

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA NO MICROCLIMA DE FRAÇÕES
URBANAS EM CUIABÁ-MT**

EMÍLIA GARCEZ DA LUZ

**Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Orientadora**

**Cuiabá, MT
Março de 2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA NO MICROCLIMA DE FRAÇÕES
URBANAS EM CUIABÁ-MT**

EMÍLIA GARCEZ DA LUZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

**Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Orientadora**

**Cuiabá, MT
Março de 2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

G215i Garcez da Luz, Emília.
INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA NO MICROCLIMA DE FRAÇÕES
URBANAS EM CUIABÁ-MT / Emília Garcez da Luz. -- 2020
115 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Uso do Solo. 2. Zona Climática Local. 3. Ilha de Calor Urbana. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA NO MICROCLIMA DE
FRAÇÕES URBANAS EM CUIABÁ-MT

AUTORA: EMÍLIA GARCEZ DA LUZ

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 20 de março de 2020, pela
comissão julgadora:



Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Orientadora
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia – UFMT



Profa. Dra. Flávia Maria de Moura Santos
Examinadora Interna
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia - UFMT



Profa. Dra. Erika Fernanda Toledo Borges
Examinadora Externa
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	I
LISTA DE EQUAÇÕES.....	II
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE ABREVIATURAS.....	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT	VII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 CLIMA: DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES	4
2.1.1 Fatores climáticos globais	4
2.1.1.1 Radiação solar	5
2.1.1.2 Latitude, longitude e altitude.....	7
2.1.1.3 Ventos	7
2.1.1.4 Massas de água e terra.....	8
2.1.2 Fatores climáticos locais.....	9
2.1.2.1 Topografia	9
2.1.2.2 Vegetação	10
2.1.2.3 Superfície do solo.....	10
2.1.3 Elementos climáticos	11
2.1.3.1 Temperatura	11
2.1.3.2 Umidade do ar	11
2.1.3.3 Precipitações	12
2.1.3.4 Movimento de ar	12
2.2 CLIMA URBANO	13
2.2.1 Camada limite e escala urbana.....	14
2.2.2 Ilhas de calor urbanas	17
2.2.3 Morfologia e clima urbano.....	19
2.2.3.1 Classificação da urbanização conforme o clima local	23
2.3 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS	26
3 ÁREA DE ESTUDO	29
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA.....	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS METEOROLÓGICOS	32
4.1.1 Estações meteorológicas oficiais	34

4.1.2	Estações meteorológicas urbanas	36
4.1.2.1	Tratamento de dados	37
4.1.3	Correção dos dados de ventos.....	38
4.2	CLASSIFICAÇÃO DE USO DO SOLO	40
4.3	LEVANTAMENTO DA GEOMETRIA URBANA.....	43
4.4	ELABORAÇÃO DAS ROSAS DOS VENTOS.....	45
4.5	ILHA DE CALOR URBANA	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1	ANÁLISE LOCAL	49
5.1.1	Aeroporto.....	49
5.1.2	Inmet.....	53
5.1.3	PPGFA.....	57
5.1.4	Jd. califórnia.....	62
5.2	ANÁLISE GLOBAL.....	66
5.2.1	Temperatura do ar	66
5.2.2	Precipitação	73
5.2.3	Uso do solo	74
5.2.4	Geometria urbana.....	76
5.2.4.1	Ventos e geometria urbana.....	78
5.2.5	Ilha de calor urbana	79
6	CONCLUSÕES	83
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
7	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	86
7.1	REFERÊNCIAS CITADAS.....	86
7.2	REFERÊNCIAS CONSULTADAS.....	93
8	ANEXOS.....	95
9	APÊNDICE.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores das propriedades geométricas e de cobertura da superfície para as LCZ .	25
Tabela 2 - Localização das estações meteorológicas utilizadas para coleta de dados.....	33
Tabela 3 - Especificações dos sensores das estações urbanas	37
Tabela 4 - Limites climatológicos adotados na validação de limites	38
Tabela 5 - Limites climatológicos adotados na validação de consistência temporal	38
Tabela 6 - Valores típicos de propriedades relacionadas à rugosidade da superfície.....	40
Tabela 7 - Designações das bandas do satélite Sentinel-2.....	41
Tabela 8 - Classificação de uso do solo.....	42
Tabela 9 - Escala Beaufort de ventos	47
Tabela 10 - Área relativa às classes de uso do solo, em metros quadrados (m ²).....	75
Tabela 11 - Valores normalizados dos três parâmetros morfológicos das estações de estudo	77
Tabela 12 - Dados de geometrias coletados na área de influência da estação Inmet	98
Tabela 13 - Dados de geometrias coletados na área de influência da estação PPGFA	99
Tabela 14 - Dados de geometrias coletados na área de influência da estação Jd. Califórnia	101

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1		17
Equação 2		39
Equação 3		44
Equação 4		44
Equação 5		44
Equação 6		47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Início das estações do ano.....	6
Figura 2 - Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes atmosféricos.....	6
Figura 3 - Esquema de circulação do vento na atmosfera.	8
Figura 4 - Desvio do vento em cadeias montanhosas na costa nordestina.....	9
Figura 5 - Perfil do vento na atmosfera.....	13
Figura 6 - Camadas atmosféricas verticais no contexto de escalas climáticas. <i>H</i> : altura média de um edifício.....	15
Figura 7 - Diagrama esquemático do mecanismo de formação de ICU em uma cidade.....	18
Figura 8 - Esquema de classificação das LCZs.....	24
Figura 9 - Limite do município de Cuiabá-MT.....	29
Figura 10 - Normais climatológicas de temperatura no período de 1980-2010.....	30
Figura 11 - Mapa de localização das estações meteorológicas de estudo.	33
Figura 12 - Localização da estação meteorológica Aeroporto.....	35
Figura 13 – Localização da estação meteorológica Inmet.....	35
Figura 14 - Localização da estação meteorológica PPGFA.....	36
Figura 15 - Localização da estação meteorológica Jd. Califórnia.....	37
Figura 16 - Janela de geração do arquivo de entrada no WRPLOT View.....	46
Figura 17 - Classificação de uso do solo na estação Aeroporto.....	50
Figura 18 – Rosa dos ventos referente à estação Aeroporto, para o período anual.....	50
Figura 19 - Distribuição de frequência das classes de ventos na estação Aeroporto.....	51
Figura 20 - Rosa dos ventos referente à estação Aeroporto, para o período chuvoso.....	52
Figura 21 – Rosa dos ventos referente à estação Aeroporto, para o período da seca.....	52
Figura 22 - Classificação de uso do solo na estação Inmet.....	53
Figura 23 - Mapa de altura das geometrias na estação Inmet, em metros.....	54
Figura 24 – Rosa dos ventos referente à estação Inmet, para o período anual.....	55
Figura 25 - Distribuição de frequência das classes de ventos na estação Inmet.....	55
Figura 26 - Rosa dos ventos referente à estação Inmet, para o período chuvoso.....	56
Figura 27 - Rosa dos ventos referente à estação Inmet, para o período da seca.....	57
Figura 28 - Classificação de uso de solo na estação PPGFA.....	58
Figura 29 - Mapa de altura das geometrias na estação PPGFA, em metros.....	58
Figura 30 - Rosa dos ventos referente à estação PPGFA, para o período anual.....	59
Figura 31 - Distribuição de frequência das classes de ventos na estação PPGFA.....	60
Figura 32 - Rosa dos ventos referente à estação PPGFA, para o período chuvoso.....	60
Figura 33 - Rosa dos ventos referente à estação PPGFA, para o período seco.....	61
Figura 34 - Classificação de uso de solo na estação Jd. Califórnia.....	62

Figura 35 - Mapa de altura das geometrias na estação Jd. Califórnia, em metros	63
Figura 36 - Rosa dos ventos referente à estação Jd. Califórnia, para o período anual	64
Figura 37 - Distribuição de frequência das classes de ventos na estação Jd. Califórnia	64
Figura 38 - Rosa dos ventos referente à estação Jd. Califórnia, para o período chuvoso	65
Figura 39 - Rosa dos ventos referente à estação Jd. Califórnia, para o período seco	66
Figura 40 - Médias mensais de temperatura do ar nas estações meteorológicas em 2016	67
Figura 41 - <i>Boxplot</i> de temperatura do ar nas estações meteorológicas nos períodos seco e chuvoso	68
Figura 42 - Temperatura do ar média anual ao longo do dia	69
Figura 43 - Temperatura do ar média ao longo do dia no período de chuva	70
Figura 44 - Temperatura do ar média ao longo do dia no período seco	71
Figura 45 - Frequência de ocorrência (eixo vertical) de temperaturas (eixo horizontal) no ano de 2016 nas estações meteorológicas em Cuiabá-MT	72
Figura 46 - Precipitação mensal acumulada nas estações em comparação às normais climatológicas	73
Figura 47 - Uso de solo, em porcentagem, de cada estação meteorológica	75
Figura 48 - Resumo das geometrias segundo a classe de altura nas estações Jd. Califórnia, PPGFA e Inmet	76
Figura 49 - Perfis geométricos das frações urbanas estudadas e suas respectivas LCZs	77
Figura 50 - Relação entre taxa de ocupação e velocidade média dos ventos nos períodos anual, chuvoso e seco em Cuiabá-MT	78
Figura 51 - Magnitude de ilha de calor ($\Delta T_{LCZ\ X-DE}$) nas frações urbanas Desvio-padrão <0,5 K em todas as barras	79
Figura 52 - Magnitude de ilha de calor diurna ($\Delta T_{LCZ\ X-DE}$) nas frações urbanas. Desvio-padrão <1,2 K em todas as barras	80
Figura 53 - Magnitude de ilha de calor noturna ($\Delta T_{LCZ\ X-DE}$) nas frações urbanas	81
Figura 54 - Geometrias identificadas na área de influência da estação Inmet	95
Figura 55 - Geometrias identificadas na área de influência da estação PPGFA	96
Figura 56 - Geometrias identificadas na área de influência da estação Jd. Califórnia	97

LISTA DE ABREVIATURAS

CDU –	Camada do Dossel Urbano
CLA –	Camada Limite Atmosférica
CLU –	Camada Limite Urbana
EMA –	Estação Meteorológica Automática
EMS –	Estação Meteorológica de Superfície
FVC –	Fator de Visão do Céu
ICU –	Ilha de Calor Urbano
INMET –	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE –	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LCZ –	<i>Local Climate Zones</i>
METAR –	<i>Meteorological Aerodrome Report</i>
NASA –	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OLI –	<i>Operational Land Imager</i>
ROI –	<i>Region Of Interest</i>
SCP –	<i>Semi-Automatic Classification Plugin</i>
SIG –	Sistema de Informação Geográfica
SYNOP –	<i>Surface Synoptic Observations</i>
UFMT –	Universidade Federal de Mato Grosso
VLT –	Veículo Leve sobre Trilhos

RESUMO

LUZ, E. G. **Influência da morfologia no microclima de frações urbanas em Cuiabá-MT.** Cuiabá, 2020, 115 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O clima das cidades se distingue de ambientes rurais em função das atividades antrópicas, remoção da cobertura de solo natural, bem como vegetação, e geração de complexos construtivos. Em regiões mais urbanizadas, formam-se zonas muito mais quentes que as regiões periféricas da cidade, chamadas de Ilha de Calor Urbana (ICU), cujo fenômeno apresenta condições características. A cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, passou por grandes transformações no seu contexto urbano nas últimas décadas, promovendo a rápida expansão de seu território e densificação urbana. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o microclima de frações urbanas no município em função da morfologia local. Para tanto, foram coletados dados meteorológicos, de geometria urbana e de uso do solo de duas estações oficiais, do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e do Aeroporto Internacional Marechal Rondon, e de duas estações urbanas dedicadas, no bloco do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA) e em uma residência no bairro Jardim Califórnia, no ano de 2016. Posteriormente, foi analisado o perfil do vento por meio da elaboração de rosas do vento, e a ICU de cada local. As estações mais urbanizadas e com menos vegetação, situadas no bloco da PPGFA e no bairro Jd. Califórnia, apresentaram maiores temperaturas durante o ano e magnitude de ICU em relação à estação de controle (Aeroporto) em função das densidades vertical e horizontal e do calor antropogênico, bem como menor velocidade do vento. O contrário foi observado na estação meteorológica menos urbanizada, Inmet, com temperaturas mais amenas e ilhas de frescor durante o dia e ao longo do ano. A estação Aeroporto (controle), embora sem edificações, exibiu elevadas temperaturas, decorrentes do calor antropogênico liberado na região circundante. Dessa forma, os resultados evidenciaram que há influência do uso do solo e da geometria urbana no microclima local, e representam instrumentos que podem ser utilizados no processo de decisões do planejamento da cidade visando melhoria do ambiente urbano.

Palavras-chave: Uso de solo; Zona Climática Local; Ilha de Calor Urbano.

ABSTRACT

LUZ, E. G. **Influence of morphology on microclimate of urban fractions in Cuiabá-MT.** Cuiabá, 2020, 115 p. Dissertation (Master in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

The climate of cities differs from rural environments due to human activities, removal of natural soil cover, as well as vegetation, and generation of construction complexes. In more urbanized regions, much warmer areas are formed than the peripheral regions of the city, called the Urban Heat Island (ICU), whose phenomenon presents characteristic conditions. The city of Cuiabá, capital of the state of Mato Grosso, has undergone major changes in its urban context in recent decades, promoting the rapid expansion of its territory and urban densification. Thus, this study aimed to evaluate the microclimate of urban fractions in the city according to the local morphology. To this end, meteorological, urban geometry and land use data were collected from two official stations, from the National Meteorological Institute (Inmet) and from the Marechal Rondon International Airport, and from two dedicated urban stations, in the block of the Post-Graduation in Environmental Physics Program (PPGFA) and at a dwelling in the neighborhood of Jardim Califórnia, in 2016. Subsequently, the profile of the wind was analyzed through the generation of wind roses, and the ICU of each location was assessed. The most urbanized fractions with lower vegetation, located in the PPGFA block and in the neighborhood Jd. California, presented higher temperatures and ICU magnitude throughout the year in comparison to the control station (Airport) due to vertical and horizontal densities and anthropogenic heat, as well as lower wind speed. The opposite was observed in the less urbanized area, Inmet, with milder temperatures and cool islands during the day and throughout the year. The Aeroporto (control) fraction, although without buildings, exhibited high temperatures, due to the anthropogenic heat released in the surrounding region. Thus, the results showed that there is an influence of land use and urban geometry in the local microclimate, and configure instruments that can be used in the city planning decision process aiming to improve the urban environment.

Keywords: Land use; Local Climate Zone; Urban Heat Island.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

O processo acelerado de urbanização verificado nas últimas décadas trouxe mudanças significativas na malha dos centros urbanos. Como consequência, de forma recorrente, alterações no clima têm sido sinalizadas a níveis global e local, e associadas às ações antrópicas nas cidades e em seus arredores, refletindo diretamente nas características do clima de uma determinada localidade.

Tais alterações são decorrentes de modificações na superfície urbana, como impermeabilização do solo, uso de materiais pouco reflexivos e o decréscimo de áreas verdes, que resultam no surgimento de regiões com temperaturas mais elevadas na malha urbana, gerando alterações a nível microclimático.

A avaliação do clima urbano em suas diferentes escalas é, normalmente, feita a partir de séries históricas de dados, das quais se derivam as normais climatológicas, definidas como representativas do clima. No entanto, no Brasil, em sua maioria, as estações que coletam e armazenam dados climáticos se situam em áreas rurais ou regiões próximas aos limites urbanos, caracterizando áreas pouco representativas do microclima urbano.

Com a expansão das cidades e o desenvolvimento econômico no estado de Mato Grosso, diversos municípios tiveram alterações em sua conformação urbana, resultando na densificação construtiva e verticalização. A exemplo disso, a capital do estado, Cuiabá, passou por diversas alterações na morfologia, como recentemente, por exemplo, nas obras realizadas para a Copa do Mundo de 2014, que resultaram no aumento da temperatura de algumas regiões na malha urbana.

Essas mudanças no ambiente construído que, conseqüentemente, geram um aumento da temperatura, alteram o balanço energético e forçam o ambiente a modificar as condições do clima local, contribuindo para o desenvolvimento de regiões com microclima distinto de outras áreas do município, e específico para as características do local, conhecidas como Ilhas de Calor Urbano (ICU). Como resultado, essas mudanças no microclima alteram as condições de conforto da população residente.

Neste contexto, a avaliação do clima urbano generalizada para todo o complexo acaba não sendo representativa das diversas frações que compõe a cidade, visto que cada região apresenta diferentes níveis de urbanização e, portanto, apresentam

características distintas entre si. Sendo assim, o estudo dos microclimas das cidades, não somente no campo climatológico, como também associados à sua composição urbanística, abrem um vasto campo a ser explorado.

O estudo holístico dos numerosos microclimas existentes em um complexo urbano constitui um dispositivo imprescindível na aplicação de ferramentas de gerenciamento urbano, auxiliando a regulamentação do Plano Diretor em busca do desenvolvimento sustentável do município. Essas informações estratificadas sobre o clima são, ainda, insuficientes no atual cenário climático global e local, bem como no âmbito de planejamento das cidades.

1.2 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, inúmeros autores têm buscado entender o impacto da urbanização no clima das cidades, principalmente em função da expansão das cidades após o período industrial. Segundo o último relatório do IPCC (2019), estima-se que o aquecimento global atinja a marca de 1,5°C na temperatura entre 2030 e 2050 se continuar a aumentar a taxa anual, impactando a biodiversidade e ecossistemas terrestres e marinhos, bem como a população humana.

Esse cenário abre precedentes para a implantação de medidas que favoreçam o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade urbana nas cidades, visto que a atividade antrópica é a principal responsável pelo aumento de temperatura frente ao adensamento urbano. Para isso, o conhecimento do clima de uma cidade, não só em sua escala macro, mas também em suas diversas escalas de interferência, é fundamental para avaliar os padrões de microclimas existentes na malha urbana e os elementos que nele interferem.

O resultado de estudos dos parâmetros relacionados à conformação urbana e ilha de calor vêm sendo aplicados em várias cidades do mundo para melhoria da qualidade de vida dos habitantes. Dessa forma, estudos locais, em Cuiabá-MT, podem ter aplicação direta na elaboração do plano diretor da cidade e na definição de elementos norteadores das leis de uso e ocupação do solo urbano.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é avaliar a influência de parâmetros morfológicos no microclima de frações urbana no município de Cuiabá-MT. Para tanto, foram delineados alguns objetivos específicos para chegar ao resultado

esperado: Coletar dados meteorológicos de um ano completo (2016) em quatro frações urbanas em Cuiabá-MT, a fim de avaliar as condições microclimáticas de cada local; Classificar as frações urbanas conforme o clima local, com base no sistema de Zonas Climáticas Locais (LCZ); Produzir mapas de uso de solo por meio de imagens de satélite no raio de influência de cada fração urbana, com o intuito de verificar os padrões gerais de cobertura das superfícies; Levantar dados de geometria urbana das regiões delimitadas, a fim de verificar as tipologias existentes e o padrão de densidade urbana em cada localidade; Analisar, por meio das rosas dos ventos, o fluxo dos ventos em cada fração urbana, a fim de verificar o impacto dos fatores precedentes nos resultados; e investigar a magnitude de Ilha de Calor Urbana nas frações urbanas definidas nesta pesquisa.

Com esse estudo busca-se contribuir com as pesquisas de microclima urbano para Cuiabá, Mato Grosso, bem como estudos realizados no estado. Os resultados da pesquisa visam apontar a interferência da urbanização no clima local e contribuir, simultaneamente com outras pesquisas já realizadas, como uma base de dados auxiliar para orientar estudos relacionados ao planejamento urbano da cidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLIMA: DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES

O homem sempre teve interesse nas causas e efeito da atmosfera, e o entendimento de seu impacto nas atividades humanas datam desde, pelo menos, 6 mil anos (THOMPSON e PERRY, 1997). Desde então, a busca do conhecimento dos fatores envolvidos nessa dinâmica resultaram no surgimento de novas ciências como a Meteorologia e a Climatologia. A primeira estuda a dimensão física da atmosfera, tratando de fenômenos meteorológicos, como raios, nuvens, composição físico-química do ar, entre outros, mensurados por instrumentos. A segunda, por sua vez, estuda o espaço geográfico a partir da interação da sociedade com a natureza durante um longo período de tempo (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O clima pode ser analisado em diferentes escalas de magnitude, desde os fenômenos atmosféricos na zona planetária até a zona local, e seu estudo pode ser subdividido em três principais categorias: a) Macroclima, na qual se estudam aspectos climáticos de amplas áreas da Terra e movimentos atmosféricos em larga escala; b) Mesoclima, onde o estudo é feito entre áreas entre 10 e 100 quilômetros de largura; e c) Microclima, que representa o clima próximo à superfície, em áreas com menos de 100 metros de extensão (AYOADE, 1996).

