



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS PARA MINIMIZAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR:
PROPOSTAS DE TECNOLOGIA AMBIENTAL PARA O MUNICÍPIO DE BELO
HORIZONTE -MG

VANESSA GONÇALVES PEDROSA

BELO HORIZONTE

2019

VANESSA GONÇALVES PEDROSA

TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS PARA MINIMIZAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR:
PROPOSTAS DE TECNOLOGIA AMBIENTAL PARA O MUNICÍPIO DE BELO
HORIZONTE -MG

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado no Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito para obtenção
do título de Engenheira Ambiental e
Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Vandeir Robson da Silva Matias

BELO HORIZONTE

2019

Pedrosa, Vanessa Gonçalves.

P--

Técnicas sustentáveis para minimização das ilhas de calor: Propostas de tecnologia ambiental para o município de Belo Horizonte – MG/Vanessa Gonçalves Pedrosa. – 2019.

76f. : il. Color. ; 31 cm.

Orientador: Prof. Dr. Vandeir Robson da Silva Matias

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019. Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental – DCTA.

1. Ilhas de Calor. 2. Planejamento. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Saélite Landsat 8. I. Matias, Vandeir da Silva. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Técnicas sustentáveis para minimização das ilhas de calor: Propostas de tecnologia ambiental para o município de Belo Horizonte – MG

CDD-----

VANESSA GONÇALVES PEDROSA

TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS PARA MINIMIZAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR: PROPOSTAS
DE TECNOLOGIA AMBIENTAL PARA O MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE -MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Mi-
nas Gerais como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

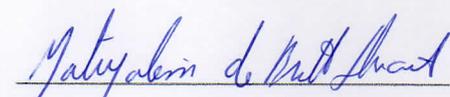
Data de aprovação: 17/ 06/ 19

Banca Examinadora:



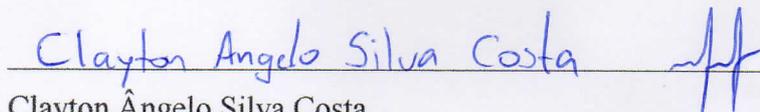
Vandeir Robson da Silva Matias – Presidente da Banca Examinadora

Professor Dr. CEFET-MG



Matusalém de Brito Duarte

Professor Dr. CEFET-MG



Clayton Ângelo Silva Costa

Professor Dr. CEFET-MG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que me abençoou, deu sabedoria e forças para a realização deste trabalho.

Aos meus familiares e amigos pelo amor e apoio incondicional para aprender a superar todas as dificuldades.

Ao meu orientador Professor Vandeir Robson da Silva Matias pela oportunidade, pela confiança em meu trabalho e pelas orientações no direcionamento e desenvolvimento desse trabalho. Sabemos que não foi nada fácil, ainda mais pela distância.

A professora Karina Venâncio Bonitese pela orientação na inicialização desse trabalho.

Aos demais professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, por nos indicar sempre os melhores caminhos.

Agradeço a minha amiga e orientadora de estágio Fernanda, sem seu apoio nessa reta final, nada disso seria possível.

Aos colegas e amigos que adquiri ao longo do meu estágio na SUPRAM-CM e na AngloGold Ashanti, por acreditarem no meu potencial e me proporcionarem o estágio supervisionado no qual pude aprender e desenvolver diversas habilidades profissional e pessoal.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente me apoiaram e contribuíram para a realização desse sonho.

Muito Obrigada.

RESUMO

Pedrosa, Vanessa Gonçalves. Técnicas sustentáveis para minimização das ilhas de calor: Propostas de tecnologia ambiental para o município de Belo Horizonte – MG. 76f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

As mudanças climáticas é uma das grandes preocupações ambientais da atualidade. Uma das formas mais conhecidas de sua modificação antropogênica é o fenômeno de aquecimento urbano, resultado do impacto do homem na baixa atmosfera sobre áreas urbanas, onde o clima torna-se bastante distinto do observado nas áreas rurais circundantes. Nos últimos anos, este fenômeno, denominado ilha de calor, é observado em cidades de todo o mundo. A alta concentração de prédios e a falta de áreas verdes diminuem a troca de calor com o espaço e aumentam a temperatura de superfície. A utilização de ferramentas do sensoriamento remoto em estudos de clima urbano e de ilhas de calor vêm se destacando e ganhando muita importância na área. Esta técnica permite analisar, através de composições de bandas de imagem de satélite, a ocupação do solo, situação da vegetação e a temperatura de superfície terrestre. Para a elaboração desse trabalho foi desenvolvida inicialmente uma revisão bibliográfica através de publicações, artigos técnicos e periódicos, sites especializados, relatórios, normas e legislações vigentes além de consultas a autores de referência que abordasse pontos importantes para a compreensão desse estudo e o contextualizasse ao cenário atual do município de Belo Horizonte. Posteriormente foram extraídas do portal do Serviço Geológico Americano, imagens do Satélite LandSat 8 referentes a área de estudo e, em seguida, o tratamento dessas imagens com a ferramenta ArcMap 10.6 para análises de temperatura de superfície terrestre, uso e ocupação do solo e vegetação. Através da análise dos dados obtidos e do referencial de apoio foi possível identificar as áreas de temperaturas mais elevadas para o período de análise, as principais causas da elevação da temperatura nas áreas apontadas e propor soluções técnicas para os problemas identificados, a partir de ferramentas urbanísticas e/ou edilícias.

Palavras-chave: Ilhas de Calor, Planejamento, Sensoriamento Remoto, Satélite Landsat 8.

ABSTRACT

Pedrosa, Vanessa Gonçalves. Sustainable techniques for the minimization of heat islands: Proposals of Environmental technology for the city of Belo Horizonte - MG. 2019. p.76 Monograph (Graduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

Nowadays climate changes are one of the major environmental concerns. One of the most well-known forms of its anthropogenic modification is the phenomenon of urban warming, a result of the human impacts on the climate that happens in urban areas, where the temperatures becomes higher than the rural areas surrounding. In recent years, this phenomenon, known as urban heat island, is observed in cities around the world. The high concentration of buildings and the lack of green areas decrease heat exchange with space and raise surface's temperature. The use of remote sensing tools in studies of urban climate and heat islands has been emphasizing and gaining importance. This technique allows to analyze, through composite bands tool that combines spectral bands from satellite image, land use, vegetation, and earth surface temperature. For this study, a literature review was performed based on papers, specialized websites, reports, norms and current legislation that addressed important points for understanding this study and contextualized into the current scenario of the Belo Horizonte city. Subsequently, images of the LandSat 8 Satellite were obtained from USGS (United States Geological Survey) wesbiste, and then these images were processing in ArcMap 10.6 in order to analyse earth surface temperature, land use, and vegetation. Based on data analysis and literature was possible to identify the highest temperature areas and the main causes of the temperature rise in the study period of time. Consequently, it was possible to propose technical solutions for the problems identified, using urban planning and building tools.

Keywords: Heat Islands, Planning, Remote Sensing, Landsat 8 Satellite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Padrão de circulação dos ventos no globo terrestre.....	16
Figura 2 - Fenômeno El Niño ocorrido em dezembro de 1997.....	18
Figura 3 - Condições normais de circulação da atmosfera.....	19
Figura 4 - Condições de circulação atmosférica com ocorrência de El Niño.....	20
Figura 5 - Fenômeno La Niña ocorrido em dezembro de 1988.....	20
Figura 6 - Condições de circulação atmosférica com a presença da La Niña.	21
Figura 7 - Evolução da população rural e urbana no Brasil.	22
Figura 8 - Perfil da ilha de calor urbana - ICU.....	23
Figura 9 - Planta Geral da Cidade de Minas, atual Belo Horizonte.	25
Figura 10 - Zoneamento do Município de Belo Horizonte	27
Figura 11 - Regiões de Minas Gerais e localização de Belo Horizonte.	33
Figura 12 - Região Metropolitana de Belo Horizonte.....	34
Figura 13 - Hidrografia e Relevo de Belo Horizonte	35
Figura 14 - Localização das estações de monitoramento meteorológico de Belo Horizonte...37	
Figura 15 - Coordenadas Geográficas: Localização do ponto X.....	42
Figura 16 - Quadrículas UTM do território brasileiro e Localização de Belo Horizonte	43
Figura 17 - Captura da tela do ArcGIS 10.6 com a imagem da banda 10 e apresentação da fórmula conjunta das equações 1, 2 e subtração do valor absoluto 273,15 na calculadora raster para obtenção da TST em Celsius.	48
Figura 18 - Temperaturas de superfície de Belo Horizonte, extraídas das imagens de satélite, ano de 2015.....	51
Figura 19 - Temperaturas de superfície de Belo Horizonte, extraídas das imagens de satélite, ano de 2017.....	52
Figura 20 - Ocupação do solo e situação da vegetação por infravermelho em Belo Horizonte, extraídos das imagens de satélite.....	53
Figura 21 - Pontos de temperaturas extremas na estação verão de 2015 e 2017.....	55
Figura 22 - Empreendimento STOLA do Brasil, delimitação do ponto de temperatura extrema.	56

Figura 23 - Empreendimento EXPOMINAS, delimitação do ponto de temperatura extrema. 56

Figura 24 - Estrutura de um telhado verde. 62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais características do satélite Landsat 8.46

Quadro 2 - Principais características das imagens de satélite obtidas.46

Quadro 3 - Características dos tipos de telhados 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compilação dos dados da estação convencional de meteorologia de Belo Horizonte.
.....38

Tabela 2 - Temperaturas médias da Estação Convencional de Belo Horizonte para 2015.38

Tabela 3 - Tratamento dos dados da estação automática Pampulha de meteorologia de Belo Horizonte.39

Tabela 4 - Temperaturas médias da Estação Automática da Pampulha em Belo Horizonte para 2015 39

Tabela 5 - Tratamento dos dados da estação automática Cercadinho de meteorologia de Belo Horizonte.40

Tabela 6 - Temperaturas médias da Estação Automática de Cercadinho em Belo Horizonte para 201540

Tabela 7 – Temperaturas médias compiladas, em °C, das estações automáticas de Belo Horizonte nos dias e horários das imagens de satélite obtidas.49

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....47

Equação 2.....47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AsBEA - Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
BH - Belo Horizonte
CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CMMCE - Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência
CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
COMAM - Conselho Municipal de Meio Ambiente
CPDS - Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável
ENOS - El Niño-Oscilação Sul
ERTS - Earth Resources Technology Satellite
ESRI - Environmental Systems Research Institute
GIS - Geographic Information System
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU - Ilha de Calor Urbano
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOS - Índice de Oscilação Sul
LED - Light Emitting Diode
MMA – Ministério do Meio Ambiente
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NC - Níveis de Cinza
OLI - Operational Land Imager
ONG - Organização Não Governamental
PBH - Prefeitura de Belo Horizonte
RGB - Red, Green, Blue
RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte
RPE - Reserva Particular Ecológica
SADMET - Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos
SGBDs - Sistemas de Gestão de Base de Dados
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SSMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente
TINs - Redes Triangulares Irregulares
TIRS - Thermal Infrared Sensor
TSM - Temperatura da Superfície do Mar

TST - Temperatura de Superfície Terrestre
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UNCHE - United Nations Conference on the Human Environment
USGS - United States Geological Survey
UTM - Universal Transversal de Mercator
WGS - World Geodetic System
ZA - Zona Adensada
ZAP - Zona de Adensamento Preferencial
ZAR - Zona de Adensamento Restrito
ZC - Zona Central
ZCBA - Zona Central do Barreiro
ZCBH - Zona Central de Belo Horizonte
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical
ZCVN - Zona Central de Venda Nova
ZE - Zona de Grandes Equipamentos
ZEIS - Zona de Especial Interesse Social
ZHIP - Zona Hipercentral
ZP - Zona de Proteção
ZPAM - Zona de Preservação Ambiental

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 Definição de Clima	15
3.1.1 El-niño	17
3.1.2 La-niña.....	20
3.2 Ilhas de Calor	22
3.3 Histórico de Belo Horizonte.....	24
3.4 Parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município de Belo Horizonte.....	26
3.5 Sustentabilidade.....	29
3.5.1 Agenda 21	30
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 Caracterização da área de estudo.....	32
4.2 Banco de dados.....	36
4.2.1 Estação Convencional de Belo Horizonte	37
4.2.2 Estações Automáticas de Belo Horizonte.....	38
4.3 Geotecnologias	41
4.3.1 Software ArcGIS®	43
4.4 United States Geological Survey.....	45
4.4.1 Satélite Landsat 8	45
4.4.2 Obtenção das imagens de Satélite	46
4.4.3 Processamento das imagens de satélite Landsat 8.....	47
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
5.1 Análise das temperaturas e mapas.....	49

5.2 Ilhas de calor em Belo Horizonte	54
5.3 Propostas de Mitigação.....	57
5.3.1 Construções Sustentáveis	57
5.3.2 Ferramentas Urbanísticas	59
5.2.3 Iniciativas de Melhorias.....	64
6. CONCLUSÃO.....	69
7. REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO

O aumento contínuo nas concentrações dos poluentes advindos do desenvolvimento humano, causa mudanças na composição da atmosfera. Os processos industriais, a ampla utilização de veículos automotores e os desmatamentos são exemplos de atividades que elevam os índices dos gases de efeito estufa. A urbanização, que tem como consequência a substituição de superfícies naturais por edificações, ruas e avenidas, aumenta a impermeabilização dos solos e a irradiação de calor para a atmosfera (COSTA et all, 2010, p. 648).

Schreiner (2009) expõe que as alterações na dinâmica atmosférica é uma das grandes preocupações ambientais da atualidade, principalmente no que se refere às mudanças climáticas. Uma das formas mais conhecidas de sua modificação antropogênica é o fenômeno de aquecimento urbano, resultado do impacto do homem sobre a qualidade do ar que acontece sobre áreas urbanas, onde o clima urbano torna-se bastante distinto do observado nas áreas rurais circundantes. Nos últimos anos, este fenômeno, denominado ilha de calor, é observado em cidades de todo o mundo. Sua primeira documentação segundo Gartland (2010) é datada de 1818 por Luke Howard em seu estudo do clima de Londres. As ilhas de calor são formadas em áreas urbanas e suburbanas devido a absorção e retenção do calor por alguns tipos de materiais.

Souza (2004) afirma que o mal planejamento das cidades causam diversos transtornos à população. A alta concentração de prédios e a falta de áreas verdes diminuem a troca de calor com o espaço e aumentam a temperatura de superfície. Júnior (2006) alega que pesquisas climatológicas, além de controlar os impactos citados acima, constituem importantes fontes de informações para o planejador. Elas auxiliam no planejamento urbano adequado das cidades, evitam problemas funcionais, estruturais e contribuem para racionalização da energia.

Coltri (2007) destaca que os estudos de clima urbano e de ilhas de calor vêm se destacando e ganhando muita importância na área do sensoriamento remoto. Além de possibilitar a análise de imagens em diferentes escalas, esta técnica permite realizar análises de temperatura através dos dados do sensor infravermelho termal de temperatura aparente. Parte da radiação eletromagnética emitida pelo sol é refletida e parte absorvida pela superfície terrestre. Os sensores operantes na faixa do infravermelho termal medem no topo da atmosfera a radiação emitida e, após tratamento, esses dados podem ser convertidos em Temperatura de Superfície Terrestre (TST).

Devido aos efeitos das mudanças climáticas previstas para as próximas décadas, os cientistas indicam que uma das consequências será o aumento das temperaturas médias e também o número de dias quentes, o que intensificará o desconforto térmico na população e, conseqüentemente, os efeitos das ilhas de calor (COSTA et all, 2010, p. 647). Diante disso, a elaboração deste trabalho faz-se necessário. Com base na composição de bandas espectrais de imagens do Satélite Landsat 8 será possível mapear as ilhas de calor no município de Belo Horizonte e, através da TST e a posterior proposição de soluções técnicas construtivas e urbanas, será possível propor medidas para a minimização da temperatura nos pontos críticos identificados.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar o mapeamento das ilhas de calor do município de Belo Horizonte, no período estabelecido, para a identificação de pontos e ilhas de temperaturas mais elevadas, visando análises diagnósticas e proposições de soluções técnicas sustentáveis para sua minimização.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar pesquisa bibliográfica a respeito dos temas apontados nesse estudo para contextualização a temática abordada.
- b) Mapear as ilhas de calor do município de Belo Horizonte para os anos de 2015 e 2017, identificando os locais de temperaturas mais elevadas através de recursos computacionais;
- c) Caracterizar e diagnosticar as ilhas de calor identificadas através de parâmetros físico-geográficos, urbanos e construtivos;
- d) Identificar as principais causas da elevação da temperatura nas áreas apontadas através de observações em campo, elaboração de mapas e legislações vigentes e, com isso, propor soluções técnicas para os problemas identificados a partir de ferramentas urbanísticas e/ou edículas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A revisão bibliográfica presente neste capítulo tem o intuito de abordar um referencial teórico adequado para a aquisição de conhecimentos, entendimento e desenvolvimento do assunto abordado no decorrer do trabalho.

3.1 Definição de Clima

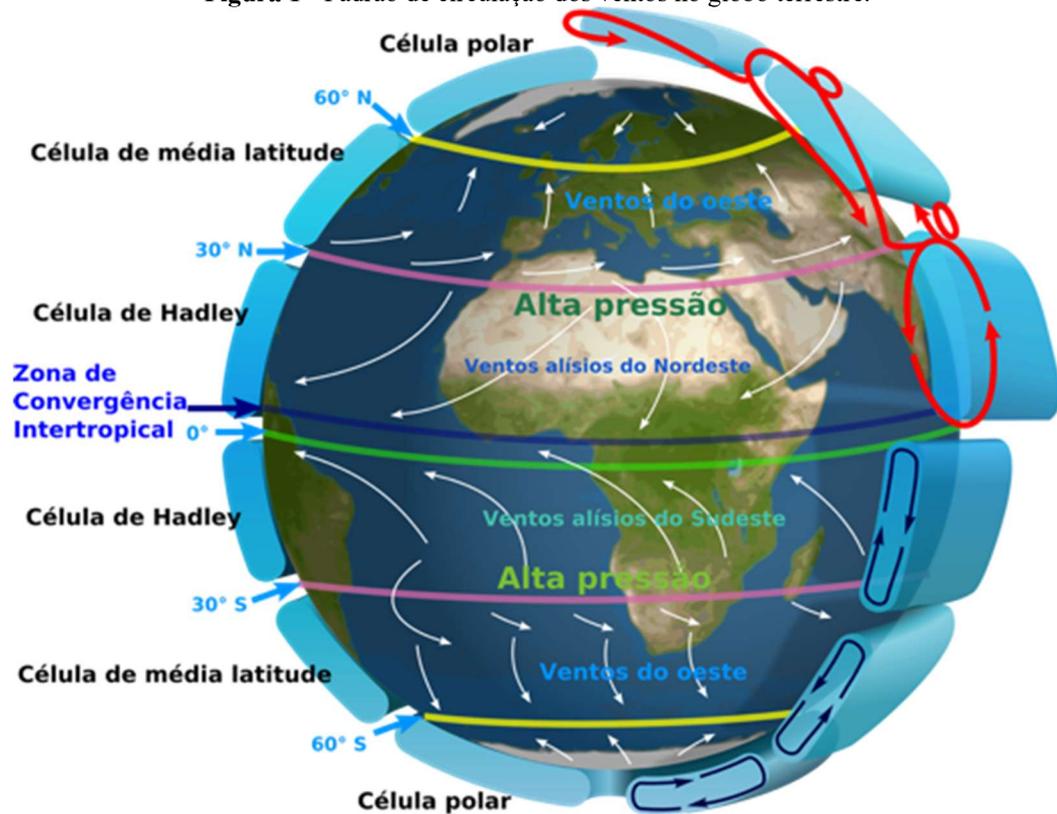
Em seu movimento de rotação, devido a presença do eixo de inclinação em relação ao plano de órbita, o planeta Terra é exposto a diferentes concentrações de radiação ao longo do ano, definindo assim, as estações primavera, verão, outono e inverno. No entanto, o regime de chuvas e diferenças de temperatura dependem, também, de outros fatores como distância em relação ao equador, aos oceanos e o relevo local. A junção destes a diversos outros fatores definem o que chamamos de clima. (CAVALCANTI et all, 2009)

Em nosso planeta, o clima é definido principalmente pela interação de dois elementos: a água e o ar. A troca de energia entre esses fluidos e sua interação com os ecossistemas, somados a energia recebida pelo sol formam a dinâmica da atmosfera e dos oceanos. O movimento do ar, o que chamamos de vento, definem a circulação atmosférica, e o movimento das águas nos oceanos às correntes marítimas. (CAVALCANTI et all, 2009)

Os movimentos horizontais e verticais do ar na atmosfera resulta da distribuição do calor sobre a superfície terrestre. O excesso de energia na região tropical, especificamente nas proximidades da linha do equador, faz o ar aquecido se elevar e, com a ação dos ventos, descer nos subtropicais, regiões próximas às latitudes de 30° norte e sul, por meio de uma célula de circulação denominada Célula de Hadley. Nessas regiões subtropicais definem-se os sistemas de alta pressão subtropical. Esse fenômeno está representado na Figura 1 (CAVALCANTI et all, 2009).

O ar frio que vem dos polos e o ar quente da região tropical e subtropical são separados na superfície pelas frentes. Estas são responsáveis pela regulação da temperatura entre o equador e os polos. Quando o ar frio avança em direção ao equador, tem-se as frentes frias e, quando o ar quente avança para os polos, tem-se as frentes quentes. Um cinturão de baixas pressões é formado na região onde ocorre o encontro dessas frentes, mais frequentemente próxima à latitude 60° norte e sul, conhecida, também, como região dos ciclones extratropicais (CAVALCANTI et all, 2009).

Figura 1 - Padrão de circulação dos ventos no globo terrestre.



Fonte: CAVALCANTI et al, 2009.

Com o encontro das frentes frias e quentes ocorre o movimento ascendente das massas de ar vindo a descender nos subtropicais e nos polos. Diante disso, definem-se três células de circulação vertical: a célula de Hadley na região tropical, a célula de Ferrell, ou célula de latitudes médias, nas regiões subtropicais, e a célula polar nos polos. O movimento do ar decorrente dessas três células define os ventos alísios de nordeste no Hemisfério Norte e os de sudeste no Hemisfério Sul que convergem para a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os ventos de oeste nas regiões subtropicais e os ventos de leste nas regiões polares (CAVALCANTI et al, 2009).

