer regiões residenciais.

Em complemento ao levantamento, foram considerados os níveis de complexidade das recomendações a partir da classificação atribuída para cada zona de planejamento climático da cidade. Por fim, as recomendações gerais levantadas foram verificadas de acordo com a proposta de melhorias apontada pelo próprio Plano Diretor e reconsideradas quanto ao fato de serem ou não exequíveis de acordo com a viabilidade.

4.2.7. Parâmetros-chave do planejamento climático

Os parâmetros-chave para a elaboração das recomendações climáticas finais são articulações do planejamento utilizadas para vincular as duas etapas do UC-Map. Estas ferramentas que auxiliam na organização do UC-ReMap foram identificadas através das camadas do mapa climático analítico. Torna-se conveniente a proposição das recomendações para cada um dos níveis de sensibilidade das três zonas de planejamento climático, considerando cada parâmetro-chave individualmente.

Desta maneira, seguindo o exemplo de trabalho desenvolvido em Hong Kong, foram selecionados como parâmetros-chave as áreas verdes e o volume edificado, devido à natureza intuitiva das proposições. A declividade foi considerada como um dado de projeto, assim como foi sugerido pelo relatório de recomendações de Hong Kong. As camadas de áreas não permeáveis e rugosidade foram desconsideradas

para a proposição de recomendações com o intuito de evitar a complexidade do mapa (HONG KONG, 2021).

4.2.8. Recomendações finais

Parte dos zoneamentos da cidade não foram considerados na elaboração das recomendações principais dos climatopos por não serem os mais representativos em cada situação. Porém, as recomendações formuladas partiram do princípio de que pudessem ser adaptadas futuramente de acordo com a necessidade local. Para facilitar a elaboração e evitar a duplicidade de informações, os zoneamentos mais representativos da cidade foram agrupados em quatro classes, sendo elas as áreas de preservação ambiental, áreas de ocupação moderada, áreas de ocupação preferencial e áreas de equipamentos. Os agrupamentos dos zoneamentos considerados para a elaboração das recomendações são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11: Agrupamento dos zoneamentos para elaboração das recomendações

Agrupamento dos zoneamentos para elaboração das recomendações		
Agrupamento	Descrição	Sigla
Preservação ambiental	Zonas de preservação ambiental 1	PA-1
	Zonas de preservação ambiental 2	PA-2
	Zonas de preservação ambiental 3	PA-3
Ocupação moderada	Zonas de ocupação moderada 2	OM-2
	Zonas de ocupação moderada 3	OM-3
Ocupação preferencial	Zonas de ocupação preferencial 1	OP-1
	Zonas de ocupação preferencial 3	OP-3
Grandes equipamentos	Áreas de grandes equipamentos de uso coletivo	AGEUC
	Áreas de grandes equipamentos econômicos	AGEE

Fonte: Elaborado pelo autor

Desta maneira, após a determinação das recomendações gerais e da conferência da aderência de cada uma delas de acordo com as especificações do Plano Diretor, foram estabelecidas as recomendações finais para o mapa proposto considerando cada um dos zoneamentos representativos, o nível de sensibilidade climática atribuído

pelas zonas de planejamento climáticos determinadas para a cidade e os parâmetros-chave do planejamento climático.

4.2.9. Elaboração do Mapa Climático de Recomendações

As últimas etapas metodológicas do trabalho foram a elaboração do mapa de recomendações (UC-ReMap) no software QGIS seguindo as orientações da norma alemã VDI 3787 e a organização das informações levantadas para cada zona de planejamento em um quadro comparativo para a apresentação das recomendações.

O mapa foi elaborado de acordo com o agrupamento dos climatopos de cada zona de planejamento. As cores utilizadas na representação das zonas de planejamento seguiram a norma VDI 3787 e a representação através do sistema de composição de cores RGB (*red, green, blue*).

As áreas verdes e espaços abertos onde ocorrem regiões de compensação climática de grande relevância da zona de planejamento 1 foram indicadas com a cor verde escuro, representada na norma com a identificação 115:178:115. A zona de planejamento 2, cuja área construída possui relevância climática moderada, foi indicada pela cor laranja e endereçada por 246:197:103. Por fim, a cor lilás indicada por 138:43:226 foi utilizada para representar a área construída com as maiores desvantagens em termos de clima urbano e qualidade do ar, representada no mapa de recomendações pela zona de planejamento 3.

O quadro foi idealizado de maneira a agrupar os climatopos de cada zona de planejamento e apresentar um resumo de informações sobre os zoneamentos predominantes, a previsão legislativa para estes zoneamentos, os dados das classes climáticas urbanas provenientes do mapa climático analítico da cidade e a estratégia utilizada para preservação, manutenção ou mitigação sugerida para cada climatopo. Por fim, as recomendações sugeridas para cada zona foram listadas, de acordo com os parâmetros-chave de áreas verdes e volume edificado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação por climatopos das regiões de Belo Horizonte permitiu a identificação de pontos específicos para recomendações e fundamentou a definição de orientações para áreas maiores, uma vez que os zoneamentos da cidade possuem características específicas para sua organização no território e apresentam similaridades em diferentes pontos do município. Assim, foi realizada a sobreposição do mapa dos 8 climatopos identificados no mapa climático com o mapa dos 17 zoneamentos existentes na cidade. O software QGIS possibilitou a delimitação da interseção das áreas e a interpretação das regiões coincidentes a partir do cálculo de áreas das poligonais. As informações sobre os climatopos são provenientes do Mapa Climático Analítico de Belo Horizonte proposto por Ferreira, Assis e Katzschner (2017) e os zoneamentos da cidade foram coletados a partir das informações de ocupação do solo apresentadas pelo Plano Diretor (BELO HORIZONTE, 2019).

A sobreposição dos mapas permitiu realizar comparações entre as áreas de zoneamentos e de climatopos da cidade. Em seguida, coletaram-se as informações sobre as áreas de ocorrência de cada zoneamento em cada um dos climatopos e por fim uma planilha com as áreas de ocorrência de todos os zoneamentos em cada um deles foi gerada. A Tabela 1 apresenta a área correspondente de cada zoneamento em quilômetros quadrados para cada um dos climatopos categorizados no Mapa Climático Analítico de Belo Horizonte.

Tabela 1: Áreas em km² das sobreposições entre os zoneamentos e os climatopos de Belo Horizonte

SOBREPOSIÇÃO DE ÁREAS DOS ZONEAMENTOS DA CIDADE EM CADA CLIMATOPO									
ZONEAMENTOS	CLIMATOPO 1	CLIMATOPO 2	CLIMATOPO 3	CLIMATOPO 4	CLIMATOPO 5	CLIMATOPO 6	CLIMATOPO 7	CLIMATOPO 8	TOTAL
AGEUC	3,19	6,01	7,05	0,78	0,94	1,00	0,22	0,02	19,21
AGEE	1,80	3,45	4,63	1,76	0,80	0,55	0,14	*	13,13
AEIS-1	3,59	4,01	2,45	0,43	0,32	0,21	*	*	11,01
AEIS-2	0,59	0,89	0,63	0,07	0,10	0,23	*	*	2,51
CR	0,63	3,77	4,90	0,46	0,71	0,54	0,08	0,02	11,11
OM-1	2,05	2,27	2,35	0,69	0,27	0,22	0,02	*	7,87
OM-2	4,52	15,62	30,53	1,80	2,62	1,46	0,22	0,03	56,80
OM-3	2,34	14,97	37,13	2,24	3,18	1,46	0,19	0,03	61,54
OM-4	0,11	0,87	1,60	0,01	0,02	*	*	*	2,61
OP-1	1,34	7,63	16,65	0,96	1,69	0,70	0,07	*	29,04
OP-2	0,06	0,47	1,32	0,06	0,11	0,07	*	*	2,09
OP-3	0,21	2,45	0,81	0,30	0,48	1,52	1,38	0,11	7,26
PA-1	40,54	15,76	5,22	0,66	0,43	0,63	0,07	*	63,31
PA-2	5,32	2,37	0,73	0,04	0,12	0,29	*	*	8,87
PA-3	5,10	5,84	6,86	0,40	0,18	0,25	0,01	*	18,64
ZEIS-1	0,81	2,90	6,03	0,38	0,51	0,10	0,02	*	10,75
ZEIS-2	0,52	1,21	2,50	0,13	0,17	0,27	0,03	*	4,83
TOTAL	72,72	90,49	131,39	11,17	12,65	9,50	2,45	0,21	330,58

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir da análise do UC-AnMap de Belo Horizonte, percebe-se algumas características relevantes sobre as disposições de cada climatopo. O primeiro deles se apresenta completamente no zoneamento de proteção ambiental e a região que compreende os climatopos 1 e 2 representa quase a metade do território da cidade. Em seguida é possível verificar que quase 40% do território é abrangido pelo climatopo 3. Estes dados indicam que a maior parte da cidade mantém o balanço energético superficial nulo ou baixo. Em outras palavras, cerca de 90% do território demandam preservação e manutenção das condições atuais (FERREIRA et al., 2017).

Nota-se no UC-AnMap que os climatopos 4, 5, 6 e 7 possuem a concentração de ocupações moderadas, preferenciais e os grandes equipamentos na cidade. Estes locais também concentram as regiões onde ocorrem a inversão do balanço energético através do aumento populacional, comercial e trânsito de veículos. As condições climáticas ficam cada vez mais impróprias para o conforto e as recomendações aumentam a intensidade das orientações para manutenção, mitigação recomendada e mitigação essencial com a piora das condições do clima urbano.

O oitavo e último climatopo possui a menor área e as piores condições observadas para o balanço energético na cidade. Ele se localiza predominantemente na região central e demanda as recomendações mais expressivas para mitigação essencial. Apesar da região possuir concentração característica e contar com reduzida área de influência, as consequências da carga térmica e baixo potencial dinâmico atingem um grande número de pessoas que circulam pela região e podem afetar várias atividades no entorno.

Verificou-se que os cinco primeiros climatopos possuem todos os zoneamentos da cidade, enquanto que o climatopo 8 coincide com a área de apenas cinco dessas zonas. Observa-se, também, que o climatopo 8 possui uma área de abrangência reduzida e majoritariamente concentrada na região central quando comparado aos demais. Os climatopos 7 e 6 possuem, respectivamente, a segunda e terceira menores áreas de abrangência no território municipal, porém são mais distribuídos e agregam mais zoneamentos em sua cobertura de incidência.