Cada uma dessas escalas apresenta condicionantes para a formação do clima, desde fatores geomorfológicos e espaciais a elementos que afetam as condições climáticas. Nesta dissertação optou-se por abordá-los conforme a configuração apresentada em Romero (2013), ou seja, serão abordados os fatores climáticos globais, referentes à escala macro, os fatores climáticos locais, relacionados ao microclima e, por fim, os elementos climáticos, representativos das propriedades atmosféricas.

2.1.1 Fatores climáticos globais

Segundo Romero (2013, p. 21), “fatores climáticos globais são aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao clima, ou seja, radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos e massas de água e terra”. A atmosfera obtém energia diretamente pela radiação solar incidente ou indiretamente por processos envolvendo a superfície terrestre, que é redistribuída continuamente nos sentidos vertical e horizontal por meio de processos termodinâmicos ou movimentos de larga escala a fim

de alcançar estado de estabilidade e equilíbrio do sistema (WMO, 2011). Da mesma forma, outros fatores desempenham um papel fundamental nesse processo da busca pelo equilíbrio, e cada um apresenta suas particularidades, como será abordado a seguir.

2.1.1.1 Radiação solar

Toda a energia necessária para os processos físicos e biológicos na superfície da Terra é fornecida pelo Sol. A energia produzida em seu núcleo, a temperaturas de muitos milhões de graus, é transmitida para sua superfície e irradiada para o espaço em forma de ondas eletromagnéticas (DUFFIE e BECKMAN, 2013). Essa radiação é emitida em diferentes tamanhos de onda, cobrindo um espectro magnético que abrange as regiões de infravermelho, visível e ultravioleta. A disponibilidade e variabilidade da radiação solar incidente no topo da atmosfera estão relacionadas à posição relativa entre a Terra e o Sol e fatores astronômicos. A radiação que chega ao topo da atmosfera, chamada de radiação solar extraterrestre, quando medida por metro quadrado de superfície exposta perpendicularmente aos raios de sol, é denominada de constante solar, com valor médio de 1.367 W/m^2 .

A distância entre o Sol e a Terra varia ao longo do ano, decorrente do movimento de translação, e provoca variações sazonais na energia recebida pelo planeta em função da inclinação do globo em relação ao plano de sua órbita ao redor do Sol, de aproximadamente $23^\circ 27'$. Assim, quando os raios solares incidem perpendicularmente em pontos dos trópicos e do Equador, ocorrem os eventos denominados solstícios e equinócios, respectivamente. Durante o ano ocorrem dois solstícios quando a incidência solar é perpendicular aos trópicos de Câncer e de Capricórnio, onde, no primeiro, esse evento ocorre por volta de 22 de junho e, no segundo, por volta de 22 de dezembro. Os equinócios também ocorrem duas vezes ao ano, em 21 de março e em 23 de setembro. Esses eventos marcam as estações do ano, que duram cerca de três meses e são caracterizadas por condições atmosféricas próprias e típicas (MOREIRA e SENE, 2005; VAREJÃO-SILVA, 2006). A Figura 1 mostra o início das estações do ano em função da incidência do Sol.

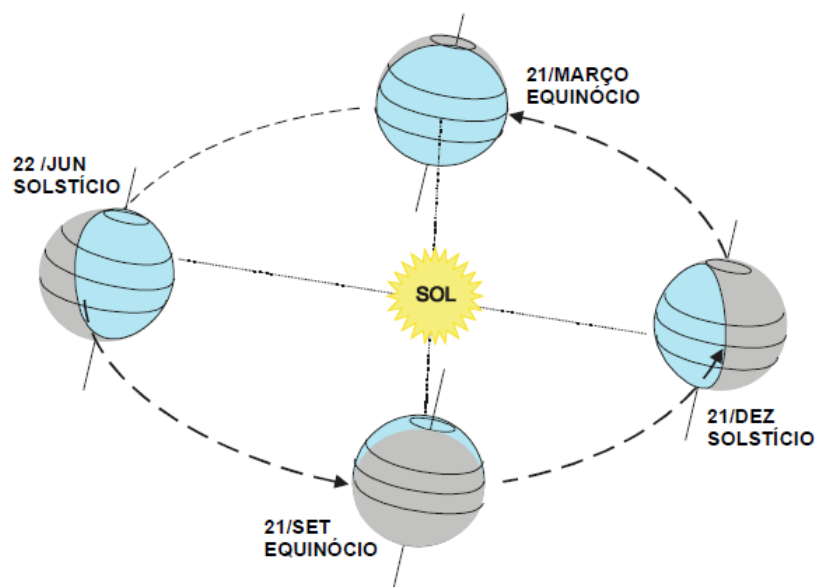


Figura 1 - Início das estações do ano
Fonte: Varejão-Silva (2006)

Ao chegar na atmosfera, a radiação, que passa a ser chamada de radiação global, tem sua intensidade atenuada por processos físicos ao longo do percurso, sofrendo absorção e espalhamento pelos constituintes atmosféricos (GONZÁLEZ, 2004; PEREIRA *et al.*, 2017), como mostra a Figura 2.

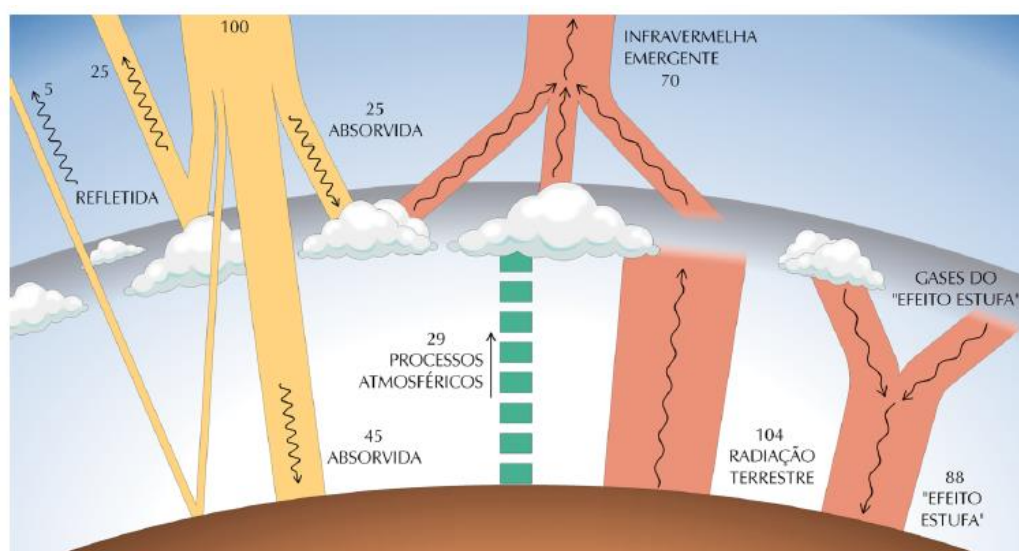


Figura 2 - Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes atmosféricos
Fonte: Pereira *et al.* (2017)

A radiação resultante do processo de espalhamento na atmosfera é conhecida como radiação difusa, enquanto a radiação que chega à superfície sem ter passado por

esse processo é chamada de radiação direta. O fluxo de radiação que atravessa a atmosfera depende da densidade do ar (nuvens) e da turbidez (transparência) da atmosfera, pela presença de partículas como pólen, poeira, fumaça e neblina (ARYA, 2001).

2.1.1.2 Latitude, longitude e altitude

A latitude, longitude e altura sobre o mar são as coordenadas que determinam a posição de um ponto da superfície terrestre. A definição da latitude é feita sempre com referência ao plano do Equador (ROMERO, 2013), e em conjunto com a longitude são chamadas de coordenadas geográficas e determinam a posição de um ponto considerando-se a Terra como uma superfície lisa.

A linha do Equador corresponde ao círculo máximo do globo e o divide em dois hemisférios, Norte e Sul, e seus paralelos indicam a distância do Equador, variando de 0° a 90° nas duas direções. À medida em que se afasta do Equador, maior a inclinação dos raios solares incidentes na superfície e maior a área de distribuição da mesma quantidade de energia, fazendo com que as temperaturas vão diminuindo ao se aproximar dos polos. Assim, diferentes zonas climáticas são formadas: tropicais, compreendidas na faixa entre os trópicos de Capricórnio e de Câncer; temperadas, na faixa entre os trópicos e as zonas polares; e, por fim, as zonas polares, situadas nos dois polos da esfera (MOREIRA e SENE, 2005)

A longitude é traçada perpendicularmente às linhas paralelas ao Equador e tem como ponto de referência o Meridiano de Greenwich, e pode variar de 0° a 180° para leste (E) e para oeste (O). A altitude (z), por sua vez, é definida como a distância vertical de um ponto ao nível médio do mar, sendo positiva quando está acima do nível e negativa quando abaixo dele; A altitude, latitude e longitude determinam a posição de um ponto na superfície real e irregular do planeta (VAREJÃO-SILVA, 2006).

2.1.1.3 Ventos

Os ventos são correntes de convecção da atmosfera com padrão de movimento regido pela rotação da Terra, que tendem a uniformizar os diferenciais de aquecimento de diversas zonas. Na zona de aquecimento máximo, na faixa Equatorial, o ar aquecido se expande e sua pressão decresce, fazendo com que a massa de ar se torne menos

denso e ascenda verticalmente em direção a regiões mais frias, criando zonas de baixa pressão (KOENIGSBERGER *et al.*, 2013).

As correntes de ar vindas das regiões subtropicais que se deslocam para essas zonas de baixa pressão geram um movimento de circulação horizontal. O ar aquecido sobe até certo ponto, se resfria novamente e desce na faixa subtropical, produzindo zonas de alta pressão e se propagando nas direções norte e sul. Essa zona de encontro dos ventos norte e sul é conhecida como zona de convergência intertropical (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2010), como mostra a **Figura 3**.

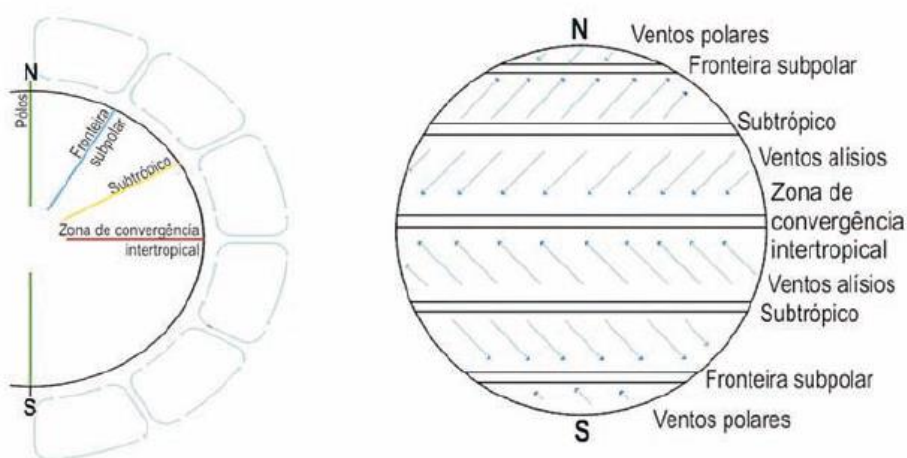


Figura 3 - Esquema de circulação do vento na atmosfera.

Fonte: Bittencourt e Cândido (2010)

Os ventos variam em frequência, direção e velocidade e são mais suaves durante a noite em climas tropicais do que durante o dia (CORBELLA e CORNER, 2011).

2.1.1.4 Massas de água e terra

A continentalidade e a maritimidade são fatores que exercem forte influência no clima de uma região, principalmente na temperatura e na umidade do ar. A capacidade de retenção de calor (calor específico) da água é maior que a da terra, portanto a água, embora demore mais para ser aquecida, retém o calor por mais tempo e demora a liberar a energia absorvida. Assim, quanto mais distante de massas de água, maior a variação de temperatura ao longo de um dia, ou mesmo de uma estação, em uma área e, conseqüentemente, maior a amplitude térmica e mais rápido o resfriamento à medida que a insolação diminui, quando comparada a áreas adjacentes ao oceano, por exemplo, (MOREIRA e SENE, 2005).

Segundo Romero (2013) a proporção entre as massas de terra e de água podem produzir grandes variações ao longo de uma mesma latitude, bem como locais próximos com elevações diferentes, como, por exemplo, em regiões com terras mais baixas nas proximidades, em que o acidente de relevo desvia as brisas que sopram do corpo d'água e criam, no lado oposto – a sotavento -, um microclima distinto, como mostra a Figura 4.

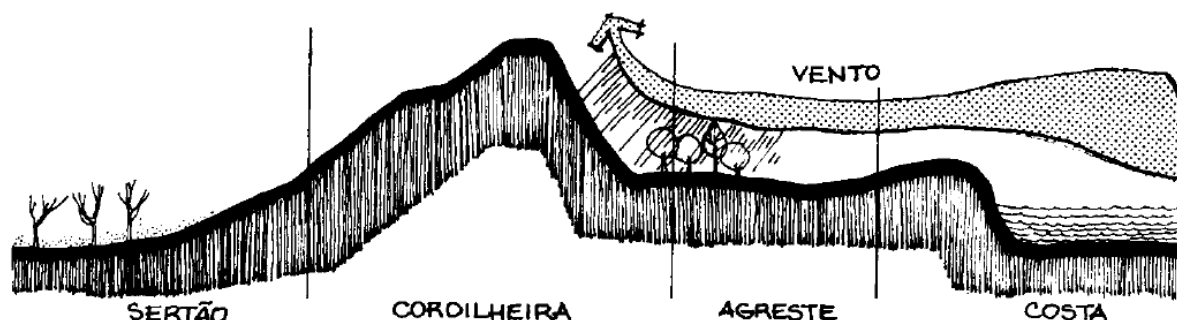


Figura 4 - Desvio do vento em cadeias montanhosas na costa nordestina

Fonte: Romero (2013)

2.1.2 Fatores climáticos locais

2.1.2.1 Topografia

A topografia é o fator mais importante na quantidade de precipitação que um local recebe. Como apresentado no tópico anterior, uma barreira montanhosa paralela à costa apresenta precipitação abundante, tanto ciclônicas quanto orográficas, à barlavento, ou seja, no lado onde incide o vento. Por outro lado, em regiões planas, onde não há variações significativas de altura, a precipitação se espalha mais uniformemente em uma área ampla, e a quantidade de chuva recebida anualmente por estações individuais é mais moderada. Dessa forma, a topografia promove diversos microclimas dentro de uma área relativamente pequena. (PETERSEN, SACK e GABLER, 2011).

No ambiente urbano, pequenas diferenças de topografia podem alterar o fluxo dos ventos, visto que a corrente de ar oriunda de regiões rurais precisa se ajustar às novas condições limítrofes definidas pelo meio urbano (ALLARD e GHIAUS, 2005). No campo térmico, a topografia pode ser influente a ponto da variação de temperatura depender mais da morfologia local do terreno do que da geometria urbana, assim,

isolar os efeitos da urbanização e topografia na temperatura local pode ser difícil em cidades de morfologia muito acidentada (GANHO, 1999).

2.1.2.2 Vegetação

A densidade de vegetação varia muito conforme os diferentes tipos de cobertura vegetal. Ela influencia diretamente na umidade, pois a absorve do solo e a transfere para a atmosfera, bem como na absorção e irradiação de calor, visto que recebe a radiação na superfície de suas folhas. Dessa forma, quando ocorre um desmatamento de grandes proporções a umidade relativa reduz significativamente, à medida que a temperatura eleva pela absorção do calor (SENE e MOREIRA, 2010)

Nas áreas urbanas, como consequência, a vegetação cria um microclima diferente em comparação a áreas não vegetadas, pois afeta a temperatura em função da menor capacidade calorífica e de condutibilidade térmica que os materiais de edificações, bem como baixo albedo; a velocidade do vento e a turbulência ao reduzir as flutuações próximas ao solo e filtrar a poeira e a contaminação do ar proveniente da atividade humana; a umidade, visto que as áreas verdes apresentam taxa de evaporação superior às regiões sem plantas; e a temperatura radiante, pois a radiação de onda longa nas folhas é mais lenta que a da vizinhança e, como resultado, a pressão do calor radiante nos pedestres é menor (ROMERO, 2015)

2.1.2.3 Superfície do solo

A superfície do solo se refere ao material constituinte da superfície terrestre, e pode ser dividida, de forma simplificada, em solo natural, que se referem aos materiais naturais, como areia, grama, terra, água; e solo construído, relacionado aos materiais fabricados pelo homem, como asfalto e concreto.

O solo natural é importante para avaliar o potencial hídrico e a capacidade térmica de um local, determinando os índices de reflexão e absorção do solo. Se não há umidade disponível, a energia excedente é convertida em calor sensível, gerando aumento de temperatura, enquanto a disponibilidade de água e o potencial de resfriamento agregado a ela desempenham um papel importante na temperatura do ar próxima à superfície. Em termos de resposta climática, as superfícies naturais promovem um controle da umidade por um período mais longo comparado ao de superfícies construídas, que perdem umidade mais facilmente, resultando em sistemas

mais secos, enquanto o primeiro cria microclimas mais úmidos dominados pelos efeitos da evapotranspiração (ERELL, PEARLMUTTER e WILLIAMSON, 2011; ROMERO, 2013)

2.1.3 Elementos climáticos

2.1.3.1 Temperatura

Segundo Ayoade (1996), “a temperatura é a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância para outra”, sendo determinada em um corpo pelo balanço do saldo de radiação e pela sua transformação em calor latente e sensível.

O gradiente vertical, ou redução vertical geral, de temperatura é determinado pelas trocas de energia e pelo movimento do ar, e depende do sistema de pressão. O ar é menos carregado de partículas sólidas e líquidas à medida em que a altura aumenta, reduzindo a absorção e difusão da radiação solar, e, conseqüentemente, reduzindo a temperatura do ar (ROMERO, 2013).

O gradiente na camada mais próxima da superfície é de aproximadamente 6,5°C/km, porém não é constante com as variações de altitude, estação ou localização. Assim, nos primeiros 2 km o gradiente é de 5°C/km, de 6°C/km entre 4 e 5 km, e de 7°C entre 6 e 8 km, segundo cálculos em *Climate Through the Ages* de Brooks *apud* Barry e Chorley (2013).

2.1.3.2 Umidade do ar

A água presente na atmosfera passa por processos de mudança de fase que são de grande importância em processos físicos naturais, como na distribuição de calor na atmosfera, na evaporação e evapotranspiração, entre outros. Na atmosfera, a água também está presente como vapor d'água, juntamente com gases atmosféricos, exercendo uma pressão na atmosfera. A umidade do ar é quantificada pela relação entre a massa de vapor pelo volume de ar (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2007).

A umidade relativa representa a razão entre a umidade atual do ar e a de umidade de saturação, ou seja, a quantidade de vapor em um volume caso ele estivesse saturado, expressa em porcentagem, assim, a umidade relativa a 100% indica que o ar está saturado. A umidade relativa possui uma relação estreita com a temperatura do ar,

e apresenta uma tendência a aumentar à medida que a temperatura diminui, ocorrendo, também, o processo inverso (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Dessa forma, em locais com baixa umidade do ar, há maior amplitude térmica, visto que os dias tendem a ser mais quentes e as noites mais frias. Por outro lado, em locais com elevada umidade a radiação é absorvida e redistribuída, onde parte dela volta ao espaço, atenuando extremos de temperatura.

2.1.3.3 Precipitações

A evaporação da água do solo e de superfícies líquidas, como lagos, rios e oceanos, satura o ar atmosférico e promove a condensação do vapor d'água, formando nuvens de chuva ou outras precipitações para redistribuir a água na atmosfera, podendo ocorrer por diferença de temperatura ou de pressão.

A precipitação é um dos principais componentes do ciclo hidrológico, retornando a maior parte da água que recicla no planeta. Alguns padrões da precipitação podem ser mencionados a nível global, como, por exemplo, a precipitação ser abundante na zona equatorial e em quantidades moderadas nas latitudes médias; áreas próximas a corpos d'água recebem mais precipitação do que regiões no interior do continente; a precipitação ser igual em latitudes médias nos dois hemisférios, além do solo reter mais umidade; entre outros (AYOADE, 1996).

2.1.3.4 Movimento de ar

O movimento de ar é resultado do deslocamento de porções da atmosfera que se formam sobre uma superfície homogênea, como o oceano, as calotas polares, ou florestas, por diferença de pressão, e levam as condições de temperatura e umidade do local de origem para outras regiões, onde interagem com outras massas atmosféricas e mudam suas características devido à troca de calor e/ou umidade (MOREIRA e SENE, 2005).

O ar se movimenta nos sentidos horizontal e vertical, onde o primeiro é decorrente das diferenças térmicas nas escalas global (planeta) e local (cidade/campo), e o segundo ocorre em função do perfil de temperatura na camada inferior da atmosfera (troposfera) (ROMERO, 2013).

