

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós Graduação em Geografia – Tratamento da Informação
Espacial

César de Oliveira Souza Júnior

MAPEAMENTO DAS ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE CONTAGEM – MG
ATRAVÉS DE IMAGENS TERMAIS DE SATELITE: UM ESTUDO DE CASO

Belo Horizonte
2017

CÉSAR DE OLIVEIRA SOUZA JÚNIOR

**MAPEAMENTO DAS ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE
CONTAGEM – MG ATRAVÉS DE IMAGENS TERMAIS DE
SATELITE: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Orientador: Prof. Dr. Sandro Laudaes

Belo Horizonte

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

S729m Souza Júnior, César de Oliveira
Mapeamento das ilhas de calor no Município de Contagem – MG através de imagens termais de satélite: um estudo de caso / César de Oliveira Souza Júnior. Belo Horizonte, 2017.
56 f. : il.

Orientador: Sandro Laudares
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial.

1. Sensoriamento remoto. 2. Ilha de calor urbana - Contagem (MG). 3. Mapeamento ambiental - Contagem (MG). 4. Satélites artificiais em sensoriamento remoto. 5. Climatologia urbana. I. Laudares, Sandro. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial. III. Título.

CDU: 551.58(815.12)

César de Oliveira Souza Júnior

**MAPEAMENTO DAS ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE CONTAGEM – MG
ATRAVÉS DE IMAGENS TERMAIS DE SATELITE: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Prof. Dr. Sandro Laudaes – PUC Minas (Orientador)

Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho – CEFET MG

Prof. Dr. Aurino Jose Gois – PUC Minas

Belo Horizonte, 02 de fevereiro de 2017

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me dado à oportunidade de no devido momento realizar esse passo tão importante em minha vida.

À Marcela, minha esposa que sempre foi meu porto seguro. Minha amiga e companheira em todos os momentos. Você é um exemplo a ser seguido.

A toda minha família, que sempre me proporciona momentos de descontração e pura felicidade nas coisas mais simples do dia-a-dia.

A PUC Minas, ao Programa de Pós Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial (professores e funcionários). Aos colegas de turma.

Ao Prof. Sandro Laudares pelo crescimento acadêmico.

Ao Geógrafo que um dia me falou, “a Geografia é o futuro”. Você tem razão!

Muito obrigado!

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo identificar as temperaturas de superfície no município de Contagem - MG e para alcançá-lo, utilizou-se imagens da banda 10 infravermelho termal TIRS1 do satélite Landsat 8, satélite o qual pertence aos Estados Unidos da America e é o oitavo do programa Landsat. O United Geological Survey (USGS) é o responsável pela aquisição, armazenamento e processamento das imagens que estão disponíveis gratuitamente na web. Por meio da utilização das imagens de satélite obtidas e com o intuito de identificar as regiões com maiores temperaturas, Ilhas de Calor, e menores temperaturas, Ilhas de Frescor, na cidade de Contagem - MG foram aplicadas técnicas de geoprocessamento e de classificação de imagens através de sensoriamento remoto. Além disso, foi gerado através das bandas 5 e 4 do satélite LandSat 8, infravermelho próximo e vermelho respectivamente o NDVI do município, com intuito de ratificar as diferentes temperaturas e sua relação com a vegetação. Como resultado, o município de Contagem apresentou um padrão espacial distinto entre duas grandes faixas sendo uma no quadrante sul, temperaturas mais elevadas, e outro no quadrante norte, temperaturas mais amenas. O município de Contagem apresentou uma grande faixa espacial com temperaturas elevadas superando os 30°C. Pode-se perceber que seus vizinhos contribuem sobre a maneira no comportamento térmico de seu território, sobretudo na faixa sul nas divisas com Belo Horizonte, Ibirité e Betim. Ações como arborização de áreas urbanas, emprego de telhados-verdes, utilização de coberturas mais frescas. Tem o intuito de reduzir as ilhas de calor possibilitam vários benefícios para a sociedade.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Ilhas de Calor. Contagem-MG.

Abstract

The goal of this dissertation is to identify surface temperatures in the municipality of Contagem - MG and to reach it, we used images from the TIRS1 thermal infrared band 10 of satellite Landsat 8, which belongs to the United States of America and is the eighth Of the Landsat program. The United Geological Survey (USGS) is responsible for the acquisition, storage and processing of images that are freely available on the web. Through the use of the satellite images obtained and in order to identify the regions with higher and lower temperatures, in the city of Contagem - MG, geoprocessing and image classification techniques were applied through Remote sensing. In addition, it was generated through bands 5 and 4 of the satellite LandSat 8, near infrared and red respectively the NDVI of the municipality, with the purpose of ratifying the different temperatures and their relation with the vegetation. As a result, the municipality of Contagem presented a distinct spatial pattern between two large bands, one in the south quadrant, higher temperatures, and another in the northern quadrant, milder temperatures. The municipality of Contagem presented a large space band with high temperatures surpassing 30 ° C. It can be noticed that its neighbors contribute to the way in the thermal behavior of its territory, mainly in the southern range in the borders with Belo Horizonte, Ibirité and Betim. Actions such as afforestation of urban areas, use of green roofs, use of cooler roofs. It aims to reduce the islands heat offer several benefits to society.

Keywords: Remote Sensing. Islands Heat. Contagem-MG.

Lista de Figuras

Figura 01 – Ilha de Calor

Figura 02 – Albedos de Materiais Urbanos

Figura 03 – Mapa de Localização de Contagem

Figura 04 – Mapa das Regionais de Contagem

Figura 05 – Contagem e municípios limítrofes

Figura 06 – Imagem de satélite LandSat 8

Figura 07 – Temperatura de superfície em Contagem

Figura 08 – Contagem

Figura 09 – Divisa Contagem e Esmeraldas

Figura 10 – Subestação CEMIG

Figura 11 – Telhado fábrica de colchão

Figura 12 – CEASA

Figura 13 – Vegetação

Figura 14 – Cidade Industrial

Figura 15 – NDVI de Contagem

Figura 16 – Represa Vargem das Flores

Figura 17 – Campo de futebol

Figura 18– Temperatura de superfície em Contagem e cidades limítrofes

Figura 19 – Imagem Google Earth e Temperatura de superfície

Lista de tabela

Tabela 01 - Valores das constantes e fatores da banda 10 para as quatro imagens do satélite Landsat 8

Tabela 02 - Elementos e valores extraídos do metadados da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 1

Tabela 03 - Elementos e valores extraídos do metadados da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 2

Tabela 04 - Elementos e valores da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 3

Lista de Abreviaturas e Siglas

ICU – Ilhas de Calor Urbano

PIB – Produto Interno Bruto

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CEASA – Centrais Estaduais de Abastecimento

TSC – Temperatura Superficial Continental

MODIS – Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

PDI – Processamento Digital de Imagens

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Características do satélite Landsat 8	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivos específicos	14
3. FUNDAMENTAÇÃO	15
3.1. Albedo	19
3.2. Efeito estufa	21
4. TRABALHOS CORRELATOS	22
5. ÁREA DE ESTUDO	24
6. METODOLOGIA	30
6.1. Índice de Vegetação.....	35
7. RESULTADOS	36
8. MEDIDAS MITIGADORAS DAS ILHAS DE CALOR	48
9. CONCLUSÃO	51

1. INTRODUÇÃO

Uma preocupação nas ciências em geral, e não somente na geografia, é como utilizar as ferramentas disponíveis adequadamente, de forma que a mesma não comprometa os resultados, ou mesmo influencie o mínimo a forma de pensar, enxergar e refletir sobre a realidade. Fato é que, tais ferramentas, sejam elas quais forem, devem sempre ser utilizadas como meio de se atingir determinado fim, que não substitua o conhecimento em si.

Na Geografia há muito tem se discutido sobre o uso, cada vez maior, das novas tecnologias de Geoprocessamento. Área esta, que advém da Geografia Quantitativa, que por muitos anos tem sofrido críticas sobre a sua prática indiscriminada. Não se pode negar que o as novas tecnologias de mapeamento e análise espacial tem contribuído para a prática da Geografia como na ciência em geral, já que a utilização das técnicas dos Sistemas de Informações Geográficas tem aglutinado uma série de outras áreas.

O Geoprocessamento tem mantido em seu arcabouço uma característica multidisciplinar, portanto, aquele que se aventura a desmistificar as técnicas desta área quantitativa, acaba por “beber” na fonte de várias áreas do conhecimento.

A partir da metade do século XX alguns geógrafos começaram a questionar a função da Geografia, para que pudesse ter maior utilidade prática para a sociedade, muitos pensadores da Geografia, entre eles muitos americanos, procuraram de alguma forma mudar o rumo desta ciência tentando aproximá-la das ciências de ponta daquela época. Para que isso fosse possível tentaram dotá-la de um novo instrumental utilizando técnicas da matemática e da estatística, ou seja, a quantificação em Geografia além do uso em geral do computador. Eles apontaram a falência da Geografia clássica, que passou a sofrer críticas a respeito de sua aplicabilidade para uma sociedade mais tecnológica e dinâmica. Para se defenderem delas, os Geógrafos buscaram novos métodos e modelos, que resultaram em três tendências diferenciadas: quantitativa, modelística e comportamental.

A Geografia Quantitativa permitiu trabalhar com estágios sucessivos da evolução espacial, contudo rapidamente sofreu críticas, tais como uma feita por Milton Santos, que dizia que essa Geografia “desconhece totalmente a existência do tempo e suas qualidades essenciais”. Para ele, a Geografia Quantitativa era “um meio e não um fim para chegar a conclusões”.

A Geografia deve ajudar a compreender as mudanças rápidas e profundas que afetam o mundo contemporâneo. É preciso explicar porque, diferentes escalas, novas formas de organização do espaço se impõem por toda parte, em formas complexas de ordenamentos espontâneos ou voluntários.

Para entender estas mudanças, o geógrafo dispõe atualmente de importantes ferramentas de investigação como o estudo de Alencar (2009), que em sua tese de doutorado desenvolveu um sistema de análise multivariada para o tratamento de conjunto de dados. Sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto com algoritmos de processamento digital de imagens com capacidade para extrair informações relevantes sobre o alvo estudado, cuja utilização constitui um considerável desafio, são ferramentas cada vez mais exploradas por diversos profissionais. Há uma crescente utilização de técnicas de análise espacial para explicar, monitorar e prever as dinâmicas das variáveis do espaço, as geotecnologias estão ocupando um importante lugar em razão da sua ampla funcionalidade.

Coelho (2011) determinou trajetórias preferenciais das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte através de ocorrências de descargas atmosféricas utilizando técnicas de análise espacial associado a técnicas de *cluster k-means*. O autor produziu um Rosa dos Raios demonstrando as trajetórias preferenciais das tempestades. Reis (2005) mapeou o comportamento espacial e temporal das descargas elétricas em Minas Gerais por meio de interpoladores. Foi possível compreender a relação de alguns fenômenos como o *El niño* na distribuição espacial e temporal do fenômeno no estado mineiro. Com o advento da rede mundial de computadores essas análises também passaram a ser disponibilizadas. Laudares (2007) já propunha uma metodologia para aplicações em geo-visualização a partir de componentes WEB genéricos.

A proposta deste estudo é explorar o processamento digital de imagens área esta dentro do sensoriamento remoto com intuito de encontrar as temperaturas de superfície.

Segundo Florenzano (2011) sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita a distancia, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

Ainda de acordo com a autora quanto mais distante o sensor estiver da superfície terrestre, maior será a interferência da atmosfera. A presença de nuvens na atmosfera, por exemplo, pode impedir que a energia refletida pela superfície terrestre chegue ao sensor a bordo de um satélite. Neste caso, o sensor registra apenas a energia proveniente da própria nuvem. A energia captada por sensores eletrônicos é transformada em sinais elétricos e esses transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens.

Florenzano (2011) relata que os objetos da superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físico-químicas. A variação da energia refletida pelos objetos pode ser representada através de curvas. Devido a essas variações, é possível distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos. A representação dos objetos nessas imagens vai variar do branco (quando refletem muita energia) ao preto (quando refletem pouca energia).