Os climatopos mais representativos da cidade, assim como suas características referentes aos respectivos balanços energéticos, apresentam configuração consistente com os zoneamentos apresentados pelo Plano Diretor. O climatopo 3 possui a maior área e é composto, em sua maior parte, por regiões de ocupação moderada e ocupação preferencial. O segundo lugar em extensão de área na cidade é o climatopo 2, onde se destaca a concomitância entre áreas de proteção ambiental e áreas de ocupação moderada. O climatopo 1 é o terceiro colocado em abrangência de área e concentra as áreas de proteção ambiental.

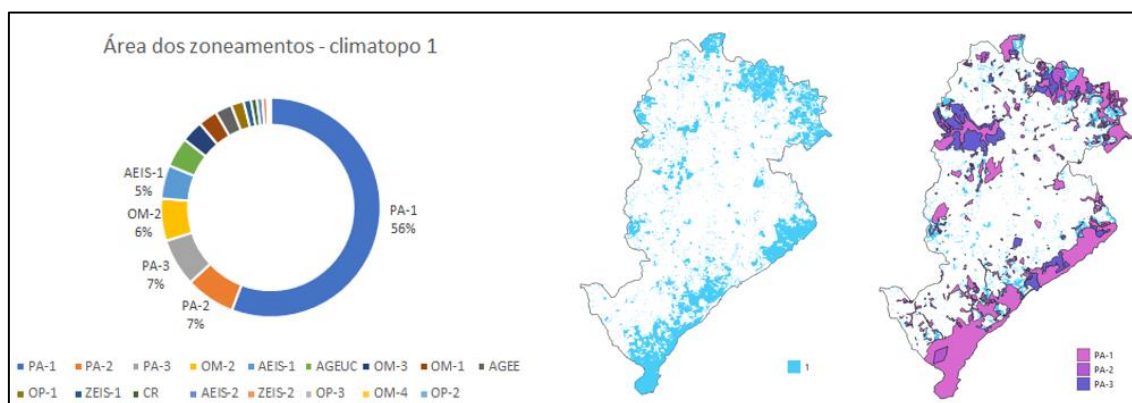
Os zoneamentos PA-1, OM-3 e OM-2 representam mais da metade do território da cidade. As áreas de ocupação moderada 3 e 2 aparecem em todos os climatopos e a área de proteção ambiental 1 se ausenta apenas no climatopo 8. Os zoneamentos OP-1, AGEUC e PA-3, quando somados aos três anteriores, acumulam mais de 75% do território municipal.

A identificação das áreas a partir das suas características permitiu refinar as recomendações climáticas para cada região de acordo com a representatividade dos zoneamentos em cada um dos climatopos da cidade. Para isso, comparou-se a configuração dos zoneamentos presentes em cada região e foram definidos quais deles seriam indicados como referências para a implantação das recomendações.

5.1. ESCOLHA DOS ZONEAMENTOS REPRESENTATIVOS

A partir das áreas calculadas foram determinados os valores percentuais dos zoneamentos em cada climatopo. O climatopo 1 possui os zoneamentos PA-1, PA-2 e PA-3 mais representativos em termos de área, como apresentado na Figura 31. Assim, esta área pode ser considerada predominantemente de proteção ambiental e as recomendações elaboradas consideram tal característica. Nesta situação foram considerados os três zoneamentos com maior percentual de área por possuírem naturezas de planejamento semelhantes sobre proteção ambiental.

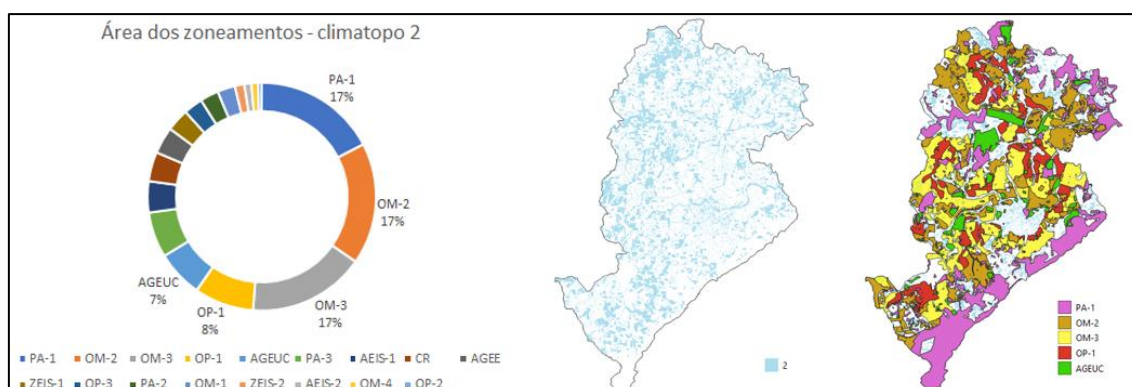
Figura 31: Área dos zoneamentos no climatopo 1



Fonte: Mapas-base: Ferreira, Assis e Katzschner (2017); PBH (2019)

O climatopo 2 tem predominância proporcional dos zoneamentos PA-1, OM-2, OM-3, OP-1 e AGEUC, indicando uma região mista que varia entre zona de proteção ambiental tipo 1, ocupação moderada dos tipos 2 e 3, além de zonas de ocupação preferencial do tipo 1 e áreas de grandes equipamentos de uso coletivo. Conclui-se que a região permite recomendações que permeiam a proteção e se comunicam com manutenção e mitigação. A distribuição percentual dos zoneamentos para o climatopo 2 é mostrada na Figura 32.

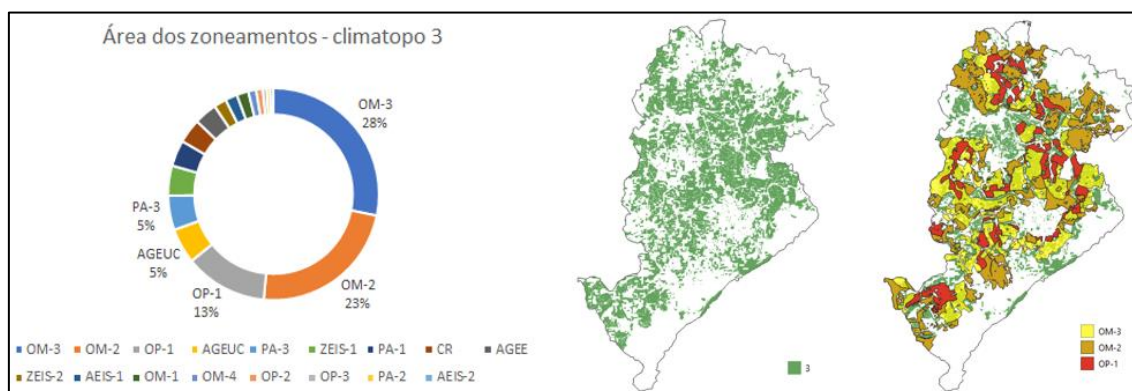
Figura 32: Área dos zoneamentos no climatopo 2



Fonte: Mapas-base: Ferreira, Assis e Katzschner (2017); PBH (2019)

O terceiro climatopo é caracterizado pela predominância de ocupações moderadas do tipo 3 e 2, além da presença de áreas de ocupação preferencial do tipo 1. Neste caso as recomendações tiveram que considerar ambos os cenários para a proposição das melhores alternativas. Os valores percentuais de cada zoneamento no climatopo 3 são ilustrados na Figura 33.

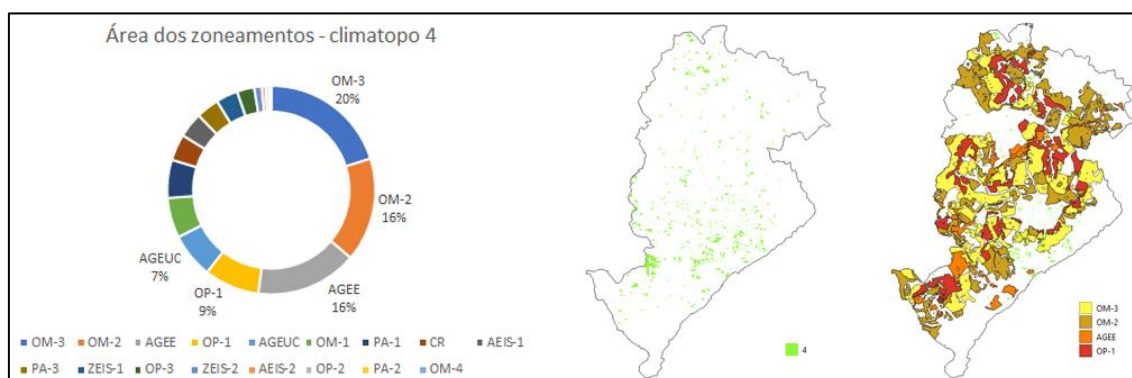
Figura 33: Área dos zoneamentos no climatopo 3



Fonte: Mapas-base: Ferreira, Assis e Katzschner (2017); PBH (2019)

O climatopo 4 apresenta maior representatividade dos zoneamentos OM-3 e OM-2 referentes às regiões de ocupação moderada, assim como do zoneamento de áreas de grandes equipamentos econômicos e do zoneamento de ocupação preferencial do tipo 1, como apresentado na Figura 34.

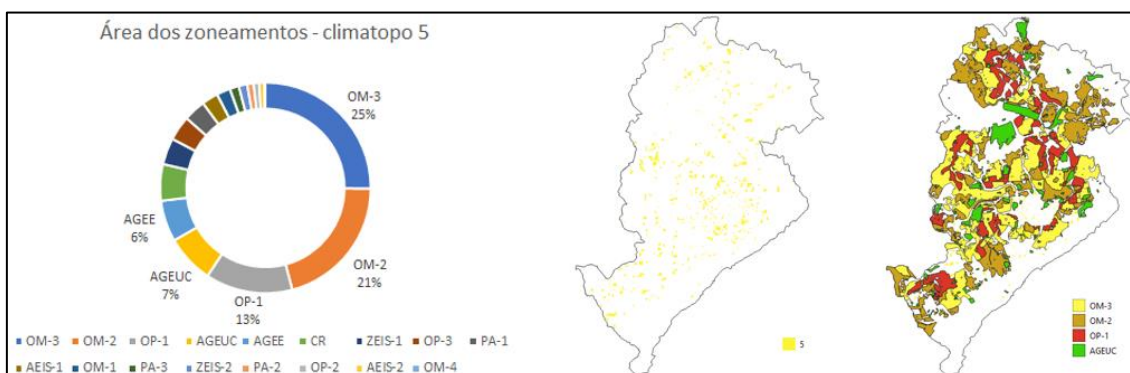
Figura 34: Área dos zoneamentos no climatopo 4



Fonte: Mapas-base: Ferreira, Assis e Katzschner (2017); PBH (2019)

Para o climatopo 5 foram verificados os zoneamentos de ocupação moderada dos tipos 3 e 2, e dos zoneamentos de ocupação preferencial do tipo 1 e das áreas de grandes equipamentos de uso coletivo. A distribuição percentual destes zoneamentos é indicada na Figura 35.