Na escala local, o vento é o mais irregular dos componentes do clima, sendo afetado pela topografia, vegetação e edificações circundantes (ROSELUND, 2000).

Ao passar sobre a cidade, o vento diminui sua velocidade até um limite crítico, e é submetido a desvios de direção dos fluxos em função da rugosidade. No entanto, ao entrar no tecido urbano, o incremento do gradiente térmico vertical verificado em regiões densamente urbanizadas provoca turbulências e rajadas mais pronunciadas, apesar de apresentar velocidade média reduzida, em cerca de 20 a 30%, quando comparada à de áreas próximas (GANHO, 1999).

Na Figura 5 é possível observar o perfil do vento nas diferentes camadas da atmosfera e em função do relevo.

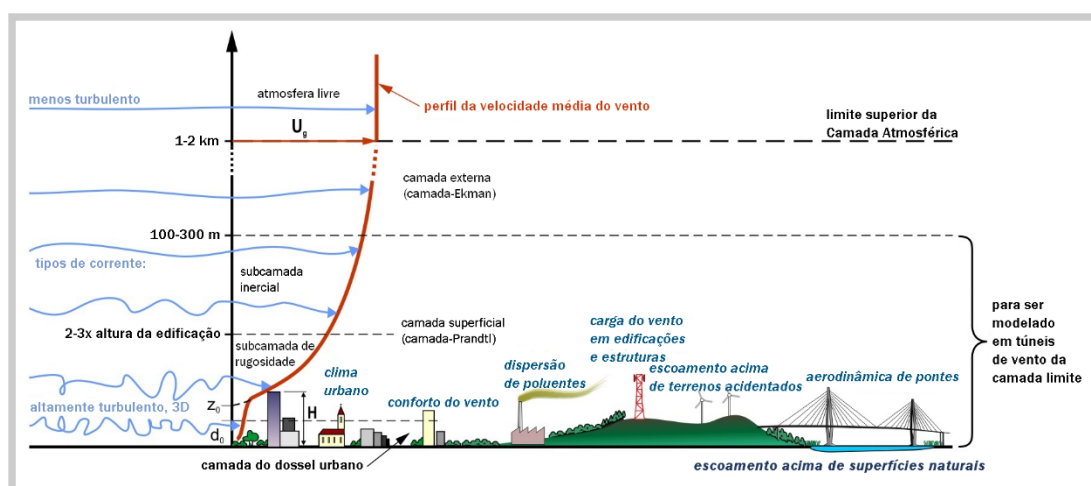


Figura 5 - Perfil do vento na atmosfera
Fonte: Adaptado de Bemis (2018)

2.2 CLIMA URBANO

Segundo Barbirato *et al.* (2016), o ambiente urbano se diferencia pela ação antrópica sobre o meio natural, gerando o que se chama de “clima urbano”, situação típica das cidades, e se distingue de outros ambientes com áreas menos construídas por diferenças entre parâmetros do clima, como temperatura do ar, umidade, velocidade e direção dos ventos e precipitação.

As fontes adicionais de calor, decorrentes de atividade humana, e a composição dos materiais de sua superfície, em sua maioria bons condutores térmicos, interferem nos elementos do clima, alterando a composição da baixa atmosfera e a geometria urbana característica (GANHO, 1999).

De acordo com Terrin (2015), o clima de uma cidade é composto por um mosaico de microclimas, formado por volumes construídos (sólidos) e espaços vazios, cuja textura urbana e orientação influenciam na penetração da luz solar e do vento.

Cada espaço urbano apresenta, ainda, uma morfologia particular que dita fenômenos como distribuição das áreas sombreadas e ensolaradas, campos de radiação solar e térmica gerada, e o fluxo de ar. Juntos, esses fenômenos impactam diretamente no equilíbrio térmico e no balanço energético da cidade, delineiam camadas que determinam como o clima atua nas diferentes escalas.

2.2.1 Camada limite e escala urbana

Na Climatologia Urbana, a escala de referência define, a partir das extensões horizontais e níveis verticais atmosféricos de interesse, o contexto dos fenômenos físicos predominantes, e, independentemente da escala, as camadas atmosféricas estão em interação contínua (BOURIKAS, 2016). Cada pequena intervenção resulta em impactos e transformações que se somam a outros semelhantes na mesma escala geram efeitos que ultrapassam suas fronteiras físicas e repercutem em escalas maiores (MALAMUT, 2011).

De acordo com Oke *et al.* (2017), a maioria dos fenômenos do clima urbano se encontra nos domínios da microescala, escala local e mesoescala, onde cada característica climática se combina para compor outras maiores até alcançar toda a Camada Limite Urbana (CLU) (Figura 6), uma manifestação climática de mesoescala que se desenvolve à medida em que o vento das áreas rurais flui para o meio urbano, formando um conjunto de características limitantes muito particulares.

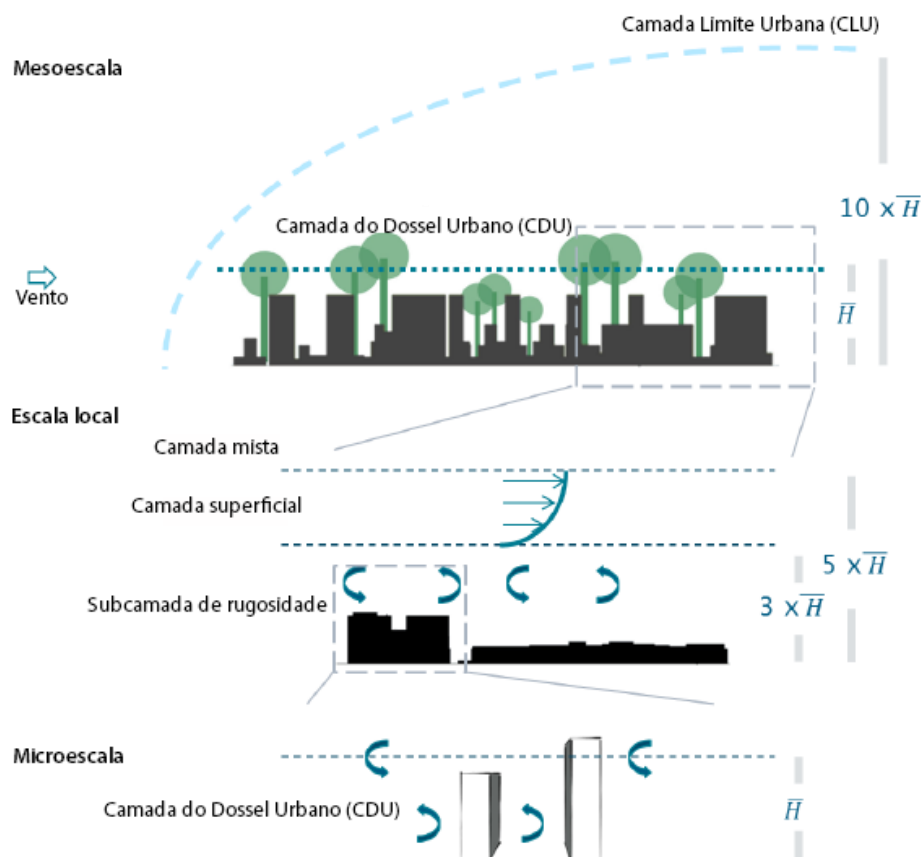


Figura 6 - Camadas atmosféricas verticais no contexto de escalas climáticas.

$\bar{H}$: altura média de um edifício

Fonte: Bourikas (2016), após Oke (1987), traduzido pela autora

O fenômeno urbano é apenas parte do espectro completo das escalas atmosféricas, e o clima urbano está sob influência de eventos climáticos sinóticos que, em escalas de tempo mais longas, resultam no padrão climático de um local. A parte mais baixa da atmosfera terrestre que está em contato direto com a superfície da Terra é chamada Camada Limite Atmosférica (CLA), com profundidade entre 100 e 3.000 metros e controlada pela rugosidade, combinações térmicas e injeções de umidade e poluentes atmosféricos da superfície da Terra.

Na porção mais externa da CLA (cerca dos 90% superiores da camada), os efeitos térmicos da superfície terrestre são dominantes, formando a camada mista, onde as propriedades atmosféricas, como por exemplo os perfis verticais de temperatura potencial, vapor d'água, velocidade e direção do vento, sejam homogeneizados com a altitude. Por sua vez, na porção mais interna da CLA (aproximadamente nos 10% inferiores da camada), forma-se a chamada camada superficial, na qual o fluxo é dominado pelo atrito com a superfície terrestre.

Abaixo da camada superficial, entre o solo e até duas a cinco vezes a altura dos edifícios/árvores, se encontra a subcamada de rugosidade, na qual o fluxo é afetado pela natureza de rugosidade de elementos individuais. Nela ocorre a movimentação do fluxo em decorrência da temperatura, umidade e poluição das facetas dos elementos, resultando em uma zona de vórtices, plumas, subidas e descidas do fluxo. Essa subcamada inclui a Camada do Dossel Urbano (CDU), que consiste na região entre o solo e a altura média dos edifícios e das árvores, tanto na parte externa da atmosfera (ao ar livre), quanto na parte interna (dentro dos edifícios). A CDU é produzida por processos de microescala que operam nas ruas (“*canyons*”) entre os edifícios, produzindo uma combinação de microclimas onde cada um é determinado pelo seu entorno imediato (OKE, 1987).

A ação antrópica tem produzido efeitos comparáveis às forças naturais que influenciam o clima. Mudanças no uso do solo através do desflorestamento, das construções das cidades, do armazenamento e uso de água, e uso de energia são exemplos de fatores locais que interferem no clima (TRENBERTH *et al.*, 2000). Uma das formas de entender a variação do microclima urbano para o de áreas rurais no entorno das cidades é por meio do balanço energético superficial, baseado na Primeira Lei de Termodinâmica, em que a energia só pode ser convertida de uma forma para outra, assim, a energia que entra deve ser igual ao somatório da energia de saída e a diferença na energia armazenada (ERELL, PEARLMUTTER e WILLIAMSON, 2011).

O balanço de energia de áreas urbanas difere do de áreas periféricas em função da cobertura do solo, das características de superfície, e do nível das atividades antropogênicas, que afetam a geração e transferência de calor e podem levar a diferentes temperaturas de superfície e do ar nas áreas urbanas e periféricas (EPA, 2014). Em vista disso, o balanço energético urbano, apesar de similar ao de superfícies rurais planas, não pode ser resumido à soma do balanço energético de superfícies individuais na atmosfera. As facetas são, também, agregadas entre si por radiação, vento e turbulência, que interagem e podem gerar alterações internas no saldo de energia de todo o volume, como, por exemplo, pelo aquecimento ou resfriamento de materiais, do ar, etc. Assim, o balanço energético urbano pode ser representado pela Equação 1 (OKE *et al.*, 2017, p. 102):

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_s + \Delta Q_A \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde Q^* representa o fluxo líquido de radiação, Q_F o fluxo de calor antropogênico, Q_H o fluxo de calor sensível convectivo (ou turbulento) e Q_E o fluxo de calor latente. As variações da energia líquida armazenada e transportada por advecção correspondem, respectivamente às variáveis ΔQ_s e ΔQ_A .

2.2.2 Ilhas de calor urbanas

A ilha de calor urbana torna os centros de áreas densamente povoadas mais quentes do que as zonas interiores e é muito influenciada por alguns fatores como a densidade de ocupação de uma área, capacidade térmica, a troca de calor de edifícios com o ambiente externo, a paisagem urbana e os fluxos de ar (ROAF *et al.*, 2009), além do comportamento da atividade urbana, derivado do consumo de energia e do calor gerado por atividades antrópica, que afetam diretamente o ambiente térmico e, eventualmente, resultarão em um padrão de temperaturas elevadas (SUN, 2015).

Diferentemente das superfícies naturais, as formas urbanas alteram o contorno do solo e criam uma superfície áspera, com materiais artificiais com alta capacidade de retenção de calor, que armazena a radiação solar e interrompe o fluxo do vento, prejudicando o balanço energético (aumento de temperatura) e o ciclo da água (redução da evaporação e da umidade) (TERRIN, 2015).

A concentração e a compactação de edifícios altos permitem o uso intensivo do solo, mas causam superlotação populacional em localidades que pode resultar em impactos drásticos em áreas abertas, ruas e parques, e sobrecarregar excessivamente a infraestrutura existente (ROAF *et al.*, 2009). Assim, regiões com elevada densidade de prédios altos construídos com materiais de baixo albedo formam paisagens com maior obstrução da visão do céu e com reflexões múltiplas entre as superfícies construídas, que impedem a fuga de calor para a atmosfera (IMAM e INDU, 2018), como mostra a Figura 7.

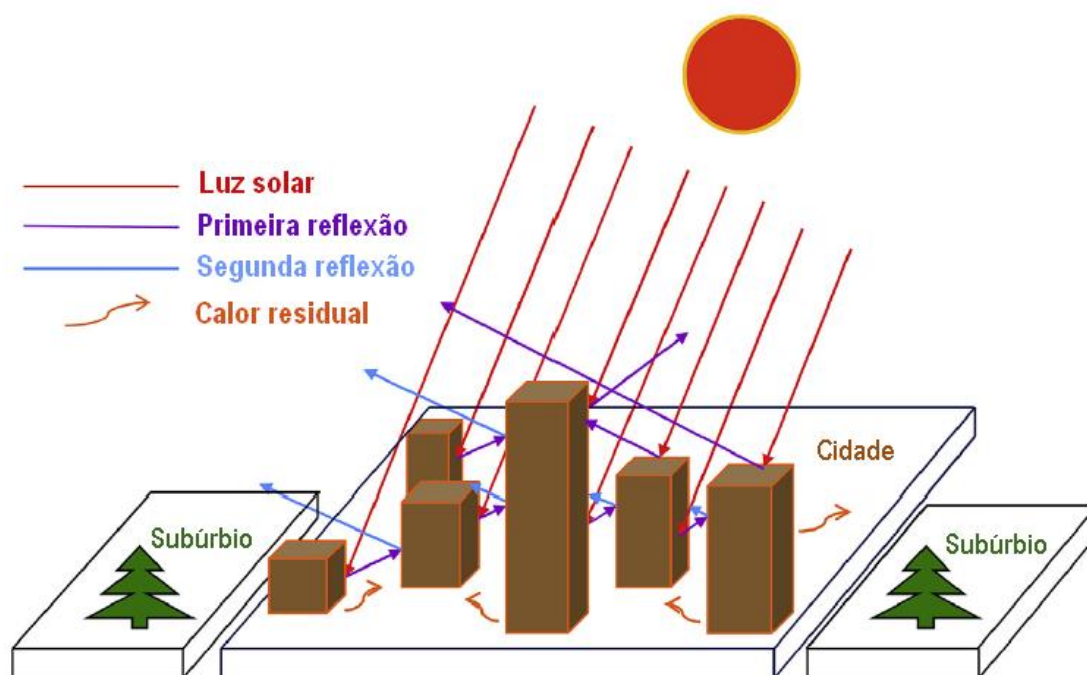


Figura 7 - Diagrama esquemático do mecanismo de formação de ICU em uma cidade

Fonte: Ren (2015), traduzido pela autora

Segundo Maitelli (2005), os prédios funcionam como obstáculo para o vento, e modificam seu fluxo natural, o que aumenta a turbulência e dificulta a ação do vento na dispersão de calor. Nas áreas tropicais, conforme ressalta Assis (2005), “o aumento na temperatura do ar nos centros mais densos, a alteração no regime de ventos e de chuvas pode resultar em estresse bioclimático, danos sociais e materiais através do aumento do risco em episódios climáticos severos”, entre outros, além do aumento do consumo de energia para manutenção do conforto térmico.

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (2018), a natureza dos ambientes urbanos impossibilita que a escolha de locais e a exposição da instrumentação necessária para estabelecer um registro homogêneo que permita descrever o clima em larga escala esteja em conformidade com as orientações padrões recomendadas. No entanto, áreas urbanas têm sua significância por monitorar mudanças reais no clima local que podem ser relevantes para uma gama de aplicações. Assim, diversos estudos têm sido realizados ao longo das últimas décadas com o intuito de analisar os impactos da urbanização no clima das escalas que englobam as cidades.

Especificamente em Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso, alguns estudos foram realizados acerca do tema. Barros (2012) realizou um estudo com relação à dimensão fractal e ilha de calor em cinco bairros do município, através de medições de transecto móvel e mapas de uso de solo em um raio de influência entre 200 m e 500 m. No estudo, o autor verificou que os fragmentos de vegetação influenciam a temperatura do ar no entorno imediato e se estendem em determinadas épocas do ano, como, por exemplo, no período seco, mesmo em ambientes com baixos percentuais de área vegetada. Em locais densamente construídos e verticalizados, com pouca vegetação, o autor identificou uma ilha de calor de intensidade forte a muito forte, com elevadas amplitudes térmicas nos períodos seco e chuvoso.

Neto e Amorim (2017) estudaram a relação entre a ICU e o índice de desconforto térmico em Cuiabá, a partir de medições de transecto móvel, bem como aspectos sociais e de distribuição de renda no espaço urbano. Conforme as classes de desconforto utilizadas como referência para o estudo, os autores verificaram que as temperaturas coletadas no percurso submetem 80% da população em situação de forte desconforto térmico, sendo generalizado em toda a área urbana. Os bairros próximos às áreas rurais e de densa vegetação no entorno foram aqueles em que apresentaram os melhores índices de conforto.

Chegury (2019) analisou a variação termo-higrométrica e das ilhas de calor em Cuiabá por meio de dados de transecto móvel durante o período de um ano entre 2017 e 2018 e verificou a predominância da ocorrência de ilhas de calor urbanas e intraurbanas com magnitude fraca e moderada, variando entre 0,10°C a 4,85°C, notavelmente em regiões onde houve a remoção da cobertura vegetal associada à forma de ocupação do solo.

2.2.3 Morfologia e clima urbano

A topografia, os edifícios circundantes, a vegetação e os corpos d'água são elementos que transformam o clima regional em um microclima específico. Os limites entre o clima regional, o microclima e o clima no interior de uma edificação não são abruptos, mas descritos como uma mudança contínua (ROSELUND, 2000).

Existem diversos fatores que interferem no aumento de temperatura de ambientes intraurbanos em comparação às suas proximidades, pois a malha urbana é

segmentada em zonas distinguíveis por suas características morfológicas, as quais incluem a estrutura urbana, cobertura, materiais componentes, atividade humana e o potencial de modificar o clima da superfície natural (GARTLAND, 2010; ROMERO, 2011; STEWART e OKE, 2012). A seguir, são descritos os principais fatores influentes na modificação de microclimas urbanos e na geração de ilhas de calor.

a) **Configuração urbana:**

Diversos estudos que buscam avaliar a influência da geometria urbana na intensidade da ICU geralmente são baseados em um único parâmetro geométrico, como a “razão de aspecto” do cânion urbano (H/W), que exprime a proporção da altura dos edifícios para a largura das vias, e o Fator de Visão do Céu (FVC) do cânion. Entretanto, esses fatores adimensionais não são totalmente adequados para caracterizar os atributos tridimensionais de diferentes morfologias urbanas, pois para mesmos valores de FVC ou H/W podem existir diferentes configurações urbanas (SALVATI, MONTI, *et al.*, 2019). Assim, a geometria urbana é descrita por três fatores principais: altura média das edificações, fração de superfície construída e razão fachada-terreno (TOUCHAEI e WANG, 2015).

b) **Propriedades das superfícies:** A superfície urbana é composta de diversos fragmentos feitos de diferentes materiais, naturais ou não, como pavimento, área vegetada, solo exposto e água, sendo determinantes na capacidade de armazenamento de calor no plano. A condutividade térmica e a capacidade calorífica são propriedades que estabelecem, respectivamente, a tendência de condutividade térmica e de armazenamento de calor em um material, que variam para diferentes materiais. Esses atributos interferem em sua capacidade de refletância da radiação de onda curta, oriunda dos raios solares, podendo ser refletida de forma direta ou difusa, e expressa pelo albedo. Materiais de superfície com elevado albedo reduzem a quantidade de radiação solar absorvida através das facetas de estruturas urbanas, mantendo a superfície mais fresca. Por outro lado, materiais com baixo albedo, como concreto e pavimento asfáltico refletem a radiação em menor

quantidade, armazenando-a e a liberando posteriormente para o ambiente na forma de calor. (GARTLAND, 2010; SHAHMOHAMADI *et al.*, 2011; OKE *et al.*, 2017)

- c) **Ausência de vegetação:** As árvores e a vegetação criam seu próprio microclima e contribuem para os ambientes urbanos em aspectos estéticos, acústicos, hidrológicos e ecológicos (OKE *et al.*, 2017). Decorrente da rápida urbanização, a redução drástica da área vegetada resulta em implicações no microclima urbano, como aumento da temperatura de superfície e do ar, sendo uma das possíveis causas das ICUs. A maturidade de árvores e da vegetação é um parâmetro vital para garantir temperaturas mais baixas na área urbana por meio da sombra e do processo de transpiração. Além disso, elas agem como um agente natural contra a poluição do ar, e mesmo pequenas regiões no entorno de superfícies impermeáveis podem criar um efeito de resfriamento que se estende aos arredores (BUYADI, MOHD e MISNI, 2013, 2015). A remoção ou substituição da vegetação por materiais construtivos resulta na perda desse processo natural e na alteração das características de condutividade e absorvância da superfície, confinando o calor no material - que seria absorvido na fotossíntese - e aumentando a temperatura do local.
- d) **Calor antropogênico, água e poluentes:** As atividades humanas derivadas de diversas fontes, como edificações, processos industriais, carros e movimentação de pessoas resultam em um ganho de calor na área urbana, e pode ser mensurado pela razão entre a soma de toda a energia utilizada em uma região por sua área (GARTLAND, 2010). O metabolismo urbano ocorre de forma irregular em diferentes classes de uso do solo, como residencial, comercial e industrial, visto que elas contribuem com a produção de calor antropogênico em adição aos efeitos da geometria e das propriedades dos materiais de cada classe no fluxo de calor impulsionado pelo ganho solar (OSMOND e SHARIFI, 2017). Além disso, as áreas urbanas liberam água, em estado líquido e gasoso, e poluentes, particulados e gasosos, decorrentes de processos

industriais, irrigação de áreas verdes e do condicionamento do ar de edificações, os quais variam ao longo do dia (FERREIRA, 2019) e emitem calor para as superfícies da cidade.