Segundo Monteiro e Mendonça (2003), as técnicas modernas de sensoriamento remoto, especialmente pela aplicação do infravermelho, auxiliam o mapeamento térmico das cidades. Com o objetivo de encontrar ilhas de calor urbanas, os cientistas utilizam o sensoriamento remoto, uma técnica de medição indireta, para aferir as temperaturas de superfície. De acordo com Lombardo (2011), a emissão de radiação de ondas longas ocorre na faixa do infravermelho termal, e na faixa do espectro eletromagnético de 10,4 a 12,5 μm , os sensores captam a

radiância dos corpos terrestres e permite ao usuário de dados provenientes de satélites a obtenção da temperatura de superfície.

1.1. Características do satélite Landsat 8

O satélite Landsat 8 foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 e atingiu sua órbita final apenas em no dia 12 de abril do mesmo ano à 705 km de altitude. A sua primeira imagem transmitida ocorreu em 18 de março, antes mesmo de atingir a sua órbita final. É um satélite que pertence aos Estados Unidos da America, o oitavo da série de satélites do Programa Landsat e o sétimo a alcançar com sucesso a órbita terrestre. O United Geological Survey (USGS) é o responsável pela aquisição, armazenamento e processamento das imagens que estão disponíveis gratuitamente na web.

O Landsat 8 possui as seguintes características:

- Órbita: Heliosincrônica, uma órbita polar que segue o movimento do sol.
- Resolução temporal: 16 dias; resolução espacial de 30m para as bandas do visível, 15m para banda pancromática e 100m para as bandas termais (TIRS).
- Resolução radiométrica: 12 bits (4096 tons de cinza), diferentemente dos 8 bits do Landsat 5 e 7 (256 tons de cinza). Em alguns aplicativos é necessário realizar a conversão radiométrica (Rescale) para 8 bits.
- Resolução espectral: 11 bandas espectrais apresentando as seguintes característica.

- Banda 1 (costeira / aerossol): também denominada de ultra-azul. Seu intervalo de comprimento de onda (0,43 – 0,45 μm) é bastante dispersado por partículas finas e de aerossóis. Por isso sua aplicação é voltada para estudos de áreas costeiras, onde há muito material particulado fino em suspensão, e para identificar aerossóis na atmosfera como poeira e fumaça, podendo ser utilizado para estudos de qualidade do ar ou dispersão de poluentes.

- Bandas 2, 3 e 4 (azul, verde e vermelho, respectivamente): são as bandas usadas para composição em cor natural.

- Banda 5 (infravermelho próximo): mais indicada para estudos de vegetação e utilização em Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

- Bandas 6 e 7 (infravermelho de ondas curtas SWIR1 e SWIR2, respectivamente): são particularmente úteis para distinguir terra molhada da terra seca e em estudos geológicos.

- Banda 8 (pancromática): basicamente utilizada para fazer fusões com outras composições de bandas com o objetivo de melhorar a interpretação visual.

- Banda 9 (cirrus): projetada para detecção de nuvens altas denominadas de Cirrus. Por meio da fusão com outras bandas espectrais pode-se melhorar a interpretação visual.

- Bandas 10 e 11 (infravermelho termal TIRS1 e TIRS2, respectivamente): utilizadas para estudar a variação da temperatura de superfície do planeta.

- Projeção das imagens: UTM, Datum WGS 1984

- Reprojeção: as imagens Landsat 8 deverão ser reprojetadas para a projeção do local onde será realizado o estudo.

- Formato de entrega das imagens: GeoTIFF

- Instrumentos imageadores: o Landsat 8 apresenta dois instrumentos imageadores denominados de

- Operacional Terra Imager (OLI)

- Thermal InfraRed Sensor (TIRS)

- Tamanho aproximado da cena: 170 km (norte – sul) e 183 (leste – oeste)

- Novas composições de bandas: o Landsat 8 foi desenvolvido com a possibilidade de realização de novas composições de bandas.

O satélite Landsat 8 permite continuidade dos trabalhos de cunho ambiental em uma larga faixa de atuação do planeta Terra. Os produtos gerados através das suas imagens permitem cada vez mais conhecer, compreender e monitorar os fenômenos naturais e antrópicos.

2. OBJETIVOS

O objetivo central deste trabalho é identificar as temperaturas de superfície no município de Contagem – MG utilizando imagens da banda (10) termal do Landsat 8 do dia 12/06/2015, através de técnicas de processamento digital de imagens.

2.1. Objetivos específicos

Pretende-se atingir alguns objetivos específicos que permitem identificar relações geográficas com a temperatura no município de Contagem a seguir:

- Identificar os pontos do município com temperaturas mais elevadas (ilhas de calor) e mais baixas (ilha de frescor)
- Gerar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada para o município de Contagem
- Cruzar os dados de temperatura com o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)
- Avaliar a interferência do uso e ocupação do solo na distribuição das maiores e menores temperaturas;
- Propor medidas para melhoria o conforto térmico do município.

3. FUNDAMENTAÇÃO

Para Assis (2010) as cidades são sistemas complexos, abertos a fluxos de energia e massa, e caracterizados por um contínuo processo de mudança. A concentração de área construída e verticalizada, resultado da rápida expansão do tecido urbano, implica em alterações no comportamento dos parâmetros meteorológicos. Os espaços ocupados por indústrias e comércio, com altos índices de áreas pavimentadas, associados a presença de poluentes, criam condições que alteram as propriedades da baixa troposfera e do clima local.

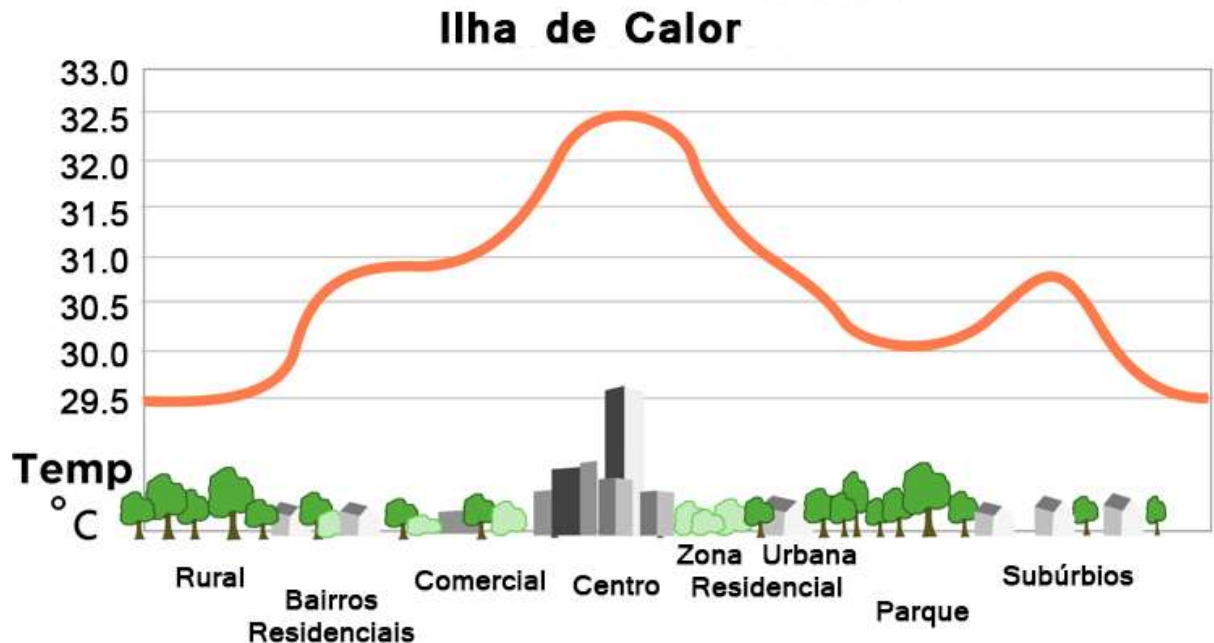
De acordo com Ayoade (2003), nas áreas urbanas ocorre a alteração das propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, assim como seus parâmetros aerodinâmicos são modificados pelos processos de urbanização e industrialização. Os terrenos naturais são substituídos por superfícies pavimentadas, ruas e telhados de prédios. Como consequência, ocorre a redução da radiação em ondas curtas e a elevação das temperaturas, mesmo quando há diminuição da exposição à insolação. Há a formação das chamadas Ilhas de Calor Urbano (ICU), que correspondem a uma área na qual a temperatura da superfície é superior que as áreas limítrofes, o que propicia o surgimento da circulação local. Há uma redução na umidade, mas ocorre certo aumento na precipitação e também na quantidade da nebulosidade. Os nevoeiros e neblinas são mais espessos, ocorrem com mais intensidade e persistência, o que prejudica a visibilidade.

Conforme Gartland (2010), as ilhas de calor são formadas em áreas urbanas e suburbanas porque grande parte dos materiais de construção comum absorve e retém mais calor do Sol do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas. Esse aquecimento é provocado por duas razões principais. A primeira é que a maior parte dos materiais de construção é impermeável e estanque, e por essa razão não há umidade disponível para dissipar o calor do sol. A segunda é que a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos absorve e armazena mais energia solar.

De acordo com o estudo realizado pela autora, conforme as cidades vão se desenvolvendo, as ilhas de calor também tendem a ficarem mais intensas. O efeito da ICU é mais intenso em dias calmos e claros, e é mais fraco em dias nublados e

com ventos, uma vez que mais energia solar é capturada em dias claros, e ventos mais brandos removem o calor de maneira mais vagarosa.

Figura 01 – Ilha de Calor



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com King e Davis (2007), a cidade tende a ser mais quente que a área rural devido à diferença na capacidade de absorver e dissipar a energia em cada região, e há alguns fatores que contribuem para o relativo aquecimento das áreas urbanas:

- durante o dia, nas áreas rurais, a energia solar absorvida próxima do solo evapora a umidade presente na vegetação e no solo, de modo que enquanto houver incidência de energia solar, esta é compensada em alguns graus pelo resfriamento provocado pela evaporação. Em cidades, onde há menos vegetação, as construções, ruas e calçadas absorvem a maioria da incidência de energia solar;
- a perda de energia é maior nas cidades devido à menor presença de água e pelo fato de a maioria dos pavimentos não serem porosos, o que torna o resfriamento evaporativo menor, contribuindo para as altas temperaturas;
- o calor perdido, ou seja, irradiado pelas construções e veículos, é outro fator que contribui para o aquecimento das cidades, e a contribuição do calor pode ser um terço da energia solar recebida;

- d) as propriedades térmicas das construções são adicionadas ao calor do ar pela condução, sendo que o asfalto, tijolo e concreto são melhores condutores de calor do que a vegetação;
- e) a verticalização de altos prédios cria condições para o aquecimento. Durante o dia, a energia solar é aprisionada por múltiplas reflexões dos prédios, enquanto a perda de energia infravermelha é reduzida pela absorção.

Uma das consequências do crescimento industrial e populacional é a substituição das áreas verdes por indústrias e moradias, ruas, avenidas e uma série de outras construções, é o aumento considerado da irradiação de calor para a atmosfera, em comparação com as zonas periféricas ou rurais, onde, a tendência, é maior o percentual de cobertura vegetal. Nas áreas centrais das cidades registra-se, também, uma maior concentração de gases e materiais particulados suspensos no ar, provenientes principalmente por automóveis e indústrias, o que intensifica o efeito estufa localizado, colaborando para a formação de ilhas de calor urbano (SANTOS, 2010).

Lombardo (1985) destaca que a emissão de poluentes tem grande influência nas elevadas temperaturas, principalmente em regiões onde há atividades comerciais e industriais devido a intensa movimentação de veículos nos horários de pico, pois a camada de poluentes pode reduzir a radiação solar direta por refletir parte dela, dificultando a dispersão do calor.