Em uma mesma faixa de latitude podemos encontrar fatores que definem diferentes condições climáticas. Um exemplo disso é a proximidade de determinada região ao oceano e sua elevação em relação ao nível do mar. Os oceanos possuem uma grande capacidade térmica que amortece as variações de temperatura tanto diurnas quanto noturnas. A umidade proveniente dos oceanos absorve a radiação térmica emitida pela superfície terrestre contribuindo com o fenômeno natural denominado efeito estufa. Em locais distantes ou desérticos, o ar seco não retém esse calor, dispersando-o para o espaço. O mesmo ocorre em locais de altitude onde a atmosfera é menos espessa. A baixa concentração de vapor d'água

retém menos calor durante o dia levando a temperaturas mais baixas à noite (CAVALCANTI et all, 2009).

Associados a regimes de vento local, os aspectos supracitados são dois controles muito importantes do clima regional. Resultantes dessa interação, tem-se a brisa marítima ou terrestre que ocorre durante a noite, quando a terra resfria-se mais rapidamente que o oceano devido ao seu poder calorífero, o ar fica mais frio sobre a superfície terrestre que, com a diferença de pressão gerada, é empurrado em direção aos oceanos. Durante o dia tem-se o processo inverso, onde a diferença de pressão impulsiona a brisa marítima em direção ao continente. Com relação ao relevo, durante a noite, o ar nas montanhas resfria-se mais rapidamente que nos vales, originando a brisa de montanha, também conhecida como fluxo catabático. Já durante o dia, com o aquecimento das encostas com face para leste, antes de os raios solares atingirem o vale, ocorre a brisa de vale para a montanha. Ambas interações podem provocar chuvas sobre o continente, fator dominante na definição do clima local (CAVALCANTI et all, 2009).

3.1.1 El-niño

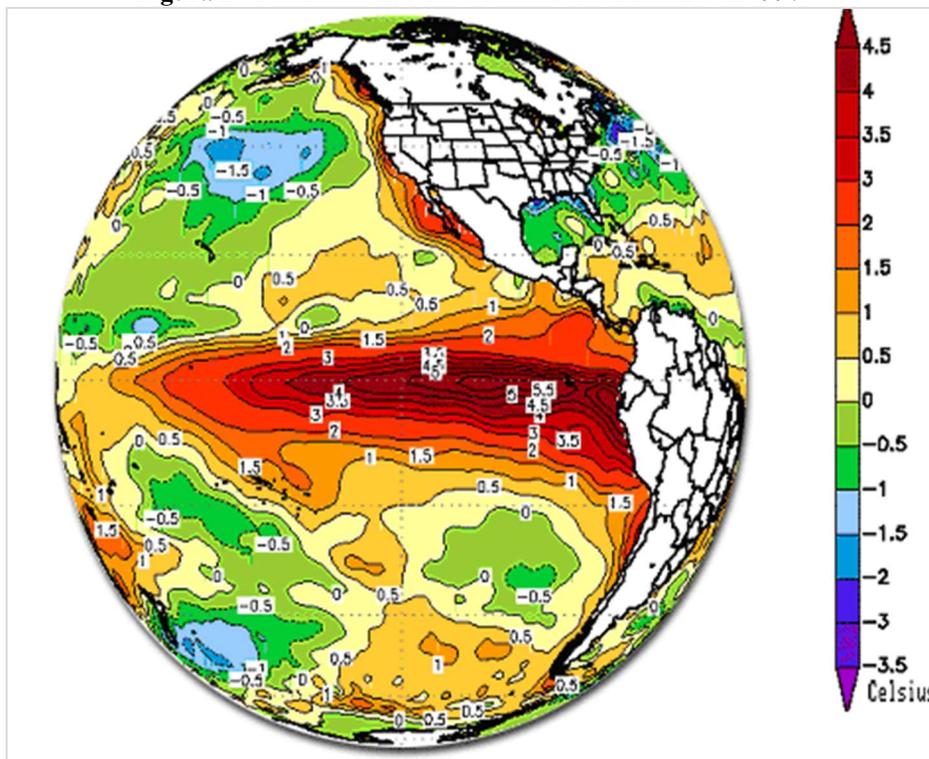
Derivado do espanhol, o termo El Niño é uma referência ao Menino Jesus devido a presença de águas quentes anualmente na costa norte do Peru, especificamente na época do Natal. Atualmente, El Niño é reconhecido como um fenômeno climático resultante da interação entre a superfície oceânica e a baixa atmosfera adjacente a ele. Ocorre quando há o aquecimento anômalo das águas oceânicas, superficiais e subsuperficiais, na porção leste e central do Pacífico equatorial, isso modifica a dinâmica de circulação geral da atmosfera e afeta o clima regional e global. É um dos responsáveis pelos anos considerados secos e muito secos (OLIVEIRA, 1999).

Com a ocorrência desse fenômeno, há o enfraquecimento dos ventos alísios na região equatorial adjacente à superfície oceânica, resultando em mudanças na circulação da atmosfera nos níveis baixo e médio. Isso interfere nos padrões de transporte de umidade e, portanto, variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões, esse comportamento pode provocar o aumento ou queda de temperatura (INPE, 2016).

Um exemplo do que ocorre no globo pode ser observado na Figura 2. A presença de tons avermelhados indica as regiões com temperaturas médias acima da média e os azulados as

regiões com valores abaixo da média climatológica. Os valores positivos na região no Pacífico Central e Oriental indica a presença do El Niño. O evento exposto foi registrado em dezembro de 1998 (INPE, 2016).

Figura 2 - Fenômeno El Niño ocorrido em dezembro de 1997.



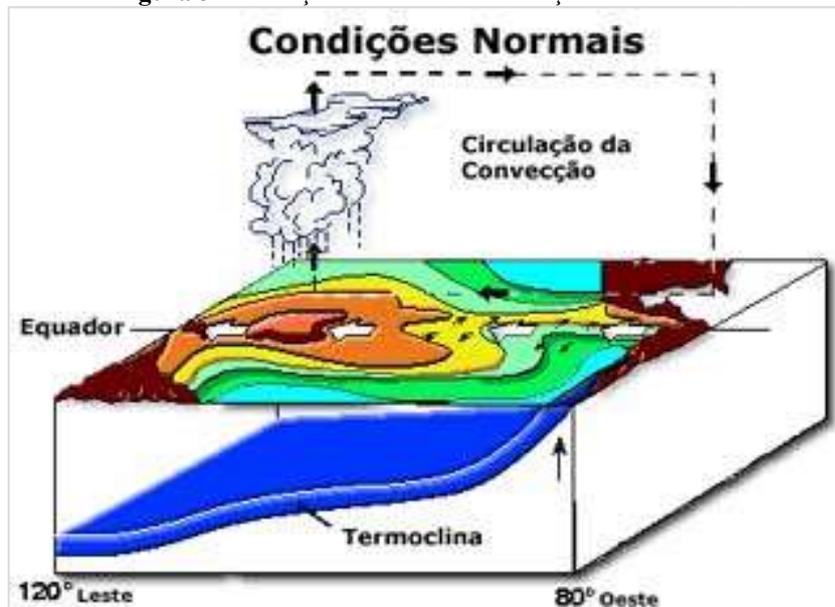
Fonte: INPE, 2016

Uma outra terminologia técnica, associada ao aquecimento anormal do Oceano Pacífico tropical, utilizada para tal fenômeno é o ENOS, ou El Niño Oscilação Sul. Este representa a interação atmosfera-oceano associada às alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios do Pacífico Equatorial, mais precisamente entre a costa peruana e no Pacífico Oeste, próximo à Austrália. Podendo ser quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS), que representa a diferença de pressão entre o nível do mar no Pacífico central (Taiti) e o Pacífico Oeste (Darwin/Austrália), está relacionado às mudanças na circulação na baixa atmosfera. Os valores positivos e negativos do IOS são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña respectivamente (INPE, 2016).

De acordo com os dados apresentados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2016) os eventos de El Niño e La Niña tendem a se alternar a cada 3 a 7 anos, intercalados por condições normais, com intervalos de 1 a 10 anos. As intensidades do El Niño variam bastante, sendo os últimos mais intensos ocorridos em 1997-1998 e 2015-2016.

Na Figura 3 pode-se observar o padrão de circulação em condições normais, a célula de circulação apresenta-se com movimentos ascendentes sobre o oceano e movimentos descendentes sobre a superfície terrestre. Como consequência, tem-se os ventos de leste para oeste (ventos alísios) próximos à superfície (setas brancas) e ventos de oeste para leste na baixa atmosfera (célula de Walker). Observa-se, também, que a região com águas mais quentes é representada pelas cores avermelhadas e as mais frias pelas cores azuladas. A termoclina, região que separa as águas quentes (acima) das águas frias (abaixo), pela ação dos ventos alísios que “empurram” as águas quentes para oeste, deixam-na mais rasa junto à costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental expondo as águas mais frias.

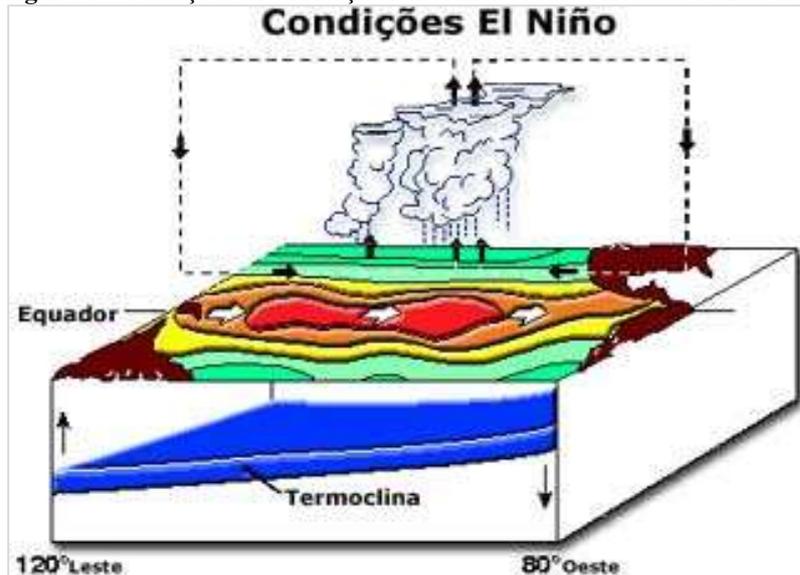
Figura 3 - Condições normais de circulação da atmosfera.



Fonte: INPE, 2016

O padrão de circulação quando há presença do fenômeno El Niño na região equatorial do Oceano Pacífico ocorre como evidenciado na Figura 4. Quando há enfraquecimento dos ventos alísios, sua ação sobre a superfície do Oceano Pacífico diminui, chegando a desaparecer em alguns casos. Fazendo com que a inclinação da termoclina diminua em relação às condições normais. Com isso, o aquecimento das águas no Oceano Pacífico ocorre mais uniforme podendo ocorrer, em algumas regiões, a inversão dos ventos, ficando estes de oeste para leste e a célula de Walker bipartida. Conseqüentemente tem-se uma maior evaporação das águas com movimento ascendente e formação de nuvens no Pacífico Equatorial Central e Oriental.

Figura 4 - Condições de circulação atmosférica com ocorrência de El Niño.

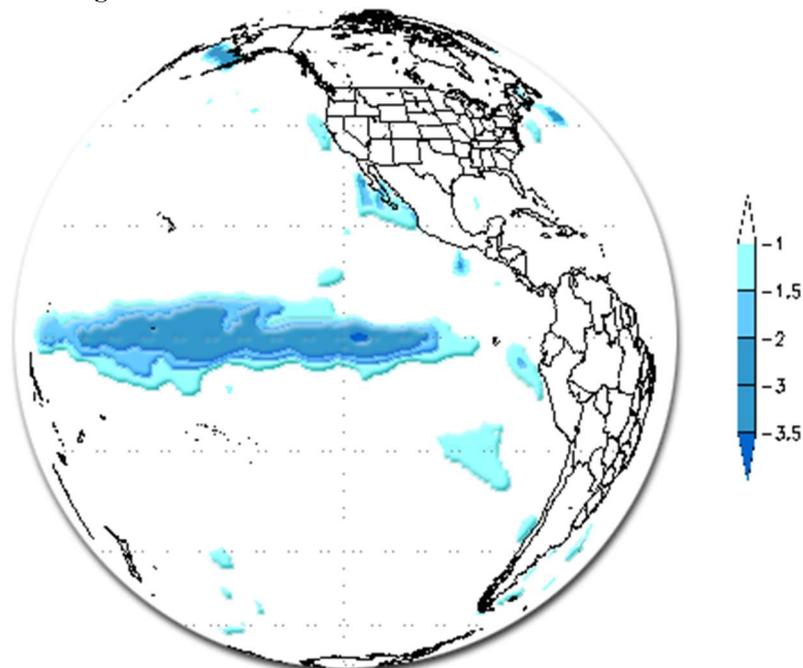


Fonte: INPE, 2016

3.1.2 La-niña

O termo La Niña advém do espanhol e quer dizer “a menina”. Por ser considerado um fenômeno climático oposto ao El Niño, outros termos como Episódio Frio, El Viejo (o velho) e anti-El Niño também são utilizados para caracterizá-lo. Na Figura 5 pode-se observar o fenômeno ocorrido em dezembro de 1988 com temperaturas plotadas inferiores a -1°C. (INPE, 2016)

Figura 5 - Fenômeno La Niña ocorrido em dezembro de 1988.

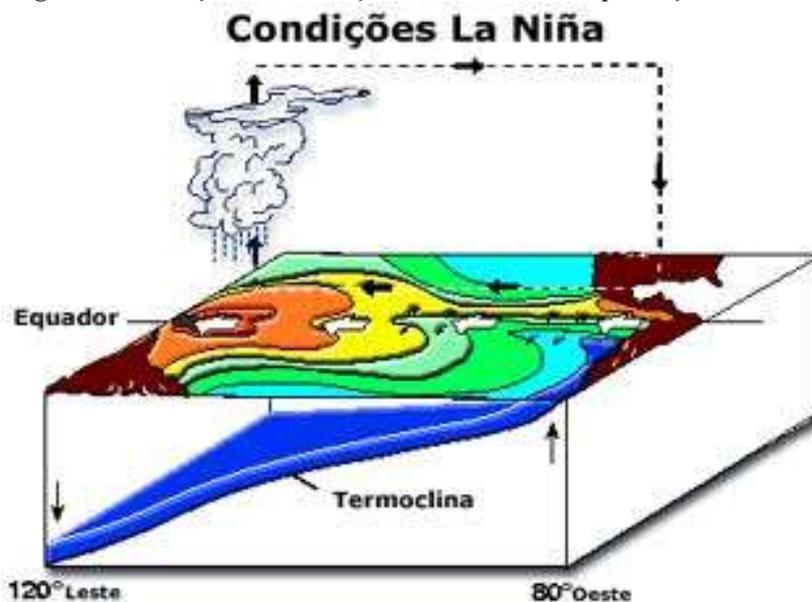


Fonte: INPE, 2016

Este fenômeno ocorre quando os ventos alísios se tornam mais intensos. Em razão a isto, o desnível entre o Pacífico Ocidental e Oriental é acentuado, acarretando no acúmulo de águas quentes no Pacífico Equatorial Oeste. Como consequência há a evaporação mais acentuada sobre o oceano nessa região. O movimento ascendente do vapor de água resulta na formação de nuvens de chuva que geram a célula de Walker. Esta célula, em anos de La Niña, fica mais alongada que o normal. A simulação do evento pode ser observada na Figura 6.

A região nordeste do Oceano Índico à oeste do Oceano Pacífico, passando pela Indonésia, concentra a maior quantidade de chuvas durante o La Niña. Os movimentos descendentes na região do Pacífico Equatorial Central e Oriental, gerados pela Célula de Walker ficam mais intensos que o normal o que inibe a formação de nuvens de chuva nesses locais. (INPE, 2016)

Figura 6 - Condições de circulação atmosférica com a presença da La Niña.



Fonte: INPE, 2016

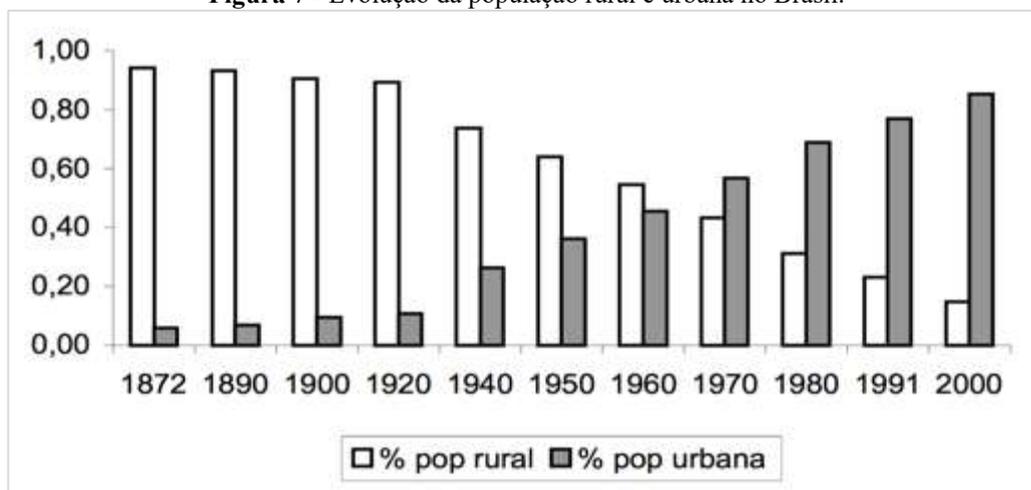
Os últimos episódios de La Niña ocorreram em 1988/1989, 1995/1996 e 1998/1999, sendo o primeiro considerado um dos mais intensos já registrados. A frequência de ocorrência desse fenômeno é de 2 a 7 anos, com períodos de aproximadamente 9 a 12 meses. Uma curiosidade é que o La Niña nas últimas décadas tem ocorrido em menor quantidade que o El Niño. Outro ponto interessante é que os valores das anomalias de TSM em anos de La Niña têm desvios menores que em anos de El Niño, ou seja, enquanto observam-se anomalias de até 4, 5°C acima da média em alguns anos de El Niño, em anos de La Niña as maiores anomalias observadas não chegam a 4°C abaixo da média (INPE, 2016).

3.2 Ilhas de Calor

Autores destacam que os problemas ambientais, sociais e econômicos são, em sua maioria, advindos do crescimento desordenado com ausência de planejamento adequado; da falta de infraestrutura nos transportes, moradia, saneamento básico, saúde e educação; ocupação irregular de morros e encostas, supressão da vegetação e consequente impermeabilização do solo, tendo como resultado a perda ou redução da qualidade de vida da população, principalmente nas grandes metrópoles.

De acordo com Casagrande (2012) e Lima (2005) devido o processo de industrialização entre 1930 e 1970, o Brasil deixou de ser uma economia predominantemente agroexportadora e passa a ser também industrializado. Com isso, houve o desencadeamento do êxodo rural, como pode ser visto na Figura 7. Com a migração da população do campo para a cidade somado a falta de planejamento urbano, a deficiência no ordenamento territorial e de seu errôneo modelo de desenvolvimento, há um inchaço das cidades e a resiliência do meio ambiente urbano é extrapolada diariamente. Várias e complexas são as alterações ambientais provocadas por esse modelo de desenvolvimento. Como uma das consequências desse processo de ocupação e desenvolvimento tem-se o fenômeno Ilha Urbana de Calor (TEZA, 2005).

Figura 7 - Evolução da população rural e urbana no Brasil.



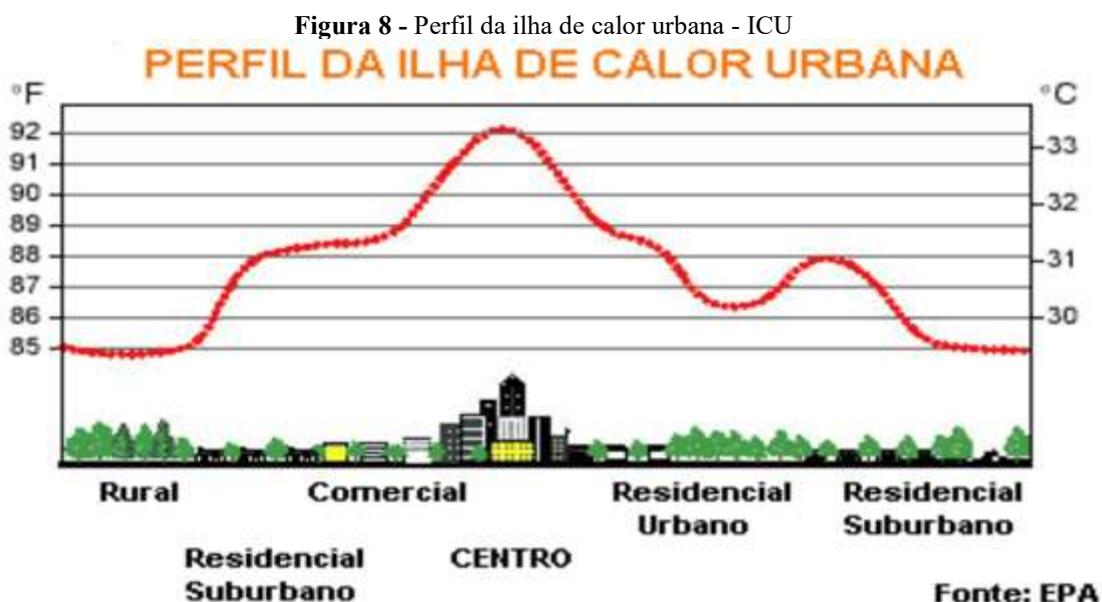
Fonte: LIMA, 2005, p. 34

As ilhas urbanas de calor caracterizam-se pelo aumento da temperatura média do ar nas cidades em relação ao meio rural e as áreas menos urbanizadas. O desequilíbrio causado pela maior concentração de ar quente presente nas regiões centrais das cidades dificulta a evaporação, reduz o poder de dispersão dos poluentes atmosféricos gerados e trazem complicações para a vida do homem. Esse fenômeno ocorre principalmente devido a influencia

antrópica e basicamente devido às diferenças de irradiação de calor entre as regiões edificadas, das regiões com solo exposto e das regiões com vegetação e também à concentração de poluentes, maior nas zonas centrais da cidade (TEZA, 2005, p. 3912).