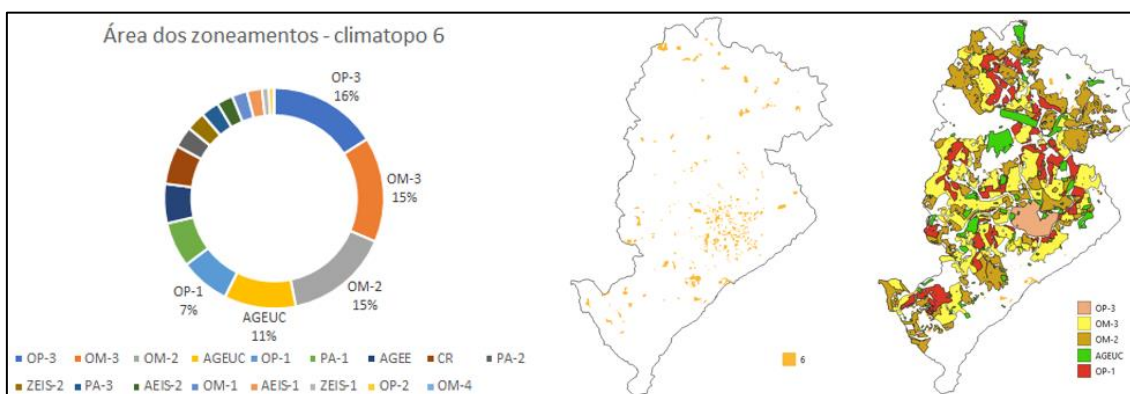
Figura 35: Área dos zoneamentos no climatopo 5



Fonte: Mapas-base: Ferreira, Assis e Katzschner (2017); PBH (2019)

O climatopo 6 apresenta os zoneamentos OP-3, OM-3, OM-2, AGEUC e OP-1 entre os mais representativos na região. Por conta deste fato, as recomendações foram pensadas de forma a considerar especialmente a presença de ocupação preferencial e moderada. A composição dos zoneamentos considerados na região é mostrada na Figura 36.

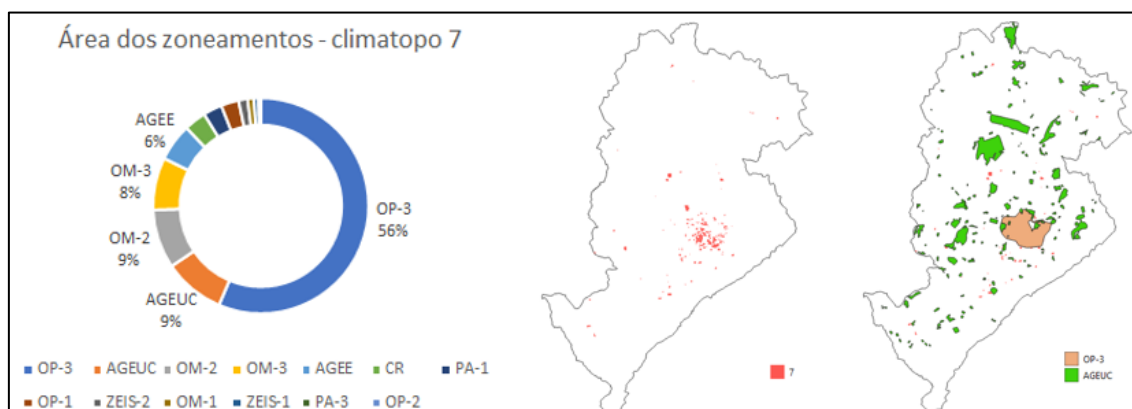
Figura 36: Área dos zoneamentos no climatopo 6



Fonte: Mapas-base: Ferreira, Assis e Katzschner (2017); PBH (2019)

O zoneamento de ocupação preferencial do tipo 3 é o de maior relevância para o climatopo 7 correspondendo a 56% da sua área. Para completar a análise na região, foram considerados os zoneamentos de áreas de grandes equipamentos de uso coletivo para a formulação das recomendações. A Figura 37 a seguir detalha a composição de zoneamentos no climatopo 7.

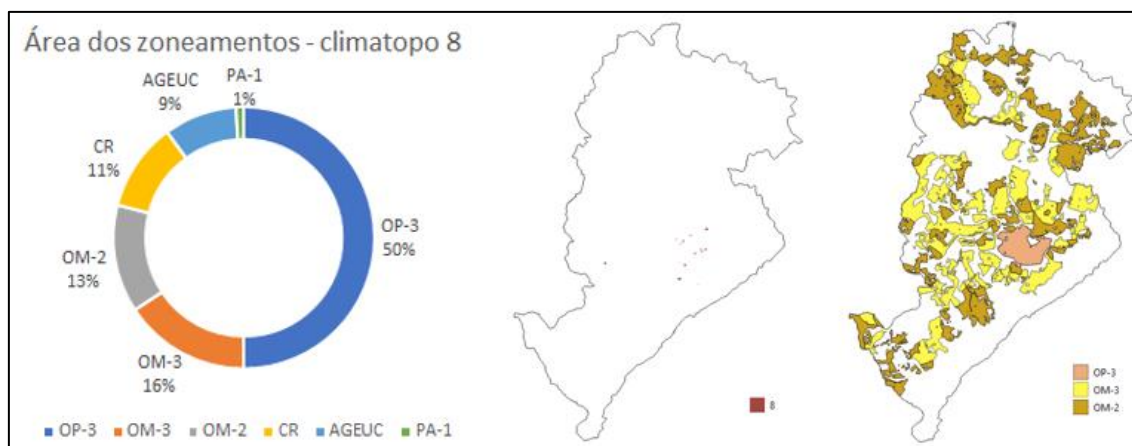
Figura 37: Área dos zoneamentos no climatopo 7



Fonte: Mapas-base: Ferreira, Assis e Katzschner (2017); PBH (2019)

O climatopo 8 se caracteriza por um número inferior de zoneamentos existentes devido à sua região reduzida no território de Belo Horizonte. Os zoneamentos considerados para a formulação de recomendações foram o OP-3, OM-3 e o OM-2 pela caracterização similar de ocupação prioritária e devido à sua área reduzida estar concentrada na região central da cidade. Os zoneamentos presentes na região são apontados na Figura 38.

Figura 38: Área dos zoneamentos no climatopo 8



Fonte: Mapas-base: Ferreira, Assis e Katzschner (2017); PBH (2019)

5.2. RECOMENDAÇÕES GERAIS

A partir das informações do mapa climático analítico e da determinação dos quatro eixos estruturantes dos desafios apresentados pelo Plano Diretor, foi possível a identificação das estratégias voltadas para a preservação, a manutenção e a mitigação das condições locais do balanço energético na área de estudo. Após a coleta dos dados, as recomendações gerais foram elaboradas para cada eixo, a partir dos agrupamentos dos climatopos.

Apesar das recomendações gerais não estarem diretamente relacionadas a um climatopo específico, elas se comunicam de forma mais expressiva com as regiões onde as condições de balanço energético são mais impróprias. Assim como os níveis de implementação das recomendações variam entre os climatopos, as orientações gerais da cidade também podem ser adaptadas de maneira a contribuir da melhor forma para o ambiente urbano. O Quadro 12 a seguir apresenta as recomendações gerais para a cidade.

Quadro 12: Recomendações gerais

Recomendações gerais baseadas no Plano Diretor e nos climatopos de Belo Horizonte				
Desafios	Preservação (climatopos 1 e 2)	Manutenção (climatopos 3 e 4)	Mitigação Recomendada (climatopos 5 e 6)	Mitigação Essencial (climatopos 7 e 8)
Equilibrar a densidade construtiva de acordo com a capacidade de suporte	Garantia de preservação de áreas verdes e de importância ambiental; Rigor na fiscalização de ocupações irregulares e no cumprimento da legislação existente; Combate ao crescimento desordenado;	Valorização das edificações existentes; Avaliar o aumento do adensamento urbano na região; Cumprimento das diretrizes de zoneamento para cobertura da informalidade;	Controle do avanço construtivo para a região; Transferência das novas ocupações para outros zoneamentos de acordo com a capacidade de suporte;	Controle rigoroso do avanço construtivo e verticalização; Priorização de espaços abertos e áreas verdes; Adequação da geometria urbana e uso metodologias construtivas que objetivam as diretrizes de suporte;
Diminuição da ocupação irregular de áreas com fragilidade ambiental	Proteção das áreas de interesse ambiental e da vegetação; Conter a ocupação de regiões protegidas;	Controlar a ocupação de áreas frágeis; Priorizar os espaços abertos; Incentivo para o deslocamento das famílias em áreas vulneráveis	Transferência voluntária de moradias populares; Incentivo para a criação de áreas verdes e espaços abertos em áreas ocupadas;	Transferência voluntária de moradias, comércio e outras edificações em regiões de maior fragilidade; Introdução progressiva de espaços abertos e áreas verdes;
Melhorar a permeabilidade do solo urbano	Fiscalizar a impermeabilização do solo ou obras que impossibilitem a permeabilidade do solo; Proteção das áreas verdes e dos espaços abertos;	Acompanhar a impermeabilização de áreas próximas às regiões ocupadas; Criação e preservação de praças e parques;	Conter a impermeabilização de áreas próximas às regiões ocupadas; Priorização de áreas verde e espaços públicos de convivência; Uso de técnicas construtivas alternativas de pavimentação permeável	Controle rigoroso do avanço da impermeabilização na região; Criar mecanismos para garantir a ampliação de permeáveis; criar alternativas para melhoria da drenagem superficial.