É importante ressaltar que o aquecimento resultante das ICU, seja em pequenas áreas ou em cidades, é um exemplo de mudança climática local, uma vez que sua influência diminui a medida que se afasta da sua fonte. Já as mudanças climáticas globais, como as causadas por aumento da concentração de gases de efeito estufa, regionalmente confinadas (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

Para Freitas e Dias (2005), as taxas de evapotranspiração nas áreas urbanas são mais baixas, o que eleva o contraste de temperatura com suas áreas vizinhas. O sistema de drenagem remove rapidamente a maior parte das águas pluviais, de modo que apenas uma pequena parcela da radiação absorvida é utilizada para evaporação e a maior parte dessa radiação é utilizada para aquecer a terra e o ar diretamente. Por outro lado, as superfícies úmidas das áreas rurais (lagos, riachos,

solo e vegetação) aumentam a fração de radiação absorvida que é utilizada para evaporação, propiciando a redução das temperaturas de superfície.

Os principais efeitos nocivos envolvendo as ilhas de calor são: a redução da evapotranspiração causado pela ausência de áreas verdes; evaporação ausência de água disponível; altas temperaturas que ocorrem nas áreas mais impermeabilizadas, em decorrência dos efeitos combinados das várias características a região, que provocam baixa pressão atmosférica nestas áreas, gerando uma circulação local da massa de ar; e ocorrência de inundações, pela presença ocasional de chuvas intensas (LOMBARDO, 1985).

As ICU de superfície também atuam na degradação da qualidade da água, principalmente pela poluição térmica. Superfícies de pavimentos e telhados que atingem temperaturas de 27 a 50°C superiores a temperaturas do ar transferem esse excesso de calor para as águas pluviais, que podem atingir córregos, rios, lagoas e lagos, e afetar o equilíbrio da vida aquática, especialmente o metabolismo e reprodução de muitas espécies (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

Ações com o intuito de reduzir as ilhas de calor possibilitam vários benefícios para a sociedade. Gartland (2010) cita que a implantação de coberturas e materiais de pavimentação mais frescos, assim como árvores e vegetação bem irrigadas, geram os seguintes benefícios:

- Redução de temperaturas, ao se utilizar materiais que absorvem menor radiação solar.
- Economia de energia, pois ao reduzir a quantidade de energia solar que é absorvida por uma edificação, reduz-se também o consumo de energia de resfriamento no interior da mesma.
- Melhoria da qualidade do ar de três maneiras diferentes. Em primeiro lugar, as comunidades mais frescas têm menor consumo energético e produzem menos poluição a partir de usinas de energia que queimam combustíveis fósseis. Em segundo, durante o processo da fotossíntese, as plantas absorvem dióxido de carbono do ar, e folhas removem vários poluentes atmosféricos, como óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, partículas e ozônio troposférico, através do processo de deposição seca. E em terceiro, as temperaturas do ar mais frias retardam a

reação química entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, o que reduz a formação de ozônio e do smog fotoquímico. Conforto humano e melhorias para a saúde, pois há a redução dos problemas relacionados ao calor, tais como estresse térmico e a mortalidade decorrente deste; redução de problemas de saúde relacionados à poluição do ar, como doenças respiratórias; e redução de problemas decorrentes da exposição à luz solar, como câncer de pele.

- Redução de enchentes, uma vez que a utilização de árvores, vegetação e pisos permeáveis aumentam a infiltração no solo das águas pluviais e reduzem o volume de escoamento superficial.

- Redução da degradação de pavimentos, pois coberturas à base de asfalto são degradadas pela radiação ultravioleta do sol, tornando-as frágeis, e as tensões térmicas recorrentes causam rachaduras nos materiais. O arrefecimento de materiais de cobertura e pavimentação à base de asfalto pode dar-lhes vida mais longa, o que exige menor necessidade de manutenção e substituição, e reduz-se a geração desses resíduos.

3.1. Albedo

De acordo com Neiva e Cattae (2014), o albedo consiste no índice de refletância do material, isto é, a capacidade da superfície de um material de refletir o calor absorvido. Seus valores vão de 0 a 1 e considera a reflexão do comprimento de ondas infravermelhas e ultravioletas. Um material que possui albedo de 0 significa que ele absorve toda a radiação solar, enquanto que um material com albedo de 1 vai refletir toda a radiação solar. O fenômeno das ilhas de calor está diretamente ligado aos diferentes índices de refletância das superfícies que podemos encontrar.

Figura 02 – Albedos de Materiais Urbanos



Fonte: Souza (2011)

Analisando a figura, vemos que árvores e gramas têm um albedo na mesma faixa que o concreto, mas as plantas transformam essa energia em calor e a utilizam na fotossíntese. Já o concreto libera a energia para o ambiente, observa-se que os materiais urbanos que apresentam maiores albedos correspondem aos mais claros edificações pintadas de branco e telhados de alta refletividade.

Souza (2011) relata que as áreas urbanas, onde muito calor é retido pelo asfalto, calçadas e edifícios se esfria mais lentamente do que na área rural. Na cidade, o calor sensível se dissipa com muito mais dificuldade do que na área rural, devido à distribuição das edificações e ao fenômeno do efeito estufa causado pela re-emissão da energia térmica absorvida pelas partículas em suspensão na atmosfera urbana. Todos estes acontecimentos fazem com que o calor fique mais tempo retido sobre a cidade, aumentando a diferença de temperatura com as áreas rurais.

3.2. Efeito estufa

De acordo com Magalhães Filho (2006) o efeito estufa é causado pelo gás carbônico, metano e o vapor d'água, além de outros gases, presente na atmosfera terrestre. Sabe-se que a temperatura da terra depende do equilíbrio entre a energia solar e da energia que é irradiada de volta para o espaço pelo planeta. Considera-se que metade da energia que entra na atmosfera é absorvida pelas nuvens, pelas partículas, ou é refletida de volta ao espaço. A outra metade é absorvida pela superfície terrestre (oceanos e continentes) que por sua vez é aquecida. As superfícies irradiam novamente essa energia sob a forma de determinados comprimentos de onda que correspondem à radiação infravermelha emitida pela terra. Ocorre que os gases presentes na atmosfera e o vapor d'água absorvem certos comprimentos de onda desse tipo de radiação. Parte do calor absorvido é, então, enviado de volta à superfície terrestre. Esse fenômeno natural que mantém a temperatura da Terra 30° C mais quente do que seria sem a presença do efeito estufa. Portanto, o aumento das concentrações de gás carbônico e de outros gases semelhantes faz com que o efeito estufa se intensifique, armazenando maior quantidade de calor na atmosfera do planeta.

4. TRABALHOS CORRELATOS

O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial, de Wellington Lopes Assis, o objetivo do trabalho era conhecer a evolução do clima da capital mineira, trabalhando com dados meteorológicos de 1910 e 1920 para reconstituir os climas passados e para os dados atuais realizou três experimentos de campo. Ao longo de transecto longitudinal norte-sul foram distribuídos abrigos meteorológicos para o primeiro e segundo experimento, o terceiro foi realizado no hipercentro, com o objetivo de observar as flutuações têmporo-espaciais da ilha de calor no núcleo mais verticalizado e impermeabilizado da cidade. A análise da evolução dos principais elementos climáticos entre 1911 a 2009 constatou mudanças significativas no comportamento de alguns parâmetros notadamente a temperatura mínima e umidade relativa, os dados apontaram um aquecimento da atmosfera e um decréscimo nos valores hídricos. Os experimentos identificaram três núcleos de aquecimento contínuo. Primeiro: hipercentro e a periferia da região centro-sul; Segundo: Região central da Regional de Venda Nova à extremo oeste da Regional Norte e o terceiro é uma pequena área entre a Regional Pampulha e a Noroeste. De modo geral as Ilhas de Calor coincidiram com os locais mais adensados e impermeabilizados do município, as ilhas de calor foram identificadas no período de seca e chuvoso, no período de seca os gradientes térmicos horizontais foram mais intensos e sob a atuação de sistemas atmosféricos instáveis, com chuva e ventos, as Ilhas de Calor desapareciam, diminuindo também a amplitude térmica entre os pontos amostrais espalhados pela cidade.

Coelho (2014) utilizou Imagens Landsat-8/TIRS/OLI e Aster/GDEM para identificação e avaliação do comportamento termal de superfície no município de Cariacica - ES. Os resultados extraídos identificaram áreas do município com ilhas de calor e sua relação com o uso e ocupação. Elementos como indústria, pavimentos, telhados e outras superfícies típicas da paisagem urbana foram responsáveis pelas maiores temperaturas. Constatou-se a influência da cobertura vegetal – classe floresta / manguezal – na amenização da temperatura. As informações de Temperatura da Superfície e uso e cobertura da terra adquiridas através de técnicas de sensoriamento remoto possibilitaram a identificação, espacialização e compreensão da atuação do clima local, podendo ser aplicada em outros intervalos de datas, áreas distintas e no auxílio de tomadas de decisões.

Gamarra et al. (2013) avaliou o albedo e a temperatura de superfície continental provenientes de sensoriamento remoto, e a temperatura do ar medida *in situ* no intuito de caracterizar a Ilha de Calor Urbana na cidade de Londrina – PR. Utilizando dados de albedos e temperatura (provenientes do sensoriamento remoto), calcularam um índice de urbanização na região. O índice demonstrou-se ser uma metodologia útil para representar a evolução espaço-temporal de áreas urbanas, o que pode propiciar uma avaliação detalhada do impacto da mudança de cobertura de solo no clima local e regional.

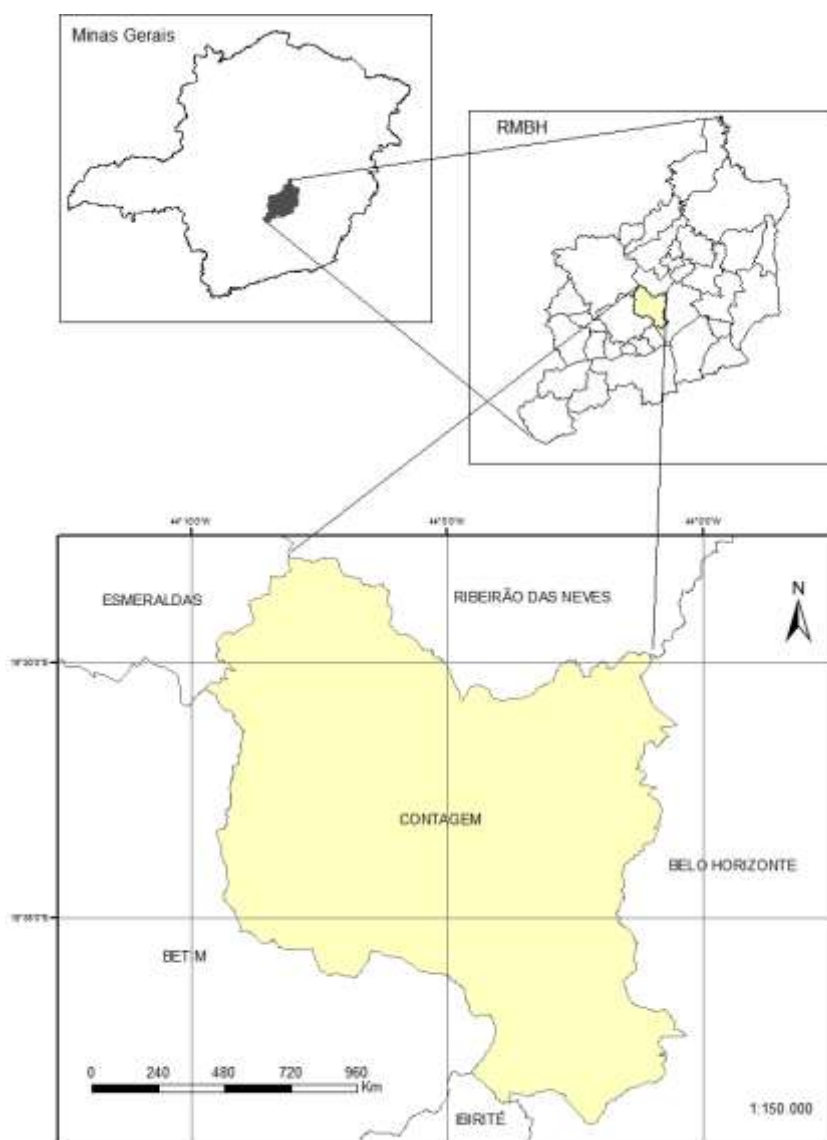
Sena et al. (2014) teve como objetivo examinar as características da Ilhas de Calor Urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, para o trabalho foi usadas composições de oito dias de dados de Temperatura Superficial Continental (TSC) geradas pelo sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo dos satélites Aqua e Terra no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2010. A análise foi feita agrupando-se os dados para as diferentes estações do ano e posteriormente calculando-se a média de TSC para cada estação com o intuito de verificar a variação sazonal da ICU

Em um estudo sobre Ilha de calor para a cidade de Belo Horizonte Magalhães Filho (2006) produziu uma serie de gráficos e mapas com a variável de temperatura. O autor trabalhou com dados coletados em estações climatológicas dentro do município e em seu entorno. Diferente do estudo aqui proposto, os dados se referem a temperatura do ar conforme padronizado pela Organização Meteorológica Mundial. Foi possível identificar as principais áreas quentes da capital mineira e sua relação com a paisagem urbana. O autor ressalta ainda a importância da difusão dos ventos sobre o espaço na contribuição da elevação ou diminuição da temperatura. Castilho (2015) trabalhando com a mesma região mapeou as temperaturas de superfície da capital mineira, ou seja, optou-se por trabalhar com imagens termais do satélite LandSat 8 proposto aqui neste estudo.