O aumento na concentração de casas e prédios, ruas e avenidas, pontes e viadutos e uma série de outras construções, se intensifica quanto mais se aproxima do centro das grandes cidades. Com isso, há um aumento significativo da irradiação de calor para a atmosfera em comparação com as zonas periféricas ou rurais devido a maior cobertura vegetal. Nota-se que de acordo com os materiais utilizados na construção civil, há diferentes padrões de reflectividade, ou de albedos. Percebe-se que, dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície intensificando a temperatura naquela determinada região ou superfície (TEZA, 2005).

Podemos observar na Figura 8, uma representação da ocorrência da ilha de calor urbana – ICU. Percebe-se que a temperatura mais elevada se encontra no centro urbano e tendem a diminuir à medida que se afasta, indo em direção as zonas rurais e subúrbios.



Fonte: SOUZA, 2011, p. 8

De acordo com Amorim (2005, p.122), o parâmetro mais importante que caracteriza as ilhas de calor é sua intensidade ou magnitude. Estes geralmente evoluem de acordo com diferença máxima observada, em um momento determinado, entre a temperatura de um ponto da cidade e outro em seu entorno ou no ambiente rural.

Fialho (2012) pontua que o conceito de ilha de calor está relacionado às atividades antrópicas e sua repercussão na troposfera inferior, porém a literatura não deixa claro em que momento ou qual diferença de temperatura do ar se pode atestar a existência do fenômeno. Por exemplo, ao comparar dois locais com o mesmo uso da terra e vertentes de insolação distintas, teremos conseqüentemente uma diferenciação da temperatura do ar entre eles, contudo, isso não é suficiente para dizer que exista uma ilha de calor.

Além dessa vulnerabilidade conceitual, existem diversas possibilidades de se identificar uma ilha de calor, dentre elas, pode-se citar os registradores contínuos de temperatura do ar e umidade relativa (*data-loggers*), balões meteorológicos e imagens de satélites, que permitem novas observações, leituras e correlações combinadas entre a geometria urbana e os parâmetros climáticos (FIALHO, 2012). Neste contexto de inovações tecnológicas, o presente trabalho faz o uso da ferramenta de geotecnologias para tratamento e análise da temperatura de Belo Horizonte.

3.3 Histórico de Belo Horizonte

Na época da Inconfidência, com o intuito de modernizar a capital do Estado foi decidido transferir a capital de Vila Rica, em Ouro Preto, para um local que reunisse melhores condições de localização e infraestrutura. Localizado no centro da unidade federativa, a 100 km de Ouro Preto, acessível por todos os lados e com um bom clima, numa altitude de 800 metros, o Arraial do Curral D'El Rey com aproximadamente 4.000 habitantes, 180 edificações e 32 fazendas, foi escolhido para sediar a atual capital mineira. A área destinada à nova capital se localizava entre as Serras do Curral e de Contagem, Serra da Piedade e Vale do Rio Paraopeba (PBH, 2019a).

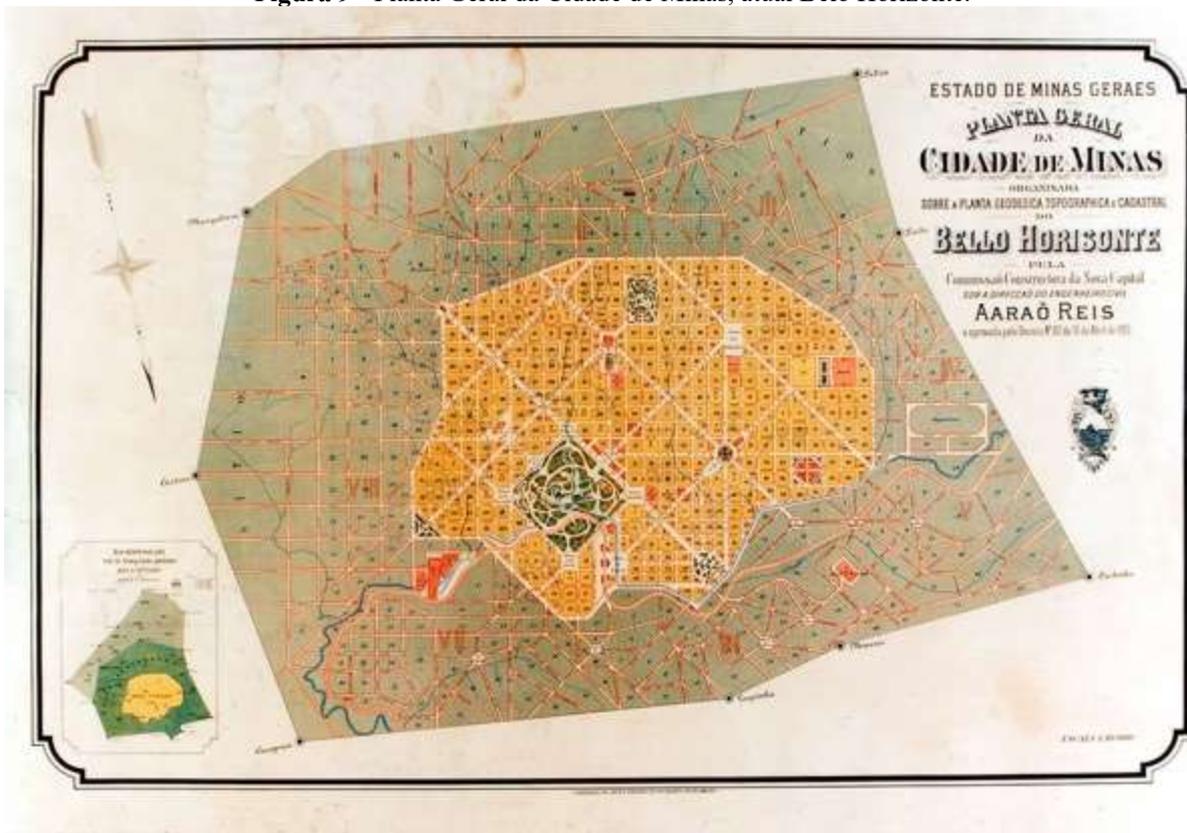
Em 1893, o arraial foi elevado à categoria de município e capital de Minas Gerais, sob a denominação de Cidade de Minas. Em 1984, sob a chefia do engenheiro Aarão Reis, os trabalhos de construção da primeira grande cidade planejada do país foram iniciados pela Comissão Construtora da Nova Capital. Sendo estipulado o prazo de 5 anos para o término das obras (PBH, 2019a).

Elaborada em 23 de março de 1895 e aprovada pelo decreto 817 de 15 de abril do mesmo ano, a Planta Geral da Cidade de Minas subdividia Belo Horizonte em zonas urbana e suburbana. Essa diferenciação é separada fisicamente pela Avenida do Contorno e conferia a cidade uma organização física de caráter segregativo. Com isso, destinada a habitações de

classes “superiores”, a zona urbana foi projetada “dotada de equipamentos urbanos, com quarteirões e lotes regulares, ruas com 20m e avenidas com 35m de largura”. Já a zona suburbana, destinada à habitação das classes “inferiores”, foi delineada com quarteirões e lotes irregulares e ruas com 14m de largura (PENNA, 1997).

Inaugurada em 12 de dezembro de 1897 pelo presidente de Minas Gerais, Crispim Jacques Bias Fortes e, de acordo com a Prefeitura de Belo Horizonte (2019a), “o projeto da cidade foi inspirado no modelo das mais modernas cidades do mundo, como Paris e Washington”. Como pode ser visto na Figura 9, a cidade foi dividida em três áreas: central urbana, suburbana e rural. Tendo a Avenida 17 como limite, “a área central urbana recebeu uma estrutura de transportes, educação, saneamento e assistência médica, bem como edifícios públicos dos funcionários estaduais e estabelecimentos comerciais”. Já a “área rural era composta por cinco colônias agrícolas com várias chácaras abastecendo a cidade com produtos hortigranjeiros”.

Figura 9 - Planta Geral da Cidade de Minas, atual Belo Horizonte.



Fonte: PBH, 2019a

O desenvolvimento do projeto iniciou com a construção da Praça da Liberdade, o Palácio do Governo e as Secretarias de Estado. A fim de transmitir aos moradores sensação de

conforto e mobilidade foram construídos, também, o Parque Municipal, a Praça da Estação, a Avenida Santos Dumont, a Rua da Bahia e a Avenida Afonso Pena. “Essas construções são reconhecidas até hoje e entraram para a história da cidade” (PBH, 2019a).

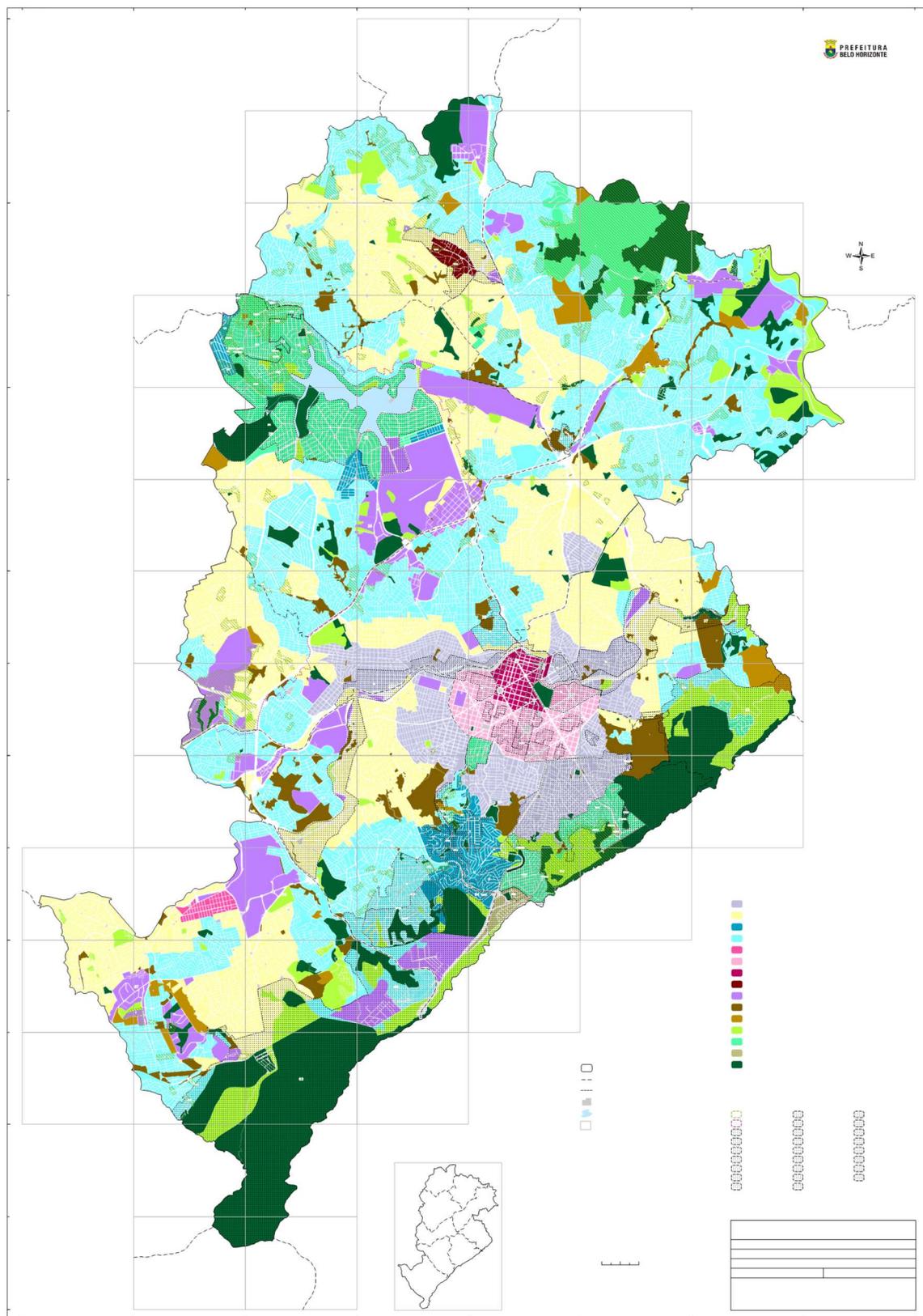
Com o avanço da industrialização a partir da década de 40 ocorreram diversas mudanças na capital mineira. Uma das inovações trazidas na época foi a criação do Complexo Arquitetônico da Pampulha, de Oscar Niemeyer, fora da área projetada por encomenda de Juscelino Kubitschek, governador do estado na época, e a criação do polo industrial da cidade, a cidade industrial. A partir de então uma nova capital com arranha-céus e asfalto estava no lugar do verde das paisagens naturais. Assim se formou a nova Belo Horizonte, uma nova metrópole, já com um milhão de habitantes nos anos 60 (PBH, 2019a).

3.4 Parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município de Belo Horizonte

A Lei nº 7166, de 27 de agosto de 1996 “estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município” de Belo Horizonte. Nela é declarado que o território do Município é considerado área urbana, dividindo-se em zonas, de acordo com as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor. Essas zonas são diferenciadas segundo os potenciais de adensamento e as demandas de preservação e proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística. E, como pode ser analisado na Figura 10, se subdividem da seguinte forma:

- I. Zona de Preservação Ambiental – ZPAM: são as regiões destinadas à preservação e à recuperação de ecossistemas. Como exemplo tem-se as ilhas da Lagoa da Pampulha resultantes do processo de desassoreamento da Lagoa;
- II. Zona de Adensamento Preferencial - ZAP: são as regiões passíveis de adensamento em decorrência de condições favoráveis de infraestrutura e de topografia;

Figura 10 - Zoneamento do Município de Belo Horizonte



Fonte: PBH, 2013

- III. Zona de Proteção – ZP: são as regiões de “ocupação com baixa densidade e maior Taxa de Permeabilidade e se subdividem em:
- a. ZP-1: regiões de proteção ambiental e preservação do patrimônio histórico, cultural, arqueológico ou paisagístico ou em que haja risco geológico. São predominantemente desocupadas e sua ocupação é permitida mediante condições especiais;
 - b. ZP-2: regiões predominantemente ocupadas de proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística ou em que existam condições topográficas ou geológicas desfavoráveis, onde devem ser mantidos baixos índices de densidade demográfica;
 - c. ZP-3: regiões em processo de ocupação controlada visando à proteção ambiental e preservação paisagística.
- IV. Zona de Adensamento Restrito – ZAR: são as regiões em que a ocupação é desestimulada em razão da ausência ou deficiência de saneamento, da precariedade ou saturação da articulação viária interna ou externa ou da adversidade das condições topográficas. Esta se subdivide nas seguintes categorias:
- a. ZARs-1: regiões com articulação viária precária ou saturada, em que se faz necessário manter baixa densidade demográfica;
 - b. ZARs-2: regiões em que as condições de infraestrutura, topográficas ou de articulação viária exigem restrição da ocupação.
- V. Zona Central – ZC: são as regiões configuradas como centros de polarização regional, municipal ou metropolitana, e que se subdividem em:
- a. ZHIP - Zona Hipercentral;
 - b. ZCBH - Zona Central de Belo Horizonte;
 - c. ZCBA - Zona Central do Barreiro;
 - d. ZCVN - Zona Central de Venda Nova.
- VI. Zona Adensada – ZA: são as regiões nas quais o adensamento deve ser contido por apresentarem alta densidade demográfica e intensa utilização da infraestrutura urbana, o que resulta em problemas de fluidez do tráfego, principalmente nos corredores viários;
- VII. Zona de Especial Interesse Social – ZEIS: são as regiões edificadas nas quais há interesse público em ordenar a ocupação por meio de implantação de programas

habitacionais de urbanização e regularização fundiária, urbanística e jurídica. Estas se subdividem nas seguintes categorias:

- a. ZEISs-1: regiões ocupadas desordenadamente por população de baixa renda, nas quais existe interesse público em promover programas visando à promoção da melhoria da qualidade de vida de seus habitantes e à sua integração à malha urbana;
- b. ZEISs-3: regiões edificadas em que o Executivo tenha implantado conjuntos habitacionais de interesse social.

VIII. Zona de Grandes Equipamentos – ZE: são as regiões ocupadas ou destinadas a usos de especial relevância na estrutura urbana, nas quais é vedado o uso residencial.

3.5 Sustentabilidade

A palavra sustentabilidade vem do latim “*sustentare*” e é definida como tudo aquilo que é capaz de ser suportado e/ou mantido. Seu conceito é empregado frequentemente em busca de embasar uma nova forma de desenvolvimento, assumindo dimensões sociais, econômicas e ambientais. A partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano – *United Nations Conference on the Human Environment* (UNCHE), realizada em 1972 em Estocolmo, a expressão sustentabilidade começou a ser difundida e a questão ambiental ganhar visibilidade pública.

Já em 1987, no relatório de *Brundtland – Our Common Future*, publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, o termo sustentabilidade foi definido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações em satisfazer suas necessidades” (SICHE at all, 2007). Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD, mais conhecida como ECO-92 ou Rio-92, realizada no Rio de Janeiro, reuniu 108 chefes de estado, em busca de mecanismos que favorecessem a relação entre meio ambiente e desenvolvimento. Considerada a Conferência que trouxe um maior número de propostas para a questão ambiental, serviu de base para o desenvolvimento de documentos como a Agenda 21 onde foi delineado medidas para o desenvolvimento sustentável (STIEFELMANN, 2012).

3.5.1 Agenda 21

De acordo com o Portal do Ministério do Meio Ambiente (2019a), a Agenda 21 é um programa de ação baseado num documento de 40 capítulos, assinado pelos países participantes da RIO 92, que constitui a mais abrangente tentativa de promover um novo padrão de desenvolvimento, denominado “desenvolvimento sustentável”. O termo “Agenda 21” foi usado no sentido de intenções, desejo de mudança para esse novo modelo de desenvolvimento para o século XXI. A mesma pode ser definida como um “instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica”.

Como pode ser visto no documento oficial disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (2019a), a Agenda 21 segue o princípio de “Pensar globalmente, agir localmente” e divide-se em 4 seções distintas:

- Seção I: Capítulos 2 a 8: dispõe sobre as Dimensões Econômicas e Sociais;
- Seção II: Capítulos 9 a 22: fala sobre a Conservação e gerenciamento de recursos para o desenvolvimento;
- Seção III: Capítulos 23 a 32: discorre sobre o Fortalecimento do papel dos grupos principais;
- Seção IV: Capítulos 33 a 40: Finaliza o documento mostrando os Meios de implementação.

Entre 1996 a 2002, coordenado pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável (CPDS) e Agenda 21 Nacional com o envolvimento de cerca de 40 mil pessoas de todo o Brasil, foi construída a Agenda 21 Brasileira. Esta é considerada “um processo e instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável e que tem como eixo central a sustentabilidade, compatibilizando a conservação ambiental, a justiça social e o crescimento econômico”. Construída a partir das diretrizes da Agenda 21 Global, este documento trata-se de um instrumento fundamental para a construção da democracia participativa e da cidadania ativa no País por ser o resultado de uma vasta consulta à população brasileira (MMA, 2019b).

Em seu capítulo 28, a Agenda 21 Global estabelece que "cada autoridade em cada país implemente uma Agenda 21 local tendo como base de ação a construção, operacionalização e

manutenção da infraestrutura econômica, social e ambiental local, estabelecendo políticas ambientais locais e prestando assistência na implementação de políticas ambientais nacionais". Levando em consideração que muitos dos problemas e soluções têm suas raízes nas atividades locais, a participação e cooperação das autoridades locais são fatores determinantes para o alcance de seus objetivos (MMA, 2019a).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2019c), atualmente a prioridade do governo é orientar na elaboração e implementação das Agendas 21 Locais com base nos princípios da Agenda 21 Brasileira que, assim como a Agenda 21 Global, reconhece a importância do nível local na concretização de políticas públicas sustentáveis.

A Agenda 21 Local é considerado um instrumento de planejamento de políticas públicas e envolve a sociedade civil e o governo. A fim de identificar e implementar ações visando o desenvolvimento sustentável local, denomina-se um processo amplo e participativo de consulta sobre os problemas ambientais, sociais e econômicos (MMA, 2019c).

4. METODOLOGIA

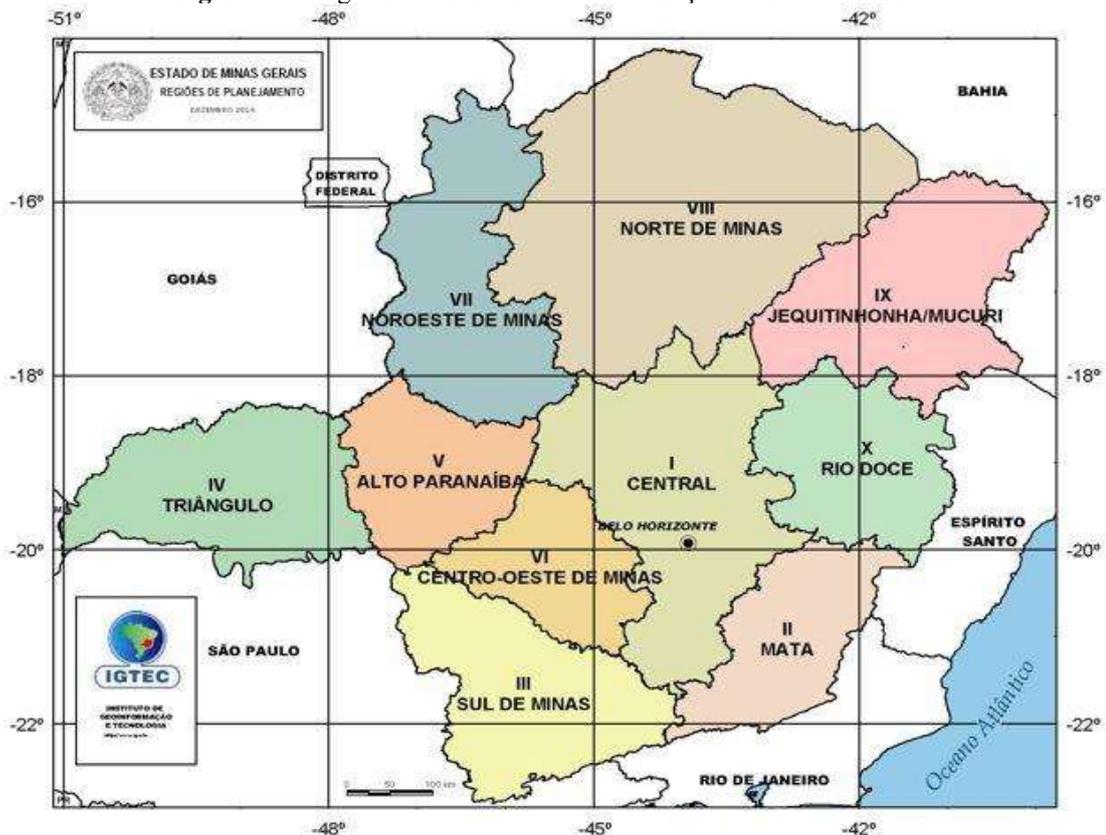
Para a elaboração desse trabalho foi desenvolvida inicialmente uma revisão bibliográfica através de publicações, artigos técnicos e periódicos, sites especializados, relatórios, normas e legislações vigentes além de consultas a autores de referência. Essa revisão aborda pontos importantes para a compreensão desse estudo e o contextualiza ao cenário atual do município de Belo Horizonte, área de estudo deste trabalho.