Na cidade de Cuiabá-MT, Duarte (2000) realizou um dos primeiros estudos quantitativos correlacionando microclimas urbanos e as condições de uso e ocupação do solo a partir de dados meteorológicos mensurados em sete regiões da cidade, nas estações seca e chuva entre 1998 e 1999, e taxas de arborização, superfícies d'água, ocupação e coeficiente de aproveitamento. À época, já foi possível verificar uma tendência ao correlacionar áreas com maior índice de ocupação por construções no aumento da temperatura média em ambas as estações, da mesma forma em que se verificou o amortecimento das médias de temperatura em regiões com menores taxas de ocupação e maiores índices de áreas arborizadas e com superfícies d'água.

Franco (2010) estudou a relação entre a configuração urbana e o microclima de do bairro Porto em Cuiabá a partir de medições com estação fixa e transecto móvel em dias específicos das estações de verão e inverno. A autora verificou que nos pontos com alto tráfego de veículos, média taxa de área construída, com uso e ocupação do solo predominantemente comercial, foram verificadas as maiores temperaturas. O contrário foi verificado em pontos próximos à áreas verdes e cursos d'água.

Maciel (2011) realizou um estudo similar no bairro Jardim das Américas, adjacente ao *campus* da Universidade Federal de Mato Grosso em Cuiabá, MT, e obteve resultados análogos ao estudo de Franco (2010) no que se refere ao comportamento térmico de áreas com morfologia semelhante, especialmente na redução de temperatura em áreas vegetadas.

Souza (2016) analisou a influência da radiação solar na formação de ilhas de calor em diferentes conformações urbanas no município, a partir da coleta de dados meteorológicos e de uso do solo, referente ao período de um ano. Os resultados do trabalho corroboraram o que já vinha sendo estudado, com a relação intrínseca entre densidade urbana e uso do solo com a temperatura do ar, verificando que a radiação solar exerce baixa influência sobre a presença de ilha de calor urbana.

Esses estudos locais evidenciam a influência do ambiente construído no microclima de frações urbanas e de bairros em Cuiabá, MT, visto que a cidade passou por um processo acelerado de urbanização e supressão da vegetação existente,

causando anomalias térmicas, como destaca o trabalho de Brito (2018). O estudo localizado possibilita a compreensão dos principais fatores atuantes no desconforto do clima em ambientes abertos e dentro de edificações, e podem ser aplicados, em maior escala, no processo decisório de adoção de estratégias em instrumentos de planejamento urbano, em busca de cidades mais sustentáveis e confortáveis à população.

2.2.3.1 Classificação da urbanização conforme o clima local

A avaliação dos efeitos do clima urbano segundo a magnitude da ICU é amplamente aplicada em estudos relacionados ao tema. No entanto, essa simplificação desconsidera fatores locais que influenciam na medição do indicador, como geometria da superfície circundante e cobertura do solo. Diante disso, Stewart e Oke (2009a) criaram um sistema de classificação de zonas climáticas em virtude das condições térmicas locais, referidas como Zonas Climáticas Locais (LCZ, do inglês *Local Climate Zones*) (STEWART e OKE, 2009b).

Segundo Stewart e Oke (2012), o conceito recebe esse nome porque as classes são locais em escala, climáticas em natureza e zonais em representação. Dessa forma, LCZs são regiões com cobertura superficial, estrutura, material e atividade humana uniformes em um raio que varia de centenas de metros a vários quilômetros na escala horizontal, onde cada zona apresenta um regime de temperatura próprio durante o ano. Na Figura 8 estão apresentadas as classes por tipo de ambiente construído e de cobertura do solo.

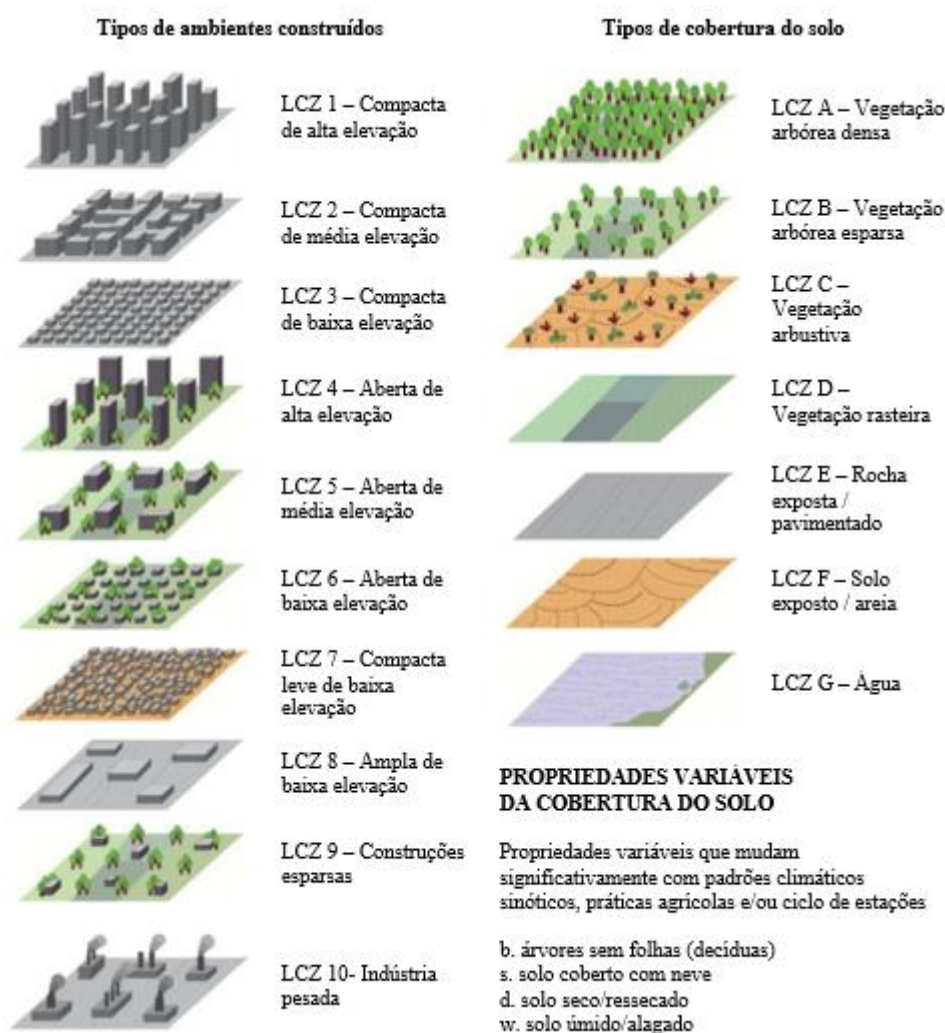


Figura 8 - Esquema de classificação das LCZs
Fonte: Stewart e Oke (2012), traduzido pela autora

Os autores fornecem algumas diretrizes para a classificação adequada das zonas climáticas de interesse em três passos, que incluem: 1) a coleta de dados que quantifiquem as propriedades de superfície da área de interesse, como cobertura do solo, geometria das edificações, umidade da superfície, entre outros; 2) a determinação da área térmica, ou seja, a área de influência que caracteriza o microclima da região de estudo; 3) seleção da LCZ a partir dos dados coletados nos passos anteriores (STEWART e OKE, 2012). Cada zona apresenta propriedades físicas distintas, cujos valores podem ser visualizados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Valores das propriedades geométricas e de cobertura da superfície para as LCZ

LCZ	FVC	H/W	Fração construída	Fração impermeável	Fração permeável	Altura dos elementos de rugosidade
LCZ 1	0,2-0,4	> 2	40-60	40-60	< 10	> 25
LCZ 2	0,3-0,6	0,75-2	40-70	30-50	< 20	10-25
LCZ 3	0,2-0,6	0,75-1,5	40-70	20-50	< 30	3-10
LCZ 4	0,5-0,7	0,75-1,25	20-40	30-40	30-40	> 25
LCZ 5	0,5-0,8	0,3-0,75	20-40	30-50	20-40	10-25
LCZ 6	0,6-0,9	0,3-0,75	20-40	20-50	30-60	3-10
LCZ 7	0,2-0,5	1-2	60-90	< 20	< 30	2-4
LCZ 8	> 0,7	0,1-0,3	30-50	40-50	< 20	3-10
LCZ 9	> 0,8	0,1-0,25	10-20	< 20	60-80	3-10
LCZ 10	0,6-0,9	0,2-0,5	20-30	20-40	40-50	5-15
LCZ A	< 0,4	> 1	< 10	< 10	> 90	3-30
LCZ B	0,5-0,8	0,25-0,75	< 10	< 10	> 90	3-15
LCZ C	0,7-0,9	0,25-1	< 10	< 10	> 90	< 2
LCZ D	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	< 1
LCZ E	> 0,9	< 0,1	< 10	> 90	< 10	< 0,25
LCZ F	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	< 0,25
LCZ G	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	-

Fonte: Stewart e Oke (2012), traduzido e adaptado pela autora

Além das 17 divisões sugeridas, a classificação pode ser feita com a criação de subclasses, com a união de mais de uma classe principal, permitindo maior flexibilidade ao sistema, porém essa alternativa não é recomendada para classes que diferem significativamente entre si devido aos contrastes térmicos entre zonas sucessivas. Assim, a subclassificação é justificável quando as características secundárias do local podem interferir no microclima. A representação da subclasse de LCZ é feita a partir da classe dominante, como, por exemplo, a zona de ampla de média elevação (LCZ 5), com notação da classe de menor influência, como superfície predominante de vegetação arbustiva (LCZ C) e solo ressecado (d), resultando na LCZ 5Cd.

A classificação do microclima através de LCZs foi abordada em alguns estudos em Cuiabá, MT. Messias e Martins (2016) classificaram dois bairros do município, Jardim Califórnia e Centro Norte, conforme a morfologia predominante e quantificaram os principais materiais componentes a fim de avaliar a influência destes na classificação. Os autores concluíram que a quantidade de material presente no local, o espaçamento entre as edificações e o tipo de cobertura do solo são os fatores que mais impactam no processo.

Caneppele (2018) estudou a influência da topografia e da urbanização no microclima de Cuiabá nas escalas de interferência macro, meso, local e micro, a partir da coleta de dados por transecto em um trecho contendo as LCZs 4, 5, 6, 9 e A, B, C,

F e G. A autora verificou que, embora os pontos não apresentem diferenças significativas quando analisados do ponto de vista do conjunto inteiro, existe a correlação entre os dados de temperatura e altitude, notavelmente durante o período noturno da estação seca.

Por fim, Ferreira (2019) analisou a variabilidade espaço-temporal da temperatura de superfície em diferentes LCZs de Cuiabá através de sensoriamento remoto. O estudo aponta que LCZs densamente edificadas em áreas centrais, com pouca ou nenhuma vegetação, apresentam temperatura de superfície superior a de suas correspondentes em regiões periféricas, que apresentam áreas edificadas em espaços reduzidos e contornados por áreas vegetadas - embora esta última também apresente temperatura de superfície elevada.

O estudo das LCZs atrelado ao microclima abre um campo a ser explorado no que se refere à propostas de zoneamento e de uso do solo nas cidades. O município de Cuiabá ainda carece de estudos mais específicos com relação à tipologias do ambiente construído e suas interferências no microclima, de modo que tenham aplicação prática nas soluções para a melhoria do espaço urbano, visto que apresenta um clima com elevadas temperaturas e densidade construtiva, decorrente de sua expansão sem planejamento adequado nas últimas décadas.

2.3 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

A classificação de imagens em *softwares* de geoprocessamento é uma prática recorrente para avaliação do uso e ocupação do solo a partir do processo de sensoriamento remoto, em que a aquisição de informações é feita sem contato direto com a área. Nesse processo, são atribuídas classes de cobertura de solo de interesse aos píxeis da imagem, que podem incluir, por exemplo, corpos d'água, área construída, florestas, agricultura, entre outros.

A radiação eletromagnética proveniente do sol é medida por sensores com alta resolução espacial, instalados em satélites orbitais, a intervalos específicos, conhecidos como bandas, conforme o tamanho de onda dentro do espectro eletromagnético. As medições são, então, quantificadas e convertidas em uma imagem digital, onde cada pixel apresenta coordenadas espaciais (x, y) e espectral, indicativa dos atributos espectrais de níveis cinza associados a ele. O resultado da classificação

digital é apresentado por mapas de píxeis classificados por áreas com características espectrais semelhantes (INPE, 2006; CONGEDO, 2016).

O reconhecimento de padrões espectrais é feito por algoritmos estatísticos de classificação, que categorizam os valores dos níveis de cinza. Dependendo do algoritmo utilizado no procedimento, a classificação pode ser por regiões, ou pixel a pixel, podendo ser supervisionada ou não-supervisionada, com fases distintas de treinamento e de classificação. A classificação por regiões simula o comportamento da foto interpretação, em que áreas homogêneas são reconhecidas com base nas propriedades espectrais e espaciais de imagens, assim, a informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões, onde há segmentação, extração de regiões, classificação e mapeamento (MOREIRA, 2007). Essa classificação é recomendada quando há disponibilidade de imagens de alta resolução, em que a identificação de objetos é facilitada.

Os métodos de classificação pixel a pixel diferem pela presença ou não de uma fase de treinamento, em que o analista interage com o computador, sendo normalmente aplicados quando há disponibilidade de imagens com resolução inferior onde a identificação de objetos não é precisa. Na classificação não-supervisionada, o usuário escolhe áreas homogêneas que assegurem a inclusão das possíveis classes e suas variabilidades, que são submetidas a um algoritmo de agrupamento (*clustering*), no qual se assume que cada grupo representa a distribuição probabilística de uma classe com base em uma feição espacial de dimensão igual ao número de bandas presentes (INPE, 2006).

Os classificadores utilizados neste método incluem K-Médias, em que o analista fornece parâmetros como número de classes espectrais prováveis, distância mínima desejada entre os valores dos níveis digitais de duas classes e número de iterações (repetições) realizadas. Há ainda, o classificador loseg, que não requer a inserção de parâmetros iniciais para começar o agrupamento de píxeis em regiões homogêneas (MOREIRA, 2007)

A classificação supervisionada, conhecida também como classificação semi-automática de uma imagem, permite a identificação dos materiais de acordo com suas assinaturas espectrais em uma área de treinamento, que é fornecida ao sistema pelo analista. Na área de treinamento, ele seleciona regiões de interesse para cada classe de

cobertura do solo identificada na imagem através da criação de polígonos sobre áreas em que há sobreposição de píxeis pertencentes à mesma classe.

As assinaturas espectrais são calculadas considerando os valores dos píxeis de cada região de interesse que possuam a mesma classe de identificação, e os algoritmos classificam a imagem pela comparação das características espectrais de cada pixel às características de sua classe de referência. Atualmente, quatro principais algoritmos são utilizados neste método: a) Distância mínima (ou distância Euclidiana); b) Método paralelepípedo; c) Mapeamento por ângulo espectral e d) Máxima verossimilhança.

Na primeira classificação, o algoritmo calcula a distância Euclidiana, ou seja, a distância entre dois pontos, entre as assinaturas espectrais dos píxeis da imagem e do arquivo de treinamento, assim, a distância é calculada para cada pixel e atribuída à classe de assinatura espectral mais próxima a ele.

No método paralelepípedo, conhecido por *single cell*, por sua vez, o analista escolhe uma classe a ser priorizada na classificação e determina um intervalo de valores dos níveis cinza, formando uma amostra, ou paralelepípedo, multidimensional que define uma classe de uso do solo, a partir dos quais um pixel é classificado.

No mapeamento por ângulo espectral o algoritmo calcula o ângulo espectral entre as assinaturas dos píxeis componentes da imagem e do arquivo de treinamento, sendo um método utilizado, principalmente, para dados hiperespectrais.

Por último, o algoritmo de classificação por máxima verossimilhança, mais utilizado dentre os abordados, calcula a probabilidade de distribuição das classes, que são consideradas na forma de modelos normais multivariados, assumindo-se que a distribuição das classes possuem uma distribuição normal, ou seja, gaussiana. Um número suficiente de píxeis é requerido para cada área de treinamento, o que permite o cálculo da matriz de covariância (MOREIRA, 2007; CONGEDO, 2016).

O algoritmo de máxima verossimilhança é utilizado em grande parte dos estudos realizados na cidade de Cuiabá, especificamente no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, a citar os trabalhos recentes de Paula (2017), Brito (2018) e Chegury (2019), visto que se trata de um algoritmo que apresenta resultados com boa aproximação.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA

A área de estudo escolhida para esta pesquisa foi o município de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, situada na latitude $15^{\circ}35'56''\text{S}$, longitude $56^{\circ}06'01''\text{W}$ e altitude de 177 metros, com uma população estimada de 607.153 habitantes (CUIABÁ, 2009; IBGE, 2018). A escolha do município se deve à sua relevância para o estado e aos estudos realizados na região em que está localizada, sendo esta pesquisa complementar a estudos anteriores. A Figura 9 mostra o mapa de localização de Cuiabá-MT.

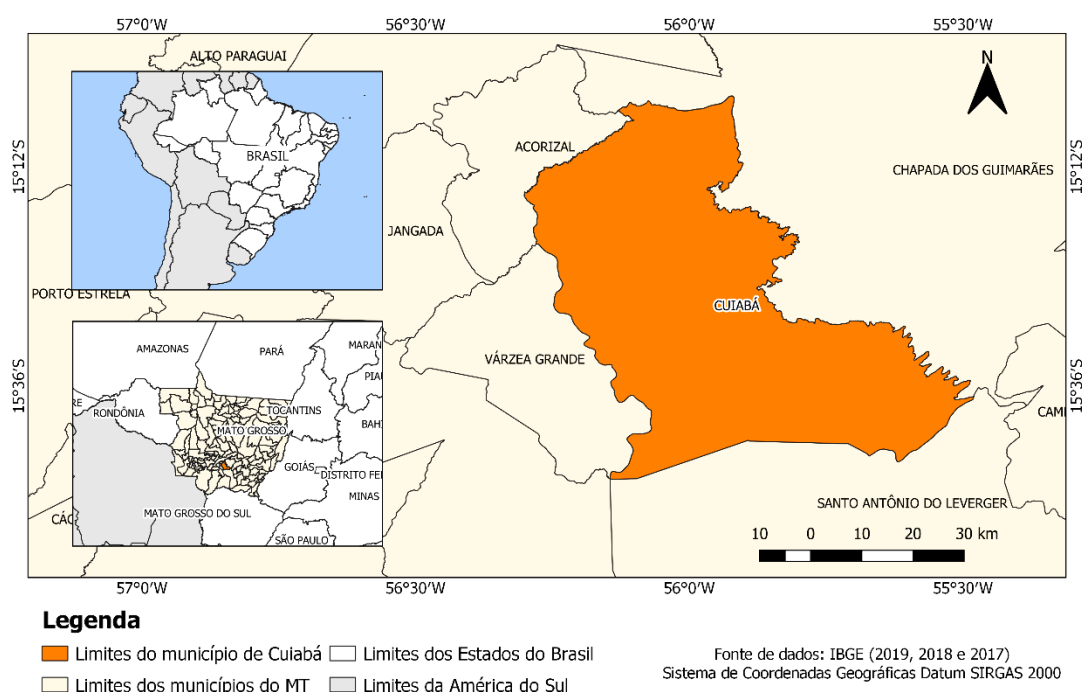


Figura 9 - Limite do município de Cuiabá-MT

Cuiabá forma, com sua vizinha Várzea Grande, uma metrópole regional com áreas industriais e concentração de serviços, compartilhando, também, características do clima local. O clima de Cuiabá é classificado, segundo a classificação de Köppen-Geiger como Aw, Tropical Continental ou de Savana (semiúmido), com temperaturas médias superiores a 18°C em todos os meses do ano, ausência de estação do inverno e chuvas de verão. Segundo as Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), para o período de 1980-2010, a média anual de temperatura em Cuiabá é de $26,1^{\circ}\text{C}$, com médias anuais máxima e mínima de, respectivamente, 33°C

e 21,5°C. Na Figura 10 podem ser visualizadas a precipitação acumulada e médias de temperatura para cada mês.