5.3. MAPA CLIMÁTICO DE RECOMENDAÇÕES

O mapa final com as recomendações para o município buscou se basear na metodologia UC-Map para sua formulação, considerando as informações coletadas no mapa climático analítico de Belo Horizonte de acordo com as classes climáticas urbanas e climatopos. Além disso, o UC-ReMap incluiu dados dos zoneamentos mais representativos em cada região da capital mineira, considerou três zonas de planejamento climático para a cidade e buscou atender as expectativas provenientes do Plano Diretor. Por fim, utilizou os parâmetros-chave de planejamento climático do UC-AnMap para organizar as recomendações finais e a cidade foi dividida em três zonas de planejamento, indicadas no Quadro 13.

Quadro 13: Zonas urbanas de recomendação climática para Belo Horizonte

Zonas	Referência	Descrição
ZP-1	Climatopos 1 e 2	Áreas de baixa sensibilidade climática
ZP-2	Climatopos 3, 4 e 5	Áreas de moderada sensibilidade climática
ZP-3	Climatopos 6, 7 e 8	Áreas de alta sensibilidade climática

Fonte: Elaborada pelo autor

5.3.1. Zona de planejamento 1: baixa sensibilidade climática

A zona de planejamento 1 (ZP-1) é caracterizada por se tratar da região com a sensibilidade climática mais baixa da cidade e onde ocorrem relações entre as variáveis climáticas e a ocupação urbana que contribuem para o balanço energético urbano.

As áreas de preservação ambiental presentes nessa zona, por restrições à ocupação urbana definidas na legislação urbanística restringem ou proíbem a implantação de infraestrutura, vias públicas e instalação de edificações, além das áreas de ocupação de baixa densidade populacional e média construtiva como os bairros unifamiliares presentes nos zoneamentos PA 2 e PA 3. Desta maneira, os investimentos em recursos para melhoria na ocupação da cidade deveriam ser direcionados para regiões onde não haja

impedimentos construtivos. Apesar das restrições, sugere-se o planejamento adequado para a região de maneira a favorecer a instalação de empreendimentos de pequeno porte e pouco impactantes que possam contribuir para o bom funcionamento da cidade.

A preservação das áreas verdes e espaços abertos pode contribuir diretamente para que outras localidades do município tenham condições climáticas urbanas mais favoráveis. A dissipação do calor pela baixa carga térmica, o alto potencial dinâmico e a permeabilidade do solo nestas áreas tornam-se benéficos para todo o entorno. A recomendação principal é preservar e ampliar esses pontos de alívio térmico e circulação de ar pela cidade. Porém, a preservação não é a única ação que deve ser tomada. É preciso considerar soluções de infraestrutura verde para reduzir o impacto das urbanizações de baixa densidade.

5.3.2. Zona de planejamento 2: moderada sensibilidade climática

A segunda zona de planejamento (ZP-2) abrange a maior parte do território da cidade e, assim como a ZP-1, possui todos os zoneamentos e climatopos observados no município. As regiões de manutenção seriam áreas de equilíbrio na cidade, onde as variáveis de balanço energético referentes a ação antrópica tendem a ter alguma contribuição negativa para o clima urbano. Nestas regiões, a proposta é manter as ocupações existentes sem alterar o adensamento e realizar ações que promovam a melhoria das mesmas. A partir deste ponto é possível considerar recomendações de natureza compensatória como telhados verdes, armazenamento de água para reuso, arborização urbana, jardins de chuva, regularização fundiária, controle altimétrico, afastamentos progressivos, entre outras.

Entre as características climáticas gerais dessa região urbana está o baixo volume edificado, além da presença de espaços abertos e áreas verdes, que devem ser mantidos e ampliados. Neste cenário, é possível investir em recomendações tomando algumas precauções para evitar o comprometimento das condições climáticas na região. Entre as sugestões, podem ser trabalhados os fluxos de vento, a disposição dos edifícios e o afastamento entre eles, a altura dos edifícios e a cobertura do solo.

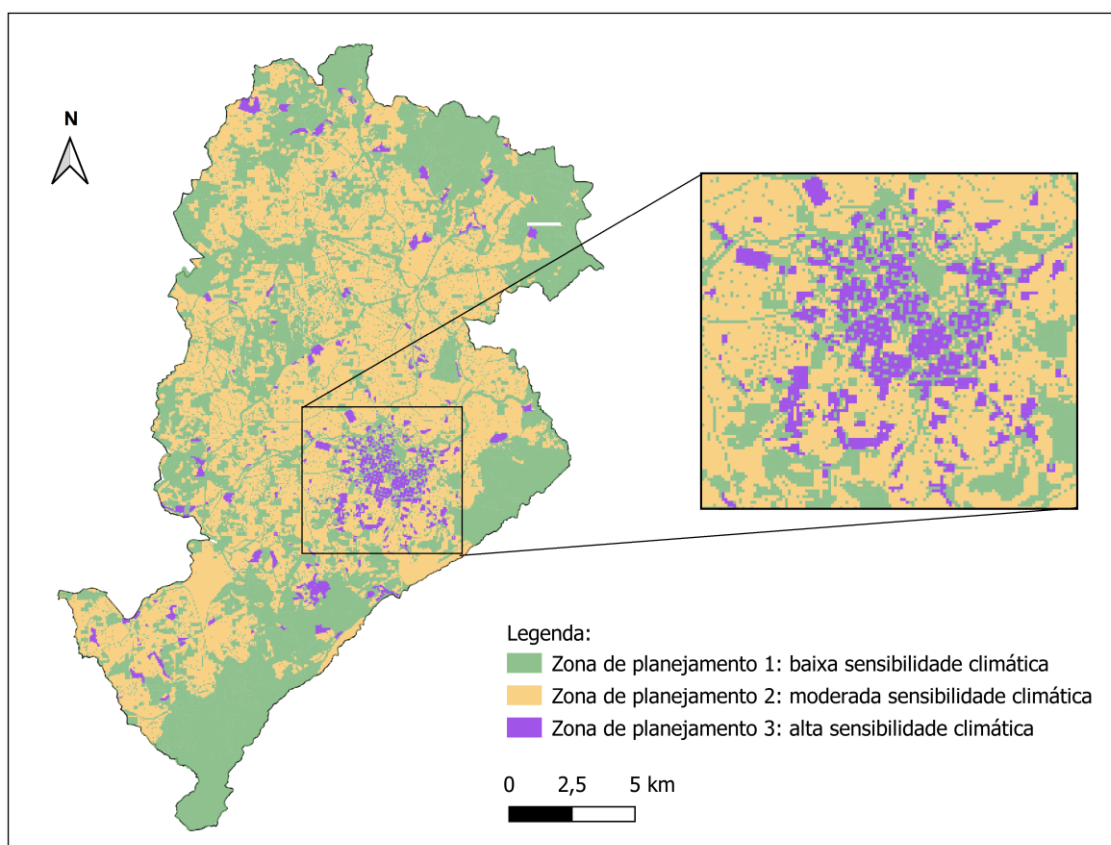
5.3.3. Zona de planejamento 3: alta sensibilidade climática

A zona de planejamento 3 (ZP-3) corresponde à região com a menor área territorial, porém com as piores condições de balanço energético da cidade. Os climatopos 6, 7 e 8 estão localizados majoritariamente na região central da cidade, atribuindo a maior sensibilidade climática e o maior rigor de recomendações climáticas do município.

Por se tratar de uma área da cidade densamente ocupada, são esperados impactos expressivos sobre o conforto térmico no local. Por isso, é preciso priorizar a preservação de áreas onde ocorrem os corredores de vento, a redução dos empreendimentos construtivos de grande volumetria e aumentar a arborização e permeabilidade do solo nas vias e em espaços abertos. A construção de novas edificações deve considerar a circulação dos ventos e priorizar a redução da cobertura do solo.

O mapa climático de recomendações de Belo Horizonte é representado pela Figura 39. O Quadro 14 apresentado na sequência relaciona as informações levantadas para a elaboração das zonas de planejamento sugeridas para o referido mapa.

Figura 39: Mapa climático de recomendações (UC-ReMap) de Belo Horizonte



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 14: Recomendações climáticas para Belo Horizonte

Recomendações climáticas para Belo Horizonte			
Zona	Climatopos	Informações	Recomendações
ZP-1	1	Zoneamentos predominantes: PA-1, PA-2 e PA-3 Previsão legislativa: Zonas de preservação ambiental (PA) de grande relevância para a cidade, com destaque para os parques. A região pode ser parcelada, porém a ocupação é proibida, exceto para serviços de manutenção desses espaços ou para atividades de lazer, cultura e prática ambiental. Orientações a partir da classe climática urbana: Carga térmica moderadamente negativa: Preservação das características naturais da região; Bom potencial dinâmico: Manutenção dos espaçamentos entre as edificações. Estratégia para preservação: Resguardo das condições ambientais existentes e dos locais com nenhuma ou baixíssima ocupação.	Recomendações para zonas de preservação ambiental, ocupação moderada, ocupação preferencial e áreas com grandes equipamentos de uso coletivo: a) Áreas verdes: Fiscalizar e incentivar a criação, proteção, preservação, manutenção e ampliação de áreas verdes e ambientes abertos; Evitar o adensamento populacional e a impermeabilização do solo; Ocupações em pequena escala e de natureza essencial podem ser permitidos, desde que sigam as orientações do Plano Diretor instituído pela Lei Municipal nº 11.181/2019; Aprimorar o uso de tecnologias para o monitoramento remoto, geoprocessamento e mensuração dos danos ambientais; Recompôr os espaços verdes no entorno das zonas de preservação para delimitar áreas de amortecimento que garantam seu objetivo de proteção e evitar o avanço de ocupações e atividades na região; Restauração paisagística dos acessos, saídas, circulação e vizinhança das áreas de preservação; Incentivo para a criação e permanência de espaços abertos, praças e parques nas áreas de ocupação moderada e preferencial; Promover a integração dos espaços de grandes equipamentos com infraestrutura de convivência e lazer. b) Volume edificado: Manter a razão entre o volume edificado e a área disponível em níveis mínimos de baixa densidade para o controle do balanço energético; Manutenção dos corredores de ar naturais existentes na região; Assegurar o limite de altura dos edifícios para facilitar o fluxo dos ventos; Evitar a concentração de atividades comerciais, industriais ou outras que sejam geradoras ou acumuladoras de carga térmica na região de preservação ambiental; Garantir a permeabilidade do solo em áreas públicas (vias, passeios, praças) e no interior dos lotes; Investir na infraestrutura paisagística urbana nas regionais periféricas das áreas de ocupação moderada e preferencial, com o plantio de árvores e revitalização dos espaços abertos; Avaliar as edificações existentes em áreas protegidas quanto ao seu impacto ao balanço de energia e verificar a viabilidade da sua manutenção ou adequação.
	2	Zoneamentos predominantes: PA-1, OM-2, OM-3, OP-1 e AGEUC. Previsão legislativa: PA-1: zonas de preservação ambiental de grande relevância para a cidade, com destaque para os parques. A região pode ser parcelada, porém a ocupação é proibida, exceto para serviços de manutenção desses espaços ou para atividades de lazer, cultura e prática ambiental; OM-2 e OM-3: regiões cuja ocupação sofre restrições devido à baixa capacidade de suporte, saturação local, localização tradicional com relevância histórica ou cultural e destinação para uso de comércio popular ou habitação de interesse social; OP-1: zonas onde a ocupação é incentivada devido as melhores condições topográficas, paisagísticas, de acessibilidade e de infraestrutura; AGEUC: áreas com grandes equipamentos destinadas ao uso prioritário de atividades não residenciais, exceto para o aproveitamento de equipamentos públicos para habitações de interesse social ou com potencial construtivo igual a 1 para equipamentos privados; Orientações a partir da classe climática urbana: Carga térmica ligeiramente negativa: Preservação das características naturais da região; Bom potencial dinâmico: Manutenção dos espaçamentos entre as edificações; Estratégia para preservação: Resguardo das condições ambientais existentes e dos locais com baixa ou moderada ocupação.	