Para a contextualização do trabalho, primeiramente buscou-se apresentar um referencial teórico a respeito dos quesitos básicos para um melhor entendimento dos objetivos deste trabalho. Considerou-se os quesitos clima, ilhas de calor, geotecnologias, em especial o software ArcGIS, Satélite Landsat 8 e sustentabilidade a base de toda a fundamentação teórica. A partir destes, pode-se aprofundar nas questões mais específicas do projeto.

4.1 Caracterização da área de estudo

A cidade de Belo Horizonte, área delimitadora deste estudo, situado na região central de Minas Gerais (Figura 11), foi projetada e construída para ser a capital do Estado de Minas Gerais. No projeto original, foi estimado para, a partir do ano 2000, uma população de 200.000 habitantes, número este extrapolado já na década de 1940 (ASSIS, 2010). Conforme dados do IBGE de 2009, a população de Belo Horizonte já era estimada em 2.513.451 habitantes evidenciando a falta de planejamento adequado e a formação de aglomerados.

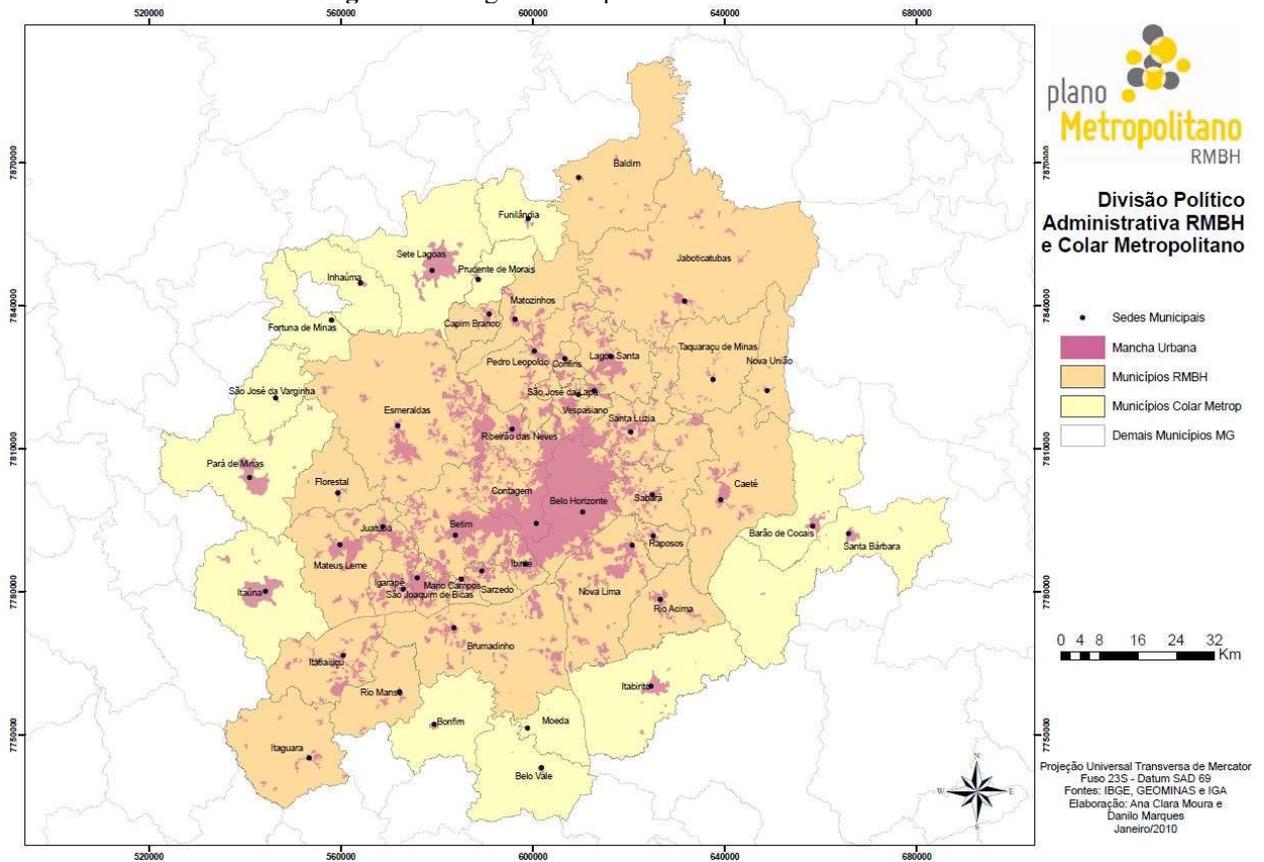
Figura 11 - Regiões de Minas Gerais e localização de Belo Horizonte.



Fonte: Governo de Minas Gerais, Regiões de Planejamento

De acordo com Assis (2010) a maioria dos aglomerados de Belo Horizonte localizam-se em fundos de vale ou em áreas de topo com alta declividade, sendo sujeitos assim a inundações e deslizamentos. O município apresenta feições geográficas, como o relevo, que contribuem para, além de outros fatores, exacerbação de problemas ambientais tais como a formação de ilhas de calor e concentração de poluentes. Como pode ser visto na Figura 12, a cidade é delimitada pelos municípios: ao sul por Nova Lima, a sudoeste por Ibirité, a sudoeste por Betim, a oeste por Contagem, a noroeste por Ribeirão das Neves, a norte por Vespasiano, a nordeste por Santa Luzia e a leste por Sabará.

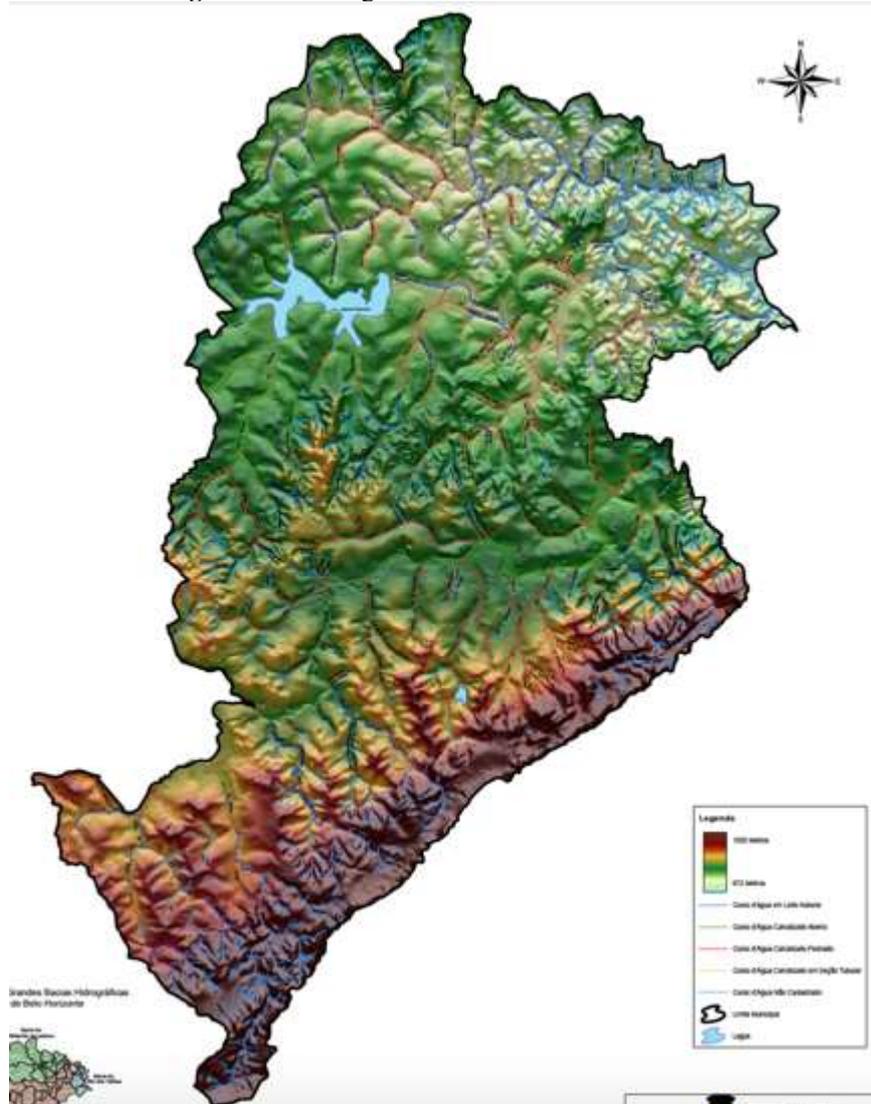
Figura 12 - Região Metropolitana de Belo Horizonte.



Fonte: Plano Metropolitano RMBH|UFMG, 2019.

Belo Horizonte encontra-se num contexto geomorfológico formado por planaltos e serras do atlântico leste-sudeste, onde podemos identificar duas unidades na área correspondente ao seu sítio urbano: a depressão sanfranciscana e o quadrilátero ferrífero. O clima e a vegetação apresentam uma estreita relação com o relevo (ASSIS, 2010). Como pode ser visto na Figura 13, o município apresenta altitudes que podem chegar a aproximadamente 1500 metros. Tal caracterização topográfica favorece a diminuição da temperatura proporcionalmente ao aumento da altitude, além de implicar diferenciações no clima dentro da malha urbana (ASSIS, 2010).

Figura 13 - Hidrografia e Relevo de Belo Horizonte



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2010.

Para um melhor entendimento das condições de Belo Horizonte, o mesmo será delimitado e caracterizado por meio do *software ArcGIS* com a utilização de imagens de satélite e dados que serão coletados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), visitas *in loco* e demais dados secundários de trabalhos já realizados sobre o tema. Com isso, será possível fazer o mapeamento das unidades climáticas “naturais” e urbanas dentro dos limites do município em estudo.

A partir da identificação dessas áreas, será realizada sua caracterização a partir de parâmetros de temperatura, vegetação e densidade urbanística. Com o auxílio de *softwares* específicos, os dados obtidos serão tratados em tabelas, gráficos e mapas, permitindo o diagnóstico, caracterização e posterior identificação das relações de semelhanças entre as áreas analisadas por temperatura. Tal análise permitirá a criação de zonas de similaridade.

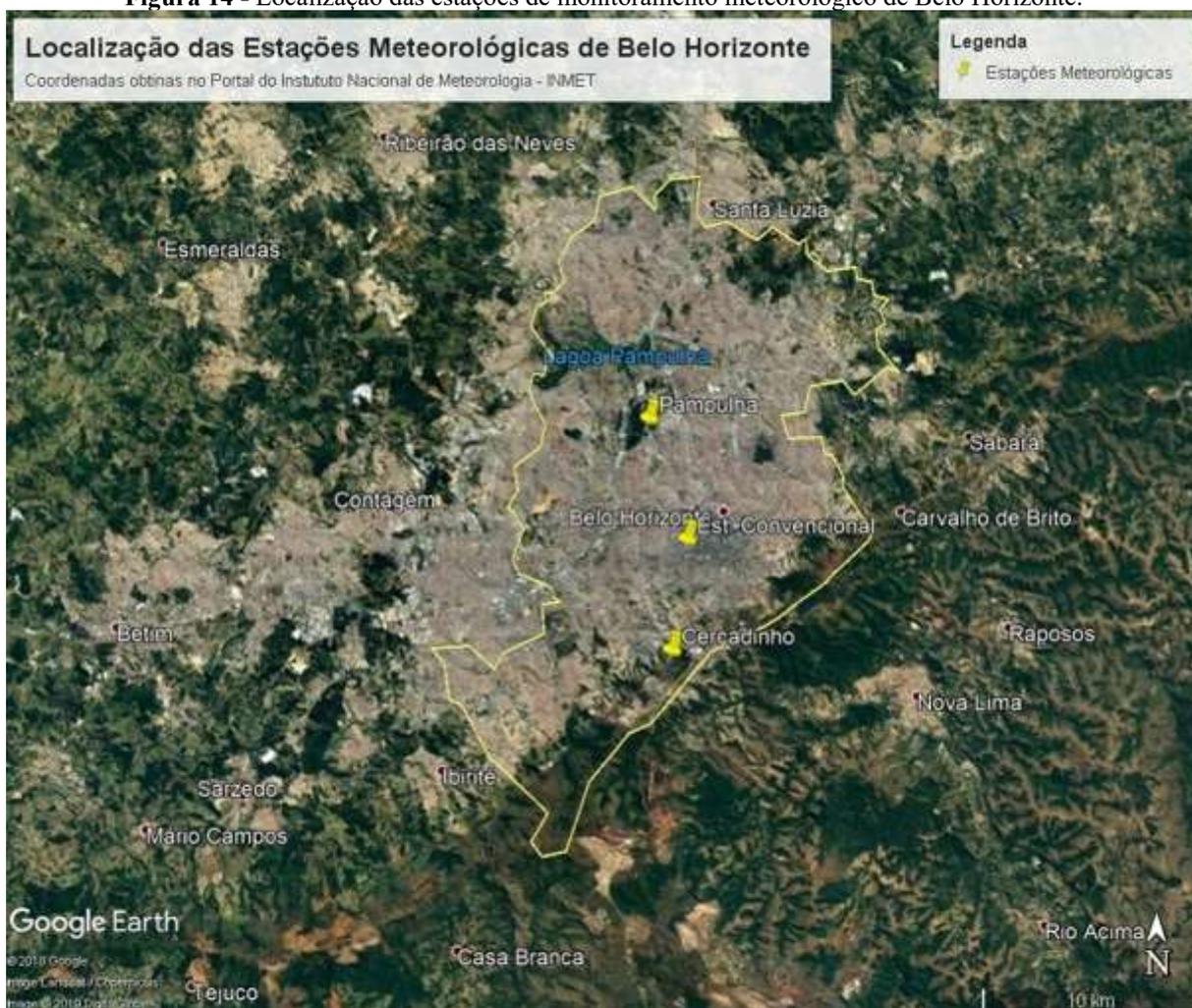
Para cada zona de similaridade serão identificadas as principais causas da elevação da temperatura que se subdividirão em dois grupos: causas urbanas e causas construtivas. Em cada grupo será estudada a proposição de soluções técnicas já consolidadas na literatura, que tenham foco na sustentabilidade e, conseqüentemente, possibilitem microclimas mais amenos.

A partir da apreciação das informações teóricas e empíricas observadas na literatura consultada, subsidiada pela análise de imagens de satélite, da evolução histórica dos parâmetros de temperatura entre 2007 e 2017 e visitas à campo, formularam-se as hipóteses sobre a configuração das ilhas de calor em Belo Horizonte.

4.2 Banco de dados

Foi solicitado ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) os dados meteorológicos das estações automáticas e convencional existentes em Belo Horizonte. As informações das duas estações automáticas Pampulha (A521) e Cercadinho (F501) foram enviadas pela Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET). Já as informações da estação convencional foram obtidas diretamente do portal do INMET na aba de Consulta de Dados da Estação Convencional: BELO HORIZONTE (MG). Na Figura 14 consta a localização geográfica das três estações meteorológicas do município de Belo Horizonte.

Figura 14 - Localização das estações de monitoramento meteorológico de Belo Horizonte.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os dados de temperaturas obtidos das estações automáticas e convencional são datados a partir de janeiro de 2007 até dezembro de 2017. No entanto, para a estação automática de Cercadinho os dados obtidos são datados a partir de janeiro de 2014, início das medições devido a data da sua fundação em 27 de dezembro de 2013.

4.2.1 Estação Convencional de Belo Horizonte

Os dados de temperatura fornecidos pelo INMET para a estação convencional de Belo Horizonte, presente no 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia no bairro Santo Agostinho na zona sul, constam em médias mensais. Na Tabela 1 observa-se os resultados compilados de temperaturas médias mínima, média e média máxima anuais da estação durante o período integral de 2007 a 2017.

Tabela 1 - Compilação dos dados da estação convencional de meteorologia de Belo Horizonte.

ANO	Temperatura Máxima Média (°C)	Temperatura Compensada Média (°C)	Temperatura Mínima Média (°C)
2007	27,9	22,3	18,4
2008	27,3	22,0	18,2
2009	27,7	22,3	18,5
2010	27,5	22,1	17,8
2011	27,2	21,8	17,6
2012	27,4	22,2	18,1
2013	27,1	21,9	17,6
2014	27,8	22,2	17,5
2015	28,4	23,0	18,8
2016	28,0	22,6	17,8
2017	27,4	22,2	18,5

Fonte: Adaptado do INMET.

Diante da Tabela 1 nota-se que o ano com temperaturas mais elevadas foi registrado em 2015 para os três tipos de temperatura apontados. Já durante o ano de 2015, como mostrado na Tabela 2, a temperatura compensada média mais elevada registrada para todo o período foi catalogada em janeiro e outubro de 2015.

Tabela 2 - Temperaturas médias da Estação Convencional de Belo Horizonte para 2015.

Mês	Temperatura Máxima Média (°C)	Temperatura Compensada Média (°C)	Temperatura Mínima Média (°C)
Jan/2015	31,3	25,6	21,4
Fev/2015	28,9	23,9	20,3
Mar/2015	28,7	23,9	20,3
Abr/2015	27,3	22,5	19,3
Mai/2015	24,7	20,0	16,8
Jun/2015	24,5	19,6	15,8
Jul/2015	25,1	20,1	16,0
Ago/2015	26,7	20,8	16,2
Set/2015	30,4	24,3	19,1
Out/2015	32,2	25,6	20,0
Nov/2015	30,6	25,1	20,4
Dez/2015	30,0	24,5	19,6

Fonte: Adaptado do INMET.

4.2.2 Estações Automáticas de Belo Horizonte

Os dados de temperatura fornecidos pelo INMET para as estações automáticas de Belo Horizonte constam como valores horários, ou seja, para cada hora do dia há a temperatura ambiente local máxima, média e mínima na estação. Na Tabela 3 observa-se os resultados

compilados de temperaturas médias mínima, média e médias máxima anuais da estação automática da Pampulha, localizada na região da Pampulha, dentro do campus da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, durante o período integral de 2007 à 2017.

Tabela 3 - Tratamento dos dados da estação automática Pampulha de meteorologia de Belo Horizonte.

ANO	Temperatura Máxima Média (°C)	Temperatura Compensada Média (°C)	Temperatura Mínima Média (°C)
2007	22,5	21,8	21,2
2008	22,3	21,6	21,0
2009	22,6	22,0	21,3
2010	22,5	21,8	21,1
2011	22,2	21,5	20,9
2012	22,5	21,8	21,2
2013	18,3	17,7	17,2
2014	22,8	22,1	21,5
2015	23,4	22,7	22,1
2016	23,0	22,4	21,7
2017	22,4	21,7	21,1

Fonte: Adaptado do INMET.

Diante da Tabela 3 nota-se que o ano com temperaturas mais elevadas foi registrado em 2015 para os três tipos de temperatura apontados. Já durante o ano de 2015, como mostrado na Tabela 4, a temperatura compensada média mais elevada registrada para todo o período, assim como para a estação convencional, foi catalogada em janeiro e outubro de 2015.

Tabela 4 - Temperaturas médias da Estação Automática da Pampulha em Belo Horizonte para 2015

Mês	Temperatura Máxima Média (°C)	Temperatura Compensada Média (°C)	Temperatura Mínima Média (°C)
jan-15	24,5	25,2	25,9
fev-15	22,7	23,4	24,0
mar-15	22,7	23,3	24,0
abr-15	21,5	22,1	22,7
mai-15	19,3	19,8	20,4
jun-15	18,6	19,2	19,8
jul-15	19,2	19,8	20,4
ago-15	20,1	20,8	21,5
set-15	23,6	24,2	24,9
out-15	25,0	25,7	26,4
nov-15	24,4	25,0	25,7
dez-15	23,4	24,0	24,7

Fonte: Adaptado do INMET.

Para a estação automática de Cercadinho, localizada no bairro Buritis na zona oeste de

Belo Horizonte, foi feita a compilação dos dados de temperaturas horárias e elaborada a Tabela 5 com os resultados de temperaturas médias mínima, média e média máxima anuais durante o período de janeiro de 2014 à dezembro de 2017.

Tabela 5 - Tratamento dos dados da estação automática Cercadinho de meteorologia de Belo Horizonte.

ANO	Temperatura Máxima Média (°C)	Temperatura Compensada Média (°C)	Temperatura Mínima Média (°C)
2014	18,9	19,6	20,4
2015	19,6	20,3	21,1
2016	19,4	20,1	20,8
2017	18,7	19,4	20,1

Fonte: Adaptado do INMET.

Diante da Tabela 5 nota-se que o ano com temperaturas mais elevadas também foi registrado em 2015 para os três tipos de temperatura apontados. Já durante o ano de 2015, como mostrado na Tabela 6, a temperatura compensada média mais elevada registrada para todo o período, assim como para a estação convencional, foi catalogada em janeiro e outubro de 2015.