5. ÁREA DE ESTUDO

Contagem é um dos principais municípios pertencentes à RMBH, que conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), possui uma população totalizando 603.442 habitantes, sendo a terceira cidade mais populosa de Minas Gerais, além de um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 18.539.693,00, que a coloca também, como a terceira maior receita do estado.

Figura 03 – Mapa de Localização de Contagem



Fonte: Elaborado pelo autor

O município não possui uma extensão territorial muito considerável, com aproximadamente 195 km². Sendo dividido em oito regionais, as administrações regionais são o principal contato dos moradores com administração municipal. É por essa porta que o morador tem mais chances de ser ouvido e apresentar suas demandas e reivindicações.

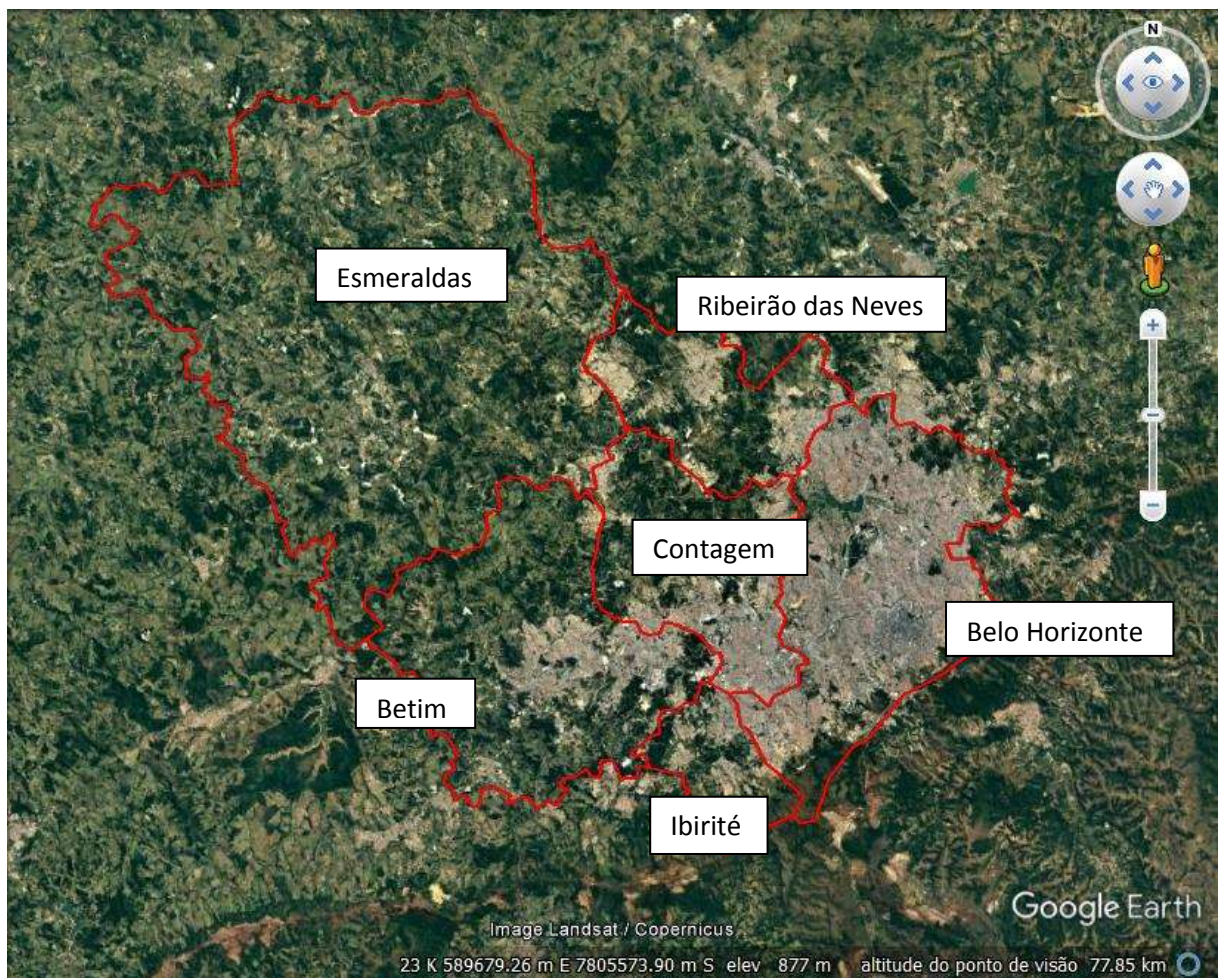
Figura 04 – Mapa das Regionais de Contagem



Fonte: Prefeitura de Contagem (adaptado)

Seus municípios limítrofes são Belo Horizonte, Betim, Ibirité, Ribeirão das Neves e Esmeraldas figura 04. Possui um adensamento populacional concentrado na sua região centro-sul, enquanto que na sua porção norte é possível encontrar áreas com predomínio da cobertura vegetal, que sofreram pouca alteração antrópica. Na região oeste, há um manancial de abastecimento denominado de represa Vargem das Flores que faz limite ao município de Betim.

Figura 05 – Contagem e municípios limítrofes



Fonte: Google Earth

Localizado na depressão periférica de Belo Horizonte, Contagem possui uma forma de relevo predominante do Domínio Morfoclimático de Mares de Morro, apresentando colinas convexo-côncavas, oriundas da decomposição de rochas cristalinas, formando morros curtos e residuais em sua convexidade (AB'SÁBER, 2003) com altitudes não muito significativas, variando entre 879 a 1.047 m em relação ao nível do mar, que estão situadas sobre um embasamento com predomínio de rochas do tipo granito-gnáissicas, rochas estas que possuem uma importante função econômica para o município ao serem exploradas por mineradoras locais, que as utilizam principalmente como matérias-primas para a construção civil (CONTAGEM, 2009).

O clima do município é classificado como Subquente – semi-úmido (IBGE), com a presença de duas estações muito bem definidas, com primaveras e verões úmidos e outonos e invernos secos, a média térmica anual de 21,1° C, variando entre a mínima de 16,7°C e a máxima de 27,1°C, o índice pluviométrico anual fica em torno dos 1.497,3 mm de chuva (CONTAGEM, 2009).

Sua vegetação predominante é o Cerrado, que encontra-se devastado em grande parte do município. É possível encontrar também no município manchas de Mata Atlântica, como também a presença de matas ciliares acompanhando o curso de alguns rios (CONTAGEM, 2009).

O município de Contagem possui 4 sub-bacias hidrográficas, a sub-bacia do Imbiruçu, que ocupa cerca de 3% do território, Arrudas, que ocupa 15%, Pampulha, que ocupa 27% e Vargem das Flores, ocupando os 55% restante do município, sendo as três primeiras densamente povoadas e a última ainda pouco alterada pelas ações humanas, embora nesta já é possível identificar a presença humana e ocupações irregulares (CONTAGEM, 2013).

Apesar de se configurar como um município ligado as indústrias, Contagem possui áreas naturais de destaques, com extensas áreas verdes conservadas e nascentes. Estas áreas são importantes refúgios de várias espécies animais e vegetais típicos de uma região de transição de biomas, entre o Cerrado e a Mata Atlântica (PORTILHO; RIBAS, 2009).

O município apresenta uma posição geográfica estratégica para a RMBH, já que possui importantes vias de tráfego rodoviário e ferroviário utilizados para o deslocamento e escoamento da produção. Podemos citar a Rodovia Federal BR-381, importante eixo de ligação de Minas Gerais com São Paulo, a Rodovia Federal BR-040 que liga Minas Gerais à Brasília e ao Rio de Janeiro, além da Ferrovia CentroAtlântica que faz a ligação entre os estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Sergipe, Espírito Santo, Rio de Janeiro e o Distrito Federal.

Até 1940, o município de Contagem apresentava características de uma cidade tipicamente agrícola, mas já nas décadas seguintes, o município presenciou um crescimento econômico e populacional, causado principalmente após a implantação da Cidade Industrial Juventino Dias, situada próxima à divisa com Belo Horizonte.

A ocupação industrial foi estrategicamente direcionada em uma área contígua aos limites da zona oeste da cidade de Belo Horizonte, facilitando sua integração. A proximidade com a rodovia federal BR-381 e o Anel Rodoviário, foi mais um fator que estimulou a chegada de empresas à região (CONTAGEM, 2013).

A Cidade Industrial registrou grandes índices de crescimento passando de 11 empresas com aproximadamente 5 mil empregados na década de 1940, para 41 empresas, que empregavam mais de 13 mil funcionários na década de 1960, transformando a região recém construída como o maior núcleo industrial de Minas Gerais, que abrigou no final da década de 1970, 79% da população de Contagem (BONADA, 2011).

Essas transformações trouxeram mudanças consideráveis para o município, que se tornou o maior complexo industrial de Minas Gerais, aproveitando uma boa condição econômica na década 1970, desenvolvendo assim um novo processo de industrialização, com a criação do Centro Industrial de Contagem (CINCO). Com o tempo novos distritos industriais foram criados, impulsionando a industrialização no município (ANDRADE JÚNIOR, 2010).

O crescente crescimento econômico do município de Contagem trouxe consigo um vertiginoso crescimento populacional. O crescimento econômico e populacional acarretou, o surgimento de inúmeras aglomerações urbanas clandestinas, que se instalaram no município sem o planejamento e a anuência dos órgãos públicos responsáveis, muitas delas próximas às áreas industriais (CONTAGEM, 2013).

Essas características apresentadas anteriormente corroboram com a diversidade de ambientes resultantes de uma ocupação ora planejada, ora desordenada associada a o ambiente natural, ou pelo menos, ainda pouco transformado que resultara em diferentes faixas de concentração de calor na superfície. Desta forma, o município de Contagem, se justifica como espaço geográfico escolhido com área de estudo para esta dissertação.

6. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, optou-se por utilizar metodologia de correção radiométrica proposta por Chander e Markham (2003) *apud* Castilho (2015) na imagem termal banda 10 do Landsat 8.

Para aquisição da imagem orbital de satélite Landsat 8 foi utilizado o site do United States Geological Survey (USGS), com as coordenadas do município de Contagem e a imagem escolhida para ser feita a análise, foi a imagem referente ao dia doze de junho de dois mil e quinze (12/06/2015) o horário do registro foi as 12 horas e 56 minutos. O período do inverno foi escolhido, por ser uma época do ano em que temos uma menor atividade atmosférica e conseguimos encontrar uma imagem que não possui interferências de nuvens.