Recomendações climáticas para Belo Horizonte			
Zona	Climatopos	Informações	Recomendações
ZP-2	3	Zoneamentos predominantes: OM-3, OM-2 e PA-1; Previsão legislativa: PA-1: zonas de preservação ambiental de grande relevância para a cidade, com destaque para os parques. A região pode ser parcelada, porém a ocupação é proibida, exceto para serviços de manutenção desses espaços ou para atividades de lazer, cultura e prática ambiental; OM-2 e OM-3: regiões cuja ocupação sofre restrições devido à baixa capacidade de suporte, saturação local, localização tradicional com relevância histórica ou cultural e destinação para uso de comércio popular ou habitação de interesse social. Orientações a partir da classe climática urbana: Baixa carga térmica: Proteção das características naturais da região e controle da ocupação; Bom potencial dinâmico: Manutenção dos espaçamentos e desobstrução dos corredores de ventilação; Estratégia para manutenção: Monitoramento das condições de ocupação;	Recomendações para áreas de ocupação preferencial, ocupação moderada e áreas com grandes equipamentos de uso coletivo; a) Áreas verdes: Incentivar a manutenção e ampliação de áreas verdes e ambientes abertos; Controlar o adensamento populacional e a impermeabilização do solo; Seguir as orientações do Plano Diretor instituído pela Lei Municipal nº 11.181/2019 quanto ao zoneamento urbano e a capacidade de suporte de cada área. Buscar alternativas para recomposição e ampliação de áreas arborizadas em pontos de convivência e lazer; Integração das áreas de ocupação moderada e preferencial com os pontos de interseção com áreas de preservação ambiental; Restauração paisagística dos acessos, saídas, circulação e vizinhança das áreas de ocupação moderada, ocupação preferencial e de grandes equipamentos; Adoção de dispositivos de controle ambiental: telhados e fachadas verdes, jardins drenantes, caixas de captação e retardo de águas de chuva. b) Volume edificado: Manter a razão entre o volume edificado e a área intralote disponível dentro dos limites previstos na legislação vigente para evitar alterações no termo de armazenamento e calor no balanço de energia urbano; Ampliação dos corredores de ar na região; Buscar alternativas para facilitar a circulação do ar nas áreas de ocupação moderada, preferencial e de grandes equipamentos; Investir em alternativas verdes para novos projetos visando a melhoria nas condições de balanço energético; Garantir maior permeabilidade do solo em logradouros públicos, em especial de áreas não consolidadas; Uso de menos materiais reflexivos e impermeáveis, regularização fundiária e urbanística, produção de habitações de interesse social.

Recomendações climáticas para Belo Horizonte			
Zona	Climatopos	Informações	Recomendações
ZP-2	4	Zoneamentos predominantes: OM-3, OM-2, AGEE e OP-1; Previsão legislativa: OM-2 e OM-3: regiões cuja ocupação sofre restrições devido à baixa capacidade de suporte, saturação local, localização tradicional com relevância histórica ou cultural e destinação para uso de comércio popular ou habitação de interesse social. AGEE: áreas com grandes equipamentos econômicos destinadas ao uso prioritário de atividades de grande porte causadoras de impactos ambientais e urbanísticos, com proibição para o uso residencial; OP-1: zonas onde a ocupação é incentivada devido as melhores condições topográficas, paisagísticas, de acessibilidade e de infraestrutura; Orientações a partir da classe climática urbana: Alguma carga térmica: Proteção das características naturais da região e controle da ocupação; Algum potencial dinâmico: Manutenção dos espaçamentos entre as edificações e desobstrução dos corredores de ventilação; Estratégia para manutenção: Monitoramento das condições de ocupação;	Recomendações para áreas de ocupação preferencial, ocupação moderada e áreas com grandes equipamentos de uso coletivo; a) Áreas verdes: Incentivar a manutenção e ampliação de áreas verdes e ambientes abertos; Controlar o adensamento populacional e a impermeabilização do solo; Seguir as orientações do Plano Diretor instituído pela Lei Municipal nº 11.181/2019 quanto ao zoneamento urbano e a capacidade de suporte de cada área. Buscar alternativas para recomposição e ampliação de áreas arborizadas em pontos de convivência e lazer; Integração das áreas de ocupação moderada e preferencial com os pontos de interseção com áreas de preservação ambiental; Restauração paisagística dos acessos, saídas, circulação e vizinhança das áreas de ocupação moderada, ocupação preferencial e de grandes equipamentos; Adoção de dispositivos de controle ambiental: telhados e fachadas verdes, jardins drenantes, caixas de captação e retardo de águas de chuva. b) Volume edificado: Manter a razão entre o volume edificado e a área intralote disponível dentro dos limites previstos na legislação vigente para evitar alterações no termo de armazenamento e calor no balanço de energia urbano; Ampliação dos corredores de ar na região; Buscar alternativas para facilitar a circulação do ar nas áreas de ocupação moderada, preferencial e de grandes equipamentos; Investir em alternativas verdes para novos projetos visando a melhoria nas condições de balanço energético; Garantir maior permeabilidade do solo em logradouros públicos, em especial de áreas não consolidadas; Uso de menos materiais reflexivos e impermeáveis, regularização fundiária e urbanística, produção de habitações de interesse social.
	5	Zoneamentos predominantes: OM-3, OM-2, OP-1 e AGEUC; Previsão legislativa: OM-2 e OM-3: regiões cuja ocupação sofre restrições devido à baixa capacidade de suporte, saturação local, localização tradicional com relevância histórica ou cultural e destinação para uso de comércio popular ou habitação de interesse social. OP-1: zonas onde a ocupação é incentivada devido as melhores condições topográficas, paisagísticas, de acessibilidade e de infraestrutura; AGEUC: áreas com grandes equipamentos destinadas ao uso prioritário de atividades não residenciais, exceto para o aproveitamento de equipamentos públicos para habitações de interesse social ou com potencial construtivo igual a 1 para equipamentos privados; Carga térmica moderada: Proteção das características naturais da região e controle da ocupação; Algum potencial dinâmico: Manutenção dos espaçamentos e desobstrução dos corredores de ventilação; Estratégia para mitigação recomendada: Monitoramento e controle das condições de ocupação;	

Recomendações climáticas para Belo Horizonte			
Zona	Climatopos	Informações	Recomendações
ZP-3	6	Zoneamentos predominantes: OP-3, OM-3, OM-2, AGEUC e OP-1; Previsão legislativa: OP-1 e OP-3: zonas onde a ocupação é incentivada devido as melhores condições topográficas, paisagísticas, de acessibilidade e de infraestrutura; OM-2 e OM-3: regiões cuja ocupação sofre restrições devido à baixa capacidade de suporte, saturação local, localização tradicional com relevância histórica ou cultural e destinação para uso de comércio popular ou habitação de interesse social; AGEUC: áreas com grandes equipamentos destinadas ao uso prioritário de atividades não residenciais, exceto para o aproveitamento de equipamentos públicos para habitações de interesse social ou com potencial construtivo igual a 1 para equipamentos privados; Orientações a partir da classe climática urbana: Carga térmica moderadamente alta: Proteção das características naturais da região e controle de ocupação; Baixo potencial dinâmico: Manutenção dos espaçamentos e desobstrução dos corredores de ventilação; Estratégia para mitigação recomendada: Manutenção e controle das condições de ocupação;	Recomendações para áreas de ocupação preferencial, ocupação moderada e centralidades; a) Áreas verdes: Buscar a manutenção de áreas verdes e ambientes abertos; Buscar alternativas para ampliar áreas verdes e permeáveis no interior dos lotes, fachadas ou coberturas de edificações da área urbana consolidada; Restauração das áreas de parques, praças, canteiros e gramados; Restauração paisagística dos acessos, saídas, circulação de veículos e áreas permeáveis; b) Volume edificado: Buscar a manutenção dos corredores de ar na região; Seguir as orientações de uso do solo e capacidade de suporte previstos pelo Plano Diretor; Descentralizar atividades comerciais na região e investir em infraestrutura em áreas de ocupação moderada e preferencial fora da região central; Priorizar o uso de pavimentação permeável; Adaptar e reocupar imóveis vazios com usos residenciais, prevendo sempre habitação social.
	7	Zoneamentos predominantes: OP-3, AGEUC, OM-2 e OM-3; Previsão legislativa: OP-3: zonas onde a ocupação é incentivada devido as melhores condições topográficas, paisagísticas, de acessibilidade e de infraestrutura; AGEUC: áreas com grandes equipamentos destinadas ao uso prioritário de atividades não residenciais, exceto para o aproveitamento de equipamentos públicos para habitações de interesse social ou com potencial construtivo igual a 1 para equipamentos privados; OM-2 e OM-3: regiões cuja ocupação sofre restrições devido à baixa capacidade de suporte, saturação local, localização tradicional com relevância histórica ou cultural e destinação para uso de comércio popular ou habitação de interesse social. Orientações a partir da classe climática urbana: Carga térmica alta: Proteção das características naturais ainda existentes na região; Baixo potencial dinâmico: Manutenção dos espaçamentos entre edificações e desobstrução dos corredores de ventilação; Estratégia para mitigação essencial: Remediação necessária para o retorno às condições de ocupação observadas anteriormente;	