Tabela 6 - Temperaturas médias da Estação Automática de Cercadinho em Belo Horizonte para 2015

Mês	Temperatura Máxima Média (°C)	Temperatura Compensada Média (°C)	Temperatura Mínima Média (°C)
jan-15	21,9	22,8	23,7
fev-15	20,4	21,1	21,8
mar-15	20,3	20,9	21,7
abr-15	19,0	19,6	20,3
mai-15	16,9	17,4	18,0
jun-15	16,6	17,1	17,7
jul-15	16,9	17,6	18,3
ago-15	17,5	18,2	19,0
set-15	20,9	21,7	22,4
out-15	22,1	22,9	23,7
nov-15	21,9	22,5	23,3
dez-15	21,2	22,0	22,8

Fonte: Adaptado do INMET.

Observando a Tabela 1, Tabela 3 e Tabela 5 nota-se que para todas as estações meteorológicas de Belo Horizonte, o ano com temperaturas mais elevadas registrado foi em 2015 para os três tipos de temperatura apontados. Durante o ano de 2015, como mostrado na Tabela 2, Tabela 4 e Tabela 6, a temperatura compensada média mais elevada registrada para todo o período, em todas as estações da cidade, foi catalogada em janeiro e outubro.

Diante disso, devido as elevadas temperaturas apontadas, estabeleceu-se o ano de 2015

como referência para o estudo da temperatura superficial da cidade de Belo Horizonte. Como parâmetro de comparação e evolução das temperaturas, foi estabelecido, também, o ano de 2017, último ano de análise, para estudo das temperaturas superficiais através de imagens de satélite utilizando ferramentas geotecnológicas.

4.3 Geotecnologias

Alguns autores definem as geotecnologias, também conhecidas como ferramentas de geoprocessamento, como sendo o conjunto de técnicas para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Consideram-nas como poderosas ferramentas para tomada de decisões e são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*. De acordo com Rosa (2005), dentre as geotecnologias pode-se destacar os sistemas de informação geográfica, mais conhecidos como SIG ou GIS (*Geographic Information System*), a cartografia digital, o sensoriamento remoto onde trabalha-se com imagens ópticas, de radares e perfis espectrais, sistema de posicionamento global e a topografia.

No mundo das geotecnologias o geoprocessamento e os sistemas de informações geográficas são bastante confundidos. O primeiro é mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, o segundo “processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies” (ROSA, 2005). Mais profundamente, diversos autores citam a definição de Teixeira (1995) em entrevista a Revista FATOR GIS, como melhor definição para o termo SIG: “conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informações derivada de sua aplicação”.

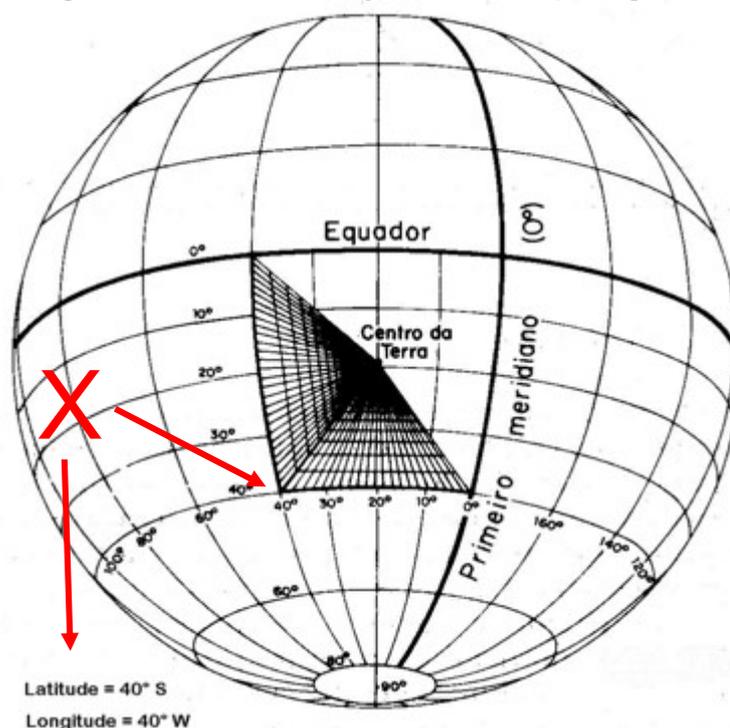
Rosa (2013) expõe que o objetivo geral de um sistema de informação geográfica é possibilitar a integração de informações com aspectos diferentes de uma região em uma única base de dados permitindo assim, a entrada e a combinação de dados distintos e gerando novos tipos de informações como relatórios e documentos gráficos de diversos tipos, etc.

Quando falamos em geoprocessamento, estamos nos referindo a informações temáticas relacionadas à superfície terrestre de uma determinada região, com um sistema de coordenadas, podendo elas serem UTM ou Geográfica. Usualmente, em estudos de pequena escala, onde não há necessidade de muitos detalhes, utiliza-se o sistema de coordenadas geográficas, e em

trabalhos de grande escala, onde necessita-se de maiores detalhes da área estudada, utiliza-se o sistema de coordenadas UTM (ROSA, 2005).

De acordo com Rosa (2013), os sistemas de coordenadas foram criados para determinar a localização precisa de pontos na superfície terrestre. O sistema de coordenadas geográficas é considerado o mais antigo. Os pontos da superfície terrestre são referenciados de acordo com um meridiano e um paralelo. Suas coordenadas são a latitude e a longitude (Figura 15).

Figura 15 - Coordenadas Geográficas: Localização do ponto X.



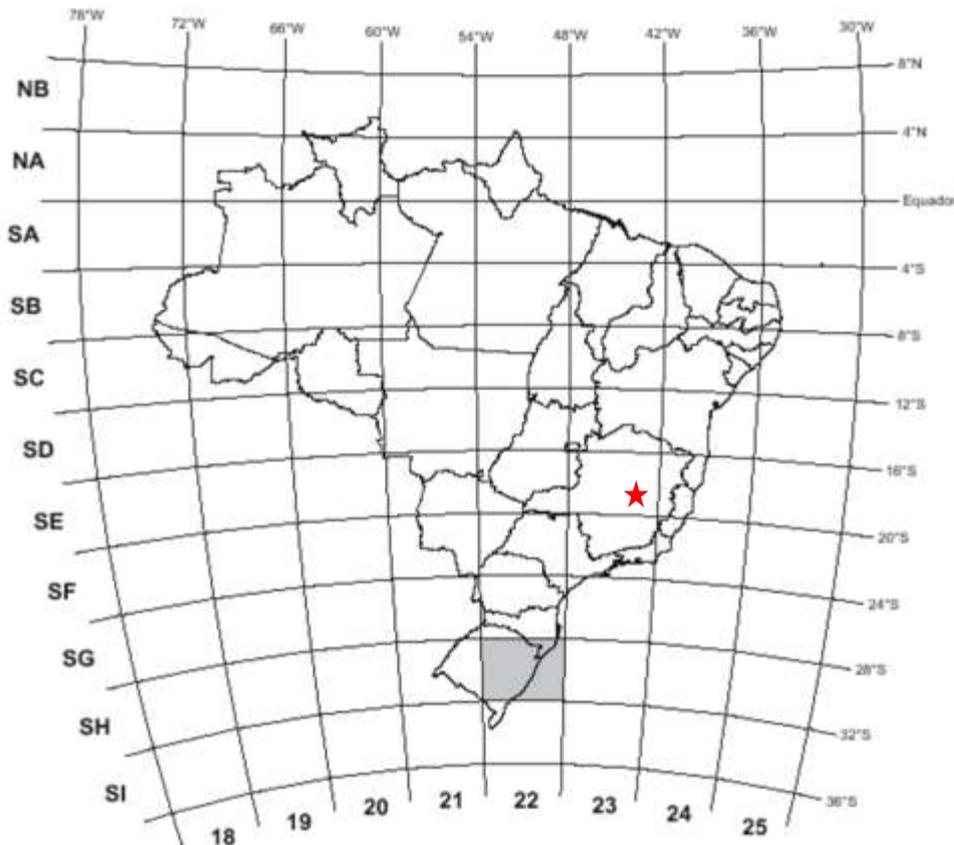
Fonte: ROSA, 2013, p. 26

Segundo Nassel (2011) e Rosa (2013), o Sistema Universal Transversal de Mercator – UTM, combina os conceitos e princípios de referência de grade geográfica e de quadrícula cartográfica. A quadrícula UTM foi constituída dividindo a superfície terrestre em 60 fusos de 6° de longitude cada, numerados de 1 a 60 a partir de Greenwich. Os fusos são limitados ao paralelo de 84°N e 80°S devido as acentuadas deformações para latitudes superiores. Em consequência dessa limitação, em relação a latitude, o globo foi dividido em 40 filas de zona, área entre dois paralelos consecutivos, com a amplitude de 4° cada, identificados pelas letras do alfabeto.

No Brasil, como pode ser visto na Figura 16, podemos encontrar os fusos de numeração 18 a 25 com ordem crescente da esquerda para a direita e as zonas de NB a SI. No entanto,

devido as peculiaridades de seu formato, o Brasil engloba um total de 48 quadrículas UTM e o Estado de Minas Gerais 8 quadrículas UTM. Dentre as 8 quadrículas, a cidade de Belo Horizonte localiza-se no fuso 23 e na zona SE, representado em vermelho na figura abaixo.

Figura 16 - Quadrículas UTM do território brasileiro e Localização de Belo Horizonte



Fonte: ROSA, 2013, p. 29

Ainda de acordo com Rosa (2013) o registro de dados da superfície terrestre a partir de coordenadas UTM é o sistema mais utilizado atualmente por ser considerado o processo relativamente mais simples. No entanto, todos os dados devem ser registrados no mesmo sistema de coordenadas, caso contrário não serão possíveis sobreposições e cruzamentos dos mesmos por meio de um SIG.

4.3.1 Software ArcGIS®

Desenvolvido pela empresa *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), o ArcGIS® é um sistema de informação geográfica. Conjunto de softwares usado para criar, importar, editar, buscar, mapear, analisar e disseminar dados geográficos. Pode operar em diversos setores, auxiliando na gestão de projetos específicos. Ele também permite suportar implementação de um modelo de dados para sistemas de arquivos SGBDs, que inclui um

conjunto de dados SIG, tais como camadas (*layers*), *shapefiles*, imagens e redes triangulares irregulares (*TINs*) (SÁTIRO, 2013).

O *software* possui o formato de armazenamento de dados baseados em arquivos (*Shapefile*), que armazena elementos gráficos e seus atributos sem considerar as relações topológicas; o formato de armazenamento de dados vetoriais baseados em arquivos (*Coverage*), que armazena elementos geográficos e seus atributos com topologia; e o formato *Geodatabase*, que suporta um modelo de integração topológica, base de dados relacionais, organizada em uma hierarquia de objetos armazenados como: *features datasets*, *feature class* e tabelas. Atualmente, os produtos da família *ArcGis®*, subdividem-se em: *ArcGis® Desktop*, *ArcGis® for Móbile*, *ArcGis® for Server (Web)* e *ArcGis® Online* (SÁTIRO, 2013).

O *ArcGis® Desktop* possui as aplicações *ArcCatalog*, *ArcMap* e *ArcToolbox*. O primeiro tem a função de auxiliar na organização e no armazenamento de diversos tipos de dados SIG. Permite a pré-visualização (*Preview*) das informações sobre os arquivos já existentes e o conteúdo contido neles. Permite também, uma visão geral de todos os arquivos salvos e do tipo de conteúdo (*Contents*). Já em relação a ferramenta *ArcMap*, ao anexar um documento, previamente consultado e analisado no *ArcCatalog*, pode-se editar suas informações, utilizar ferramentas de análise de dados, criar outros mapas a partir do mapa que serve como base, delimitar áreas, entre outras operações. Ao acoplar o *ArcMap* à janela de ferramentas do *ArcToolBox* pode-se georreferenciar, converter dados advindos de outros programas, além de muitos outros processos mais avançados (SÁTIRO, 2013).

De acordo com Sático (2013) o “*ArcGis® Mobile* é uma ferramenta de mapeamento em instrumentos móveis como smartphones e tablets, que auxiliam no trabalho de campo, otimizando a transferência de informações em tempo real”. Esta ferramenta amplia o alcance do SIG pois, através dela é possível navegar nos mapas, coletar e divulgar dados e realizar análises em qualquer lugar. A partir do *ArcGis® for Server* pode-se criar, gerenciar e distribuir os serviços SIG na Web, com o intuito de fornecer suporte aos aplicativos de mapeamento do *ArcGis® Desktop*, *ArcGis® Móbile* e Online. Conteúdos elaborados a partir do *ArcGis® Desktop*, podem, ser posteriormente publicados utilizando-se o *ArcGis® for Server* que tornará o conteúdo acessível em qualquer lugar de uma empresa ou na web.

4.4 United States Geological Survey

Serviço Geológico dos Estados Unidos, o *United States Geological Survey* - USGS foi criado em 1879. É a maior agência de mapeamento civil e científico que diariamente desenvolve novos métodos e ferramentas para disponibilizar informações imparciais, relevantes e úteis sobre a Terra e seus processos. O USGS coleta, monitora, analisa e fornece ciência sobre os perigos naturais que ameaçam nossas vidas e meio ambiente, água, energia, minerais, situação dos ecossistemas e do meio ambiente, os impactos das mudanças climáticas e do uso desordenado do solo e outros recursos.

Em parceria com a NASA - *National Aeronautics and Space Administration*, O USGS opera e distribui dados de satélites Landsat. Além de fornecer acesso à arquivos atualizados continuamente com dados de sensoriamento remoto terrestre. A composição de dados do Landsat suporta informações sobre comunidades governamentais, naturais, comerciais, industriais, civis, militares e educacionais em todo o mundo.

4.4.1 Satélite Landsat 8

Através de uma ação conjunta entre o Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS e a Agência Espacial Norte Americana - NASA, o programa Landsat é uma série de missões de satélites de observação da Terra. Iniciado em 1972 com o lançamento do *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-1), mais tarde renomeado Landsat 1, deu-se início aos diversos lançamentos de satélites de observação que, desde então, continuamente adquire imagens espaciais através de dados de sensoriamento remoto (USGS, 2019).

Lançado pela NASA em 11 de fevereiro de 2013 na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia – Estados Unidos, o Landsat-8 foi projetado para oferecer um leque de informações a fim de contribuir substancialmente para o monitoramento de uso e ocupação do solo, geração de índices espectrais e geração de temperatura da superfície. Isto é possível por meio de dois sensores imagiadores: O Operational Land Imager (OLI), com oito bandas espectrais e uma banda pancromática, e o Thermal Infrared Sensor (TIRS), com duas bandas com resolução de pixel correspondente a 100 metros cada, que após tratamento pela USGS, passam a contar com uma resolução de 30 metros (COELHO, 2016).

De acordo com o USGS (2019), as principais características do satélite Landsat-8 estão expostas no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais características do satélite Landsat 8.

Características	Sensores
	- Operational Land Imager (OLI) oito bandas espectrais e uma banda pancromática; - Thermal Infrared Sensor (TIRS) duas bandas infravermelho termal.
Bandas Espectrais / Resolução Espacial	Banda 1 - Visível Ultra-Azul (0.43 - 0.45 μm) 30 m Banda 2 - Visível Azul (0.450 - 0.51 μm) 30 m Banda 3 - Visível Verde (0.53 - 0.59 μm) 30 m Banda 4 - Visível Vermelho (0.64 - 0.67 μm) 30 m Banda 5 - Infravermelho Próximo (0.85 - 0.88 μm) 30 m Banda 6 - Infravermelho Médio/SWIR 1 (1.57 - 1.65 μm) 30 m Banda 7 - Infravermelho Médio/SWIR 2 (2.11 - 2.29 μm) 30 m Banda 8 - Pancromática (PAN) (0.50 - 0.68 μm) 15 m Banda 9 - Cirrus (1.36 - 1.38 μm) 30 m Banda 10 - Infravermelho Termal/TIRS 1 (10.6 - 11.19 μm) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros. Banda 11 - Infravermelho Termal/TIRS 2 (11.5 - 12.51 μm) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros.
Resolução Radiométrica	16 Bits
Projeção das Imagens	UTM, Datum WGS 1984
Formato de entrega das imagens Landsat-8	GeoTiff

Fonte: Adaptado de USGS (2019)

De acordo com Moreira (2009) resolução temporal é a frequência com que o sensor do satélite realiza o imageamento de um mesmo local. O Landsat 8 possui resolução temporal de 16 dias, ou seja, a cada período de 16 dias o satélite realiza uma passagem pela mesma região do planeta (USGS, 2019). O tamanho aproximado da cena é de 170 km norte-sul por 183 km Leste-Oeste (COELHO e CORREA, 2013).

4.4.2 Obtenção das imagens de Satélite

As imagens de satélite utilizadas para a elaboração deste estudo foram obtidas através do Portal do Serviço Geológico dos Estados Unidos, *United States Geological Survey* - USGS. Para a obtenção das imagens nos anos de 2015 e 2017, foi levado em consideração as estações do ano e a boa visibilidade das imagens fornecidas pelo portal. Com isso, foi feito o download de uma imagem de satélite Landsat 8 para cada estação do ano. O Quadro 2 apresenta as principais características das imagens obtidas.

Quadro 2 - Principais características das imagens de satélite obtidas.

Data	Horário de Captura	Estação do Ano	Projeção/Datum/Fuso
03/01/2015	12:57	Verão	UTM/WGS84/23S
27/05/2015	12:56	Outono	
30/07/2015	12:56	Inverno	
02/10/2015	12:57	Primavera	
13/03/2017	12:56	Verão	
01/06/2017	12:56	Outono	

20/08/2017	12:57	Inverno	
07/10/2017	12:57	Primavera	

Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.3 Processamento das imagens de satélite Landsat 8

De acordo com *United States Geological Survey* (2019), o sistema de projeção cartográfica das imagens do satélite Landsat 8 é o Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum WGS 1984 orientado ao Norte. Portanto, vê-se a necessidade de reprojeter as imagens capturadas para a projeção do local onde será realizado o estudo.

Para efetuar as análises de Temperatura da Superfície Terrestre (TST), foi utilizada a banda 10 do sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), que corresponde a faixa infravermelho termal (10.6 - 11.19 μm - micrometro), com resolução espacial de 30 metros por pixel. O processamento e tratamento da imagem, foi realizado com o Sistema de Informação Geográfica ArcMap 10.6.

Para possibilitar a verificação e análise da TST, foi feita a conversão dos parâmetros fixos de níveis de cinza (NC) de radiância para refletância, seguido da conversão da temperatura Kelvin para Celsius na banda 10. Para isso, utilizou-se as equações 1 e 2 cedidas pelo USGS e gerando o *raster* de temperatura da superfície em graus Celsius.

$$\text{Equação 1: } L\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/($\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m}$)

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

Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

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

$$\text{Equação 2: } T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Onde:

T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)

K_2 = Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)

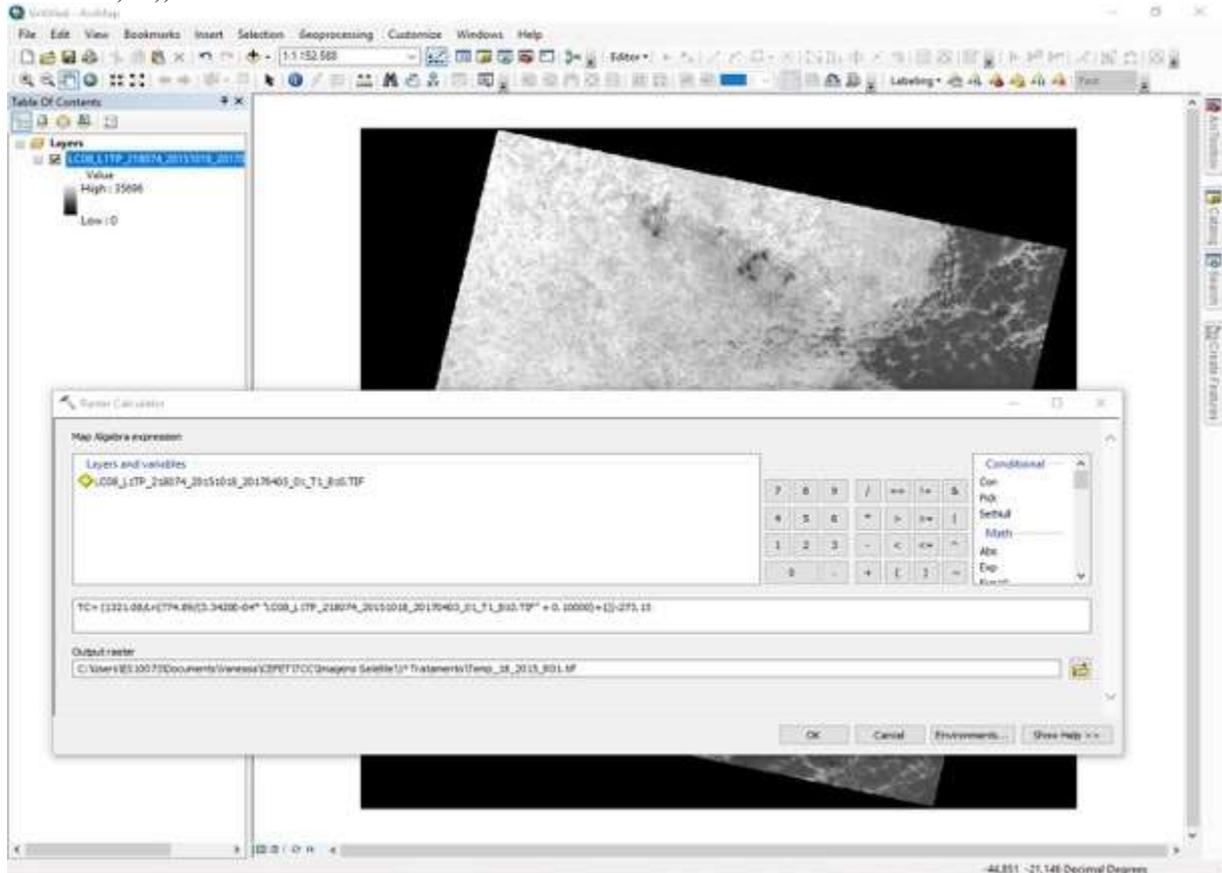
K_1 = Constante de calibração 1 = 774.89 (K)

$L\lambda$ = Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/($\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m}$)

Após este procedimento, foi subtraído o valor de temperatura absoluto 273,15 e gerado o *raster* de temperatura de superfície em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), seguido do recorte da imagem com base no limite da cidade de Belo Horizonte, objeto de estudo. Na Figura 17 é mostrada a captura da tela do ArcMap 10.6 com a imagem da Banda 10 - Infravermelho Termal/TIRS 1 e o

algoritmo criado a partir das fórmulas citadas acima (equações 1, 2 e valor absoluto 273,15) na calculadora *raster* do ArcGIS.