Figura 06 – Imagem de satélite LandSat 8



Fonte: United States Geological Survey

As imagens do município de Contagem - MG são disponibilizadas pelo USGS na Projeção/Datum WGS1984 UTM Zona 23N. Para dar continuidade na dissertação, as mesmas foram reprojctadas para a Projeção/Datum WGS1984 UTM Zona 23S, uma vez que corresponde à projeção do local onde será realizado o estudo. Posteriormente, recortou-se a imagem infravermelha termal (banda 10) na área desejada, correspondente à área de estudo.

Ao realizar o download da imagem, acompanha na pasta um arquivo no formato *.txt*. Neste arquivo metadados, é possível visualizar os principais fatores e constantes da banda espectral 10 que são necessários para o redimensionamento das imagens.

Tabela 01 - Valores das constantes e fatores da banda 10 para a imagem do satélite Landsat 8

Fatores e Constantes	Valor
RADIANCE_MULT_BAND_10 (ML)	0.00033420
RADIANCE_ADD_BAND_10 (AL)	0.1
K1_CONSTANT_BAND_10 (K1)	774.89
K2_CONSTANT_BAND_10 (K2)	1321.08

Fonte: Elaborado pelo autor

Através da utilização das imagens de satélite obtidas e com o intuito de identificar as regiões com maiores e menores temperaturas na cidade de Contagem - MG, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento e de classificação de imagens através de sensoriamento remoto, baseado nos trabalhos desenvolvidos por Chander e Markham (2003) e Santos et al. (2014), assim como nas fórmulas presentes em United States Geological Survey (2013).

O estudo desenvolvido por Coelho e Correa (2013) aplicou o procedimento metodológico semelhante ao presente trabalho, com a utilização da imagem do infravermelho termal (banda 10), adquirida do satélite Landsat 8, correspondente ao dia 04/08/2013 do município de Vitória-ES. Foram aplicadas equações que permitiram a identificação de temperaturas de superfície, em diferentes escalas espaciais, assim como a definição do perfil do campo térmico em distintas texturas.

De acordo com Fitz (2008), as imagens de satélite são armazenadas em uma estrutura matricial, conhecida como *raster*. Essa estrutura de dados é representada por uma matriz com n linhas e m colunas, $M(n,m)$, na qual cada célula, denominada de *pixel* (contração de *picture element*, ou seja, elemento da imagem), apresenta um valor z que pode indicar, por exemplo, uma cor ou tom de cinza a ele atribuído. Diante disso, o Número Digital (ND), também conhecido como nível radiométrico, corresponde ao valor do *pixel*.

Para a conversão dos Números Digitais para radiância espectral no topo da atmosfera (L_λ), através dos dados da Tabela 02 e da Equação 1, fornecida pelo United States Geological Survey (2013), utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS 10.

$$L_\lambda = ML.Q_{cal} + AL$$

Tabela 02 - Elementos e valores extraídos do metadados da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 1

Elemento	Significado	Valor
L_λ	Radiância espectral no topo da atmosfera [W / m ² sradμm]	<i>Raster</i> (incógnita)
ML	Fator multiplicativo de redimensionamento da radiância para a banda 10	0.00033420
Q_{cal}	Número Digital do pixel	<i>Raster</i> da banda 10
AL	Fator aditivo de redimensionamento da radiância para a banda 10	0.1

Fonte: Elaborado pelo autor

Posteriormente, aplicou-se os dados da Tabela 03 e da Equação 2, com a finalidade de converter o *raster* obtido anteriormente (radiância espectral no topo da atmosfera) para temperatura de brilho no sensor, em Kelvin.

$$T_{rad} [K] = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Tabela 03 - Elementos e valores extraídos do metadados da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 2

Elemento	Significado	Valor
Trad [K]	Temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante [Kelvin]	<i>Raster</i> (incógnita)
K1	Constante termal de calibração 1 da banda 10 [Kelvin]	774.89
K2	Constante termal de calibração 2 da banda 10 [Kelvin]	1321.08
L _λ	Radiância espectral no topo da atmosfera [W / m ² sradμm]	<i>Raster</i> obtido na Equação 1

Fonte: Elaborado pelo autor

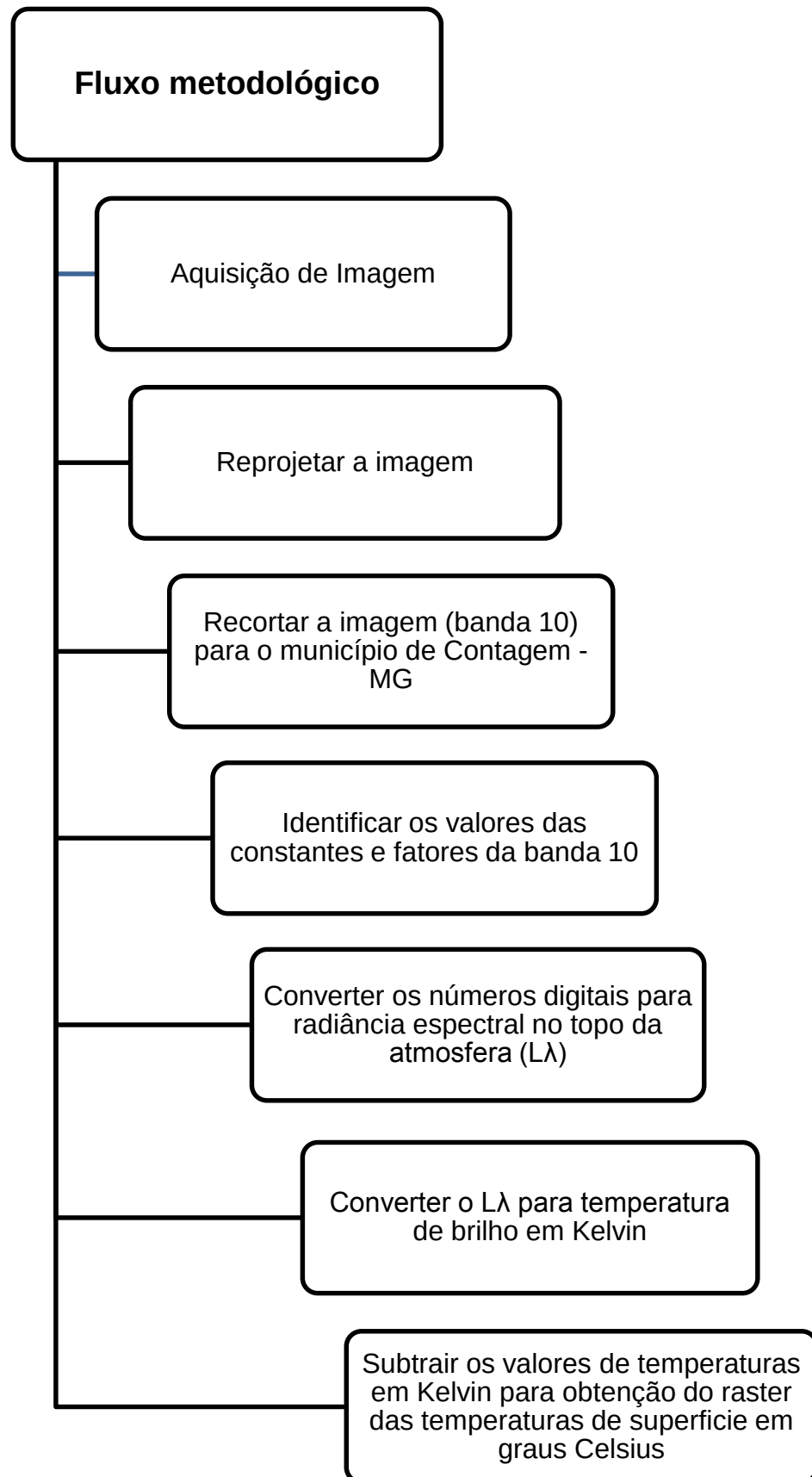
Dando continuidade, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273), através dos dados da Tabela 04 e da Equação 3, gerando-se o *raster* de temperatura de superfície em graus Celsius.

$$\text{Trad } [^{\circ}\text{C}] = \text{Trad } [\text{K}] - 273$$

Tabela 04 - Elementos e valores da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 3

Elemento	Significado	Valor
Trad [°C]	Temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante [Celsius]	<i>Raster</i> (incógnita)
Trad [K]	Temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante [Kelvin]	<i>Raster</i> obtido na Equação 2

Fonte: Elaborado pelo autor



5.1. Índice de Vegetação

Como forma de associar o uso e ocupação com as diferentes temperaturas encontradas na superfície do município de Contagem utilizou-se imagens do Google Earth, composição RGB natural de tal forma que fosse possível identificar elementos na geografia local e sua temperatura específica. Além disso, foi gerado através das bandas 5 e 4, infravermelho próximo e vermelho respectivamente o NDVI do município com intuito de ratificar as diferentes temperaturas e sua relação com a vegetação.

Os índices de vegetação são uma importante ferramenta originada por técnicas de sensoriamento remoto e buscam relacionar as informações captadas pelos sensores com a vegetação presente na área estudada. Através destes resultados obtidos temos informações a respeito da quantidade de vegetação.

Um índice de vegetação resulta da combinação dos valores de reflectância em dois ou mais intervalos de comprimento de onda, possuindo uma relação com a quantidade e o estado da vegetação em uma dada área da superfície terrestre. Em função disto, uma característica inerente aos índices de vegetação é a redução no volume dos dados este fato facilita o monitoramento e a análise da vegetação. (Rizzi, 2004).

O índice de vegetação utilizado nesta dissertação será o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), dado pela seguinte equação.

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V}$$

Onde, ρ_{IVP} = reflectância no infravermelho próximo; ρ_V = reflectância no vermelho.

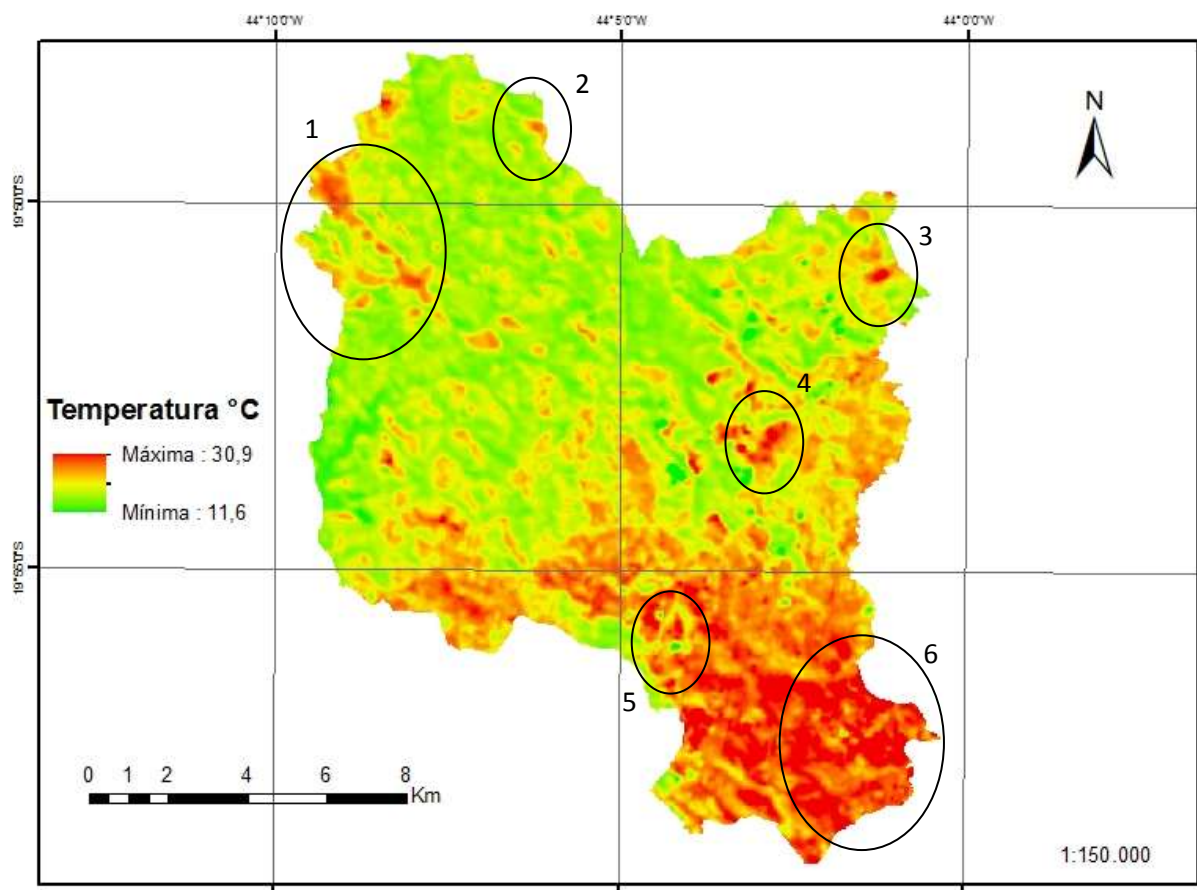
Embora numericamente os valores do NDVI possam variar entre -1 e 1, a vegetação está associada aos valores positivos. Materiais que refletem mais intensamente na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, água e neve) apresentam NDVI negativo. Solos descobertos e rochas refletem o vermelho e o infravermelho próximo quase na mesma intensidade, por conseguinte, seu NDVI aproxima-se de zero (Rizzi, 2004).