Normais Climatológicas - 1980-2010

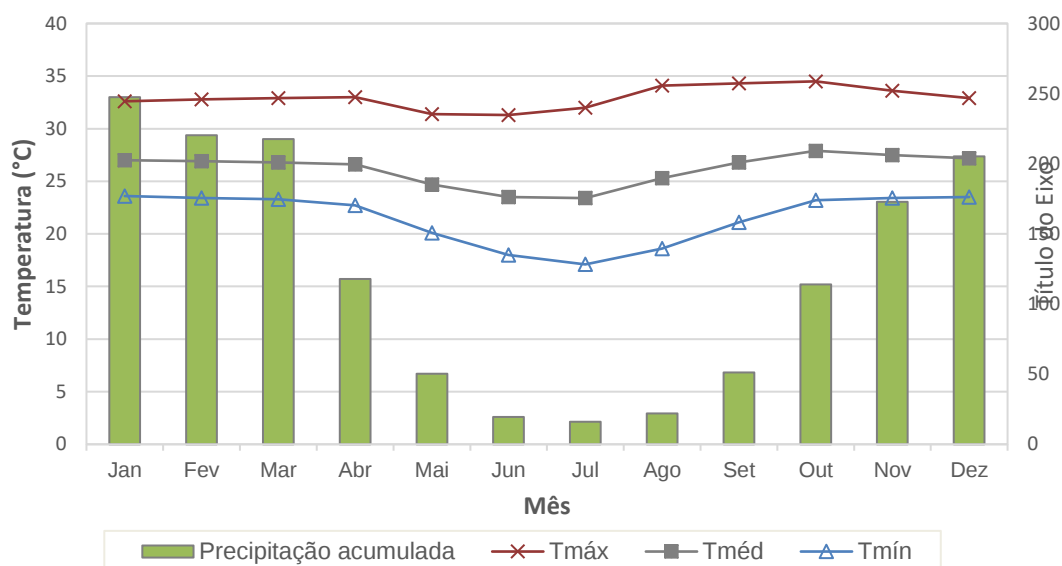


Figura 10 - Normais climatológicas de temperatura no período de 1980-2010
Fonte: Adaptado de Inmet (2018)

Cuiabá apresenta duas estações distintas: chuvosa, de outubro a abril, e seca, entre os meses de maio a setembro. A precipitação total esperada durante o ano no município varia entre 1.600 e 1.700 mm, com chuvas concentradas nos meses de janeiro e fevereiro. As maiores médias de temperatura são verificadas no trimestre novembro-dezembro-janeiro, sendo superiores a 28°C (SOUZA *et al.*, 2013).

As características urbanísticas de Cuiabá se deram, principalmente, após sua elevação à capital do Estado de Mato Grosso, no século XIX, quando os espaços “vazios”, decorrentes da ocupação descontínua no período precedente, foram paulatinamente ocupados nas últimas décadas, consolidando a região central da cidade. Nos últimos anos Cuiabá tem se expandido no sentido vertical em conjunto com a implantação de condomínios fechados, que levaram à elaboração de leis disciplinares para este tipo de empreendimento (NETO, 2014).

A expansão legal do perímetro urbano ocorrida na década de 1970 até o período recente contribuiu com a impermeabilização do solo, que, em conjunto com as ocupações irregulares, gerou pressões sobre os serviços de infraestrutura urbana (FILHO e AMARAL, 2014). A crescente urbanização nas regiões de Cuiabá e Várzea

Grande, acompanhada do aumento populacional e da intensificação de veículos, que, conseqüentemente, elevaram a emissão de gases poluentes, provocou, até o início da década de 1990, um aumento de 1,2°C na temperatura média e configura, até os dias atuais, o período mais longo de tendência de elevação da temperatura do ar (MAITELLI, 1994; SILVA, 2015).

As modificações na malha urbana se notam, principalmente, através da redução da área vegetada e da expansão da área construída, provocando a intensificação da área urbanizada aberta e densa, notavelmente na região central da cidade. Como resultado, na última década, por exemplo, houve um aumento de 1°C na média da temperatura do ar e redução de até 11,3% da umidade relativa média, (ALVES *et al.*, 2017), bem como nas médias de temperatura de superfície e de IICU, que entre os anos de 1986 e 2009 aumentaram, respectivamente, em até 5°C e 2°C na estação quente-úmida em algumas regiões da cidade, quando comparadas aos de décadas anteriores (CALLEJAS *et al.*, 2011; BRITO, 2018).

Desde então, a cidade vem passando por diversas transformações na malha urbana, a exemplo das obras da Copa do Mundo de 2014, que remodelaram a infraestrutura de alguns pontos da cidade, como no viaduto da UFMT, local escolhido para a implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT). Essas intervenções, que vieram a ser interrompidas, alteraram a paisagem urbana, suprimiram a vegetação existente e modificaram o tráfego local, aumentando o fluxo de carros e, conseqüentemente, a poluição sonora e a emissão de poluentes na atmosfera (NETTO, 2014; KOBAYASHI e BACKES, 2016)

Dessa forma, a configuração urbana, decorrente do constante desenvolvimento não homogêneo da cidade, bem como o microclima, devem ser avaliados em diferentes localidades, a fim de se obter um cenário mais específico das condições existentes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os efeitos do clima no geral podem ser observados por métodos como observações em campo (transecto móvel, por exemplo), estações meteorológicas fixas e sensoriamento remoto (OKE *et al.*, 2017; WMO, 2018). Nesta pesquisa, a coleta de parâmetros foi feita por duas aproximações: com dados de estações fixas e por sensoriamento remoto. A metodologia dessa pesquisa foi dividida em 4 etapas, nas quais foram obtidos dados e parâmetros que puderam embasar o estudo: a) Levantamento dos dados meteorológicos; b) Classificação do uso do solo; c) Levantamento da geometria urbana; d) Elaboração das rosas dos ventos; e e) Análise da ilha de calor em cada fração urbana.

A primeira etapa compreende a coleta e tratamento dos dados climáticos representativos de cada contexto urbano analisado. Nesta pesquisa, a escolha dos locais foi feita pela presença de estações das quais se pudessem extrair dados meteorológicos para um ano completo, para maior precisão na análise.

A segunda etapa se refere à classificação do uso e ocupação do solo das estações utilizadas como referência no estudo dentro de uma área com raio de 250 metros, representativa do microclima. A classificação é feita através de ferramentas do Sistema de Informação Geográfica e sensoriamento remoto.

A terceira etapa se refere ao levantamento da geometria local, para a mesma área de influência, com o intuito de avaliar como a distribuição de edificações contribui para a formação do microclima no qual estão inseridas.

A quarta etapa compreende a elaboração das rosas dos ventos das regiões de interesse a partir dos dados meteorológicos obtido, para verificar a influência dos fatores morfológicos no fluxo de ventos em cada local.

E, por último, na quinta etapa é feito o estudo de ICU nas regiões urbanizadas em comparação à área da estação com menor urbanização.

4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Para avaliar a influência da morfologia no microclima de diferentes frações urbanas em Cuiabá-MT, é necessário definir as regiões distintas com relação à uma base de dados meteorológicos, a fim de utilizá-los para extrair as relações entre os parâmetros analisados. Dessa forma, a pesquisa foi embasada em locais com estações

meteorológicas abrigadas por membros do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, e de estações automáticas, abrigadas por instituições oficiais. Os dados compõem o ano de 2016, em função da disponibilidade de dados para um ano completo. Além disso, o ano de 2016 fez parte do período (2015-2016) em que foi registrado um dos eventos mais intensos do fenômeno El Niño, marcado por intensa precipitação e elevadas temperaturas (NOAA, 2018). A localização das estações no contexto urbano pode ser visualizada na Figura 11.

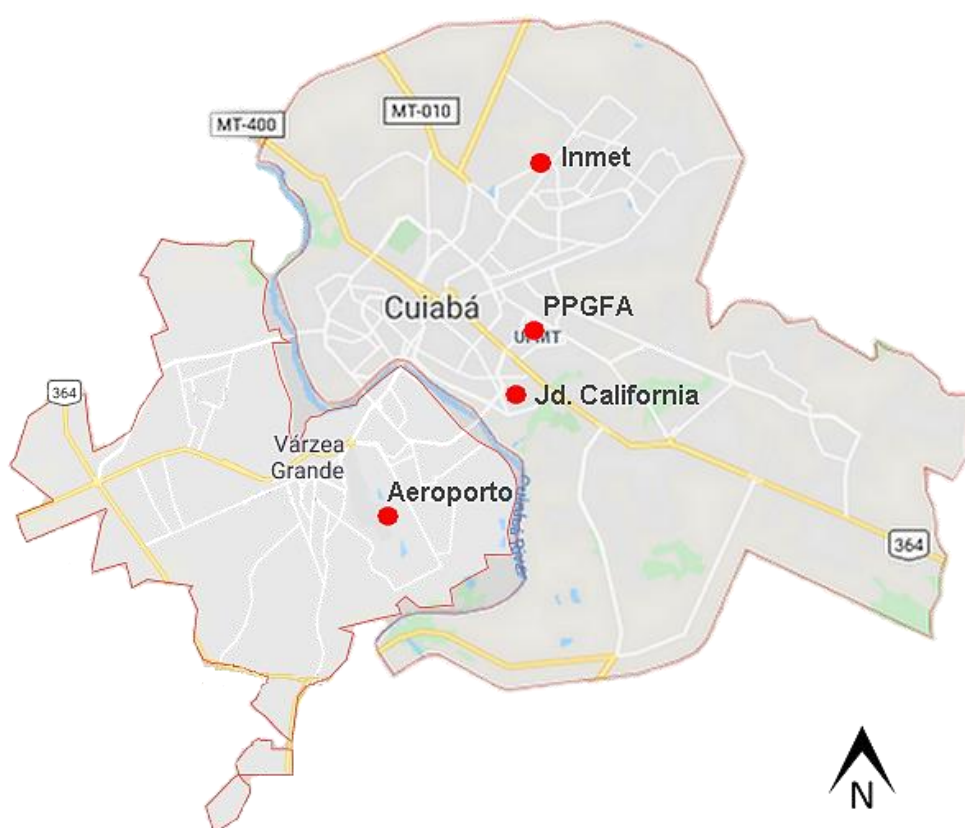


Figura 11 - Mapa de localização das estações meteorológicas de estudo.

As informações referentes às estações utilizadas neste trabalho estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Localização das estações meteorológicas utilizadas para coleta de dados

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	LCZ
Inmet	15°33'33,46"S	56°3'46,62"W	151,3	9
Aeroporto	15°39'30,44"S	56°6'45,60"W	187,0	D _E
PPGFA	15°36'31,33"S	56°3'47,92"W	184,0	6
Jd. Califórnia	15°37'35,71"S	56°4'28,56"W	171,0	3

4.1.1 Estações meteorológicas oficiais

Utilizada para representar uma das áreas menos urbanizadas, foram utilizados dados provenientes da Estação Meteorológica de Superfície (EMS) localizada no Aeroporto Internacional de Cuiabá – Marechal Rondon, denominada neste trabalho como estação Aeroporto, de responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Embora situada no município de Várzea Grande, a estação Aeroporto é representativa do clima da região metropolitana de Cuiabá, em função de sua localização geográfica e processo de urbanização, sendo utilizada como uma estação de controle nesta pesquisa. Foram utilizados dados de informações sinóticas dos códigos METAR (*Meteorological Aerodrome Report*), sendo automática e com informes regulares em intervalo de uma hora, e SYNOP (*Surface Synoptic Observations*), podendo ser automática ou manual, onde os dados são enviados, normalmente, a cada seis horas (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2018a; MINISTÉRIO DA DEFESA, 2018b). Os dados são fornecidos em Tempo Universal Coordenado (UTC, do inglês *Coordinated Universal Time*), sendo necessário passá-los para o horário local subtraindo-se quatro horas.

A região da estação apresenta, principalmente, vegetação rasteira e faixas pavimentadas, correspondentes à pista de aeroporto, como mostra a Figura 12. A LCZ atribuída a esta fração urbana corresponde à combinação das zonas climáticas D (plantas baixas) e E (pavimentado), na qual a D é predominante, resultando na LCZ D_E.



Figura 12 - Localização da estação meteorológica Aeroporto

Embora não tenha edificações nas proximidades imediatas, a região se localiza dentro da malha urbana, onde o entorno compreende zonas de uso misto e, em maioria, e uso predominantemente residencial. Nela, foram obtidos dados de temperatura do ar, velocidade e direção do vento (METAR), e precipitação (SYNOP). Os dados de precipitação foram interpolados, sendo analisados conforme os limites máximos de precipitação verificados no período de uma hora para os meses do ano estudado.

A segunda estação meteorológica utilizada neste estudo corresponde à Estação Meteorológica Automática (EMA) do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), situada na Companhia de Comando da 13ª Brigada de Infantaria Motorizada, onde os dados são coletados por meio de sensores de minuto em minuto e integralizados a cada hora, sendo disponibilizados em um banco de dados horários.

Nela são coletados dados de temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade, rajada e direção do vento, precipitação e radiação solar (MAPA, 2011), também fornecidos em UTC, sendo necessário subtrair quatro horas para passá-los ao horário local. A região da estação é composta de edificações baixas (até 3 pavimentos) e esparsas, sendo caracterizada como LCZ 9, com vegetação rasteira e porções de vegetação arbórea, ruas pavimentadas e estacionamentos, além de estar situada em uma região periférica da cidade, onde há zonas de interesse ambiental no entorno. A Figura 13 mostra a localização da estação Inmet.



Figura 13 – Localização da estação meteorológica Inmet

4.1.2 Estações meteorológicas urbanas

Com relação às estações urbanas foram utilizadas duas estações dedicadas, onde a primeira estação fica situada na cobertura do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) no Bairro Jardim Petrópolis, doravante referida como estação PPGFA, enquanto a segunda estação está localizada no terreno de uma residência no Bairro Jardim Califórnia, sendo referida como estação Jd. Califórnia.

A estação PPGFA fica situada em uma região com edificações baixas (até 3 pavimentos) e esparsas, sendo representada pela LCZ 6. Possui ruas pavimentadas e estacionamentos internos, com vegetação rasteira e arbórea, característicos do *campus* da universidade, em um bairro de uso residencial e comercial. Sua localização pode ser visualizada na Figura 14.

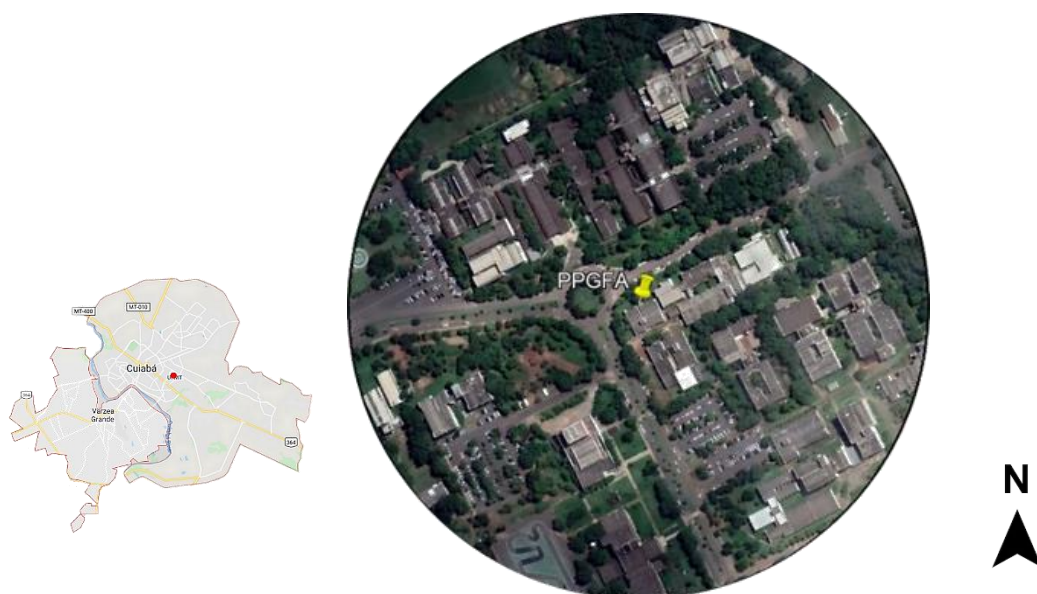


Figura 14 - Localização da estação meteorológica PPGFA

A segunda estação Jd. Califórnia, por sua vez, é composta predominantemente de edificações residenciais baixas e compactas, pouco espaçadas entre si, ruas pavimentadas e pouca vegetação, cujas características correspondem à LCZ 3, atribuída a esta fração urbana. A localização da estação Jd. Califórnia pode ser visualizada na Figura 15.



Figura 15 - Localização da estação meteorológica Jd. Califórnia

As medições foram feitas em uma estação de monitoramento externo da Onset Computer Corporation®, com um aparelho data logger HOBO modelo U30 NRC e sensores auxiliares acoplados a um tripé, durante o ano de 2016, com um intervalo de 5 minutos entre cada medição. As especificações referentes aos sensores componentes das estações de monitoramento se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificações dos sensores das estações urbanas

HOBO U30-NRC-SYS-C, Onset®				
Sensor	Parâmetro medido	Faixa de medição	Acurácia	Resolução
S-THB-M002	Temperatura	-40°C a 75° C	±0,21° C	0,02° C
S-WSA-M003	Velocidade do vento	0 a 46 m/s	±1,1 m/s	0,38 m/s
S-WDA-M003	Direção do vento	0 a 355°	± 5°	1,4°
S-RGB-M002	Precipitação	0-127 mm/h	±1,0% em até 20 mm/h	0,2 mm

Fonte: Elaborado pela autora a partir de ONSET® (2019.)

4.1.2.1 Tratamento de dados

Os dados brutos das duas estações requereram um tratamento de dados a fim de se verificar a existência de dados inconsistentes decorrentes de falha no equipamento de medição, conhecidos como “outliers”. Assim, foram realizados procedimentos de validação nos dados das estações fixas PPGFA e Jd. Califórnia, visto que as medições apresentam intervalo de 5 minutos entre cada leitura. Os dados das estações automáticas do Inmet e do Aeroporto já são submetidos a um processo de tratamento de dados, sendo disponibilizados em dados horários e, assim, não sendo necessário passar pelo mesmo processo de validação.

O conjunto de dados utilizado nessa pesquisa corresponde a um período de um ano, sendo adotados dois testes de validação: de limites (*range*) e de consistência temporal (*step*), conforme metodologia adotada por Grigoletti, Flores e Santos (2016). O primeiro é baseado em uma combinação de especificações de desempenho para cada sensor e extremos climáticos para cada variável, assim a variável deve representar um valor fisicamente possível de ser obtido. O segundo compara a diferença entre duas medições consecutivas, que é considerada suspeita caso ultrapasse o limite estabelecido (PITTIGLIANI, 2000; ESTÉVEZ, GAVILÁN e GIRÁLDEZ, 2011; BABA, VAZ e COSTA, 2014).

Os limites climatológicos adotados na validação de limites podem ser observados na Tabela 4, enquanto os adotados na validação de consistência temporal se encontram na Tabela 5.

Tabela 4 - Limites climatológicos adotados na validação de limites

Parâmetro	Unidade	Limite mínimo	Limite máximo
Temperatura do ar	°C	-14	45
Velocidade do vento	m/s	0	35
Direção do vento	°	0	360
Precipitação	mm	0	130

Fonte: Adaptado de Pittigliani (2000)

Tabela 5 - Limites climatológicos adotados na validação de consistência temporal

Parâmetro	Unidade	Limite máximo para a diferença entre dados consecutivos
Temperatura do ar	°C	7
Velocidade do vento	m/s	40
Direção do vento	°	360
Precipitação	mm	130

Fonte: Adaptado de Pittigliani (2000)

4.1.3 Correção dos dados de ventos

O perfil vertical dos ventos varia com a rugosidade do terreno e isso influencia sua velocidade nas diferentes alturas e camadas da atmosfera¹. Nas estações meteorológicas do Inmet e do Aeroporto, o sensor anemométrico, que realiza as

¹ Abordado no Item 2.1.3.4

medições dos dados de ventos, é instalado a uma altura de 10 metros em relação ao nível do solo.