Figura 17 - Captura da tela do ArcGIS 10.6 com a imagem da banda 10 e apresentação da fórmula conjunta das equações 1, 2 e subtração do valor absoluto 273,15 na calculadora *raster* para obtenção da TST em Celsius. Fórmula completa: $TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 * LC08_L1TP_218074_20151018_20170403_01_T1_B10.TIF + 0.10000) + 1)) - 273.15$



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a elaboração do mapa de cores naturais para a verificação da situação atual de habitação da cidade, foi feita a composição da imagem multiespectral RGB das bandas espectrais 4, 3 e 2, respectivamente. Após a criação da imagem, foi realizada a técnica de fusão de imagem *Pan Sharpening* utilizando a banda 8 pancromática do sensor (OLI) para reduzir o tamanho do pixel de 30 metros para 15 metros.

Para auxiliar na análise da temperatura, também foi feita a composição colorida das bandas 5, 4 e 3 (infravermelho próximo, vermelho e verde, respectivamente), a fim de destacar a presença de nuvens e a vegetação em coloração avermelhada. Com o objetivo de melhorar a resolução espacial das imagens, também foi feita fusão desta composição a banda 8, pancromática.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Análise das temperaturas e mapas

Através da análise dos dados obtidos das estações meteorológicas convencional e automáticas de Belo Horizonte, foi possível estabelecer o período de análise das temperaturas de superfície e posteriormente verificar a relação entre as temperaturas do ar e de superfície para os dias selecionados.

Considerando o período mais quente observado nos dados das estações automáticas e convencional, o intervalo escolhido para a análise foi o ano de 2015, onde as temperaturas encontravam-se mais elevadas. Para se obter um parâmetro de comparação da evolução da temperatura, foram utilizadas as imagens referentes ao ano de 2017, último ano do período de análise, correspondentes às mesmas estações do ano.

Vale ressaltar que há diversos fatores que podem influenciar nos resultados obtidos através do tratamento das imagens de satélite. A data e horário de aquisição dos dados, a ocorrência de sombras, tanto de nuvens, como do relevo em relação à angulação solar (azimute), a resolução espacial, espectral e radiométrica do sensor, são agentes importantes e norteadores na obtenção da imagem (PRATES, 2014). Diante disso, neste estudo não foi possível utilizar imagens de mesma data, devido a presença de nuvens e a resolução temporal entre as imagens, sendo esta de 16 dias.

Nesse contexto, através da Tabela 7 observa-se que as temperaturas do ar registradas nos dias 03/01/2015 e 13/03/2017 (verão) foram as mais elevadas, seguidas por 02/10/2015 e 07/10/2017 (primavera), 27/05/2015 e 01/06/2017 (outono) e 30/07/2015 e 20/08/2017 (inverno). O mesmo acontece para as temperaturas médias mensais da estação convencional de Belo Horizonte, como pode ser visto na Tabela 2. No entanto, o mesmo tipo de análise não pode ser feito para as mesmas, devido as temperaturas enviadas pelo Instituto encontrarem apenas como médias mensais.

Tabela 7 – Temperaturas médias compiladas, em °C, das estações automáticas de Belo Horizonte nos dias e horários das imagens de satélite obtidas.

Estação do Ano	Data de Obtenção das imagens	Estação Pampulha	Estação Cercadinho
Verão	03-jan-2015	30,1	29,0
	13-mar-2017	26,6	26,4

Outono	27-mai-2015	22,2	21,2
	01-jun-2017	24,4	22,8
Inverno	30-jul-2015	22,1	21,1
	20-ago-2017	23,2	22,2
Primavera	02-out-2015	27,3	26,7
	07-out-2017	25,2	24,0
Coordenadas UTM WGS84 Fuso 23S	X	607845,4733	608904,6312
	Y	7800978,525	7790337,064
	Altitude	869 m	1214 m

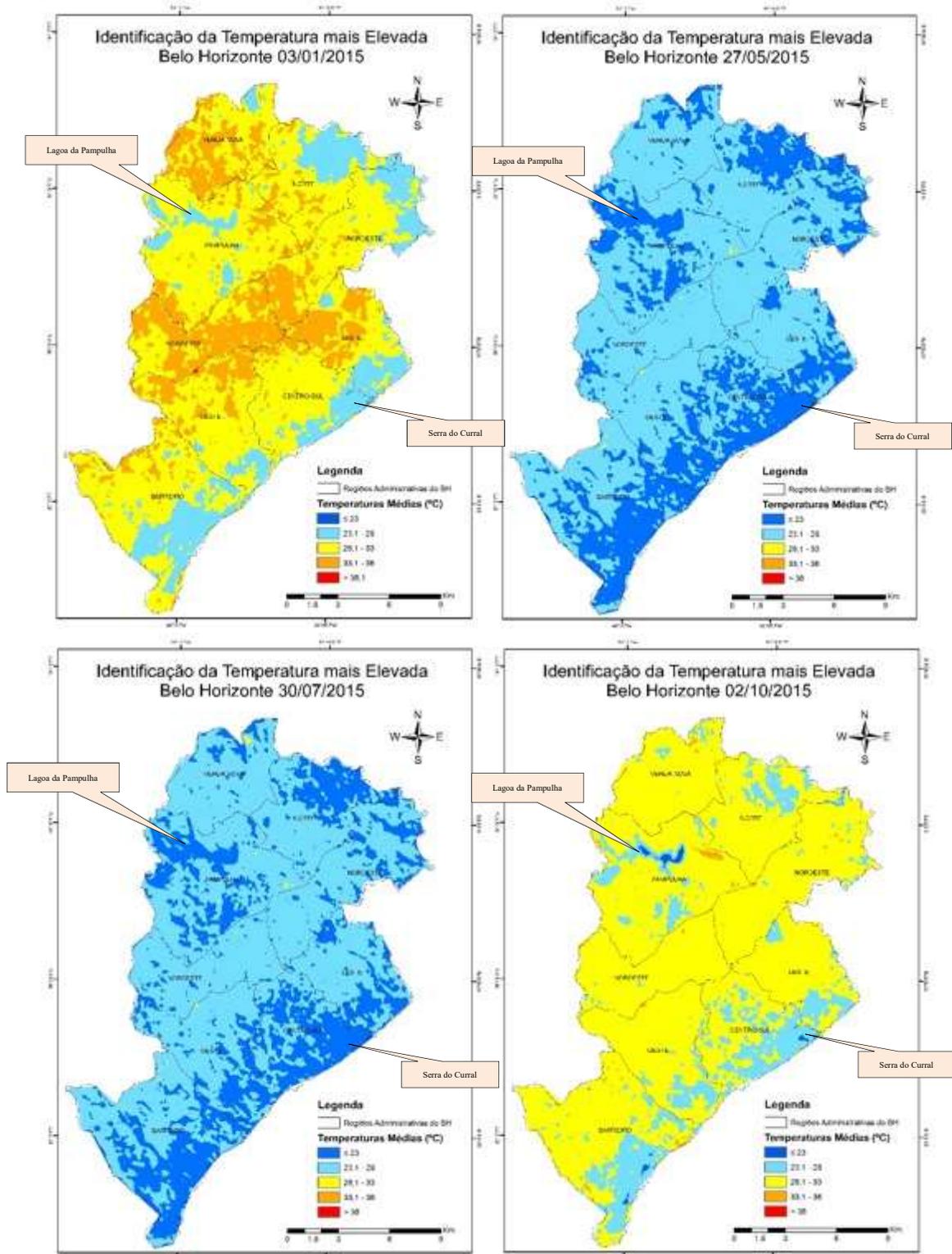
Fonte: Extraído do INMET.

Após a aplicação das técnicas de geoprocessamento e dos cálculos, as imagens foram tratadas adotando-se os mesmos intervalos de temperaturas de superfície, em graus Celsius, a fim de padronizá-las quanto aos valores dos pixels. Desse modo, conforme os valores de máximas e mínimas obtidos, foram criadas cinco classes: ≤ 23 °C; 23,1 a 28 °C; 28,1 a 33°C; 33,1 a 38°C; e > 38 °C.

Nas imagens obtidas pelo sensor do Landsat 8, conforme Figura 18 e Figura 19, observa-se que os maiores registros de temperatura de superfície, assim como nas estações convencional e automáticas, foram na estação do verão, seguido de primavera, inverno e outono, que registrou os menores valores.

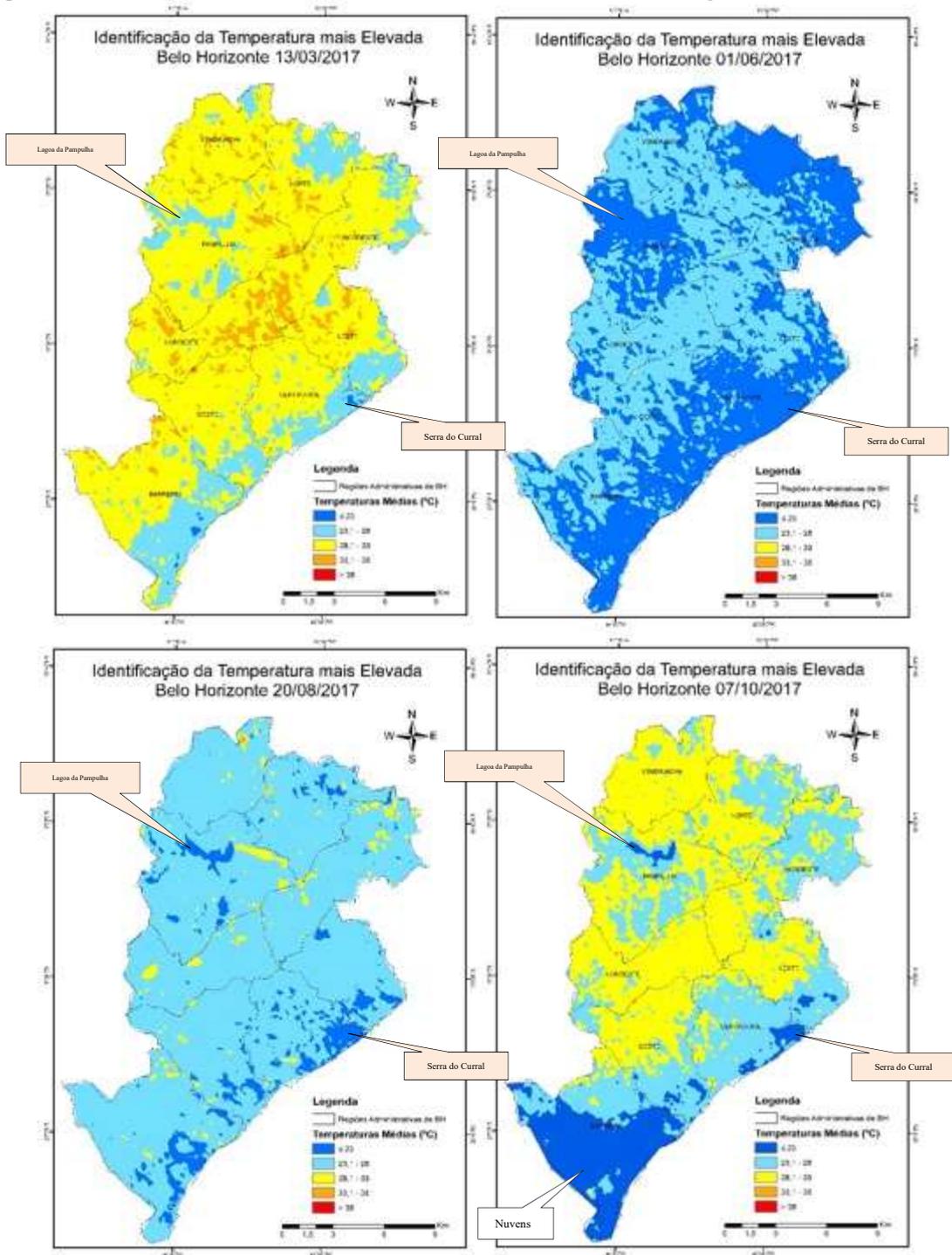
É importante ressaltar, também, a influência que o relevo e a hidrografia exercem sobre a temperatura de superfície. Ao compararmos a Figura 13 com as Figuras 18 e 19, observamos que na região da Serra do Curral, onde a elevação pode chegar a 1500 metros de altura, e a região da Lagoa da Pampulha, há uma zona de conforto térmico exercido pela altitude e a presença de água.

Figura 18 - Temperaturas de superfície de Belo Horizonte, extraídas das imagens de satélite, ano de 2015.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 19 - Temperaturas de superfície de Belo Horizonte, extraídas das imagens de satélite, ano de 2017.

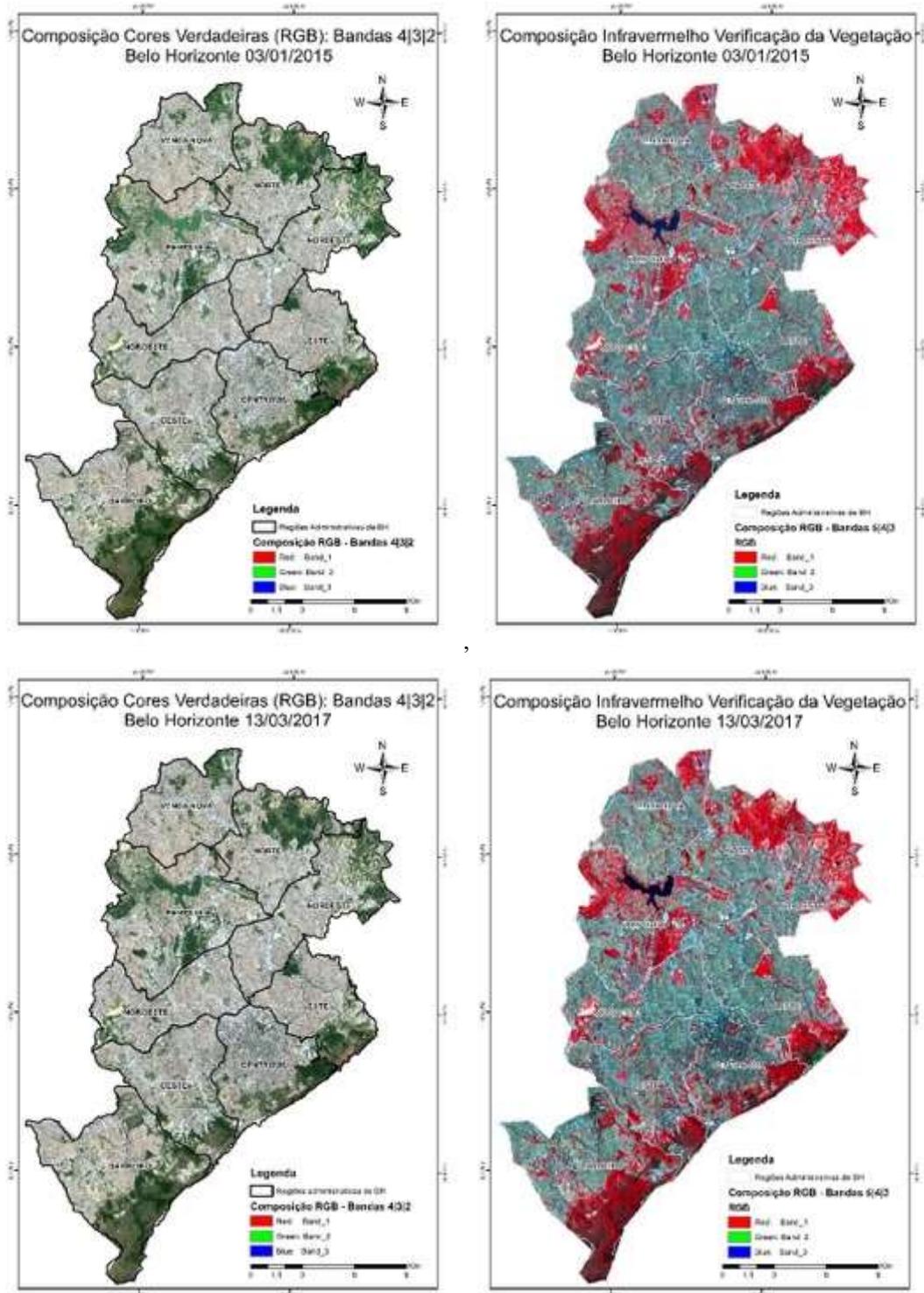


Fonte: Elaborado pela autora.

Importante mencionar que as temperaturas de superfície podem exercer influência sobre a temperatura do ar em virtude da maior proximidade com a superfície. Por exemplo, parques e áreas vegetadas, que tipicamente têm temperaturas de superfície inferiores, contribuem para resfriar a temperatura do ar. Áreas densas e construídas, por outro lado, tipicamente conduzem

a temperaturas atmosféricas mais elevadas, devido a reações do ar com a superfície e a escassez de vegetação.

Figura 20 - Ocupação do solo e situação da vegetação por infravermelho em Belo Horizonte, extraídos das imagens de satélite.



Fonte: Elaborado pela autora.

Prates (2014) expõe que devido a presença de clorofila, na faixa espectral do vermelho, há alta absorção de energia solar, ocasionando baixa reflectância. Já na faixa do infravermelho próximo, essa absorção é baixa e resulta em alta reflectância. Logo, ao combinar as bandas espectrais 5, 4 e 3 que representam a reflectância na região do visível (vermelho), do infravermelho próximo do espectro eletromagnético e o verde, ocorre o realce das áreas de vegetação nas imagens e, quanto maior o contraste maior é o vigor da vegetação, em tons de vermelho, na área imageada.

Nas imagens da Figura 20, a fim de verificar a influencia da ocupação do solo com a temperatura de superfície, foi feita a composição RGB das bandas espectrais 4, 3 e 2, para a elaboração dos mapas de ocupação do solo, e das bandas espectrais 5, 4 e 3, para a verificação da vegetação presente no município. Na análise da vegetação foram levadas em consideração apenas as imagens retiradas no verão de 2015 e 2017, época de temperatura mais elevada no período estudado.

Nota-se que as regiões de ocupações urbanas apresentam-se mais acinzentadas no mapa de infravermelho e as regiões de vegetação em tons avermelhados devido a presença de clorofila. Quanto mais intenso a tonalidade de vermelho, mais intensa é a vegetação no local. Logo, pelas ilustrações apresentadas na Figura 20, infere-se que não houve alteração significativa na composição da vegetação entre o ano de 2015 e 2017. Não obstante, ao comparar a Figura 20 com as Figura 18 e 19, verifica-se que na presença de vegetação, a temperatura ambiente torna-se mais amena que em regiões onde há ocupações urbanas. E, quanto maior a ocupação em um determinado local, mais elevada é a temperatura de superfície.

Diante de todo o cenário apresentado, pode-se correlacionar as temperaturas mais elevadas no ano de 2015 em relação ao ano de 2017 com a presença do efeito El Niño registrado pelo INPE. Esse fenômeno aquece as águas do pacífico central, retirando a umidade do continente e tornando o clima nas regiões próximas seco e quente. No ano de 2017 não houve registros da ação do fenômeno, podendo ser observado temperaturas mais amenas na mesma época do ano (verão). Não obstante, com presença de pequenas ilhas de calor no interior do município

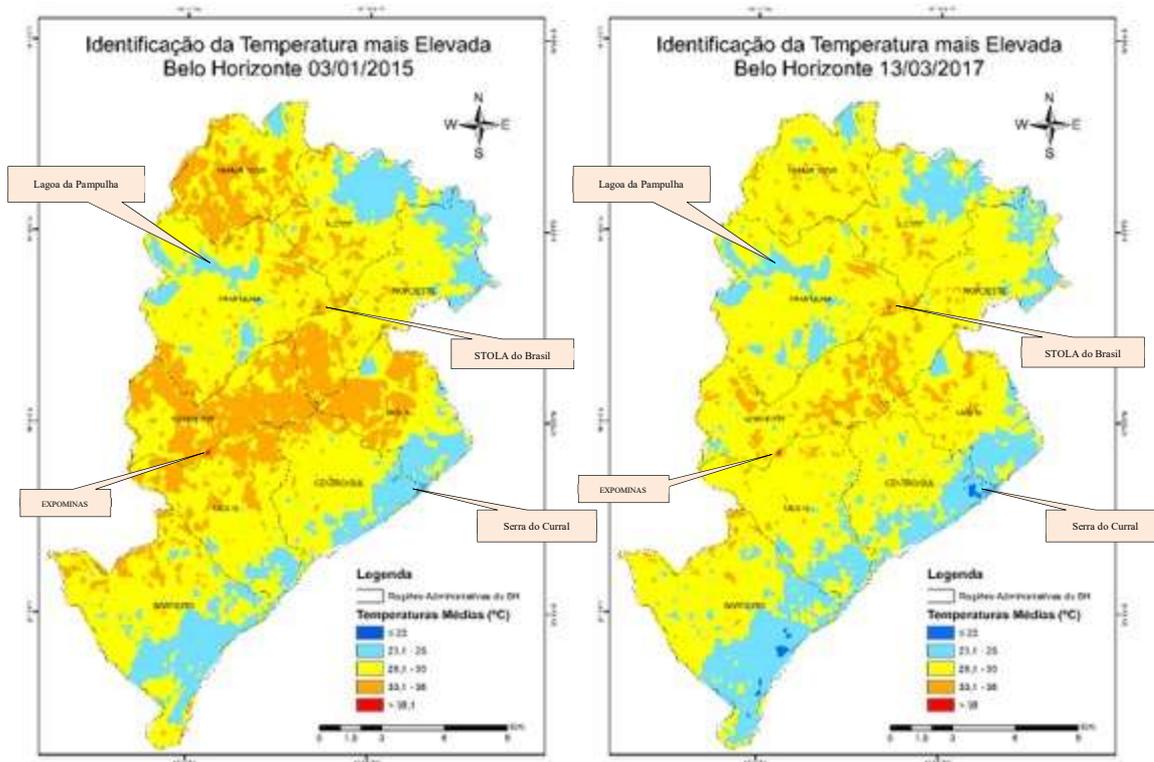
5.2 Ilhas de calor em Belo Horizonte

Por meio da análise das figuras apresentadas, no ano de 2015 foi apresentado um cenário com temperaturas médias mais elevadas, principalmente para a estação do verão. Podendo ser

observado uma concentração maior de ilhas de calor no centro do município, principalmente na região Noroeste. Isso ocorre, como pode ser visto pela Figura 20, nas composições de cores verdadeiras (Bandas 4, 3 e 2), devido a intensidade de concentração de edificações no local e a ausência de vegetação.