7. RESULTADOS

Os resultados de temperatura de superfície encontrados neste trabalho estão descritos neste capítulo. O município de Contagem analisado pela imagem do dia 12/06/2015 apresentou um padrão espacial distinto entre duas grandes faixas sendo uma no quadrante sul, temperaturas mais elevadas, e outro no quadrante norte, temperaturas mais amenas. Figura 06.

Este fator se justifica pela característica geral do uso e ocupação do município onde as áreas de temperaturas mais elevadas são as áreas de maiores concentrações de pessoas, casas, indústrias e circulação de automóveis.

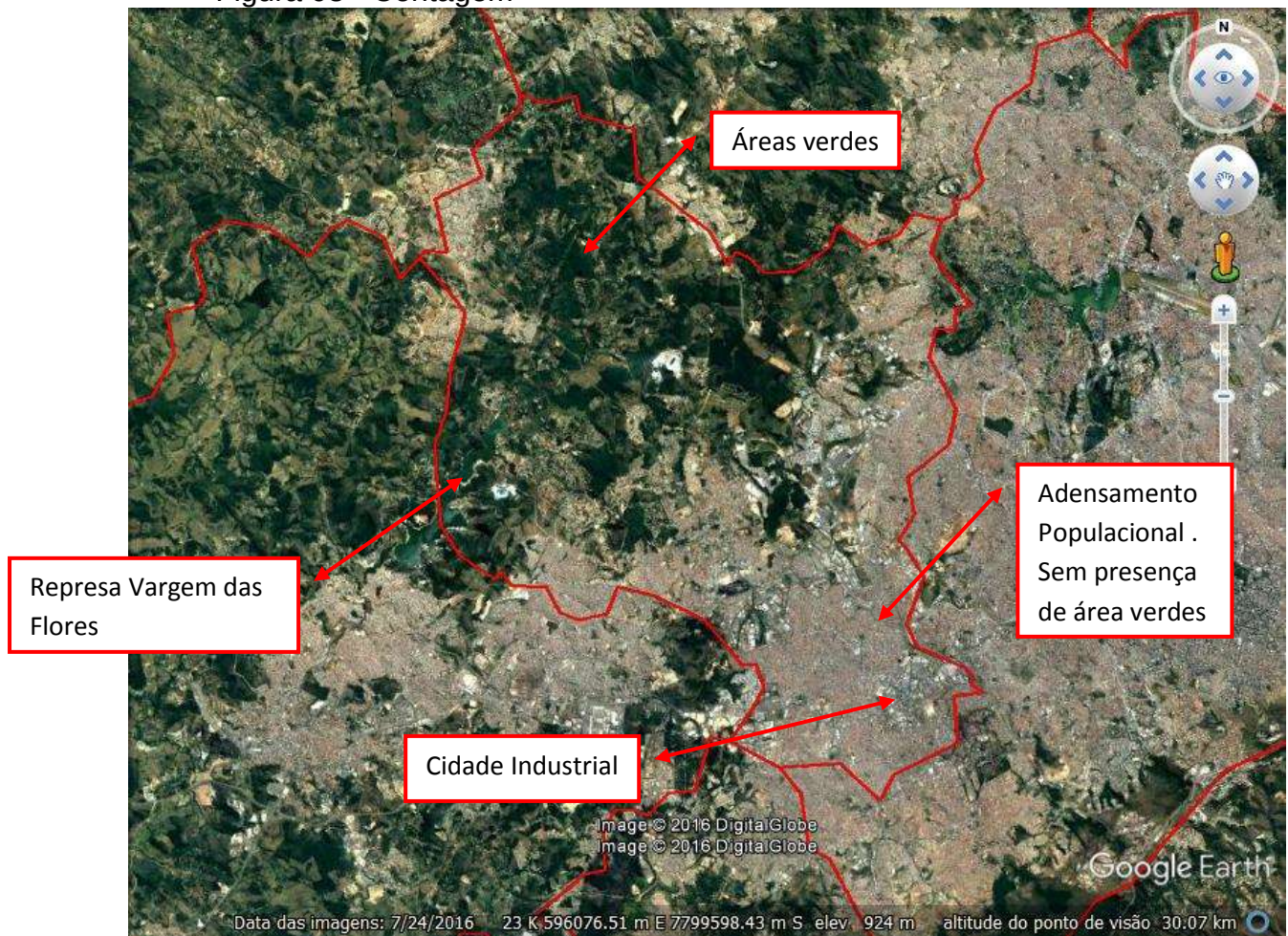
Figura 07 – Temperatura de superfície em Contagem



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o intuito de verificar a influência das construções, telhados, pavimentos, vegetação e uso e ocupação do solo nas temperaturas de superfície, realizou-se a comparação de imagens do Google Earth (2016) com o mapa de temperatura gerado.

Figura 08 - Contagem



Fonte: Google Earth

Podemos observar que as ruas, estradas, avenidas, áreas densamente ocupadas e construídas, e com menor presença de vegetação, obtiveram temperaturas de superfície mais elevadas, em virtude da menor concentração de umidade e dos maiores albedos dos materiais urbanos.

Comparando as figuras 06 e 07 podemos ressaltar alguns pontos que são destaque no mapa.

01 - No limite do município de Contagem com Esmeraldas, onde predomina uma região de temperaturas amenas, é possível identificar uma faixa de calor, ao observar a imagem do Google, podemos associá-la a uma pequena concentração urbana e a uma rodovia ligando os dois municípios.

Figura 09 – Divisa Contagem e Esmeraldas



Fonte: Google Earth

02 – Ao norte do município conseguimos identificar uma pequena mancha de calor, que ganha destaque comparando com as regiões ao seu entorno, com a imagem do Google foi possível identificar que na área há uma subestação da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais)

Figura 10 – Subestação CEMIG



Fonte: Google Earth

03 – Na região nordeste o que se destaca é uma mancha de calor bem concentrada, em uma região que o predomínio das temperaturas amenas, já não é tão presente quanto aos destaques anteriores. Por meio do Google Earth foi identificado o telhado de uma fábrica de colchão.

Figura 11 – Telhado fábrica de colchão



Fonte: Google Earth

04 – Já próximo a região central do município de Contagem temos como destaque a mancha de calor gerado pelo CEASA (Centrais Estaduais de Abastecimento), uma área com pouca presença de vegetação e a cada dia aumenta o número de edificações e áreas impermeabilizadas.

Figura 12 – CEASA



Fonte: Google Earth

05 – Ao contrário dos outros pontos em destaque, este é uma mancha de frescor que ganha visibilidade em meio a uma área quente. Podemos identificar a presença de uma vegetação que esta influenciando para amenizar a temperatura.

Figura 13 – Vegetação



Fonte: Google Earth

06 – Por ultimo o destaque é a região que apresentou as maiores temperaturas, a Cidade Industrial. Onde a presença de vegetação é mínima e encontramos grande parte das industrias do município.

Figura 14 – Cidade Industrial



Fonte: Google Earth

Segundo King e Davis (2007), a perda de energia é maior nas cidades devido à menor presença de água e pelo fato de a maioria dos pavimentos não serem porosos, o que torna o resfriamento evaporativo menor, contribuindo para as altas temperaturas.

Importante mencionar que as temperaturas de superfície exercem influência indireta, mas significativa, sobre a temperatura do ar, em especial na camada de ar onde as pessoas vivem, desde o solo até abaixo dos topos das árvores e telhados, em virtude da maior proximidade com a superfície. Por exemplo, parques e áreas vegetadas, que tipicamente têm temperaturas de superfície mais frias, contribuem para resfriar as temperaturas do ar. Áreas densas e construídas, por outro lado, tipicamente conduzem a temperaturas de ar mais quente, devido a reações do ar com a atmosfera (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

A represa Vargem das Flores que está na porção oeste do município e faz divisa com Betim, representa uma ilha de frescor ao contribuir para a atenuação das temperaturas em áreas adjacentes, pois, segundo Freitas e Dias (2005), a presença da água possibilita o aumento da fração de radiação absorvida que é utilizada para

evaporação, propiciando a redução das temperaturas de superfície e a melhoria do conforto térmico. Por outro lado, a região da Cidade Industrial, na regional Industrial, corresponde a uma ilha de calor, uma vez que registrou-se elevadas temperaturas de superfície nas dependências da indústria e em regiões próximas.

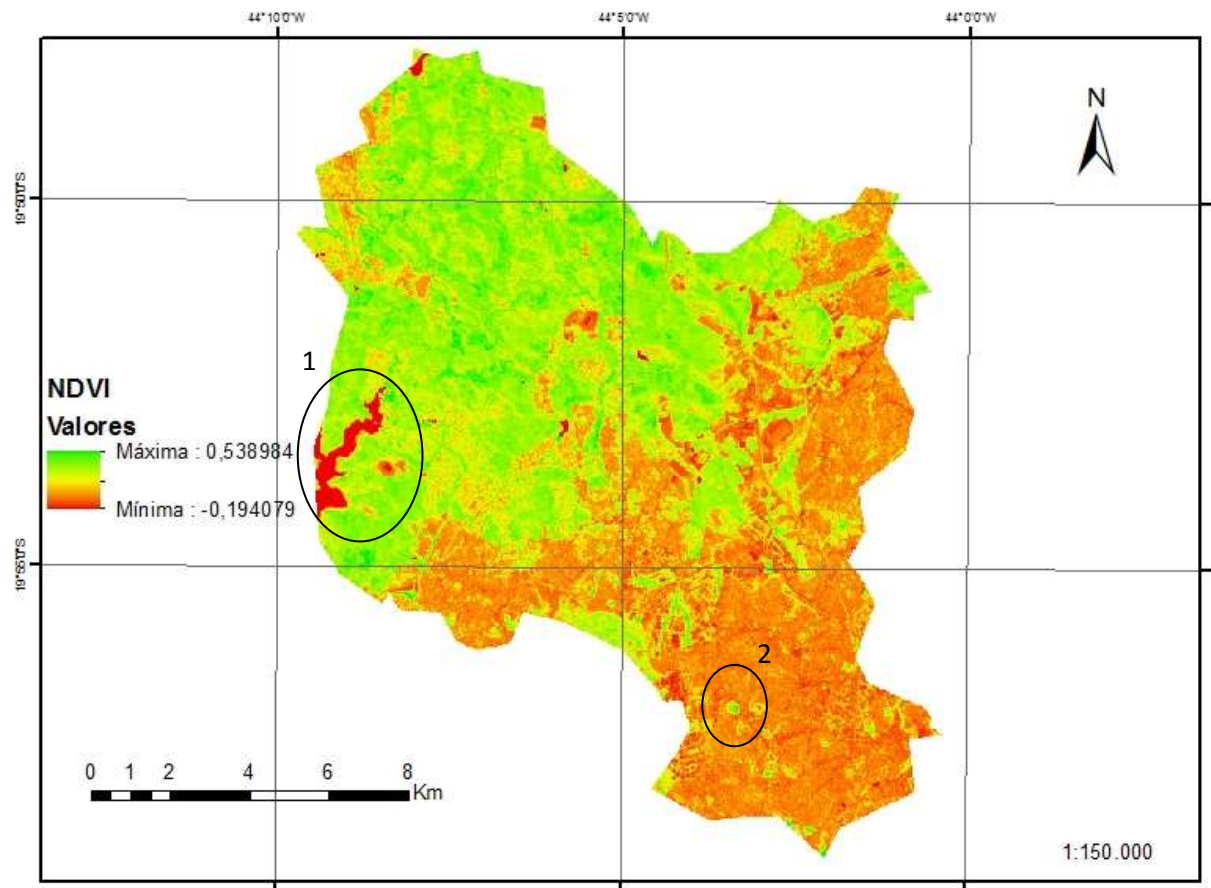
Verificou-se que as áreas dotadas de vegetação obtiveram menores temperaturas de superfície e contribuíram para a atenuação das mesmas em áreas vizinhas, e consistem, dessa forma, em ilhas de frescor. Pode-se exemplificar essa situação com as áreas verdes presentes ao nordeste divisa com o município de Ribeirão das Neves, ao norte fazendo divisa com Esmeralda e noroeste do município, na divisa limite com Betim. Essas regiões possuem uma menor densidade demográfica.