Dessa forma, foi necessário realizar um ajuste das velocidades do vento das estações urbanas para que estas ficassem em conformidade com a altura de medição dos dados nas estações oficiais, com base na literatura. Para tanto, foi utilizada a Lei de Potência do Perfil do Vento, em que pode-se obter a velocidade média do vento a uma determinada altura a partir de medições coletadas em outra elevação. A velocidade do vento na altura desejada pode ser obtida pela Equação 2.

$$\bar{u}_{z1} = \bar{u}_{z2} \left(\frac{z_a - z_d}{z_b - z_d} \right)^\alpha \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$\bar{u}_{z1}$ – velocidade do vento na altura procurada, em m/s;

$\bar{u}_{z2}$ – velocidade do vento na altura conhecida, em m/s;

z – altura das velocidades do vento, onde os subscritos a e b representam dois níveis na atmosfera (gradiente);

z_d – deslocamento no plano zero, em metros (m)

α – expoente da Lei de Potência, adimensional.

Segundo Oke *et al.* (2017), comprimento do deslocamento no plano zero (z_d) é incorporado para explicar o fato de que o momento não é absorvido por todo o dossel da camada de estudo, mas apenas pelo dossel da camada superior, e configura a distância pela qual a escala de altura deve ser ajustada para cima para, de fato, se tornar a superfície em contato com o fluxo. A aplicação correta da Lei de Potência depende, principalmente, de utilizar o coeficiente α adequado e conhecer a rugosidade aerodinâmica da superfície subjacente, bem como a estabilidade atmosférica. Valores típicos de ambos os parâmetros para as superfícies de estudo das estações meteorológicas utilizadas nesse trabalho podem ser extraídos na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores típicos de propriedades relacionadas à rugosidade da superfície

Superfície ou terreno	Altura média dos elementos de rugosidade z_H (m)	Deslocamento no plano zero z_d (m)	Expoente da Lei de Potência α
Altura e densidade baixas – casas, jardins, árvores; armazéns	5 – 8	2 – 4	0,2 – 0,25
Altura e densidade médias – casas próximas, centros urbanos	7 – 14	3,5 – 8	0,23 – 0,27

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

Neste caso, a superfície circundante da estação meteorológica PPGFA se enquadra na categoria de terreno atribuída a altura e densidade baixas, enquanto a da estação Jd. Califórnia corresponde à categoria listada na classificação de média densidade. A altura considerada para a correção dos dados foi determinada com base na altura do anemômetro das estações oficiais, ou seja, de 10m, e os valores adotados correspondem aos mínimos apresentados.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DE USO DO SOLO

Para auxiliar na análise dos dados climáticos, foi realizada uma classificação do uso e ocupação do solo na área de abrangência das estações meteorológicas utilizadas no estudo. Para esta finalidade, foi necessário utilizar um *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para geração dos mapas e dos dados relativos as informações de uso do solo.

Neste caso, optou-se por utilizar o QGIS - anteriormente conhecido como Quantum GIS - um *software* livre lançado em 2002 pela equipe de desenvolvimento do programa (QGIS, 2019). O procedimento de classificação do solo tem sido muito utilizado em conjunto com análises de conforto ambiental, no entanto, o processo é realizado manualmente dentro dos programas de geoprocessamento. Nessa premissa, o engenheiro ambiental Luca Congedo desenvolveu, em 2012, uma extensão livre de classificação supervisionada da cobertura do solo, conhecida como SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), a partir de imagens de satélite gratuitas (Landsat, Sentinel-2, Sentinel-3, ASTER, MODIS) para o QGIS (CONGEDO, 2017). A extensão permite, ainda, o pré-processamento de imagens, pós-processamento das classificações e cálculos de raster. A classificação supervisionada é uma técnica de processamento de imagens que permite a identificação de materiais em uma imagem,

de acordo com suas respectivas assinaturas espectrais, que pode ser feita por diversos algoritmos com o mesmo propósito de produzir um mapa temático da cobertura do solo.

Para este estudo, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, lançado em 2015 como parte do programa Copernicus da Comissão Europeia, sendo constituído de um sensor multiespectral opto-eletrônico, com resolução de 10 a 60 metros nas zonas espectrais visível, infravermelho próximo e infravermelho de onda-curta. O sensor inclui 13 canais espectrais, que garantem a captura de diferenças no estado da vegetação, incluindo alterações temporais, e minimiza o impacto na qualidade de fotografias da atmosfera (EOS, 2015). Na Tabela 7 é possível verificar as designações relacionadas às bandas espectrais do satélite Sentinel-2.

Tabela 7 - Designações das bandas do satélite Sentinel-2

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Resolução (m)
Banda 1 – Aerossol Costeiro	0,443	60
Banda 2 – Azul	0,490	10
Banda 3 – Verde	0,560	10
Banda 4 – Vermelha	0,665	10
Banda 5 – Red Edge 1	0,705	20
Banda 6 – Red Edge 2	0,740	20
Banda 7 – Red Edge 3	0,783	20
Banda 8 – Infravermelho Próximo (NIR)	0,842	10
Banda 8A – Red Edge 4	0,865	20
Banda 9 – Vapor de Água	0,945	60
Banda 10 – Cirrus	1,375	60
Banda 11 – Infravermelho de Onda Curta (SWIR) 1	1,610	20
Banda 11 – Infravermelho de Onda Curta (SWIR) 2	2,190	20

Fonte: Adaptado de Congedo (2016)

Para o processo de classificação, foram, inicialmente, obtidas as imagens de satélite do ano de 2016, referentes ao ano das medições das estações utilizadas, disponibilizadas gratuitamente no site EarthExplorer (www.earthexplorer.usgs.gov/), desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). A busca foi realizada com a seleção dos níveis de cobertura de nuvens terrestres inferiores a 10%. O conjunto de dados solicitado corresponde ao registro de entidade com data de aquisição em 31 de Julho de 2016 (ID: L1C_T21LWC_A005784_20160731T140450).

Após a obtenção das imagens, seguiram-se os procedimentos sugeridos na documentação da extensão. Dessa forma, as imagens de satélite das bandas 2, 3, 4 e 8, com resolução de 10 metros e disponibilizadas em formato *.jp2, foram adicionadas ao painel de camadas. As imagens devem passar por um pré-processamento, a fim de

serem adequadas para o processo de classificação. Assim, na primeira etapa é necessário realizar a correção atmosférica DOS1 (*Dark Object Subtraction*), com a remoção de objetos negros decorrentes dos píxeis na sombra completa. Esse passo é realizado no painel do SCP, na aba de pré-processamento, onde a pasta contendo as bandas de interesse é selecionada, assim como a opção de aplicação da correção atmosférica.

Para determinar a área de estudo, é necessário realizar um recorte da área nas imagens com as bandas de interesse. Primeiro, na aba “*Band set*” do painel, o campo “*Single band list*” é atualizado e, posteriormente, as bandas são adicionadas para o campo “*Band set definition*”, onde se encontra o conjunto de bandas 1 (*Band set 1*). Após definido o conjunto de bandas, segue-se para o recorte das imagens na aba de pré-processamento, na seleção de recorte de múltiplas camadas “*Clip multiple rasters*”, onde é selecionado o conjunto de bandas como dado de entrada e é definida a área de interesse por meio das coordenadas limitantes.

Em seguida, é criado um arquivo de entrada de treinamento (“*training input file*”) no painel da extensão com o qual serão definidas as regiões de interesse (ROI, do inglês *Region of Interest*), após da definição do modelo de espaço de cores (RGB) no painel da extensão, referentes às macroclasses a serem utilizadas na pesquisa. Neste trabalho, foram definidas as macroclasses de área construída, vegetação rasteira, vegetação arbórea, solo exposto e corpos d’água. A definição das ROI é feita com as ferramentas de criação de polígono da ROI (*Create a ROI polygon*) ou de ativação da mira da ROI (*Activate ROI pointer*), onde é possível definir a distância de abrangência da mira dentro da área de trabalho. As ROIs criadas são classificadas manualmente de acordo com a classe e macroclasse às quais pertencem e as assinaturas espectrais podem ser configuradas para aumentar a precisão da classificação. Neste trabalho, foram definidas cinco classes, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação de uso do solo

Classe	Descrição
Área construída	Áreas ocupadas por edificações, calçadas e pavimento
Vegetação rasteira	Campos, gramados e arbustos pequenos
Vegetação arbórea	Áreas cobertas por grupos de árvores
Solo exposto	Área livre de vegetação e edificações
Corpo d’água	Rios, lagos e riachos

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

As assinaturas (ou características) espectrais são calculadas considerando os valores de píxeis sob cada ROI com a mesma identificação de classe ou de macroclasse. O programa faz a classificação da imagem comparando-se as características espectrais de cada pixel com as características espectrais das classes de referência, e pode ser feita por meio de três algoritmos: a) Mínima Distância, onde o algoritmo calcula a distância Euclidiana entre as assinaturas espectrais dos píxeis das imagens e do arquivo de treinamento; b) Máxima Verossimilhança, em que o algoritmo calcula a probabilidade de distribuição das classes, baseado no teorema de Bayes, que estima se um pixel pertence à uma classe de cobertura do solo; e c) Mapeamento de Ângulo Espectral, que calcula o ângulo entre assinaturas espectrais de píxeis de imagens e do arquivo de treinamento.

Nesta pesquisa, o algoritmo utilizado foi o de Máxima Verossimilhança (do inglês *Maximum Likelihood*), pois melhor se aproximou com os elementos visualizados nas imagens de satélite, sendo, também, um método aplicado frequentemente em trabalhos de classificação do solo.

4.3 LEVANTAMENTO DA GEOMETRIA URBANA

O levantamento da geometria urbana das estações meteorológicas utilizadas nesse estudo foi baseado na área de influência representativa do microclima da região de estudo. Segundo Oke (2006), observações de temperatura e umidade relativa na camada superficial (cerca de três vezes a altura dos edifícios) pode ser considerada representativa de uma área variando de 100 m a centenas de metros na direção do vento e em volta do sensor.

Bourikas *et al.* (2016) estudaram variações de raios de área de influência para determinar um modelo de unidade urbana idealizada e verificaram que 250 m configura um raio representativo das principais características térmicas e morfológicas de sítios urbanos a nível de pedestre na escala de vizinhança. Sendo assim, para este estudo, a coleta de dados de geometria urbana foi realizada dentro de um raio de abrangência de 250 m, a fim de representar as características da região e do microclima local.

Nesta etapa, dados de gabarito das edificações e limites de ruas e quadras foram obtidos a partir de informações disponíveis no site CADMAPPER

(www.cadmapper.com), que disponibiliza gratuitamente arquivos de desenho em camadas com tamanho de até 1 km², onde é possível obter dados de topografia, gabarito e altura de edificações, caso os dados estejam disponíveis para as áreas informadas, em formatos para diversos *softwares* de desenho auxiliado e modelagem 3D, como AutoCAD e SketchUp.

Para as áreas estudadas as alturas das edificações estavam indisponíveis, sendo necessário coletá-las utilizando dados em 3D à disposição no Google Earth PRO, onde é possível medir a dimensão por meio da ferramenta “Régua”, na opção da aba de “Caminho 3D”. A medição de alturas pelo Google Earth é considerada um método direto e está disponível principalmente para capitais, apresentando um erro de cerca de 2% em relação à altura real, segundo dados de Moro *et al.* (2019).

A determinação do gabarito de edificações que não puderam ser obtidas pelo método anterior foi delimitada utilizando o *software* SketchUp Make, versão gratuita, com auxílio da ferramenta de geolocalização. Posteriormente, as edificações foram classificadas pela altura dentro do próprio programa, categorizadas por grupos com variação de altura em 3 metros, totalizando 6 categorias, em que o último grupo se refere a edificações com altura superior a 15 metros. A partir dos dados coletados na plataforma, foi possível determinar informações de significância morfológica das densidades horizontal (compacidade urbana) e vertical, conforme a seguir (SALVATI *et al.*, 2019):

- Altura média ponderada (H_{edf}), em metros (m)

$$H_{edf} = \sum_{i=n} \frac{A_i \times H_i}{A_i} \quad (\text{Eq. 3})$$

- Fração da superfície construída (ρ_{urb})

$$\rho_{urb} = \frac{\sum A_i}{A_{terreno}} \quad (\text{Eq. 4})$$

- Razão fachada-terreno (VH_{urb})

$$VH_{urb} = \frac{\sum A_{fachada}}{A_{terreno}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que H_i e A_i representam, respectivamente, a altura da edificação e a área do plano de construção, $A_{fachada}$ representa a área total de fachada da edificação na área de influência, e $A_{terreno}$ corresponde à área do círculo de influência de raio igual a 250 m, determinado previamente. A fração da superfície construída, quando expressa em porcentagem, representa a taxa de ocupação.

4.4 ELABORAÇÃO DAS ROSAS DOS VENTOS

A rosa-dos-ventos é uma ferramenta auxiliar para exibir, graficamente, informações sobre dados de velocidade e direção do vento em um local e período específico. Nesta pesquisa, a rosa-dos-ventos para representação do comportamento das correntes de ar em cada localidade foi elaborada com o *software* livre WRPLOT View™, desenvolvido pela Lakes Environmental, que fornece, além do gráfico visual, dados referentes à frequência de ocorrência dos ventos e permite configurar as classes de velocidade e de direção do vento, para um dado local e um período pré-determinado (LAKES ENVIRONMENTAL, 2019).

Para gerar a rosa-dos-ventos, é necessário reunir um conjunto de dados que inclua ano, mês, dia e hora de medição, além dos dados de direção e velocidade do vento, e precipitação, em planilha eletrônica e sem cabeçalho. No programa, a geração do arquivo de entrada é feita através do menu “Tools” na opção “Import from Excel”, onde abre uma nova janela para selecionar o arquivo de onde serão importados os dados. O programa solicita o preenchimento da coluna respectiva a cada dado do arquivo, bem como sua unidade, como mostra a Figura 16.

Import Surface Data from Excel

Import Surface Data From (Excel File): D:\...\Ventos_Aeroporto_366.xls

Save Surface File As (SAMSON Format): D:\...\Ventos_Aeroporto_366.sam

Station Information

#	Data Field Name	Excel Column Name	Missing Indicator in Excel File	Unit in Excel File	Number Type
5	Wind Direction	E		degrees	Integer
6	Wind Speed	F		m/s	Decimal
7	Hourly Precipitation	G		mm	Integer

First Row to Import: 1 Set Last Row to Import: 8784 Set **Import**

Excel File **SAMSON File**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	2016	1	1	0	20	0.5	0	
2	2016	1	1	1	40	2.6	0	
3	2016	1	1	2	40	2.6	0	
4	2016	1	1	3	20	5.2	0	
5	2016	1	1	4	20	2	0	
6	2016	1	1	5	20	4.6	0	
7	2016	1	1	6	350	4.6	0	
8	2016	1	1	7	310	2.6	0	
9	2016	1	1	8	320	2	1	
10	2016	1	1	9	350	2.6	1	

Help Close

Figura 16 - Janela de geração do arquivo de entrada no WRPLOT View

Os dados referentes à estação devem ser preenchidos na aba “*Station Information*”, onde são solicitados dados referentes ao nome e localização da estação, coordenadas geográficas, elevação e fuso horário. Ao selecionar a opção “*Import*”, o programa importa os dados e salva o arquivo em extensão *.sam na mesma pasta de origem. O programa permite mostrar as direções do vento de 4 a 36 orientações; neste estudo, foi optada pela delimitação de 16 direções. O programa apresenta um padrão de classificação, porém para apresentação dos resultados optou-se por utilizar a Escala Beaufort (MARINHA DO BRASIL, s.d.), cujas classes e intervalos de velocidade podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 - Escala Beaufort de ventos

Grau	Designação	Velocidade (m/s)	Efeitos em terra
0	Calmo	<0,3	Fumaça sobe na vertical
1	Aragem	0,3 a 1,5	Fumaça indica direção do vento
2	Brisa leve	1,6 a 3,3	Movimentação das folhas das árvores
3	Brisa fraca	3,4 a 5,4	Agitação das folhas das árvores e tremulação de bandeiras
4	Brisa moderada	5,5 a 7,9	Suspensão de papéis e poeira, movimentação de galhos
5	Brisa forte	8 a 10,7	Movimentação de grandes galhos e árvores pequenas
6	Vento fresco	10,8 a 13,8	Movimentação dos ramos das árvores
7	Vento forte	13,9 a 17,1	Movimentação de árvores grande
8	Ventania	17,2 a 20,7	Dificuldade em andar contra o vento, quebra de galhos
9	Ventania forte	20,8 a 24,4	Danos em árvores e pequenas construções
10	Tempestade	24,5 a 28,4	Árvores arrancadas, danos estruturais em construções
11	Tempestade violenta	28,5 a 32,6	Estragos generalizados em construções
12	Furacão	>32,7	Estragos graves e generalizados em construções

Fonte: Adaptado de Marinha do Brasil (s.d.)

A Escala de Beaufort foi adaptada no programa WRPLOT, a fim de adequar as classes apresentadas aos ventos incidentes na área de estudo. As rosas-dos-ventos foram elaboradas com os dados das quatro estações utilizadas neste trabalho para os períodos anual, seco e chuvoso.

4.5 ILHA DE CALOR URBANA

A magnitude, ou intensidade, de ICU é referida em estudos de clima urbano como uma medida representativa da modificação do clima de uma cidade, obtida através da diferença entre as temperaturas dos meios urbano e rural. Todavia, Stewart e Oke (2012) propuseram uma nova estrutura para extrair a magnitude de ICU de observações locais de temperatura, não baseada somente no conceito “urbano-rural”, mas de acordo com a diferença de temperatura de uma LCZ mais urbanizada para uma menos urbanizada, preferencialmente com cobertura natural, como mostra a Equação 6:

$$\Delta T = T_{LCZ_X} - T_{LCZ_{DE}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Neste trabalho, a estação Aeroporto (LCZ D_E), a despeito de estar situada na malha urbana, configura a única fração com cobertura predominantemente natural e sem edificação dentro da área de influência, portanto, foi adotada como estação de controle para determinar a magnitude de ICU das estações, aqui referidas como urbanizadas (LCZ X), Inmet, PPGFA e Jd. Califórnia. A magnitude de ICU é representada na unidade K. Ressalta-se que a unidade corresponde a um indicativo da diferença térmica, e não deve ser confundida com a unidade de temperatura Kelvin.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da metodologia descrita nesta pesquisa forneceram informações do microclima local, uso de solo e geometria urbana. A apresentação dos dados foi dividida por análise local e global, na qual na primeira foi feita para cada estação meteorológica no que se refere aos parâmetros específicos de morfologia local e de ventos, e na segunda foram realizadas análises comparativas dos resultados de temperatura, morfologia e de ICU. Neste estudo, os dados do período chuvoso se referem aos dados dos meses de outubro a abril, enquanto os do período seco vão de maio a setembro.

Os dados de uso do solo e de geometria urbana foram gerados para uma área de influência de raio igual a 250 m, na qual foram contabilizados os elementos que estavam somente dentro deste limite. As geometrias identificadas em cada estação podem ser visualizadas nas figuras em Anexos, enquanto a relação das geometrias, bem como altura, área do plano de construção e área de fachada, pode ser visualizada no Apêndice. Na estação Aeroporto não há geometrias, logo, não foi apresentada incluída neste tópico específico.

As rosas dos ventos foram geradas para cada estação meteorológica utilizada neste trabalho, com dados representativos das condições microclimáticas da área delimitada previamente. Além da rosa dos ventos anual, foram gerados os diagramas para o período chuvoso e seco, para compreender a influência dos padrões climáticos no regime de ventos de cada fração urbana. As direções do vento são contabilizadas somente com registros com velocidade acima da classe de ventos calmos, pois abaixo de 0,3 m/s o fluxo não gera movimentações perceptíveis.

5.1 ANÁLISE LOCAL

5.1.1 Aeroporto

A classificação de uso do solo na região circundante da estação Aeroporto pode ser visualizada na Figura 17. Embora o recorte não apresente edificações, 19,4% da área é coberta por pavimentos da pista do aeroporto e de pistas auxiliares, o que justifica a atribuição de uma subclasse, a LCZ D_E.