Ao se comparar as regiões das ilhas de calor identificadas com a Figura 10 - Zoneamento do Município de Belo Horizonte, observa-se que estão em maiores proporções nas Zonas de Adensamento Restrito – ZAR, locais com elevada ocorrência de aglomerados no município. As ZARs, como visto anteriormente, representam as regiões em que a ocupação é desestimulada pelo Poder Público, pois exigem restrição da ocupação em razão da ausência ou deficiência nas condições de infraestrutura, topográficas ou de articulação viária. Portanto, a proximidade entre as casas, o excesso de impermeabilização do solo e as vias irregulares, que dificultam a passagem de ventos, podem ser consideradas as principais causas da elevação da temperatura no local.

Figura 21 - Pontos de temperaturas extremas na estação verão de 2015 e 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a Figura 21 nota-se nos mapas de TST, tanto no ano de 2015, quanto para o ano de 2017, dois pontos com temperaturas extremas, acima de 38°C. Fazendo uma comparação nas imagens históricas oferecidas pelo software Google Earth para os dois anos analisados, o

local onde apresentou tais temperaturas consta com a mesma estrutura. Na região da Pampulha, no ponto identificado há uma edificação do empreendimento STOLA do Brasil (Figura 22) e, na região Oeste, divisa com a região Noroeste, tem-se as edificações do EXPOMINAS (Figura 23).

Figura 22 - Empreendimento STOLA do Brasil, delimitação do ponto de temperatura extrema.



Fonte: Extraído do Google Earth

Figura 23 - Empreendimento EXPOMINAS, delimitação do ponto de temperatura extrema.



Fonte: Extraído do Google Earth

Essa pontualidade com TST extremas ocorre devido ao tipo de material utilizado na construção do imóvel. Alguns materiais absorvem mais radiação e acumulam mais calor, outros

absorvem menos e refletem mais energia. Esse aspecto está ligado ao índice de refletância do material, também conhecido como albedo. Este consiste na capacidade da superfície dos materiais em refletir o calor absorvido.

Alguns autores relataram que os materiais urbanos com maiores albedos correspondem aos mais claros como os concretos, edificações pintadas de branco e telhados de alta refletividade (principalmente de materiais metálicos), pois estes absorvem menos energia e liberam mais calor para o ambiente.

Ao analisar os aspectos construtivos das edificações da Figura 22 e Figura 23, através de visitas a campo e acesso ao portal das respectivas construtoras responsáveis pelas obras, Gramo Engenharia e Via Engenharia – MG respectivamente, tem-se que o telhado do empreendimento STOLA do Brasil e Expominas são constituídos de materiais metálicos. Portanto apresentam albedo elevado com menor absorção de energia e maior liberação de calor, o que justifica a temperatura extrema exibida na Figura 21.

Autores citam que a análise da variação do albedo é uma ferramenta bastante útil para avaliar a temperatura de ambientes. Ao se correlacionar essa variação com as características dos objetos, como condutividade térmica e calor específico, observa-se que a conversão da radiação incidente em calor condiciona o diferente aquecimento das superfícies em iguais condições de recebimento de energia. Logo, ao se determinar o albedo de um determinado objeto ou superfície, é possível avaliar a proporção de emissão de calor para o ambiente.

5.3 Propostas de Mitigação

Diante dos cenários expostos nos itens 5.1 e 5.2 foi possível propor algumas ferramentas para mitigação do padrão de temperaturas elevadas que vêm se estabelecendo no município de Belo Horizonte e favorecendo o surgimento das ilhas de calor urbanas. Nesta sessão serão citadas, também, propostas de mitigação e ações em execução por parte do poder público para a área de meio ambiente e sustentabilidade, com foco nas mudanças climáticas e a solução dessa problemática.

5.3.1 Construções Sustentáveis

Diante do cenário atual, buscar um melhor ordenamento do ambiente urbano primando pela qualidade de vida da população é trabalhar por uma cidade sustentável. A melhoria de

parâmetros ambientais e construtivos como o índice de ruído e poeira, o descarte de resíduos, eficiência energética, planejamento urbano, disponibilidade hídrica, entre outros aspectos, contribuem para tornar a cidade sustentável (MMA, 2017).

No âmbito da Engenharia Civil, a preocupação ambiental se intensifica devido às mudanças que as obras proporcionam ao meio ambiente, bem como os efeitos que a utilização de recursos naturais não renováveis pode provocar. Na tentativa de minimizar esses impactos ambientais, o homem vem buscando novas ideias e soluções tecnológicas inteligentes para melhor aproveitamento e economia de recursos, a fim de reduzir da poluição e evitar que a Construção Civil, no futuro, seja o pilar de um caos ambiental (GRITTI, 2010).

De acordo com Gritti e Landini (2010) a Construção Sustentável consiste em um sistema construtivo onde se procura atender às necessidades do homem moderno, conciliando a qualidade de vida, a preservação do meio ambiente e a redução dos impactos ambientais. A construção urbana moderna sustentável busca utilizar materiais que preservem o meio ambiente, e proporcionem soluções para os problemas já existentes ou que possam vir a acontecer.

Para uma construção sustentável deve ser analisado o ciclo de vida, tanto do empreendimento, quanto dos materiais que serão utilizados. Com isso, obter-se-á os estudos dos impactos ambientais da construção e de como seus materiais podem vir a ser reaproveitadas ou descartadas posteriormente. A sustentabilidade da obra tem início na concepção do projeto, “que procura utilizar os recursos da natureza, procedendo ao estudo da insolação e do clima da região para a otimização da energia elétrica e conforto ambiental da construção”. Ao mesmo tempo, para escolha dos materiais utilizados, deve-se levar em consideração sua durabilidade, agressividade ao meio ambiente, e se podem ser recicláveis ou reaproveitáveis (GRITTI e LANDINI, 2010).

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura - AsBEA, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS e outras instituições apresentam diversos princípios básicos da construção sustentável, dentre os quais destacam-se:

- O aproveitamento de condições naturais locais;
- A utilização mínima de terreno e sua integração ao ambiente natural;
- Análise do entorno;

- Não provocar ou reduzir impactos no entorno;
- A qualidade ambiental interna e externa da construção;
- A gestão sustentável da implantação da obra.
- O uso de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo.
- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos.
- A introdução de inovações tecnológicas sempre que possível e viável (FIEMG, 2008).

Para isso, a Lei nº 10.175 de 06 de maio de 2011 que institui a Política Municipal de Mitigação dos Efeitos da Mudança Climática em Belo Horizonte em sua Seção V, Capítulo IV que dispõe sobre as estratégias de mitigação e adaptação, tem-se que:

Art. 14 - As edificações novas a serem construídas no Município deverão obedecer a critérios de eficiência energética, sustentabilidade ambiental, qualidade e eficiência de materiais, conforme definições em regulamentos específicos.

Art. 15 - As construções existentes, quando submetidas a projetos de reforma e ampliação, deverão obedecer a critérios de eficiência energética, arquitetura sustentável e sustentabilidade de materiais, conforme definições em regulamentos específicos.

Art. 16 - O poder público municipal deverá introduzir os conceitos de eficiência energética e ampliação de áreas verdes nas edificações de habitação popular por ele desenvolvidas.

Recentemente a arquitetura e construção civil estão sendo desafiadas ao se tratar de edifícios e obras civis já estabelecidas, que não foram construídas em padrões sustentáveis, atendendo, exclusivamente, às necessidades da época de construção. A necessidade de se dar novos usos a esses tipos de construções e de aproveitar da melhor forma possível espaços e materiais já consolidados, nasceu o conceito de *retrofit*. O termo *retrofit* veio da junção das palavras "retro", que em latim significa "para trás", e do inglês "*fit*", que significa adaptação ou ajuste (CAMPOS, 2014).

5.3.2 Ferramentas Urbanísticas

Desde a década de 1960, quando se inicializaram as atividades que visavam a preservação ambiental, o homem, como ser intelectual, começou a perceber a necessidade não só de preservar o que restou dos recursos naturais, como também, tentar minimizar e restaurar de alguma forma os impactos já gerados pela atuação do homem na natureza. Preocupado com os problemas ambientais, degradações florestais, catástrofes e impactos ecológicos, a sociedade inicia uma busca por meios e formas de ensino da conscientização de uma sociedade bastante consumidora pouco conhecedora dos efeitos que o planeta sofre. Com isso, inicia-se

paralelamente a essa tentativa de preservação e recuperação do espaço em que vivemos um processo de educação e transmissão de metodologias do ensino ambiental (FRANÇA, 2012).

Na busca por novas alternativas de preservação e restauração de ambientes naturais, o homem contemporâneo encontra opções viáveis e agradáveis a uma sociedade, dentre outras temos alternativas edílicas e urbanas como o telhado verde, a substituição de materiais tradicionais por materiais sustentáveis, que não afetem de maneira negativa o meio ambiente e técnicas de arborização dos centros urbanos através do plantio de mudas isoladas ou a criação de parques municipais.

Telhado verde

De acordo com França (2012) essa técnica se baseia na aplicação de uma cobertura vegetal sobre telhados ou lajes de construções convencionais consolidadas ou não, inserindo-se em um rol de iniciativas de minimização temperatura resultante da aplicação de vegetação sobre a cobertura que, ao realizar o processo da fotossíntese, favorece a purificação do ar ao redor da construção. Além de outros benefícios do telhado verde, caracteriza-se o processo de isolamento termoacústico diminuindo altas frequências sonoras dentro de edifícios.

Gritti e Landini (2010) apontam que o telhado verde pode ser habitável ou apenas proporcionar valores de conforto térmico à construção, podendo também ser adaptado em telhados tradicionais já existentes. Pode-se considerar que o telhado verde, ou jardim do teto, tem vida própria, devido aos pássaros e a bela biodiversidade animal de pequeno porte que são atraídos. Sua instalação trás, também, benefícios estéticos, terapêuticos, econômicos e ambientais como proporcionar o aumento da biodiversidade e a diminuição da poluição atmosférica, além do seu potencial em reter a água que pode ser reutilizada (SILVA, 2011).

Um dos benefícios econômicos é o de proteger a laje, aumentando a vida útil da mesma e economizando com reparos. O segundo benefício econômico seria o do resfriamento do edifício, diminuindo gastos com reguladores de temperatura, como ar-condicionado e ventilador. Para uma implantação eficiente de um telhado verde, o tipo de laje onde o sistema será construído deverá ser avaliada, a fim de determinar o tipo de telhado mais conveniente para instalação. A Quadro 3 mostra os diferentes tipos de telhado verde com seus usos e necessidade de manutenção.

Quadro 3 - Características dos tipos de telhados

Itens	Telhado Verde Extensivo	Telhado Verde Semi-intensivo	Telhado Verde Intensivo
Manutenção	Baixa	Periódica	Elevada
Irrigação	Não necessária	Periódica	Regularmente
Plantas	Sedum, Ervas e gramíneas	Gramas, Ervas e Arbustos	Gramado, Arbustos e Árvores
Altura do sistema	60 a 200mm	120 a 250mm	150 a 400mm
Peso	60 a 150kg/m ²	120 a 200kg/m ²	180 a 400kg/m ²
Custos	Baixo	Médio	Elevado
Uso	Camada de Proteção Ecológica	Projetado par ser um telhado verde	Parque igual a um jardim

Fonte: Adaptado de Igra-Wold (2011)

A Figura 24 nos mostra que os telhados verdes devem ser compostos por diferentes camadas, conforme sua estrutura e necessidade. Deve-se, também, estar atento, à sua inclinação e estrutura, para avaliar sua capacidade de suportar carga extra. A camada de impermeabilização tem a finalidade de impedir a infiltração de água na telha e podem ser utilizados filme plástico, mistura de água cimento e látex ou sika, manta asfáltica e outros produtos comerciais, além de produtos químicos ante raiz.

A camada de isolamento térmico é facultativa, pois alguns trabalhos apontam que o próprio telhado verde já pode funcionar eficientemente para o conforto térmico das construções. A camada de drenagem é a responsável pela regulação da água, podendo utilizar diversos materiais de densidades variáveis de acordo com o projeto. Na camada de solo e substrato encontram-se os nutrientes que dão suporte à vegetação, retendo e absorvendo água. O tipo de substrato, bem como a altura do mesmo, varia conforme a vegetação escolhida e o tipo de telhado. Em se tratando de telhados extensivos, normalmente a altura do substrato será de 5 a 10 cm e acima dessa espessura aumenta o risco de erosão do solo e substrato. Por último, temos a camada de vegetação, que consiste na cobertura vegetal propriamente dita e que vai depender do tipo de telhado verde proposto. Nos telhados extensivos as espécies que podem ser utilizadas apresentam maior resistência ao estresse hídrico e menor taxa de crescimento vegetativo demandando baixa manutenção.

Figura 24 - Estrutura de um telhado verde.



Fonte: OLIVEIRA, 2009

Materiais sustentáveis

A especificação de um novo material de construção é uma ação de grande responsabilidade, pois além do desempenho, devem ser considerados os consequentes impactos ambientais, econômicos e sociais. A extração de matéria prima e o consumo de recursos básicos como água e energia para processamento de novos produtos são considerados responsáveis por alguns dos maiores impactos ambientais causados na atualidade. Portanto vê-se a necessidade da realização de projetos concebidos com estratégias sustentáveis e a escolha de produtos adequados para a mitigação ou redução desses impactos. Nos processos construtivos, devem ser incorporados três passos básicos: a pesquisa, a avaliação e a seleção adequada de materiais. A seleção dos materiais deve ser baseada em seu desempenho ambiental, sua vida útil e na saúde dos usuários (GODOI, 2012).

Dalvi (2011) apresenta outras recomendações complementares para a escolha de materiais alicerçados nos conceitos de sustentabilidade como:

- Disponibilidade de mão-de-obra local: profissionais técnicos capacitados;
- Envolver, cada vez mais, os moradores na tomada de decisões referentes à melhoria e/ou mudança em suas habitações. Apresentar as possibilidades de materiais a serem

usados dando prioridade para materiais ambientalmente corretos, como por exemplo, os recicláveis e reaproveitáveis;

- Fazer uso de produtos e tecnologias sustentáveis durante as diversas etapas da obra, evitando materiais com agentes contaminantes;
- Promover palestras e reuniões voltadas à postura e conscientização ambiental, relacionando cada material a possíveis problemas ambientais ou escolhas eficientes, no contexto em que se insere.

No intuito de favorecer a economia local e reduzir a emissão de poluentes, o projetista deve levar em consideração em seu projeto a aquisição de produtos e materiais fabricados na região da construção, além de optar por produtos reciclados, produtos fabricados com materiais renováveis, como bambu e eucalipto, e a susceptibilidade do material em emitir algum tipo de voláteis prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana (GODOI, 2012).

Visando o desempenho ambiental, um material sustentável apresenta o melhor desempenho ao longo de seu ciclo de vida, com função, qualidade e nível de satisfação igual, ou melhor, se comparado com um produto-padrão. Para se determinar qual seria o padrão, as certificações são consideradas boas referências, uma vez que, os materiais certificados já foram testados e passaram, teoricamente, por rigorosas análises. No entanto, verifica-se que no Brasil, ainda são poucas as iniciativas relacionadas à certificação, podendo-se citar a certificação em relação à conformidade do material (DALVI, 2011).

Arborização

De acordo com Loboda e Angelis (2005), a maioria das cidades brasileiras passam ou já passaram por um período de acentuada urbanização, fato este que reflete negativamente na qualidade de vida de seus moradores. A falta de planejamento é considerada um agravante para as questões ambientais. Além de causar o empobrecimento da paisagem urbana, são inúmeros e de diferentes amplitudes os problemas que podem ocorrer, em virtude da interdependência dos múltiplos subsistemas que coexistem numa cidade.

A qualidade de vida urbana está diretamente atrelada a vários fatores. No caso ambiental, as áreas verdes públicas constituem-se elementos imprescindíveis para o bem-estar da população, pois influencia diretamente na saúde física e mental. Recentemente a percepção

ambiental ganha status e passa a ser materializada na produção de praças e parques públicos nos centros urbanos (LOBODA & ANGELIS, 2005).

Dante e Souza (2004) apontam que a arborização de ruas e avenidas no Brasil é uma prática relativamente nova em comparação aos países europeus, tendo-se iniciado aqui há pouco mais de 120 anos. Considera-se que a arborização é fator determinante da salubridade ambiental, pois exerce influência direta sobre o bem-estar do homem, em virtude dos múltiplos benefícios que proporciona ao meio. Além de contribuir à estabilização climática, embeleza os centros urbanos, fornece abrigo e alimento à fauna e proporciona sombra e lazer nas praças, parques e jardins, ruas e avenidas de nossas cidades.

Essa ferramenta constitui-se em eficaz filtro de ar e de ruídos, exercendo ação purificadora por fixação de poeiras, partículas residuais e gases tóxicos, proporcionando a depuração de microrganismos e a reciclagem do ar através da fotossíntese. Exerce ainda influência no balanço hídrico, atenua a temperatura e luminosidade e amortiza o impacto das chuvas prevenindo enchentes e deslizamentos de encostas. (DANTAS & SOUZA, 2004)

5.2.3 Iniciativas de Melhorias

Sustentabilidade em Belo Horizonte

Através do Decreto nº 10.279 de 29 de junho de 2000, a prefeitura de Belo Horizonte institui o Programa Agenda 21 – BH e cria o grupo executivo Agenda 21 – BH. Com a finalidade de implementar ações de desenvolvimento econômico, social e ambiental integrados, este decreto visa o desenvolvimento sustentável do Município.

De acordo com Mota (2016) a Prefeitura de Belo Horizonte, juntamente com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente desenvolveu atividades educativas por meio da Agenda 21 com o intuito de transferir o conhecimento, o debate e a busca encaminhada das questões socioambientais. Com a proposta de tornar-se a capital brasileira referência em sustentabilidade, foi lançado a Certificação em Sustentabilidade Ambiental com o nome de “Selo BH Sustentável”. Instituído pela Deliberação Normativa COMAM nº 66/2009 e lançado em 2011 através da Portaria SMMA nº 06 de 02 de maio de 2012, o Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental tem como objetivo contribuir para a melhoria do clima em Belo Horizonte e tem como meta “promover a redução do consumo de água e energia, a redução/reciclagem dos resíduos sólidos e emissões de gases de efeito estufa”.

Com o estabelecimento de medidas sustentáveis, combate às mudanças climáticas e a gestão de gases do efeito estufa no município de Belo Horizonte após a sanção da Deliberação Normativa nº 66 de 29 de dezembro de 2009 e com o ‘Selo BH SUSTENTÁVEL’ da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, o Conselho Municipal do Meio Ambiente (COMAM) instituiu o Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental com foco em empreendimentos públicos e privados no Município de Belo Horizonte, onde a Prefeitura de Belo Horizonte estimula o desenvolvimento de práticas sustentáveis de produção.

Este Programa tem por finalidade estimular a prática de processos sustentáveis no que diz respeito aos efluentes gerados em todos os seus estados físicos, ao seu tratamento e/ou reuso, à eficiência do consumo de água e energia e aos materiais de construção utilizados no empreendimento. Com isso, a Prefeitura de Belo Horizonte, através do Decreto Municipal nº 12.362 de 03 de maio de 2006, preocupada em estabelecer políticas locais de mitigação e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas, cria o Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência – CMMCE.

O CMMCE é um órgão colegiado e consultivo, que tem o objetivo de apoiar a implementação da política municipal da Cidade de Belo Horizonte para as mudanças climáticas, atuando na articulação das políticas públicas e da iniciativa privada. É formado por representantes do Poder Público Municipal e Estadual, da sociedade civil, de organizações não-governamentais e do setor empresarial e acadêmico, o que garante a legitimidade da participação da população em várias decisões relacionadas à busca da sustentabilidade ambiental no Município (PBH, 2018).

De acordo com o Decreto, quando relacionado às “Mudanças Climáticas” e “Ecoeficiência”, o CMMCE deve contemplar as medidas:

- I. uso de fontes renováveis de energia;
- II. aproveitamento do biogás emitido pelos aterros sanitários;
- III. melhoria da eficiência energética e uso racional de energia;
- IV. promoção da redução, reutilização e reciclagem de resíduos;
- V. ampliação e adequada manutenção das áreas verdes e arborização de vias públicas;
- VI. estímulo às iniciativas que visem multiplicar as informações atinentes às mudanças climáticas, tais como publicações, páginas na internet, cursos, seminários, peças publicitárias e outras formas de divulgação do assunto;
- VII. estímulo e participação em estudos e pesquisas, em parceria com instituições de ensino, organizações não-governamentais e associações de municípios, visando a redução de emissão de gases causadores do efeito estufa;
- VIII. realizar estudos para implantação de qualidade ambiental no Município, e estimular o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat do Ministério das Cidades;

- IX. estabelecer os objetivos e/ou procedimentos do Comitê Municipal de Mudanças Climáticas quanto ao tema "Ecoeficiência", a partir de debates, seminários e conferências;

De acordo com a Prefeitura de Belo Horizonte (2018), através dos instrumentos supracitados, a SMMA, em parceria com as escolas, academias, movimentos sociais e ONGs, “utilizará de instrumentos e metodologias técnicas que analisem e avaliem os impactos sinérgicos e cumulativos sobre o ambiente, discutindo intervenções urbanísticas e qualificação de projetos sustentáveis, propondo utilização de materiais de baixo impacto ambiental, edificações de baixo consumo de energia e racionalidade operacional”. A meta é melhorar, qualitativa e quantitativamente, as áreas verdes, parques e praças, através do planejamento de corredores ecológicos urbanos, integrados a parques lineares, áreas de preservação e de risco, às nascentes, córregos e ribeirões, em que a participação das comunidades será incentivada e valorizada.