Recomendações climáticas para Belo Horizonte			
Zona	Climatopos	Informações	Recomendações
ZP-3	8	Zoneamentos predominantes: OP-3, OM-3, OM-2 e CR; Previsão legislativa: OP-3: zonas onde a ocupação é incentivada devido as melhores condições topográficas, paisagísticas, de acessibilidade e de infraestrutura; OM-2 e OM-3: regiões cuja ocupação sofre restrições devido à baixa capacidade de suporte, saturação local, localização tradicional com relevância histórica ou cultural e destinação para uso de comércio popular ou habitação de interesse social; CR: áreas onde são previstos os maiores adensamentos comerciais, populacionais e construtivos. São classificadas em centralidades locais e regionais; Orientações a partir da classe climática urbana: Carga térmica muito alta: Aumento da arborização, restrição quanto aumento do adensamento construtivo urbano; Baixo potencial dinâmico: Melhoria na circulação de ar; Estratégia para mitigação essencial: Remediação necessária para a melhoria das condições de ocupação.	Recomendações para áreas de ocupação preferencial, ocupação moderada e centralidades; a) Áreas verdes: Buscar a manutenção de áreas verdes e ambientes abertos; Buscar alternativas para ampliar áreas verdes e permeáveis no interior dos lotes, fachadas ou coberturas de edificações da área urbana consolidada; Restauração das áreas de parques, praças, canteiros e gramados; Restauração paisagística dos acessos, saídas, circulação de veículos e áreas permeáveis; b) Volume edificado: Buscar a manutenção dos corredores de ar na região; Seguir as orientações de uso do solo e capacidade de suporte previstos pelo Plano Diretor; Descentralizar atividades comerciais na região e investir em infraestrutura em áreas de ocupação moderada e preferencial fora da região central; Priorizar o uso de pavimentação permeável; Adaptar e reocupar imóveis vazios com usos residenciais, prevendo sempre habitação social.

5.4. DISCUSSÃO

A partir dos resultados apresentados para a elaboração de recomendações climáticas em Belo Horizonte, foi possível identificar um comportamento heterogêneo entre todas as regiões da cidade em relação às suas características urbanas e climáticas. A elaboração do mapa climático analítico permitiu identificar diferentes particularidades que o município possui e, a partir delas, buscar por recomendações adequadas para cada situação.

5.4.1. A utilização do Plano Diretor

Devido ao fato de o Plano Diretor da cidade ter sido recentemente elaborado, a formulação de recomendações que se aproximavam das necessidades atuais foi facilitada. A nova lei contribuiu para a determinação dos principais problemas enfrentados pela Administração Pública municipal e serviu de ponto de partida para a determinação de quais temas seriam abordados durante o processo de elaboração das recomendações.

O uso do Plano Diretor como fundamento para a elaboração das recomendações foi proposto após verificação da inexistência de qualquer tipo de normatização nacional. Para a pesquisa, foi considerada a norma alemã VDI 3787, e a partir da estruturação de seus fatores avaliativos, justificou-se a escolha de climatopos para delimitação territorial.

Entre os pontos principais de análise para a proposição de recomendações gerais, além das demandas indicadas diretamente, está o aproveitamento de questões abordadas no Plano Diretor como política urbana, espaço público, habitação e meio ambiente.

5.4.2. Comparativo dos UC-ReMaps brasileiros

Durante a pesquisa, o uso de cada climatopo seguiu a forma como a ocupação da cidade foi tratada no mapa climático analítico (FERREIRA et al. 2017). Apesar do intervalo temporal entre aquela pesquisa e a atual realizada neste trabalho, não houve a necessidade de alterar os dados já coletados para as camadas usadas durante a sobreposição dos mapas-base.

É possível notar que a elaboração de mapas climáticos urbanos em outros países tende a conter mapas de recomendações climáticas, seguindo as diretrizes originais da metodologia UC-Map para a elaboração de recomendações climáticas. Os três mapas brasileiros, por sua vez, focam na análise dos estudos já realizados no país e se preocupam em detalhar as aplicações teóricas dos trabalhos. A justificativa principal para a elaboração de mapas climáticos analíticos no país é a proposição de estudos acadêmicos, não alheios às demandas das suas cidades de origem, porém distantes do uso prático de suas conclusões. Desta maneira, as recomendações elaboradas para as cidades estudadas ficam mais vinculadas ao cunho teórico.

Exemplo desta linha de pensamento é o fato de que as recomendações climáticas apresentadas pelos mapas das cidades de Petrópolis e Recife se diferem das recomendações elaboradas para o mapa de Belo Horizonte. Primeiramente, os trabalhos anteriores não consideraram os zoneamentos de uso e ocupação municipais como fator principal para a determinação de recomendações. O mapa fluminense realiza a associação dos climatopos com o nível de sensibilidade climática de acordo com as características municipais. Já o mapa pernambucano utiliza o zoneamento dos microclimas de Recife com o intuito de sintetizar um mapa final para elaboração de classes climáticas urbanas. Neste caso, as classes se equivalem aos climatopos mencionados em Petrópolis e Belo Horizonte. O mapa recifense também se difere dos demais mapas de recomendação por abranger um território menor do que o de um município, incluindo apenas dois bairros.

Pode-se inferir que a utilização da metodologia UC-ReMap no Brasil está intimamente ligada às demandas locais e que não existe padronização sobre como as recomendações são elaboradas. A norma VDI 3787 (2015) não é apontada como referência para a execução dos mapas de recomendações nos dois estudos anteriores ao de Belo Horizonte, indicando outra diferença sobre como foram formuladas as orientações neste e nos outros trabalhos.

5.4.3. Zoneamentos principais

Como apontado anteriormente, os zoneamentos da cidade de Belo Horizonte foram agrupados em quatro classes para facilitar a elaboração das recomendações. Tal fato contribuiu para que algumas sugestões se repetissem em mais de um climatopo devido ao fato da repetição de zoneamentos representativos em diferentes climatopos, assim como a presença de um zoneamento constante da lista de agrupamentos. Isto significa, por exemplo, que todos os zoneamentos de ocupação preferencial terão as mesmas recomendações independentemente se são dos tipos 1, 2 ou 3.

Outro ponto importante é a similaridade entre as recomendações existentes para os zoneamentos de ocupações preferenciais e ocupações moderadas. Devido à condição prioritariamente residencial das áreas em questão, as recomendações foram pensadas de maneira semelhante. O que diferencia cada um dos zoneamentos e seus respectivos tipos, seria a intensidade de que cada recomendação teria em cada situação. Se a discussão é sobre densidade de ocupação, por exemplo, as recomendações do zoneamento OP-3 poderiam ser consideradas iguais às elaboradas para o zoneamento OP-1, se não fosse o fato de que o primeiro zoneamento se concentra na região central e se torna intuitivo que as recomendações devam ter uma interpretação mais urgente.

6. CONCLUSÃO

As alterações causadas no clima devido à presença humana afetam as condições de habitação em diferentes setores e em diversos países, porém o combate às consequências imediatas ocasionadas pelas mudanças climáticas são uma das principais preocupações atuais e objeto de estudo para várias pesquisas. Uma vez que a qualidade de vida e o conforto tornaram-se objetivos fundamentais para o desenvolvimento sustentável, as áreas urbanizadas que concentram a maior parte da população humana tornam-se o eixo mais importante de pesquisa para a busca de soluções.

Neste sentido, essa dissertação propôs a elaboração do mapa climático de recomendações para a cidade de Belo Horizonte a partir dos preceitos da metodologia alemã de maneira a contribuir para o avanço das medidas contra as transformações no ambiente urbano. A pesquisa buscou dar continuidade aos estudos realizados do mapa climático analítico elaborado para a cidade e sugerir alternativas para a melhoria do planejamento urbano a partir da gestão das ações de intervenção.

Os mapas climáticos urbanos de outras cidades brasileiras contribuíram para a proposição das recomendações e para o entendimento sobre como os mapas podem colaborar com a região onde estão inseridos. Observou-se que, de maneira geral, os mapas climáticos brasileiros buscam se adaptar às realidades e às demandas dos locais em que são elaborados e nem sempre a busca pela melhoria do planejamento urbano é seu único objetivo. A elaboração dos mapas para fins acadêmicos, sem aplicação prática, também é comum entre os trabalhos desenvolvidos no país.

O desenvolvimento de mapas climáticos no Brasil é recente e vem demonstrando um aumento nos últimos anos. Da mesma maneira, o número de estudos sobre o clima urbano no país vem crescendo gradativamente, porém ainda é pequeno quando comparado a outros países. Conclui-se que, apesar dos percalços, a temática tem potencial para crescimento quanto às análises científicas e promete ser um foco de estudos, considerando a gravidade das projeções climáticas no planeta.

A distribuição geográfica dos mapas climáticos no Brasil ainda é restrita majoritariamente às regiões nordeste e sudeste. Até o presente momento,

existem dezoito mapas no país, sendo apenas dois deles elaborados fora dessas duas regionais. Outro ponto de destaque para a localização dos mapas brasileiros é o fato de que, entre as quinze cidades do país que possuem estes estudos, dez são capitais.

O mapa de recomendações climáticas de Belo Horizonte é apenas o terceiro do país, desenvolvido após os trabalhos de Petrópolis no Rio de Janeiro e de Recife em Pernambuco. Apesar de quase a totalidade dos mapas climáticos nacionais seguirem a proposta da metodologia UC-Map, que conta com a elaboração de recomendações após a análise climática, a maioria ainda não possui esta etapa do estudo.

No caso de Belo Horizonte, além da sua importância econômica e geográfica no cenário nacional, a cidade se destaca pela busca de alternativas para o atendimento às orientações internacionais de combate e prevenção aos problemas causados pelas mudanças climáticas. Por conta disso, a elaboração do mapa climático de recomendações acompanhou a tendência municipal de criar ferramentas para a melhoria dos processos de gestão pública voltados para o planejamento urbano.