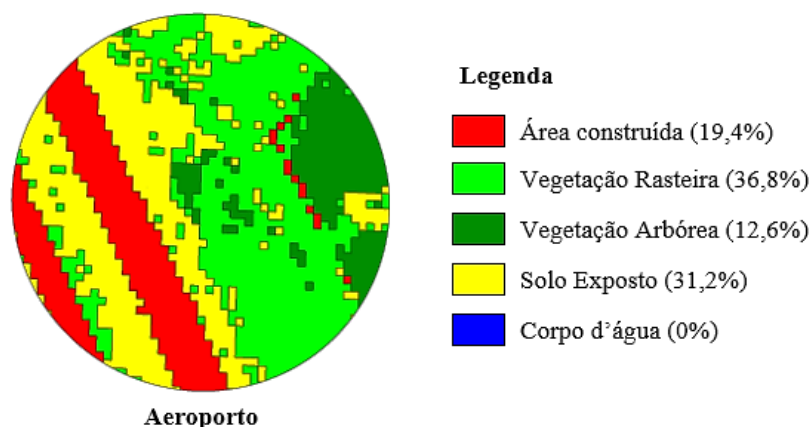


Figura 17 - Classificação de uso do solo na estação Aeroporto

A fração de superfície permeável nessa zona climática soma 80,6%, proporcionalmente adequada à subclassificação. Dentro do limite estudado também não há corpos d'água.

Com relação à geometria urbana, a estação meteorológica Aeroporto se situa na área de localização das pistas de decolagem, portanto, não apresenta edificações em seu entorno imediato, na área definida com raio de influência de 250 m.

No que se refere ao comportamento dos ventos, a estação Aeroporto, cujo entorno imediato é caracterizado principalmente por vegetação baixa e ausência de edificações, o fluxo de vento é recebido predominantemente nas orientações sul (S - 11,6 %), norte (N -9,9%) e norte-noroeste (NNO – 9,2%), como mostra Figura 18.

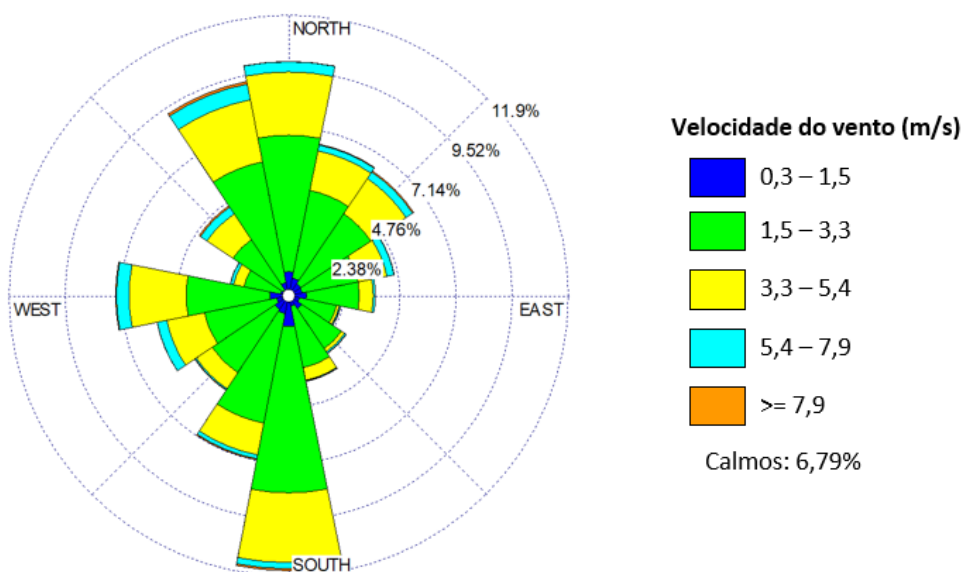


Figura 18 – Rosa dos ventos referente à estação Aeroporto, para o período anual

Nesta área, a velocidade média do vento durante o ano é de 2,62 m/s, correspondente à classe de brisa leve. Os ventos dessa classe (1,5 – 3,3 m/s) são mais frequentes, correspondendo a 54,9%, como mostra a Figura 19.

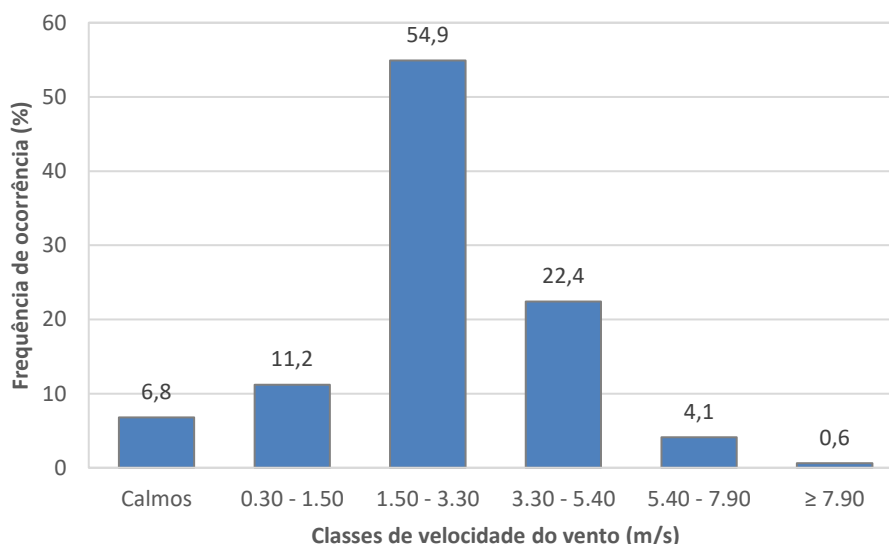


Figura 19 - Distribuição de frequência das classes de ventos na estação Aeroporto

A categoria de brisa fraca (3,3-5,4 m/s) fica em segundo na frequência de ocorrência, com 22,4% dos registros. A frequência de ventos calmos se destaca em comparação à estação Inmet, correspondendo a 6,8% dos dados. Na estação Aeroporto é possível verificar a incidência de registros de médias horárias correspondentes à classe de brisa forte, com ventos superiores a 7,9 m/s, das quais 0,8% ocorreram simultaneamente à precipitações. No ano todo, 96,7% dos registros foram medidos sem ocorrência de chuva.

Na estação chuvosa (Outubro-Abril) os ventos são predominantes, em ordem, nas orientações norte (N) e norte-noroeste (NNO), com 13% e 11,3% de frequência de ocorrência, respectivamente, como se pode observar na Figura 20.

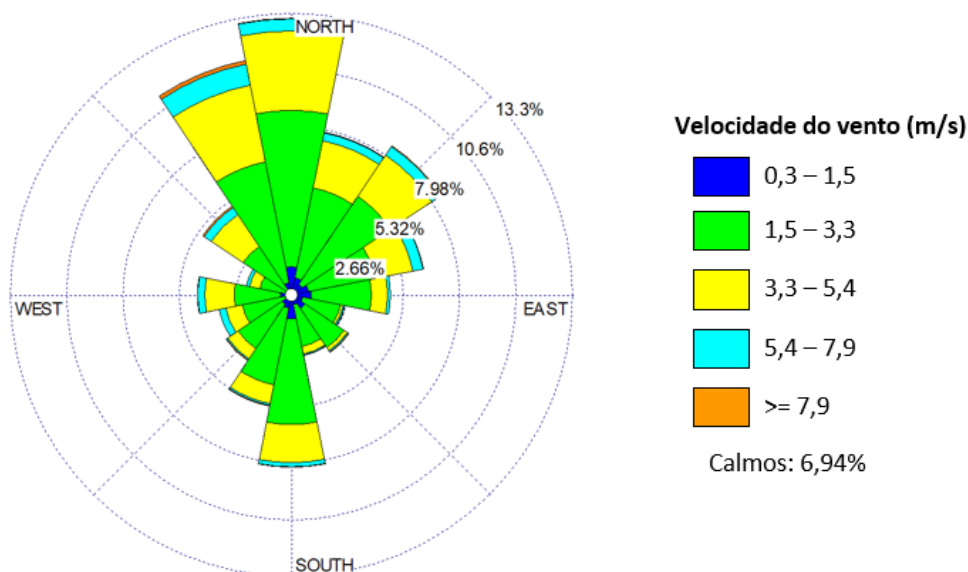


Figura 20 - Rosa dos ventos referente à estação Aeroporto, para o período chuvoso

Neste período, as classes de vento mais registradas são de brisa leve (1,5-3,3 m/s), com 53,9%, e de brisa fraca (3,3-5,4 m/s), com 22,9%. A classe de brisa moderada (5,4-7,9 m/s) também constitui uma parcela significativa, com 4,8% dos registos. Os ventos categorizados como brisa forte ocorrem em 0,6% dos dados, e simultaneamente à precipitação em 1,3%. A velocidade média do vento na estação chuvosa é de 2,64 m/s.

Na estação seca a velocidade média do vento é de 2,58 m/s, com ventos predominantes nas orientações sul (S) e oeste (O), como pode ser observado na Figura 21, com, respectivamente, 16,5% e 11,4% de frequência de ocorrência.

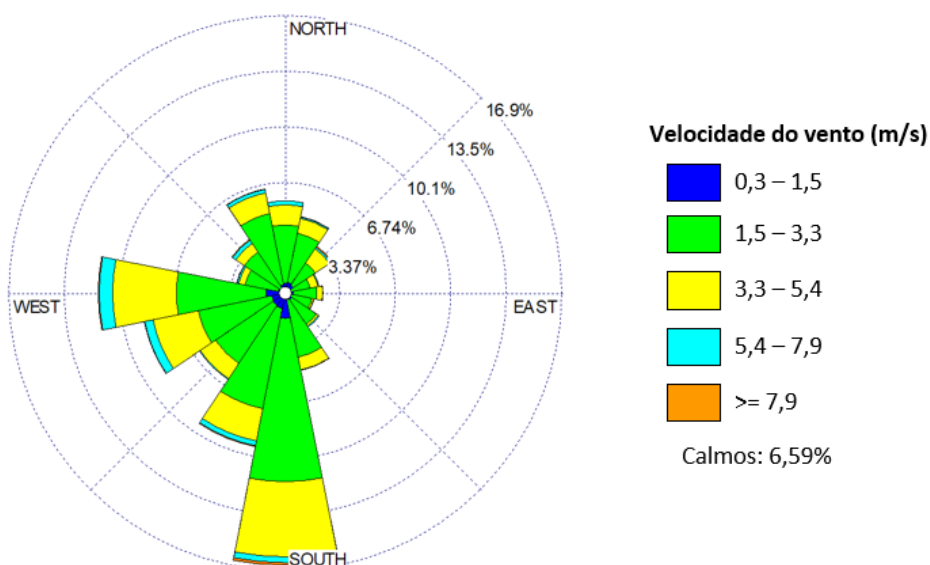


Figura 21 – Rosa dos ventos referente à estação Aeroporto, para o período da seca

As classes de vento mais frequentes neste período são a de brisa leve (1,5-3,3 m/s) e de brisa fraca (3,3-5,4 m/s), com frequências de ocorrência respectivas de 56,7% e 21,7%. Do total de dados, 99,3% ocorreram na ausência de precipitação.

A estação Aeroporto, além de não apresentar edificações no entorno imediato, embora esteja situada em uma área urbanizada, está situado a uma elevada altitude, com variação nos arredores. Esse fator promove a circulação do ar atmosférico entre as camadas de menor e maior altitude, intensificando o fluxo de vento, o que pode ser observado nas médias de velocidade, sendo a estação que apresenta maiores médias de velocidade do vento em comparação às outras estações.

5.1.2 Inmet

A Figura 22 mostra as porcentagens de cada classe referente à classificação de uso do solo da estação Inmet.

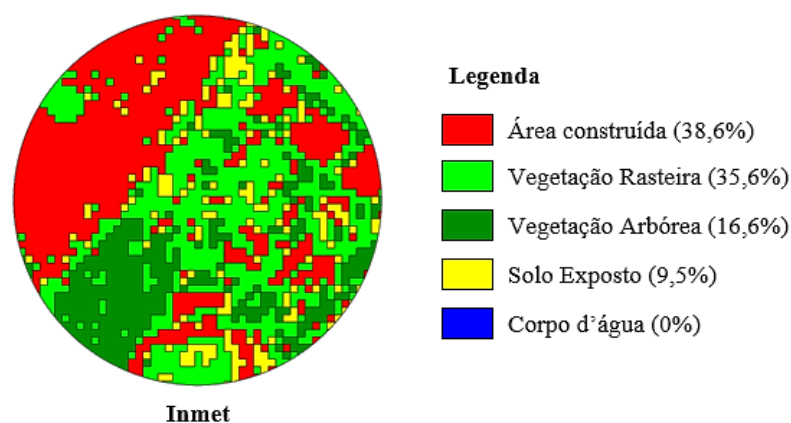


Figura 22 - Classificação de uso do solo na estação Inmet

A área, configurada por construções esparsas, possui área construída de 38,6%, o que inclui edificações, pavimentação e calçadas, valor que está em conformidade com os valores de área construída somados às superfícies impermeáveis da zona climática atribuída, a LCZ 9. Da mesma forma, a superfície permeável, que inclui vegetação rasteira, arbórea e solo exposto, somam 61,7%, também em conformidade com os valores da literatura. Não foram verificados corpos d'água no local.

Com relação à sua forma urbana, a estação Inmet, localizada na LCZ 9, apresenta um total de 19 geometrias, com altura média ponderada de 8,9 m, visto que a maior parcela é composta por geometrias baixas (até 10 m). A classificação das edificações conforme os grupos de altura pode ser visualizada na Figura 23.

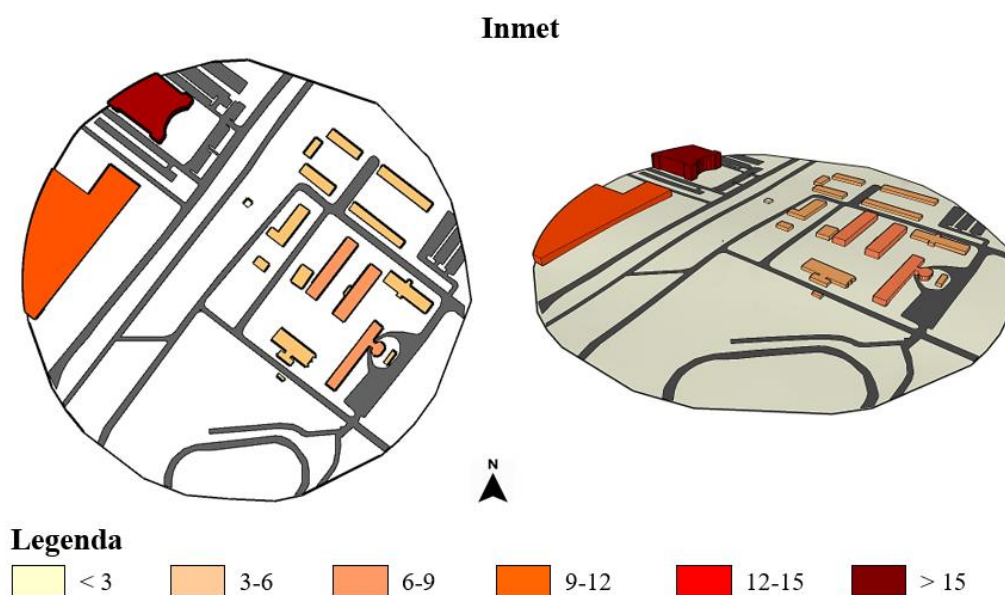


Figura 23 - Mapa de altura das geometrias na estação Inmet, em metros

A classe mais frequente é a de altura entre 3 e 6 m (68,4%) seguida da de 6 a 9 m, com 15,8%. Não há geometrias referentes à classe de 12 a 15 m, e apenas 1 edificação em cada classe remanescente (5,3%). Nesta área, as edificações estão conglomeradas em pontos específicos, cortadas por vias asfaltadas, estacionamentos e calçadas, o que explica a ocupação de área construída obtida na etapa de classificação de uso do solo (38,6%). A área de influência apresenta somente 12% de ocupação e a razão fachada-terreno é de 0,08.

Com relação aos ventos predominantes na área da estação Inmet, estes são oriundos das orientações noroeste (NO), sul (S) e norte-noroeste (NNO), com frequência de ocorrência de 14,6%, 14,4% e 13,8%, respectivamente, como mostra a Figura 24 abaixo.

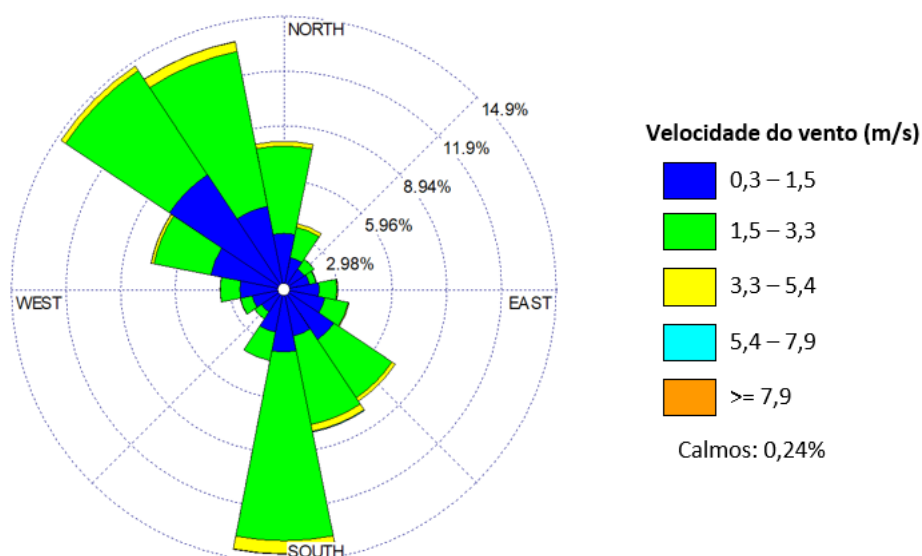


Figura 24 – Rosa dos ventos referente à estação Inmet, para o período anual

Conforme o relatório gerado pelo *software* WRPLOT, a velocidade média do vento nesta região é de 1,63 m/s, se enquadrando na categoria de brisa leve². Ao avaliar a influência da chuva na velocidade dos ventos da estação Inmet, foi verificado que 95,4% dos registros ocorreram em horários em que não houve precipitação. As classes de aragem (0,3-1,5 m/s) e de brisa leve (1,5-3,3 m/s) foram as mais frequentes, como mostra a Figura 25. Nas duas classes, a ocorrência de precipitação foi de apenas 1,9% e 1,0%, respectivamente.

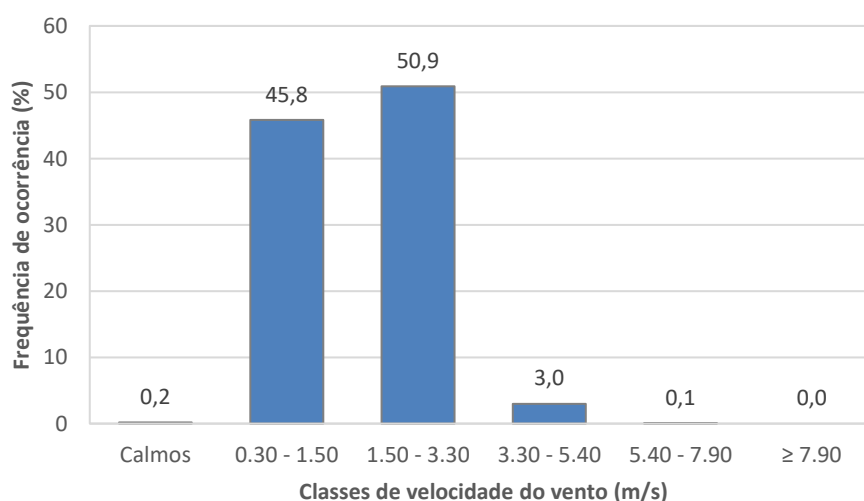


Figura 25 - Distribuição de frequência das classes de ventos na estação Inmet

² Conforme Tabela 9 do Item 4.4

A rosa dos ventos elaborada para o período chuvoso (Outubro-Abril) pode ser observada na Figura 26. Nesse período, a média de velocidade do vento é similar à anual, 1,61 m/s, com ventos predominantes nas orientações norte-noroeste (NNO) e noroeste (NO), com frequência de ocorrência de, respectivamente, 19,4% e 17,5%.