Política Municipal de Mitigação dos Efeitos da Mudança Climática

Com o intuito de assegurar a participação de Belo Horizonte junto aos propósitos da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. A Lei nº 10.175, de 06 de maio de 2011, foi sancionada com o objetivo de reduzir à 30% (trinta por cento) as emissões antrópicas agregadas oriundas do Município, e estabilizar as concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera à níveis não perigosos ao sistema climático. A fim de potencializar a resiliência do ecossistema à mudança do clima e assegurar a produção de alimentos, bem como permitir que o desenvolvimento econômico prossiga de maneira sustentável.

Para a consecução de seu objetivo, foram estabelecidos os princípios da prevenção, precaução, responsabilidade do poluidor e do usuário, apoio ao protetor e responsabilização comum, abordagem holística, direito de acesso à informação e internalização no âmbito dos empreendimentos, dos seus custos sociais e ambientais. Com isso, a partir dessa lei, ficou estabelecido que, anualmente, o Executivo deve elaborar e divulgar relatórios parciais sobre os resultados observados no estudo climático e a relação dos mesmos com as metas propostas pelo Protocolo de Quioto.

Para que seu objetivo seja alcançado, na Lei foram propostas diretrizes, estratégias de mitigação e adaptação a serem seguidas pelo município e os instrumentos que poderão ser utilizados pelos responsáveis de cada setor. As reformas propostas englobam os seguimentos de transporte, energia, gerenciamento de resíduos, saúde, construção e uso do solo.

No seguimento mobilidade urbana foram propostas medidas com foco na racionalização e redistribuição da demanda pelo espaço viário. Isto através da implementação de infraestruturas e medidas operacionais que visam melhorias na fluidez do tráfego e de pessoas com a diminuição do tempo gasto em deslocamentos. Para isso, foi instituído, também, a necessidade de investimentos em transportes públicos e utilizadores de combustíveis renováveis.

Já no setor energético, ficou estabelecido que o poder público municipal deve favorecer a geração de energia limpa e a utilização de produtos e processos eficientes e sustentáveis. Para isso, é permitido ao município a criação de incentivos fiscais e financeiros às empresas públicas e privadas para a geração e uso de energia advindas de fontes renováveis e o subsídio de pesquisas relacionadas à eficiência energética.

As medidas a serem tomadas no gerenciamento de resíduos englobam a política dos 3 R's da sustentabilidade. Estes representam o conceito de reduzir, reutilizar e reciclar através da elaboração de medidas para minimizar a geração de resíduos e efluentes; reciclagem ou reuso de águas pluviais, resíduos urbanos, esgotos domésticos e efluentes industriais. Conforme a Lei, o tratamento e disposição final de resíduos deve ser orientado para a preservação das condições sanitárias e redução das emissões de gases de efeito estufa.

Em relação a saúde fica estabelecido que o Executivo deve investigar e monitorar os fatores climáticos que podem proporcionar algum risco à vida e à saúde, implementar medidas de prevenção e tratamento a fim de evitar ou minimizar impactos sobre a saúde pública. Isto através de pesquisas, aperfeiçoamento de programas e campanhas com o intuito de instruir a população e defesa civil a fim de criar respostas rápidas a qualquer sinal de alteração da saúde decorrente das mudanças climáticas.

Fica estabelecido que as ampliações e novas edificações dentro do Município deverão obedecer a critérios de eficiência energética, sustentabilidade ambiental, qualidade e eficiência de materiais conforme definições em regulamentos específicos. Sendo a introdução dos conceitos de eficiência energética e a ampliação de áreas verdes nas edificações de habitação popular obrigação poder público municipal.

Com relação às melhorias no zoneamento, uso e ocupação do solo, têm-se criação de normas de planejamento urbano para a redução dos deslocamentos e aproveitamento do solo de

forma equilibrada, de modo a evitar a ociosidade e a sobrecarga no meio ambiente, além de otimizar os investimentos públicos. A arborização das vias públicas e a requalificação dos passeios públicos, com vistas a ampliar sua área permeável, também são citados como meios de consecução dos objetivos desta Lei.

Situação atual do Município

Diante das melhorias realizadas no município, de acordo com o portal da Prefeitura de Belo Horizonte (2019) a cidade de Belo Horizonte foi eleita em junho de 2017, pelo terceiro ano consecutivo, referência em sustentabilidade e meio ambiente devido ao novo planejamento estratégico contemplando o desenvolvimento de projetos urbanos integrados e sustentáveis. O uso de energia renovável e os elevados índices de saneamento e gerenciamento de resíduos também foram pontos importantes para o recebimento do prêmio. A capital é a única cidade do Brasil que possui uma política completa de enfrentamento às mudanças climáticas de reconhecimento internacional (PBH, 2019a).

No que diz respeito às áreas verdes do município, Belo Horizonte continua com o título de Cidade Jardim. De acordo com o IBGE (2010) BH é a terceira cidade mais arborizada do Brasil com índice 50% maior do que o indicado pela Organização Mundial de Saúde (OMS). A cidade possui 73 parques municipais e 790 praças públicas. Além de investir no plantio de árvores, a fim de aumentar a cobertura vegetal e contribuir para a melhoria do microclima na cidade, são realizadas ações de incentivo à preservação, como a criação de Reservas Particulares Ecológicas (RPEs) e de corredores ecológicos na cidade, aumentando as áreas verdes protegidas (PBH, 2019a).

A cidade ainda tem o reconhecimento de ser a Capital Solar do Brasil. Referência nacional na aplicação do coletor solar para aquecimento de água e produção de energia, destaque mundial por seu alto número de edificações existentes com a aplicação da tecnologia (PBH, 2019b). O Estádio Governador Magalhães Pinto, mais conhecido como Mineirão, é coberto com células fotovoltaicas que geram energia suficiente para se sustentar e até mesmo revender o excesso de eletricidade produzida. Belo Horizonte é a “única capital do país a ter 100% dos semáforos com lâmpadas LED. A conversão em lâmpadas LED reduziu o consumo de energia em 87% e os custos de manutenção em 84%” (PBH, 2019a).

6. CONCLUSÃO

Os objetivos propostos por esta pesquisa foram atingidos, visto que através da ferramenta de geoprocessamento ArcMap 10.6 foi possível mapear as possíveis ilhas de calor da cidade de Belo Horizonte, além de identificar os pontos de temperaturas extremas existentes no município. A partir disso, com o auxílio do software GoogleEarth, dos mapas gerados a partir das imagens do satélite Landsat 8 e visitas em campo, as áreas de temperaturas elevadas foram caracterizadas e diagnosticadas através de parâmetros físico-geográficos, urbanos e construtivos.

Levando em consideração os aspectos construtivos de Belo Horizonte e o excesso de habitantes no decorrer dos anos, intensificado com o êxodo rural ocorrido a partir da década de 50, resultou no crescimento desordenado do município com elevados índices de impermeabilização do solo, verticalização da cidade e o surgimento de aglomerados. A falta de planejamento durante esse processo, somado ao tipo de material empregado nas construções, foram fatores determinantes para o aumento de temperatura na cidade. Diante disso, e com o auxílio das técnicas de geoprocessamento aplicadas, foi possível apontar as principais causas da elevação da temperatura na área de estudo e identificar soluções técnicas sustentáveis para a minimização dos focos de calor a partir de ferramentas urbanísticas e edáficas.

Através dessa pesquisa observa-se a necessidade de executar mudanças nos sistemas urbanísticos, visto que a situação ambiental nas cidades brasileiras é crítica e a pressão por parte da sociedade e das comunidades mundiais para mudança é grande. A aplicação de conceitos de construção sustentável possui aspectos viáveis economicamente e tecnicamente tanto na fase de projeto e construção quanto na correção de construções já consolidadas.

Não obstante, há um grande desafio para se aplicar modificações sustentáveis em construções já consolidadas devido a disponibilidade financeira e a resistência dos proprietários. Para isso, há uma necessidade de apresentar dados concretos da situação ambiental, tanto econômicos quanto de qualidade de vida, afim de sensibilizar a população sobre a problemática levantada. A partir das evidências mostradas nesse estudo, constata-se a necessidade de mudanças na forma como os países se desenvolvem. A aplicação do desenvolvimento sustentável no cotidiano da população de forma educativa e técnica visa suprir parte dessa demanda.

Diante desse cenário, o poder público municipal, com o apoio das esferas estaduais e federais, sancionou políticas públicas a fim de nortear a gestão e planejamento do município e orientar a população sobre as áreas próprias e impróprias de construção. Como é o caso da Lei nº 7166 de 1996, que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município de Belo Horizonte. Nesse contexto, a metodologia utilizada nesse trabalho, juntamente com as iniciativas de melhorias apontadas, torna-se uma ferramenta importante para identificação das áreas de implantação das medidas mitigadoras propostas.

Tendo como base o presente trabalho, conclui-se que a utilização de geotecnologias para estudo do clima é uma ferramenta viável e eficiente, pois proporciona uma visualização abrangente com rápida representação das informações coletadas, contribui na compreensão da dinâmica climática operante em microclimas locais e auxilia o pesquisador nas suas análises e na tomada de decisão. Com isso, é possível determinar, também, as regiões mais indicadas para a implantação de telhados verdes, instalação de parques, praças e arborização.

No entanto, a escala adotada nesse estudo não permite uma visão detalhada das áreas sob influência das ilhas de calor urbano identificadas. Apesar de identificar as regiões de temperaturas mais elevadas no município, faz-se necessário um estudo mais aprofundado tendo como área de estudo regionais e bairros, com escalas de detalhes maiores. Esta proposição de trabalho futuro, utilizando a mesma ferramenta proposta neste trabalho, seria fundamental para determinar, com mais precisão, locais para a implantação de telhados verdes, identificar as vias de maior criticidade para arborização e auxiliar nas políticas de gestão e parcelamento do uso do solo de Belo Horizonte.

7. REFERÊNCIAS

ANTUNES, Alzit Felipe Buffara. INICIANDO EM GEOPROCESSAMENTO. Disponível em: < <https://www.ufpe.br/latecgeo/images/PDF/g3.pdf> >. Acesso em 10 de maio de 2017.

BELO HORIZONTE. **BELO Horizonte: a perfeita junção do espaço urbano e da cidade jardim em Minas Gerais**. PBH - Prefeitura de Belo Horizonte, 2019a. Disponível em <<http://www.belo Horizonte.mg.gov.br/bh-primeira-vista/arquitetura/belo-horizonte-perfeita-juncao-do-espaco-urbano-e-da-cidade-jardim-em>>. Acesso em 07 de maio de 2019.

_____. **BH é eleita referência em Sustentabilidade e Meio Ambiente**. Prefeitura de Belo Horizonte – PBH, 2019a. Disponível em < <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/bh-e-eleita-referencia-em-sustentabilidade-e-meio-ambiente> >. Acesso em 30 de maio de 2019.

_____. **BH em Pauta: Reconhecimento Mundial**. Prefeitura de Belo Horizonte – PBH, 2019b. Disponível em < <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/bh-em-pauta-reconhecimento-mundial> >. Acesso em 30 de maio de 2019.

_____. **COMITÊ de mudanças climáticas**. Prefeitura de Belo Horizonte - PBH, 2018. Disponível em <<https://prefeitura.pbh.gov.br/meio-ambiente/comite-de-mudancas-climaticas>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

_____. **DECRETO Nº 10.279, DE 29 DE JUNHO DE 2000**. Disponível em <<https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/decreto/2000/1028/10279/decreto-n-10279-2000-institui-o-programa-agenda-21-bh-e-cria-o-grupo-executivo-agenda-21-bh>>. Acesso em 30 de maio de 2017.

_____. **LEI Nº 7166, DE 27 DE AGOSTO DE 1996**. Disponível em <<https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/plano-diretor-em-vigor>>. Acesso em 30 de maio de 2017.

_____. **LEI Nº 10.175 DE 06 DE MAIO DE 2011**. Disponível em < <http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1057490> >. Acesso em 31 de maio de 2017.

_____. **ZONEAMENTO e Áreas de Diretrizes Especiais do Município de Belo Horizonte**. Lei nº 7.166/96. Prefeitura de Belo Horizonte - PBH, 2013. Disponível em <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/politica-urbana/2018/planejamento-urbano/geo_zoneam_ade_2012_a0.pdf> Acesso em 07 de maio de 2019.

BRASIL. **AGENDA 21 Global**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2019a. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>>. Acesso em 28 de maio de 2019.

_____. **AGENDA 21 Brasileira**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2019b. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira.html>>. Acesso em 28 de maio de 2019.

_____. **AGENDA 21 Local**. Ministério de Meio Ambiente - MMA, 2019c. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-local.html>>. Acesso em 28 de maio de 2019.

_____. **CONSTRUÇÃO Sustentável**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2017. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em 30 de maio de 2017.

_____. **INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

CAMPOS, Iberê. **Retrofit: renascimento e preservação do antigo**. Entrevista a Obra24horas. Disponível em <<http://www.obra24horas.com.br/entrevistas/retrofit--renascimento-e-preservacao-do-antigo-150>>. Acesso em 20 de Outubro de 2016.

CASAGRANDE, A. E. SOUZA, E. B. C. **O espaço e a demografia: o planejamento regional em perspectiva nas margens paranaenses do Lago de Itaipu**. Sociedade e Território, Natal, v. 24, n. 1, p. 2-27, 2012.

CAVALCANTI, I. F. A., FERREIRA, N. J., SILVA, M. G. A. J., DIAS, M. A. F. S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

COELHO, André Luiz Nascentes, CORREA, Wesley de Souza Campos. **TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE CELSIUS DO SENSOR TIRS/LANDSAT-8: METODOLOGIA E APLICAÇÕES**. Rev. Geogr. Acadêmica v.7, n.1. p. 31-45. Bahia: 2013.

COLTRI, Priscila Pereira; VELASCO, Giuliana Del Nero; POLIZEL, Jefferson Lordelo; DEMETRIO, Valdemar Antonio; FERREIRA, Nelson Jesus. **Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. Anais XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Inpe, 2007.

COSTA, Douglas F. da; SILVA, Hélio R.; PERES, Leonardo de F. **Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias**. Engenharia Agrícola. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 30, n. 5, p. 974-985, 2010.

COSTA, Eduino Rodrigues da. **O CAMPO TERMO-HIGROMÉTRICO INTRA-URBANO E A FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR E DE FRESCOR URBANAS EM SANTA MARIA/RS** Santa Maria, 2009

DANTAS, Ivan Coelho; SOUZA, Cinthia Maria Carlos de. **Arborização urbana na cidade de Campina Grande –PB: Inventário e suas espécies**. In: Revista de Biologia e Ciências da Terra. V. 4, n° 2. Paraíba, 2004. Disponível em: <<http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/arborizaurbana-515646a391755.pdf>>. Acesso em 31 de maio de 2017

DALVI, Márcia Bissoli; REMBISKI, Fabrícia Delfino; ALVAREZ, Cristina Engel de. **Materiais de construção com características sustentáveis e reaproveitáveis: oferta no Estado do Espírito Santo (Brasil)**. In: Hábitat Sustentable, p. 25-34, 2011. Disponível em: <<http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/404>>. Acesso em 01 de junho de 2017.

FIALHO, Edson Soares. **ILHA DE CALOR: REFLEXÕES ACERCA DE UM CONCEITO**. In: ACTA Geográfica.

FIEMG. CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia de Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

FILHO, Jugurta Lisboa; IOCHPE, Cirano. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados**. In: Congresso da SBC, XVI, 1996. XV JAI – Jornada de Atualização em Informática, Recife, 1996.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília. 2005

FONSECA, W. L.; FONSECA, W. J. L.; OLIVEIRA, A. M. de; VOGADO, G. M. S.; SOUSA, G. G. T. e; SOUSA, T. de O.; SOUSA JÚNIOR, S. C. de; LUZ, C. S. M.. **Causas e consequências do êxodo rural no nordeste brasileiro**. In: Nucleus, v. 12, n. 1, 2015.

FRANÇA, L. C. de J. **O USO DO TELHADO VERDE COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AOS CENTROS URBANOS: OPÇÃO VIÁVEL PARA A SOCIEDADE MODERNA DO SÉCULO XXI**. In: Revista Húmus, n° 4. Piauí: 2012

FREITAS, E. D.; DIAS, P. L. S. **Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 3, p. 355-366, 2005.

GASPARINI JÚNIOR, Roberto Antônio. **QUALIDADE DOS ESPAÇOS PÚBLICOS VIÁRIOS: ERGONOMIA EM ESCALA URBANA**. 2006. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenho Industrial, Arquitetura, Artes e Comunicação Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.

GODOI, Bruna Canela de Souza. Requisitos de sustentabilidade para desenvolvimento de projetos residenciais multifamiliares em São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo: 2012.

GRITTI, Giovana Cássia Mmarinelli; LANDINI, Marcelo Camargo. **CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: Uma opção racional**. Itatiba, 2010. Disponível em <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2148.pdf>>. Acesso em 01 de junho de 2017.

KAZAY, D. F. et al. **Mudança no uso e cobertura do solo e sua influência na temperatura de superfície: um estudo na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, 2011. p. 752- 759.

LIMA, L. P. de. **Clima e Forma Urbana: Método da avaliação de efeito das condições climáticas locais nos graus de conforto térmico e no consumo de energia elétrica em edificações**. 2005. 153f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). CFET, Curitiba/PR, 2005. 153 p.

LOBODA, Carlos Roberto; ANGELIS, Bruno Luiz Domingos de. **ÁREAS VERDES PÚBLICAS URBANAS: CONCEITOS, USOS E FUNÇÕES**. In: Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais. V. 1, n° 1. Paraná, 2005

LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo, Hucitec, 244 p. 1985.

MENESES, P. R. et al. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. UnB – CNPQ. Brasília. 2012.

MIKHAILOVA, Irina. **SUSTENTABILIDADE: EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS TEÓRICOS E OS PROBLEMAS DA MENSURAÇÃO PRÁTICA**. In: Revista Economia e Desenvolvimento, n° 16. Curitiba, 2004. Disponível em < http://w3.ufsm.br/depecie/arquivos/artigo/ii_sustentabilidade.pdf >. Acesso em 01 de Junho de 2017.

MINAS GERAIS. PLANO Metropolitano RMBH|UFMG. Central de Conteúdos: **Bases Cartográficas SHP e Mapas PDF PDDI e MZ RMBH**. Disponível em < <http://www.rmbh.org.br/central-cartog.php?formato=pdf> >. Acesso em 27 de abril de 2019.

MORIM, Margarete Cristiane da Costa Trindade Amorim. **ILHAS DE CALOR EM BIRIGUI/SP**. In: Revista Brasileira de Climatologia, v.1, n. 1, p. 121-130, São Paulo, 2005.

MORAIS, H. F. et al. **Identificação do fenômeno de ilhas de calor urbano em Belo Horizonte – MG**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, 2013. p. 936-943.

MOTA, Valéria de Sousa Lima; FRADE, Rodrigo Itaboray. **Agenda 21 Local: análise do**

projeto em Belo Horizonte. In: Congresso Interdisciplinar de Pesquisa, Iniciação Científica e Extensão, I. Belo Horizonte, 2016

NASSEL, Constantino Wilson. **PRINCÍPIOS BÁSICOS de Cartografia e Sistemas de Informação Geográfica.** Maputo – Moçambique, 72 p. 2011. Disponível em: < http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/568/1/manual_de_cartografia_e_sistemas_de_informacao_geografica.pdf >. Acesso em 02 de Junho de 2017.

OLIVEIRA, Eric Watson Netto de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

PENNA, Alicia Duarte. **Belo Horizonte: um espaço infiel.** VARIA HISTÓRIA. Belo Horizonte: 1997. p. 101-121.

PIRES, Érika Gonçalves, JR, Laerte Guimarães Ferreira. **Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. INPE. João Pessoa-PB: 2015.

POLÍTICA Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2017. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos> >. Acesso em 31 de maio de 2017.

PRATES, Izabela. **Utilização de imagens LANDSAT-8 para caracterização da cobertura vegetal.** Disponível em <<https://mundogeo.com/blog/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/>>. Acesso em 06 de maio de 2019.

PREZENTE, Wellington Luiz. **O USO DAS GEOTECNOLOGIAS NO ENSINO DA GEOGRAFIA.** In: Seminário Internacional dos Espaços de Fronteira, I, Paraná, 2011. Disponível em < <http://cac-php.unioeste.br/eventos/geofronteira/anais2011/Arquivos/Artigos/ENSINO/Artigo47.pdf> >. Acesso em 25 de maio de 2017.

ROCHA, Vinicius Machado. **INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS NO CAMPO TERMOHIGROMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE VIÇOSA-MG EM SITUAÇÕES SAZONAIS DE PRIMAVERA NO ANO DE 2006.** Viçosa, 2007.

ROSA, Roberto. **GEOTECNOLOGIAS NA GEOGRAFIA APLICADA.** In: Revista do Departamento de Geografia, p. 81-90, Uberlândia, 2005. Disponível em < http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Roberto_Rosa.pdf >. Acesso em 02 de junho de 2017.

SCHREINER, Simone; VASCONCELOS, Laura Cristina da Silva; ZEILHOFER, Peter. . **Técnicas de Geoprocessamento para modelação de anomalias de temperatura nos perímetros urbanos de Cuiabá e Várzea Grande – MT.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento

Remoto. INPE, 2009.

SICHE, Raúl; AGOSTINHO, Feni; ORTEGA, Enrique; ROMEIRO, Ademar. **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países.** In: Ambiente & Sociedade. 2007, vol.10, n.2, pp.137-148. ISSN 1414-753X.

SOARES, R. B., SOARES, C. B. S. S., COSTA, J. A. L., COSTA, S. S., SOARES, R. B.. **Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/ OLI.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2015, João Pessoa – PB. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, 2015.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de. **Ilhas de calor.** Jornal Unesp, São Paulo, v.18, n.186, p. 11, 2004

SOUZA, Samira Murelli de. **MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA CIDADE DE VITÓRIA – ES, UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS.** Jerônimo Monteiro: 2011.

STIEFELMANN, Gessika Caldeira. **MUDANÇAS NA VISÃO SOBRE AMBIENTE ENTRE CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE E O DESENVOLVIMENTO (ECO 92) E A CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (RIO+20).** Florianópolis, 2012.

TEZA, Cláudio Tavares Vianna, BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. **Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand.** IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005. Goiânia. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, 2005.