Foi observado que existe similaridade entre os climatopos elaborados no mapa climático analítico da cidade e os zoneamentos propostos pelo novo Plano Diretor da cidade. Apesar do mapa analítico ter sido elaborado há alguns anos e possuir alguns dados que poderiam ser atualizados, a nova formulação de zoneamentos para a cidade contempla as regiões dos climatopos com notável acuidade.

As recomendações foram elaboradas para atender algumas das necessidades da cidade que foram propostas pelo Plano Diretor. O intuito foi direcionar as recomendações de acordo com a distribuição dos zoneamentos na cidade e identificar as principais sugestões, para cada região, de acordo com os zoneamentos mais representativos. De maneira geral, o mapa de recomendações climáticas atendeu o propósito original da metodologia UC-Map e apresentou recomendações pertinentes para a tomada de decisões no município.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar de as recomendações serem direcionadas para cada climatopo, ainda é possível detalhar as orientações para regiões distintas. A elaboração direcionada a pontos específicos pode estabelecer um retorno mais rápido para as demandas e serem atingidos os objetivos de manutenção e mitigação de maneira mais rápida.

A aplicação da metodologia de sobreposição de zoneamentos e climatopos deste trabalho em outras cidades que possuem mapas analíticos poderia contribuir para a elaboração de outros mapas climáticos de recomendações no país. Desta maneira, os mapas poderiam ser finalizados de acordo com a proposta original da metodologia UC-Maps.

Sugere-se a atualização dos dados obtidos para as camadas utilizadas no mapa climático analítico de Belo Horizonte para validação das recomendações propostas neste novo mapa.

Considerando que existem trabalhos onde a análise dos ventos também é levada em conta durante a formulação de recomendações, torna-se interessante a realização de estudos de ventilação urbana para o aprofundamento do entendimento do balanço térmico na cidade e, conseqüentemente, criação de orientações complementares.

Percebe-se que alguns mapas climáticos se utilizam da elaboração colaborativa de recomendações através da participação de climatologistas e planejadores urbanos em algumas fases dos trabalhos. Desta maneira torna-se interessante a criação de equipes profissionais com perícias diversificadas para a preparação de novos estudos. Assim é possível abranger o alcance das melhorias para a cidade por meio de uma ótica multidisciplinar.

Por fim, sugere-se a elaboração de um estudo experimental para a validação das recomendações deste trabalho de maneira a verificar se as proposições destas orientações contribuem para a melhoria das condições ambientais urbanas e do planejamento urbano na cidade.

REFERÊNCIAS

- AGENDA 2030. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- ARAOS, M.; BARRANG-FORD, L.; FORD, J.; AUSTIN, S. E.; BIESBROEK, R.; LENISKOWSKI, A. **Climate change adaptation planning in large cities: A systematic global assessment**. *Environmental Science and Policy*, v. 66, p. 375–382, 2016.
- ARAÚJO, B. C. D. de; CARAM, R. **Análise ambiental: estudo bioclimático urbano em centro histórico**. In: *Ambiente & Sociedade*, v. IX, n. 1, 2006.
- ASHIE, Y.; TANAKA, T.; SADOHARA, S.; INACHI, S. **Urban climatic map studies in Japan: Tokyo and Yokohama**. In: NG, E.; REN, C. *The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning*. New York: Taylor & Francis Group, 1ª ed., p. 51-61, 2015.
- ASSIS, W. L.; ABREU, M. L. **O clima urbano de Belo Horizonte: análise têmporo-espacial do campo térmico e hídrico**. *Revista de Ciências Humanas, UFV*, v. 10, n. 1, p. 47-63, 2010.
- AZEVEDO, R. C.; ENSSLIN, L. **Metodologia da pesquisa para engenharias**. PPGE/CEFET-MG, 196p., 2020.
- AZEVEDO, R. C. D.; ENSSLIN, L.; JUNGLES, A. E. **A review of risk management in construction: opportunities for improvement**. *Modern Economy*, v. 5, n. 04, p. 367, 2014.
- AZEVEDO, R. C. D.; OLIVEIRA LACERDA, R. T. D.; ENSSLIN, L.; JUNGLES, A. E.; ENSSLIN, S. R. **Performance measurement to aid decision making in the budgeting process for apartment-building construction: case study using MCDA-C**. *Journal of Construction Engineering and Management* v. 139, n. 2, p. 225-235, 2013.
- BALA, R. S. **Microclimatic analysis to mitigate urban heat islands using urban climatic map approach: Toulouse, France**. Master in Urban Climate and Sustainability, Glasgow Caledonian University, 2021.
- BELO HORIZONTE. **Decreto nº 17.266, de 28 de janeiro de 2020**. Dispõe sobre os procedimentos para licenciamento de empreendimentos ou intervenções urbanísticas de impacto e dá outras providências, 2020. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/decreto/17266/2020>>. Acesso em 10 ago. 2021.
- BELO HORIZONTE. **Lei nº 9.725, de 15 de julho de 2009**. Institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e dá outras providências 2009. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/9725/2009>>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- BELO HORIZONTE. **Lei nº 11.181, de 08 de agosto de 2019**. Aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. *Diário Oficial do Município de Belo Horizonte*, 2019. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/11181/2019>>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- BELO HORIZONTE. **Lei Orgânica do Município de Belo Horizonte**. Câmara Municipal de Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei-organica>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

BENEDETTO, H. M. M. **Sistema clima urbano de Manaus: uma proposta de análise de unidades climáticas de escala de topoclima de Manaus**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2019.

BRASIL. Lei n.12.187 de 29 de dezembro de 2009. **Política Nacional sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 10 set. 2021.

BRASIL. Lei n.12.608 de 10 de abril de 2012. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/L12608.htm>. Acesso em: 10 set. 2021. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: sumário executivo**. Brasília, DF: MMA, 2016.

BRASIL. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=13>. Acesso em: 10 nov. 2022.

COUTINHO, S. M. V.; MAGLIO, I. C.; CARBONE, A. S.; NEDER, E. A. **Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: complexidade, incertezas e estratégias existentes**. Revista ClimaCom, Coexistência e Cocriações, n. 20, 2021.

DENNIS, L. Y. C.; LIU, C.; RIZWAN, A. M. **A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island**. Journal of Environmental Sciences, v. 20, p. 120-128, 2008.

DIAZ-SARACHAGA, J. M.; JATO-ESPINO, D.; CASTRO-FRESNO, D. **Is the Sustainable Development Goals (SDG) index an adequate framework to measure the progress of the 2030 Agenda?**. Sustainable Development, v. 26, p. 663-671, 2018.

EPA. Environmental Protection Agency. **Cooling our communities: a guidebook on tree planting and light-colored surfacing**. USA: Environmental Protection Agency, 1992. Disponível em: <<https://escholarship.org/content/qt98z8p10x/qt98z8p10x.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FAWZY, S.; OSMAN, A. I.; DORAN, J.; ROONEY, D. W. **Strategies for mitigation of climate change: a review**. Environmental Chemistry Letters, v. 18, p. 2069-2094, 2020.

FERNANDES, L. A. **A construção de um mapa climático urbano para Petrópolis-RJ: cidade, clima urbano e planejamento**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, 2021.

FERREIRA, C. C. M. **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, p. 50-75, 2014

FERREIRA, C. C. M.; PIMENTEL, F. O.; VIANNA, Y. C. G. **Proposta metodológica aplicada ao estudo de clima urbano**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 6, p. 2023-2040, 2019.

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

FERREIRA, D. G. A influência da superfície urbana na variação da temperatura de superfície: uma proposta metodológica de análise. 120 f., il. Tese (Doutorado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

FREITAS, L. J. G. G. **A evolução histórica do Brasil na agenda internacional das mudanças climáticas**. 2012. 105 f., il. Dissertação de Mestrado em Relações Internacionais, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

FREITAS, R. F. M.; AZERÊDO, J. F. F. A.; CARVALHO, L. T.; COSTA, R. F. Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 23, 2021.

FREITAS, T. P. F. **O clima urbano das cidades e suas interações com a arquitetura e a geografia.** Observatorium: Revista Eletrônica De Geografia, v. 9, n. 3, p. 262-272, 2018.

GANILHO, E. J. S. **Desempenho ambiental da indústria**. In: Atas do VI Encontro Científico da UI&D, Unidade de Investigação e Desenvolvimento, Instituto Superior de Gestão e Administração de Santarém, p. 183-203, 2020.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos. 2010.

GT AGENDA 2030. Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. **5º Relatório Luz da Agenda 2030 de desenvolvimento sustentável. 2021.** Disponível em: https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2021/07/por_rl_2021_completo_vs_03_lowres.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

⁹ GUNFAUS, M. T.; WAISMAN, H. **Assessing the adequacy of the global response to the Paris Agreement: Toward a full appraisal of climate ambition and action.** *Earth System Governance*, v. 8, 2021.

HE, X.; SHEN, S.; MIAO, S.; DOU, J.; ZHANG, Y. **Quantitative detection of urban climate resources and the establishment of an urban climate map (UCMap) system in Beijing**. Building and Environment, n. 92, 668-678p., 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132315300159>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

HEBBERT, M. **Climatology for city planning in historical perspective.** Urban Climate ScienceDirect, v. 10, n. 2, p. 204-215, 2014.

HENDERSON-SELLERS, A.; ROBINSON, P.J. **Contemporary climatology**. New York: John Wiley & Sons, 1989.

HONG KONG. Planning department. Hong Kong planning standards and guidelines, 2021. Disponível em: https://www.pland.gov.hk/pland_en/tech_doc/hkpsg/full/index.htm. Acesso em: 4 ago. 2021.

HOUET, T.; PIGEON, G. **Mapping urban climate zones and quantifying climate behaviors - An application on Toulouse urban area (France).** *Environmental Pollution*, v. 159, n. 8–9, p. 2180–2192, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Brasileiro de 2010. Belo Horizonte: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

IDSC-BR. Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil. Instituto Cidades Sustentáveis. **Classificação para os municípios brasileiros.**

2021. Disponível em: <https://idsc-br.sdgindex.org/rankings>. Acesso em: 5 mai. 2021.

IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special Report Warming of 1.5°C**. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15>. Acesso em: 3 abr. 2021.

IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2022.

JACKSON, T. L.; FEDDEMA, J. J.; OLESON, K.W.; BONAN, G. B.; BAUER, J. T. **Parameterization of urban characteristics for global climate modeling**. Annals of the Association of American Geographers, v. 100, n. 4, p. 848–865, 2010.