Segundo Souza (2011) destaca que as árvores e gramas têm um albedo na mesma faixa que o concreto, mas as plantas transformam essa energia em calor latente e a utilizam na fotossíntese. Já o concreto libera a energia para o ambiente, fato, também, pelo qual se observa mais calor oriundo de um ambiente construído.

De acordo com Gartland (2010), árvores e vegetação refrescam suas áreas próximas de duas maneiras: a evapotranspiração converte a energia solar em água evaporada ao invés de calor, mantendo as temperaturas do ar e da vegetação mais baixas; e promovem sombras para as superfícies e protegem-nas do calor do sol, o que mantém essas superfícies mais frescas e reduzem o calor armazenado por elas.

A figura 15 representa o NDVI composto pelas bandas 5 e 4 do Landsat 8. Os resultados obtidos permitem ratificar toda a análise anteriormente apresentada, pois os valores positivos indicados na legenda significam maior presença de vegetação ao passo que os valores de zero a valores negativos a ausência da mesma. Portanto, demonstrando a influência dos elementos no comportamento da temperatura no município de Contagem.

Figura 15 – NDVI de Contagem



Fonte: Elaborado pelo autor

01 – Ressalta-se nesta imagem, a represa Vargem das Flores em coloração vermelha e valor negativo próximo a -0,19.

Figura 16 – Represa Vargem das Flores



Fonte: Google Earth

02 – E como destaque temos um campo de futebol com grama natural e nessa mesma imagem podemos identificar também um campo de futebol com grama sintética, mas esse não é identificado pelo NDVI, pois é uma grama artificial.

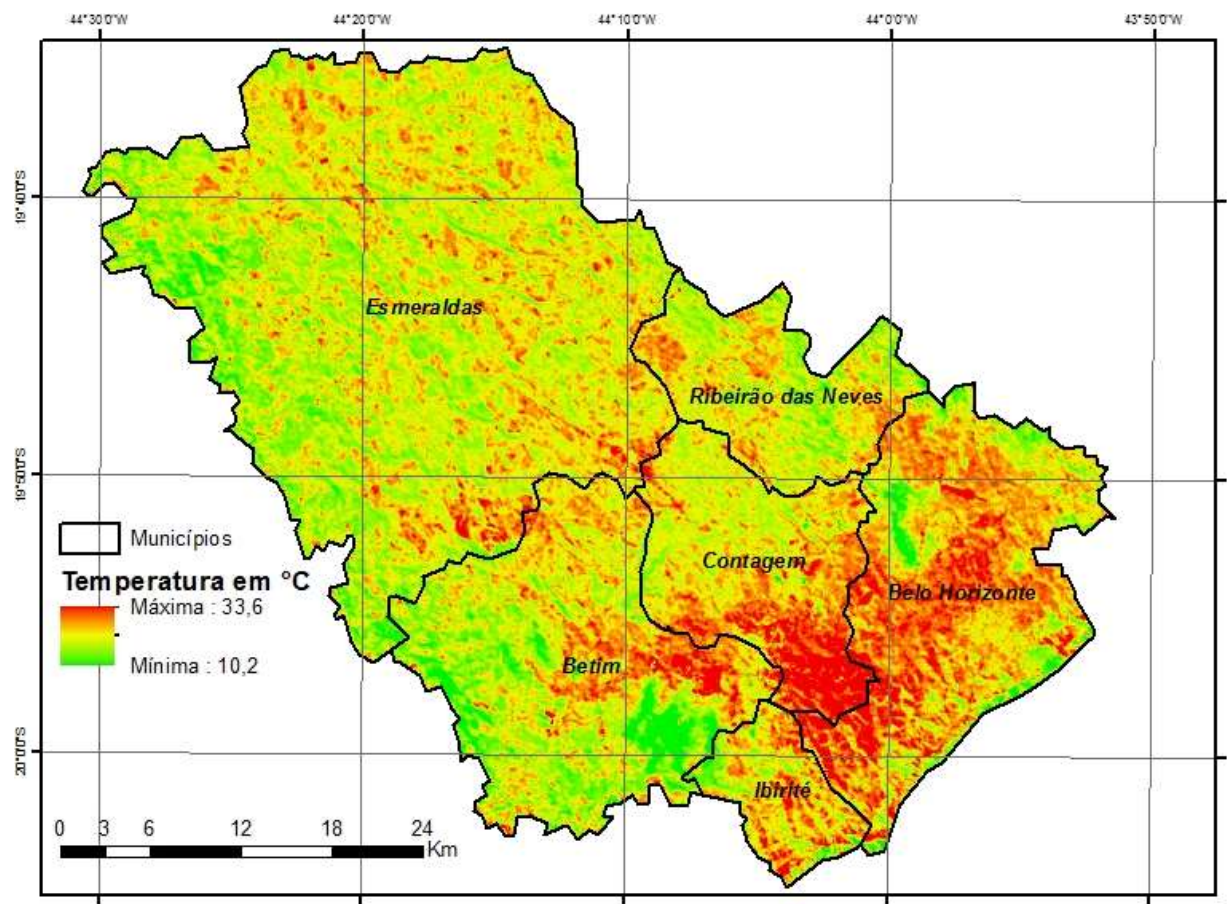
Figura 17 – Campo de futebol



Fonte: Google Earth

A seguir podemos avaliar como é o comportamento da temperatura de Contagem em relação as cidades limítrofes, Esmeraldas, Ribeirão das Neves, Belo Horizonte, Ibité e Betim. Percebe-se que temos uma grande faixa de calor que se inicia em Belo Horizonte e vai até Betim, passando por Contagem. Este é um trecho onde vamos encontrar importantes vias de transporte, como a BR-381 e também a concentração de indústrias. Por ser uma área com a presença de várias empresas e importantes vias de transporte, por consequência vamos ter um grande fluxo de pessoas e veículos motorizados e, conseqüentemente, uma grande concentração de moradias.

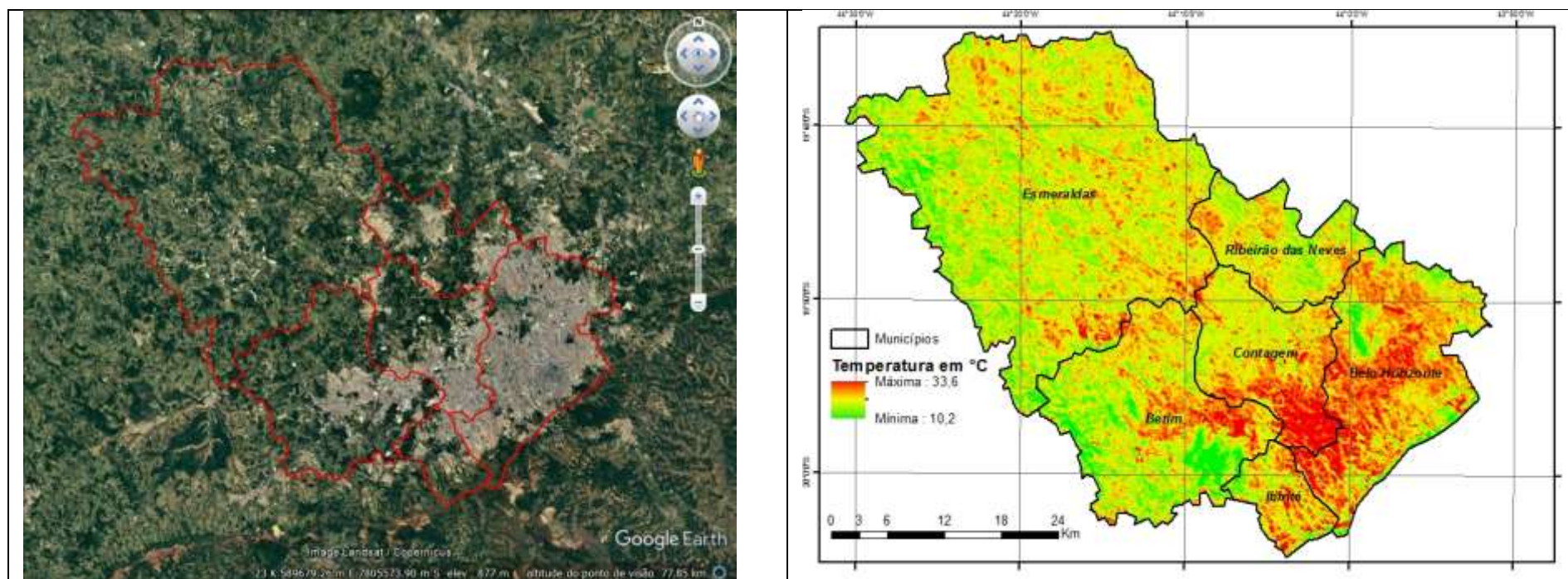
Figura 18– Temperatura de superfície em Contagem e cidades limítrofes



Fonte: Elaborado pelo autor

O município de Contagem apresentou uma grande faixa espacial com temperaturas elevadas superando os 30°C. Pode-se perceber que seus vizinhos contribuem sobre a maneira no comportamento térmico de seu território sobretudo na faixa sul nas divisas com Belo Horizonte, Ibirité e Betim. Ressalta-se ainda um núcleo com temperaturas mais elevadas na divisa com o município de Esmeraldas indicando uma contribuição da concentração urbana entre estes dois municípios.

Figura 19 – Imagem Google Earth e Temperatura de superfície



Fonte: Google Earth; Elaborado pelo autor

8. MEDIDAS MITIGADORAS DAS ILHAS DE CALOR

Apesar de os centros urbanos sofrerem influência do clima, geografia e topografia, que estão além da influência do ser humano, os governantes podem selecionar uma série de estratégias que irão beneficiar o ambiente de diversas maneiras. As comunidades também podem adotar algumas medidas para reduzir o efeito das ICU, como: aumento da cobertura vegetal; criação de telhados verdes e utilização de pavimentos frios (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2015).

Como foi analisado no mapa a região com maior quantidade de áreas permeáveis, concentração de remanescentes florestais ou presença de áreas verdes públicas apresentaram menores temperaturas de superfície e atenuação das mesmas em áreas próximas, atuando como “Ilhas de Frescor Urbano”, através do aumento da evapotranspiração, da umidade e da absorção da radiação eletromagnética, atuando na mudança do balanço de energia na cidade.