KATZSCHNER, L. **Microclimatic thermal comfort analysis in cities for urban planning and open space design**. Institute of Environmental Meteorology, University Kassel, Department of Architecture and Urban Planning, 2006.

KATZSCHNER, L.; ACERO, J. A. **Urban climatic map studies in Spain: Bilbao**. In: NG, E.; REN, C. **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. New York: Taylor & Francis Group, 1ª ed., p. 315-323, 2015.

KATZSCHNER, L.; CAMPE, S. **Urban climatic map studies in Germany: Frankfurt**. In: NG, E.; REN, C. **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. New York: Taylor & Francis Group, 1ª ed., p. 247-251, 2015.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, p. 1-44, 1936.

LIMA, A. S.; DUARTE, F. G. **Políticas de adaptação às mudanças climáticas como fator propulsor ao desenvolvimento sustentável**. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 3085-3099, 2020.

LIMA JÚNIOR, A. F. **Análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima urbano e variáveis socioambientais**. 169f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Fortaleza, 2018.

LUCAS, A. **Risking the earth Part 1: Reassessing dangerous anthropogenic interference and climate risk in IPCC processes**. Climate Risk Management, ScienceDirect, vol. 31, 2021.

MACEDO, L. S. V. **Participação de cidades brasileiras na governança multinível das mudanças climáticas**. 240 f., il. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, 2017.

MACHADO, L. A. **Classificação climática para Minas Gerais por meio do método de agrupamento não hierárquico de K-Means**. Cadernos do Leste Artigos Científicos, v. 14, n. 14, 2014.

MARQUES, D.; GANHÓ, N.; CORDEIRO, A. M. R. **Mapas climáticos urbanos e definição de climatopos - aplicação à cidade da Figueira da Foz (Portugal)**. Revista Geonorte, v. 3, n. 5, p. 943 - 955, 2012.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. **Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras**. Revista Brasileira de Climatologia. Ano 14, Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, p. 129-156, 2018.

MAUAD, A. C. E. **Are we there yet? Cities and the IPCC responding to climate change**. Mundorama: Revista de Divulgação Científica em Relações Internacionais, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/323812040_Are_we_there_yet_Cities_and_the_IPCC_responding_to_climate_change>. Acesso em: 7 nov. 2022.

MELO, J. D. **Climate characterization of the city of Maceió as contribution to planning decisions**. Dissertação de Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

MILLS, G.; CLEUGH, H.; EMMANUEL, R.; ENDLICHER, W.; ERELL, E.; MCGRANAHAN, G.; NG, E.; NICKSON, A.; ROSENTHAL, J.; STEEMER, K. **Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective)**. Procedia Environmental Sciences, v. 1, p. 228-246, 2010.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. IGEOG, USP, Série Teses e Monografias nº 25, São Paulo, 1976.

MOURA, T.; NERY, J.; PRADO, E.; VIEIRA, C.; ROCHA, H. M.; KATZSCHNER, L. **Urban Climatic Map of Salvador, Brazil, using a Land Use Pattern Methodology**. Cybergeog - European Journal of Geography, 2022.

NERY, J., FREIRE, T., ANDRADE, T., KATZSCHNER, L. **Thermal comfort studies in a humid tropical city**. In: 6th International Conference on Urban Climate. Göteborg: ICUC, p. 234-237, 2006. Disponível em: <http://www.urban-climate.org/documents/ICUC6_Preprints.pdf>. Acesso em: 27 set. 2021.

NG, E.; REN, C.; YAU, R.; WONG, K. **Final report of Hong Kong urban climatic map and wind environment – Feasibility study**. Hong Kong: CUHK, Department of Architecture, 2012.

OKE, T. R. **Review of urban climatology: 1968-1973**. Geneva: World Meteorological Organization, Technical Note, n. 134, 1974.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuen & Co, 372p., 1978.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOUGH, J. A. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

PBH. Prefeitura de Belo Horizonte. **Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte**: Resumo para os Tomadores de Decisão, 2016. Disponível em: <<https://conteudo.waycarbon.com/resumo-para-os-tomadores-de-decisao-estudo-de-vulnerabilidade-as-mudancas-climaticas-de-belo-horizonte>>. Acesso em: 28 set. 2020.

PBH. Prefeitura de Belo Horizonte. **Sistema Local de Monitoramento dos Indicadores ODS de Belo Horizonte**, 2020a. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/planejamento/planejamento-e-orcamento/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/indicadores-ods>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

PBH. Prefeitura de Belo Horizonte. **E-book Plano Diretor de BH**. Secretaria Municipal de Política Urbana, 2020b. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/proposta>>. Acesso em: 22 set. 2021.

PBH. Prefeitura de Belo Horizonte. **Legislação urbanística**, 2021. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/informacoes/legislacao-urbanistica>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

PBH. Prefeitura de Belo Horizonte. **Plano Local de Ação Climática de Belo Horizonte**, 2022. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/meio-ambiente/2022/Relat%C3%B3rio%20Final-PLAC-BH.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2022.

PRATA-SHIMOMURA, A. R.; LOPES, A. S.; CORREIA, E. **Urban Climatic Map Studies in Brazil: Campinas**. In: NG, E.; REN, C. **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. New York: Taylor & Francis Group, 1ª ed., p. 237-246, 2015.

RECKIEN, D.; SALVIA, M.; HEIDRICH, O.; CHURCH, J. M.; PIETRAPEROSA, F.; HURTADO, S. G.; D'ALONZO, V.; FOLEY, A.; SIMOES, S. G.; LORENKOVA, E. K.; ORRU, H.; ORRU, K.; WEJS, A.; FLACKE, J.; OLAZABAL, M.; GENELETTI, D.; FELIU, E.; VASILIE, S.; NADOR, C.; RIEKKOLA, A. K.; MATOSOVIC, M.; FOKAIDES, P. A.; IOANNOU, B. I.; FLAMOS, A.; SPYRIDAKI, N. A.; BALZAN, M. V.; FULOP, O.; PASPALDZHIEV, I.; GRAFAKOS, S.; DAWSON, R. **How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28**. Journal of Cleaner Production, v. 191, p. 207–219, 2018.

REN, C. **Urban climatic map studies in Taiwan: Kaohsiung**. In: NG, E.; REN, C. **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. New York: Taylor & Francis Group, 1ª ed., p. 185-208, 2015.

REN, C.; NG, E.; KATZSCHNER, L. **Review of worldwide urban climatic map study and its applications in planning**. The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan, 2009.

REN, C.; NG, E.; KATZSCHNER, L.; WANG, U.; CHEN, L. **Urban climatic map studies: a review**. International Journal of Climatology. Royal Meteorological Society. v. 31, n. 15, p. 2213-2233, 2011.

REN, C.; SPIT, T.; LENZHOLZER, S.; YIM, H. L. S.; HEUSINKVELD, B.; HOVE, B.; CHEN, L.; KUPSKI, S.; BURGHARDT, R.; KATZSCHNER, L. **Urban Climate Map System for Dutch spatial planning**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 18, n. 1, p. 207–221, 2012.

REN, C.; LAU, K. L.; YIU, K. P.; NG, E. **The application of urban climatic mapping to the urban planning of high-density cities: The case of Kaohsiung, Taiwan**. Cities, v. 31, p. 1–16, 2013.

RIBEIRO, C. A. de M. **Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do município de João Pessoa – Paraíba**. 157f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

ROCHA, D. D. A.; BARBOSA, R. V. R. **Estudos de clima urbano na região agreste de Alagoas: análises meso e microclimáticas em Arapiraca (AL)**. In: Pluris 2016: 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Maceió, Brasil, 2016. Disponível em: <<https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%204%20-%20Planejamento%20Regional%20e%20Urbano/Paper1488.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

RODRIGUES, R. J. **Governança do clima no Brasil: desafios e oportunidades entre setores e entes federativos**. Pontes. International Centre for Trade and Sustainable Development. v. 9, n. 4, p. 8-11, 2013.

SANTOS, A. C. **Política nacional sobre mudança do clima no Brasil: uma avaliação de instrumentos e de efetividade**. Espaço Público. Revista de Políticas Públicas da UFPE, n. 6, 2021.

SAVARESI, A. **The Paris Agreement: a new beginning?** Journal of Energy & Natural Resources Law, v. 34, p.16-26, 2016.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – Brasil. **Emissões totais**. Observatório do Clima. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#. Acesso em: 2 ago. 2021.

SMITH, C.; CAVAN, G.; LINDLEY, S. **Urban climatic map studies in UK: Greater Manchester**. In: NG, E.; REN, C. **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. New York: Taylor & Francis Group, 1ª ed., p. 261-274, 2015.

SOUZA, V. S. **Mapa Climático Urbano da cidade de João Pessoa**. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Centro de Tecnologia. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SOUZA, M. B. **Mini-curso Clima Urbano: Aspectos teóricos e metodológicos**. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <https://lcb.fflch.usp.br/sites/lcb.fflch.usp.br/files/upload/paginas/Mini_curso_clima_urbano_marcos_barros_de_souza.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

TAHA, H. **Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat**. Energy and Buildings, v. 25, p. 99-103, 1997.

TANAKA, T.; MORIYAMA, M. **Urban climatic map studies in Japan: Sakai in Osaka**. In: NG, E.; REN, C. **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. New York: Taylor & Francis Group, 1ª ed., p. 73-78, 2015.

TARIFA, J.R.; ARMANI, G. **Unidades Climáticas Urbanas da Cidade de São Paulo: Atlas ambiental do município de São Paulo**, Fase I, Laboratório de Climatologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

TEIXEIRA, R. L. P.; PESSOA, Z. S. **Planejamento urbano e adaptação climática: entre possibilidades e desafios em duas grandes cidades brasileiras**. Revista Brasileira de Estudos de População. v. 38, 2021.

THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geography Review, v. 38, p. 55-94, 1948.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **25 Years of Effort and Achievement**, 2019. Disponível em: <https://unfccc.int/timeline/>. Acesso em: 28 jun. 2021.

VDI. Verein Deutscher Ingenieure, Guideline 3787: Part 1, **Environmental Meteorology: climate and air pollution maps for cities and regions**, 2015.

VIEIRA, C. N. **Padrões de ocupação em Salvador para efeito no Mapa de Clima Urbano da Cidade**. Relatório de pós-doutorado. Universidade Federal da Bahia, 2020.

WANG, R.; REN, C.; XU, Y.; LAU, K. K.; SHI, Y. **Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong**. Urban Climate, v. 24, p. 567–576, 2018.