A arborização de vias públicas, praças, vazios urbanos destinados a áreas verdes, encostas e fundos de vale podem contribuir significativamente na amenização do clima urbano. (Gomes e Amorim 2003).

Segundo Gartland (2010), o plantio de árvores e vegetação realizado em locais estratégicos pode ser ainda mais útil. A realização de projetos paisagísticos merece valorização. Os sombreamentos de estacionamentos e ruas pode também ser uma maneira eficaz de resfriar uma comunidade. Uma medida que pode ser tomada para um resultado mais imediato pode-se fazer uso da trepadeira cultivada em treliças. Essas plantas requerem menos espaço e terra, crescem rapidamente e geralmente podem ser apoiadas em arames ou fios junto a paredes externas de edifícios.

O emprego de telhados-verdes também é considerada uma ótima opção para sombreamento e paisagismo de áreas urbanas. Segundo Catuzzo (2013), os telhados-verdes, também denominados coberturas-verdes, são áreas vegetadas sobre casas ou edifícios residenciais, comerciais, industriais ou públicos. A vegetação pode ser rasteira, arbustiva ou de porte arbóreo. No setor de estudo da arquitetura, é avaliado como futuro do urbanismo, para nós geógrafos pode-se dizer

que é a possibilidade para amenizar os efeitos do aquecimento no microclima urbano.

Em um estudo concretizado por Catuzzo (2013), demonstrou-se que a utilização do telhado verde sobre as coberturas diminui as temperaturas e aumentam a umidade do ar no microclima, enquanto a cobertura de concreto aumenta a temperatura e diminui a umidade do ar significativamente. A maior variação da temperatura do ar encontrada entre os dois tipos de telhados foi de 5,3°C, e da umidade foi de 15,7%.

Este trabalho realizado demonstra como é importante que medidas como a implantação de telhados verdes se tornem cada vez mais comuns em nosso dia-a-dia. Os governantes devem realizar um trabalho de conscientização com a população e incentivar este tipo de ação e começar pelas próprias estruturas públicas. Que além de causar alterações no microclima, também vão atuar na redução de consumo de energia, trazendo um conforto térmico interno e externo.

Gartland (2010) ainda considera outra ação, refere-se às coberturas mais frescas, que ajudam a reduzir as ICU, pois possuem alta refletância solar e alta emissividade térmica (acima de 85%). A autora destaca que materiais de camada única como o policloreto de vinila (PVC) e poliolefina termoplástica (TPO) geralmente tem cor branca reluzente, possuem valores de refletância solar maiores que 70% e se mantêm a uma temperatura inferior a 50°C.

Monteiro e Mendonça (2003) abordam uma questão que é essencial para o processo de mitigação, é necessário encontrar novas estratégias para uma efetiva sensibilização dos governantes encarregados das tomadas de decisão, para com a importância dos elementos e fenômenos climáticos e sua interação com a sociedade. A humanidade há que tudo indica já foi longe demais negligenciando os impactos sobre a natureza e os impactos desta sobre a sociedade. Os estudos climáticos já ofereceram elementos suficientemente confiáveis e incontestáveis para que os governantes possam, no que diz respeito à atmosfera, decidir sobre um futuro viável para a natureza e para a sociedade.

Seguindo esta linha de pensamento, Lombardo (2011) ressalta que os estudos das alterações climáticas têm sido cada vez mais considerados pelos urbanistas no planejamento urbano, o que indica a necessidade de estabelecer critérios que estejam voltados para a questão da poluição do ar e do comportamento térmico, através da descrição qualitativa em sua variação espacial. Segundo a autora, com a falta de planejamento urbano adequado e com a ausência de grandes áreas verdes no interior das cidades, modifica-se o balanço de energia havendo uma maior emissão de ondas longas pelas superfícies urbanas e, conseqüentemente, a formação de ilhas de calor.

Uma das soluções para as ilhas de calor é diminuir a emissão de poluentes atmosféricos em áreas urbanas. O plantio de árvores e a preservação de áreas verdes, principalmente nas áreas centrais e industrializadas, também são capazes de amenizar os seus efeitos. A cobertura vegetal, com capacidade natural de refletir e absorver uma parte do calor vindo da radiação solar também pode ser uma ótima alternativa. Outras soluções para amenizar os efeitos causadores das ilhas de calor urbano envolvem a utilização de materiais de construção com menor capacidade de reter calor e métodos de construção como telhados verdes e construções que utilizem cores claras. Superfícies escuras como o asfalto absorvem mais radiação eletromagnética. A principal maneira de impedir o surgimento de ilhas de calor é, sem dúvida, o planejamento urbano adequado. Isso porque, muitos dos fatores causadores desses fenômenos ocorrem como consequência de um processo acelerado de urbanização, degradação vegetal e ocupação desordenada.

9. CONCLUSÃO

Com a realização do presente trabalho, percebe-se que a utilização de imagens de satélite e geotecnologias para estudos de climatologia urbana e rural é de suma importância, pois proporciona uma visualização abrangente do território e uma rápida representação das temperaturas, auxiliando o pesquisador nas suas análises, além de contribuir na identificação, espacialização e compreensão da dinâmica climática operante de microclimas locais. Ressalta-se que este trabalho utilizou imagem de apenas um dia procurando destacar a técnica utilizada de PDI.

O mês de junho de 2015 sob atuação do fenômeno *El niño* apresentou anomalias negativas de precipitação e anomalias positivas de temperatura mínima mesmo com a entrada de massa polar o que poderia contribuir com a amenização das temperaturas, ou seja, deve-se avaliar outros dias com comportamentos atmosféricos distintos a fim de se averiguar a eficácia da técnica utilizada.

A utilização da banda 10 correspondente ao infravermelho termal do satélite Landsat 8 possibilitou identificar as temperaturas de superfície no município de Contagem, mapear ilhas de calor e de frescor, e correlacionar os usos e ocupação do solo no ambiente urbano com a presença dessas ilhas no município, o que possibilitou o conhecimento do comportamento térmico no dia 12/06/2015.

Os resultados extraídos durante a passagem do satélite evidenciaram áreas no município de Contagem com intensa reflectância termal, pavimentos, solo exposto, telhados, avenidas, ruas e outras superfícies típicas da paisagem urbana, bem como a importância de áreas vegetadas na amenização das temperaturas em áreas próximas.

Foi possível identificar quais foram às regiões no município de Contagem que sofrem com o fenômeno da Ilha de Calor, devido as suas características predominantes e também entender como é seu comportamento com as cidades limítrofes.

Diante dessas informações, pode-se nortear as políticas públicas no sentido de auxiliar na gestão e planejamento do espaço urbano, através, por exemplo, da determinação dos locais prioritários de arborização das regiões mais quentes, da regulamentação do uso do solo e do crescimento adaptativo da estrutura urbana.

Nesse contexto, o Plano Diretor do município possui essencial função, enquanto instrumento de política ambiental, em desempenhar um papel decisivo na obtenção do almejado equilíbrio ambiental urbano, de modo com que os tomadores de decisão possam adotar medidas a fim de melhorar a qualidade de vida e o conforto térmico dos habitantes.

Importante salientar que essa dissertação é um estudo de caso, no qual as informações aqui descritas são baseadas em apenas uma data. Para que possamos tirar conclusões mais assertivas, deve-se repetir essa metodologia com outras datas e épocas diferentes do ano. Assim será possível a identificação de um padrão para o município de Contagem – MG.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 2ª Ed. Ateliê Editorial, 2003

ALENCAR, Bernardo Jeunon de **A análise Multivariada no Tratamento da Informação Espacial: uma abordagem matemático-computacional em Análise de Agrupamentos e Análise de Componentes Principais**. 17/08/2009 - PUC Minas. Belo Horizonte

ANDRADE Jr., Abedal. **Contagem dos velhos (tempos)**. X Encontro Nacional de História Oral. Testemunhos: História e Política. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2010

ASSIS, Wellington Lopes. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. 2010. 319 p. Tese Doutorado Geografia. UFMG. Belo Horizonte. 2010

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p.

BONADA, Miguel Ponsá. Contagem in: **Por dentro da história**. Revista de Educação Patrimonial, ano 3, nº 4, Secretaria de Educação e Cultura. Prefeitura Municipal de Contagem, Contagem (MG), 2011.

CASTILHO, Lucas Vitor de Andrade, **MAPEAMENTO DE ILHAS DE CALOR EM BELO HORIZONTE ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS**. 2015. CEFET – MG. Belo Horizonte

CATUZZO, H. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar – o caso da cidade de São Paulo**. 206 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

CHANDER, G., MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.

COELHO, André Luiz Nascentes. **Imagens LANDSAT-8/TIRS/OLI e ASTER/GDEM Aplicadas na Avaliação do Comportamento Termal de Superfície, usos e topografia.** Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

COELHO, Carlos Wagner Gonçalves Andrade. **Tempestades severas na Região Metropolitana de Belo Horizonte: estudo de Storm track em escala regional.** 25/10/2011 - PUC Minas. Belo Horizonte

CONTAGEM Prefeitura Municipal. **Atlas Escolar, Histórico, Geográfico e Cultural. Acervo Cultural Brasileiro.** Belo Horizonte/MG. 2009

CONTAGEM Prefeitura Municipal. **Plano municipal de saneamento básico.** Dezembro 2013 Disponível em

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies.** Urban Heat Island Basics. 2008.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **HeatIsland.** Disponível em: <<http://www.epa.gov/heatisd/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

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.

GAMARRA, Nancy Laura Rios; CORREA, Marcelo de Paula; TARGINO, Admir Crésio de Lima. **Utilização de Sensoriamento Remoto em Análises de Albedo e Temperatura de Superfície em Londrina – PR: Contribuição para Estudos de Ilha de Calor Urbana.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 29, n 4, 537 – 550, 2014

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

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 10, p. 94-106, 2003.

KING, V. J.; DAVIS, C. **A case study of urban heat islands in the Carolinas**. Environmental Hazards, Oxford, v. 7, p. 353–359, 2007.

LAUDARES, Sandro **Aplicações em sistemas de geo-visualização: uma proposta metodológica a partir de componentes WEB genéricos**. 17/12/2007 - PUC Minas. Belo Horizonte

LOMBARDO, M. A. **O uso de geotecnologias na análise das mudanças climáticas na Metrópole de São Paulo**. Revista Geográfica de América Central. p. 1-19, 2011.

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

MAGALHÃES FILHO, Luiz Claudio de Almeida. **Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória**. 2006. 333 p. Tese Doutorado Geografia - PUC Minas. Belo Horizonte 2006.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.

NEIVA, H. S.; CATTAE, J. F. **A ilha de calor e frescor na cidade do Rio de Janeiro: estudo de caso dos bairros Méier e Jardim Botânico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 7, 2014, Vitória. Anais VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2014. p. 1-12.

PORTILHO, Gislene Silva e RIBAS, Wanderson Ka. Patrimônio Natural in: **Por dentro da história**. Revista de Educação Patrimonial, ano 1, vol. 1, Secretaria de Educação e Cultura. Prefeitura Municipal de Contagem, Contagem (MG), 2009

REIS, Rui Bran Januario dos **Mapeando a climatologia das descargas atmosféricas de Minas Gerais, utilizando dados de 1989 a 2002 - uma análise exploratória**. 06/09/2005 - PUC Minas. Belo Horizonte

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 212 p. 2004.

SANTOS, A. R. et al. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 Passo a Passo: Processamento de Imagens Orbitais – Volume 1**. Alegre: CAUFES, 2014

SANTOS, F. A. A. **Alagamento e inundação urbana: modelo experimental de avaliação de risco**. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SENA, Caio Atila Pereira; FRANÇA, José Ricardo de Almeida; PERES, Leonardo Faria. **Estudo da Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro Usando Dados do MODIS**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, vol 37 - 2, 2014.

SOUZA, S. M. **Mapeamento e avaliação da vegetação urbana da cidade de Vitória - ES, utilizando geotecnologias**. 2011. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2011.

STRAHLER, Arthur Newell. **Physical geography**. New York: John Wiley & Sons, 1951.