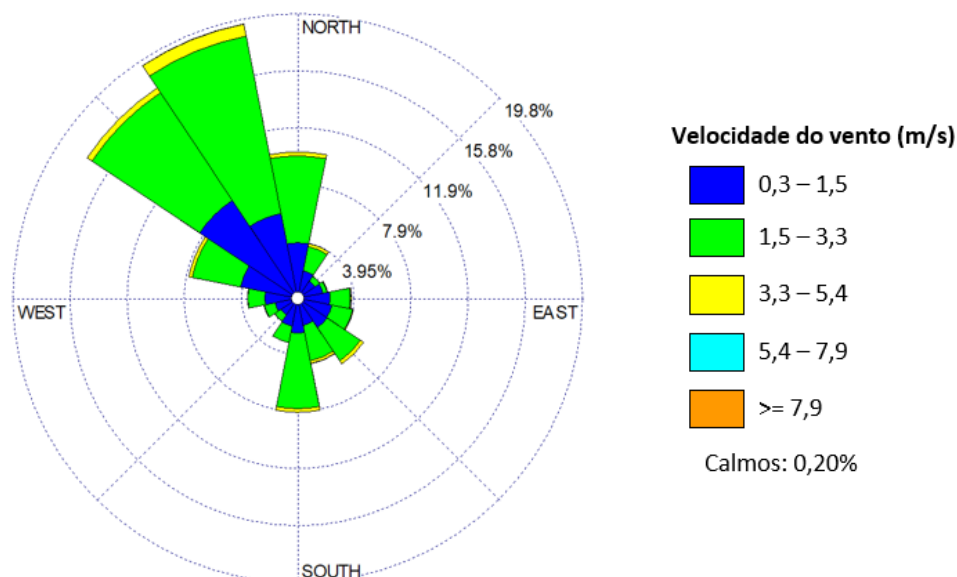


Figura 26 - Rosa dos ventos referente à estação Inmet, para o período chuvoso

Embora compreenda o período chuvoso, os registros sem ocorrência de precipitação somam 92,8%. As classes mais frequentes nessa época, assim como no período anual, compreendem as faixas de aragem (0,3-15 m/s) e de brisa leve (1,5-3,3 m/s), com frequência de ocorrência de 46,6% e de 50,2%, respectivamente, onde apenas 4,4% ocorrem simultaneamente com precipitação.

A rosa dos ventos para o período da seca (Maio-Setembro) pode ser verificada na Figura 27.

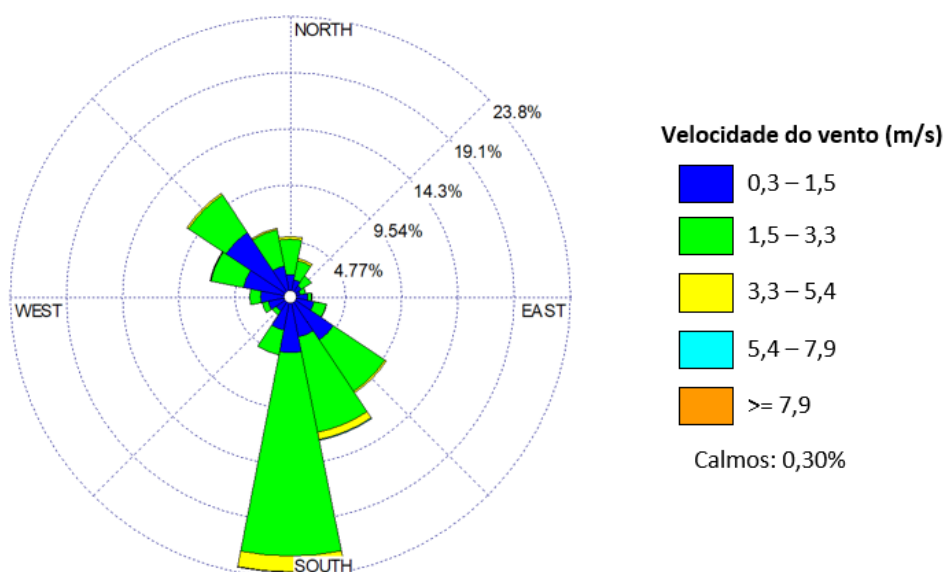


Figura 27 - Rosa dos ventos referente à estação Inmet, para o período da seca

Nessa época do ano, a velocidade média do vento é superior ao período chuvoso, correspondente a 1,65 m/s, todavia, ainda é classificada como brisa leve. O período, marcado por baixos índices de precipitação e, consequentemente, menor umidade relativa do ar, promove a circulação do vento na atmosfera.

As duas primeiras classes também são as mais frequentes com, respectivamente, 44,7% e 51,9% do total de registros. A classe de brisa fraca (3,3-5,4 m/s) apresenta um percentual maior de registros nesse período, com 3% de frequência de ocorrência. Na estação Inmet não foram identificados registros com velocidade de vento superior a 7,9 m/s (brisa forte) com relação às medias horárias.

A estação, embora esteja situada no local de menor altitude em relação às outras, apresenta variações em seu entorno, facilitando o movimento do ar, que pode ser observado no baixo índice (< 1%) de ventos calmos em todas as estações do ano. Ainda, no local há maior registros simultâneos à precipitação, visto que é o local que apresenta maior precipitação acumulada, além de ser cercado por áreas vegetadas, que promovem a evapotranspiração.

5.1.3 PPGFA

Na Figura 28 é possível visualizar a porcentagem de cada classe de uso do solo da estação PPGFA. A área desta estação apresenta, assim como a estação Inmet, edificações de médio porte esparsas, no entanto há mais calçadas e vias, somando mais

da metade do total em área construída. A estação PPGFA é a única em que apresenta corpo d'água, correspondente à 0,1% do total.

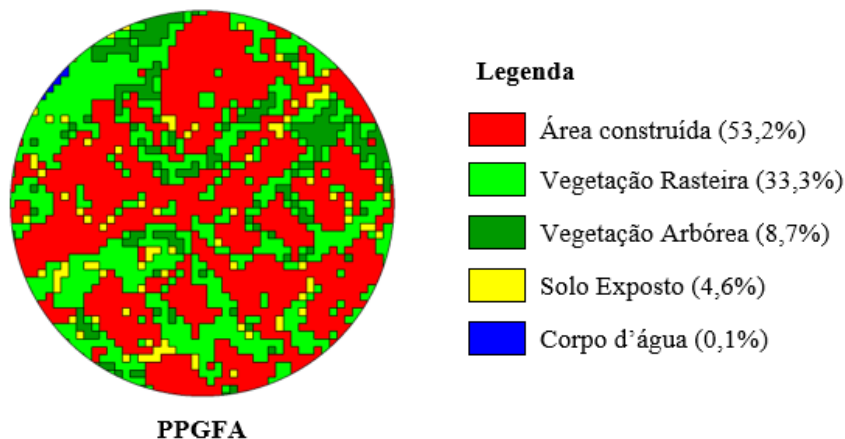


Figura 28 - Classificação de uso de solo na estação PPGFA

As superfícies permeáveis da área de influência da estação somam, juntamente com a fração de corpo d'água, 46,7%, ficando dentro do intervalo estabelecido para a LCZ 6, assim como a fração de área construída.

Com relação às geometria urbana, estação PPGFA, situada na LCZ 6, apresenta 85 geometrias, com uma altura ponderada média de 7,7 metros. O mapa de alturas desta estação pode ser visualizado na Figura 29.

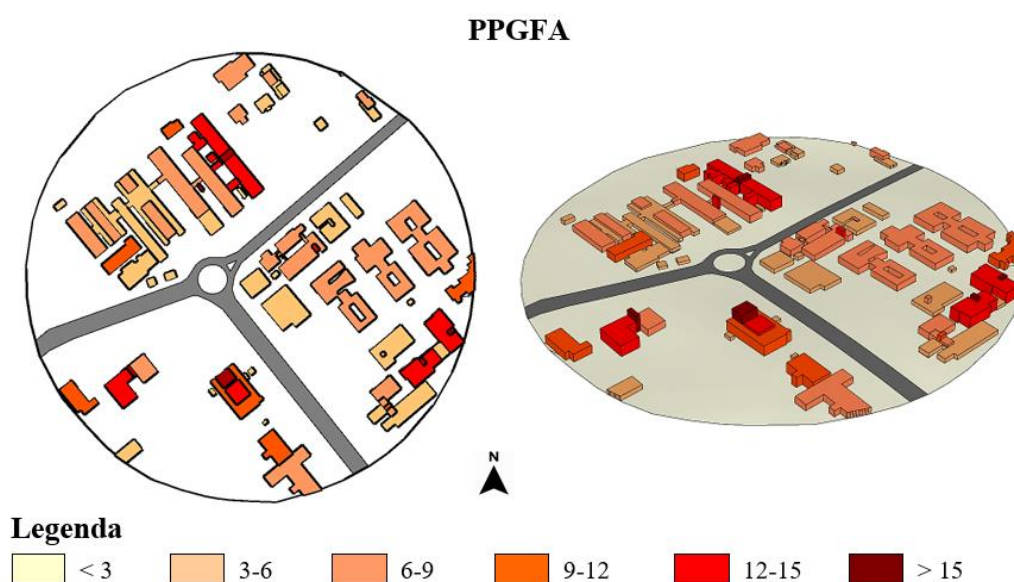


Figura 29 - Mapa de altura das geometrias na estação PPGFA, em metros

Nessa região, há predominância de edificações institucionais de ensino, apresentando principalmente, geometrias com altura entre 3 e 6 m (38,8%), seguida da

classe de edificações entre 6 e 9 m (30,6%). A área, ainda, apresenta uma porcentagem significativa de geometrias entre 12 e 15 m, de 14,1%, sendo a única região avaliada que apresenta este grupo.

As edificações nesta área são distribuídas de forma homogênea, o que promove a ventilação e evita a concentração de regiões densamente construídas, as quais geram aumento de temperatura. A taxa de ocupação no raio de influência é de 24%, com razão fachada-terreno de 0,26.

A rosa dos ventos da estação PPGFA para o ano todo pode ser visualizada na Figura 30. As direções predominantes de ventos nessa área são sudoeste (SO) e sul-sudoeste (SSO), com 10,9% e 9,4% dos registros.

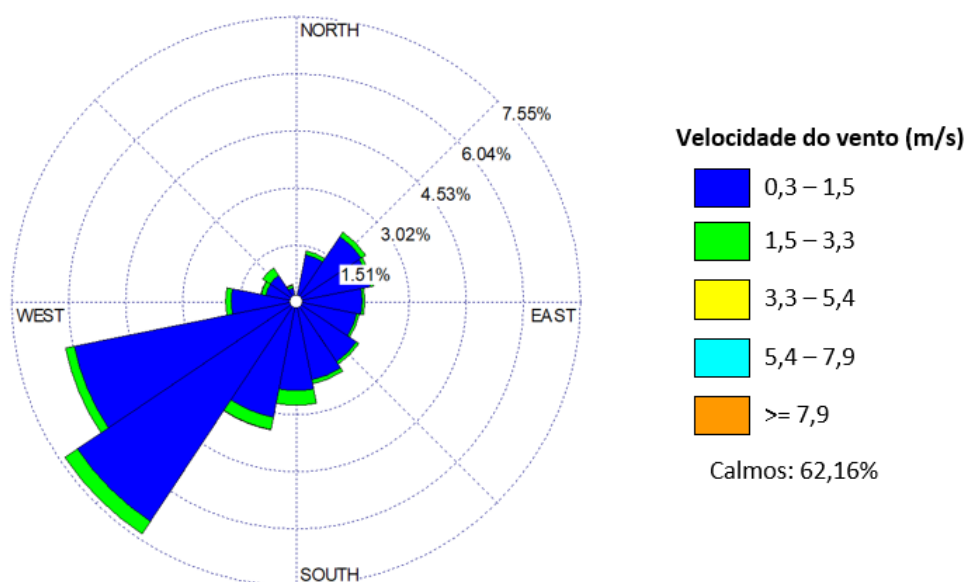


Figura 30 - Rosa dos ventos referente à estação PPGFA, para o período anual

Nessa estação, a velocidade média é de 0,28 m/s, onde os ventos calmos ($<0,3$ m/s) compõem 62,2% do total de registros, seguido da classe de aragem (0,3-1,5 m/s), com 35,2%, como mostra a Figura 31.

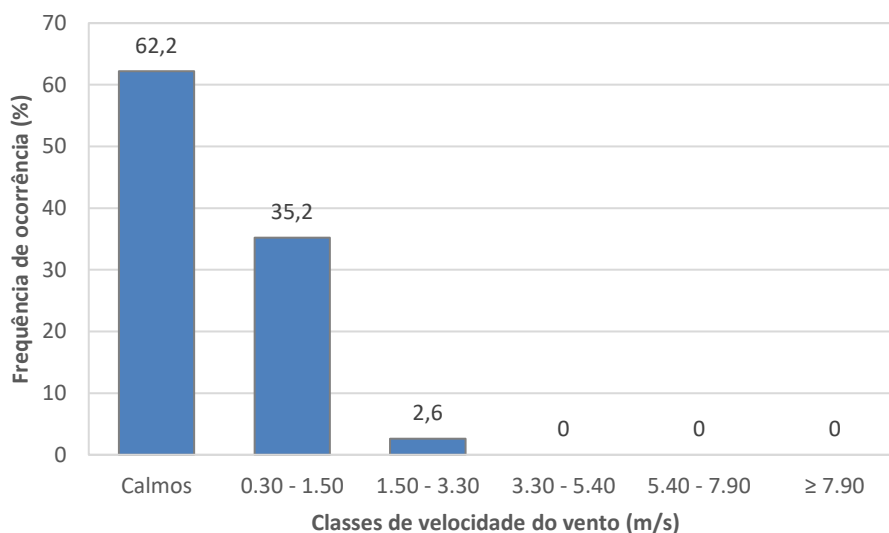


Figura 31 - Distribuição de frequência das classes de ventos na estação PPGFA

Nesta área, não foram registrados dados referentes às classes de brisa moderada (5,4-7,9 m/s) e de brisa forte ($\geq 7,9$ m/s). Em 97,3% dos dados não houve precipitação, e a classe de aragem (0,3-1,5 m/s) foi a mais frequente em ocorrência de chuva, com 1,1% dos registros.

Na estação chuvosa (Outubro-Abril), a velocidade média do vento é de 0,25 m/s e os ventos predominantes são orientados a sudoeste (SO), com frequência de ocorrência de 4,9%, a oeste-sudoeste (OSO), 3,9%, e a nordeste (NE), em 3,0% dos dados, como mostra a Figura 32.

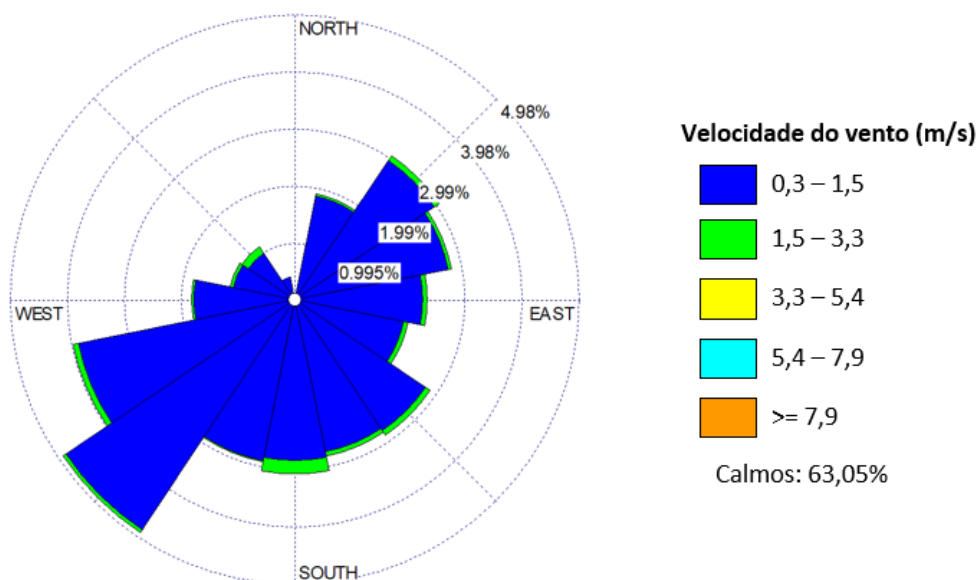


Figura 32 - Rosa dos ventos referente à estação PPGFA, para o período chuvoso

Nesta estação, os ventos calmos ($<0,3$ m/s) correspondem a 63,05% do total, sendo a classe de maior ocorrência, com sua sucessora, a classe de aragem (0,3-1,5 m/s) ocorrendo em 35,8% dos registros. Não houve ocorrência de precipitação em 95,5% dos registros, e as classes de brisa fraca (3,3-5,4 m/s), moderada (5,4-7,9 m/s) e forte ($\geq 7,9$ m/s) não foram registradas no período.

Por sua vez, no período seco (Maio-Setembro), a velocidade média registrada na estação PPGFA é um pouco superior, de 0,32 m/s, com ventos calmos somando 60,92% dos dados. As orientações com maior incidência de ventos são sudoeste (SO) e oeste-sudoeste (OSO) com, respectivamente, 11,1% e 9,6% de frequência de ocorrência, como mostra a Figura 33.

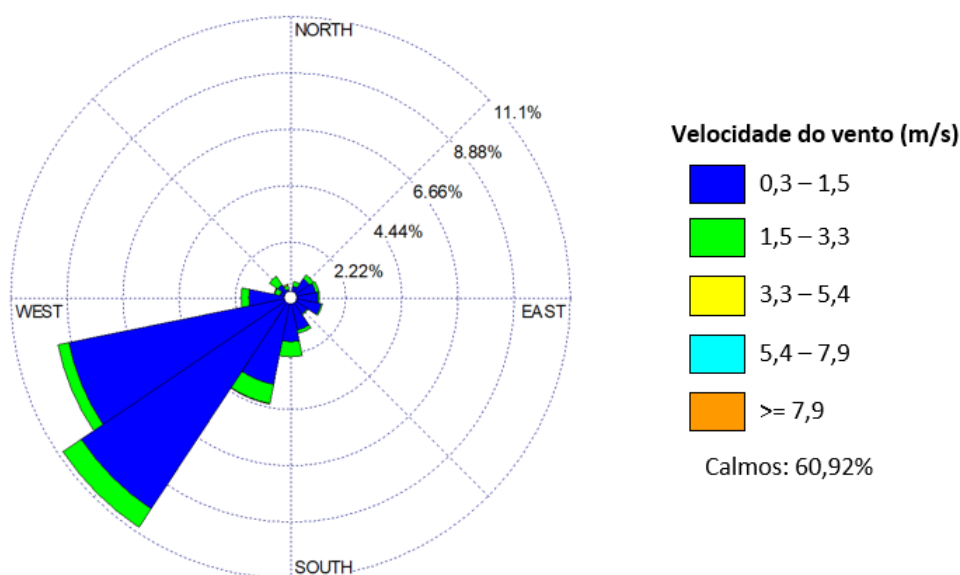


Figura 33 - Rosa dos ventos referente à estação PPGFA, para o período seco

Neste período, não foram registrados dados referentes às classes de brisa moderada (5,4-7,9 m/s) e forte ($\geq 7,9$ m/s) e apenas 0,3% dos dados ocorreram simultaneamente à precipitação. Após os ventos calmos, as classes com maior frequência de ocorrência são as de aragem (0,3-1,5 m/s) e brisa leve (1,5-3,3 m/s), com 34,6% e 4,4% de frequência, respectivamente.

Nesta estação meteorológica, há um elevado índice de registros de ventos calmos, apesar de estar situada em uma elevada altitude e apresentar área vegetada razoável para uma área urbana. No entanto, área além do círculo de influência é caracterizada por uma região com significativa densidade construtiva e fluxo de veículos, que podem interferir no movimento do ar atmosférico.

5.1.4 Jd. califórnia

A estação Jd. Califórnia, cujo resultado da classificação de uso do solo pode ser visualizado na Figura 34, apresenta, predominantemente, área construída decorrente do elevado número de edificações e de vias que interligam as quadras, com 67,9%.

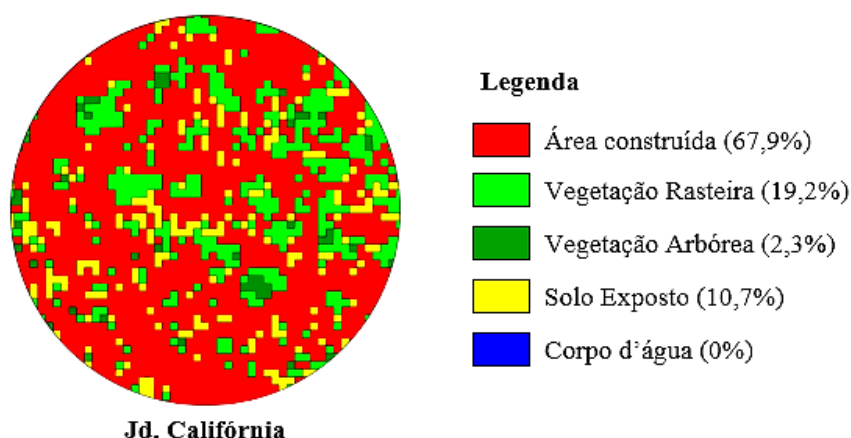


Figura 34 - Classificação de uso de solo na estação Jd. Califórnia

Nesta área, também, há uma redução significativa nas classes de vegetação, totalizando apenas 21,5%. Os elementos que compõem a superfície permeável da área soma 32,2%, valor próximo ao estabelecido para a LCZ 3 ($< 30\%$), com área construída conforme os valores descritos para a zona. Nessa região não há área de corpo d'água.

A Figura 35 mostra o mapa de alturas das geometrias para a estação Jd. Califórnia, situada na LCZ 3.

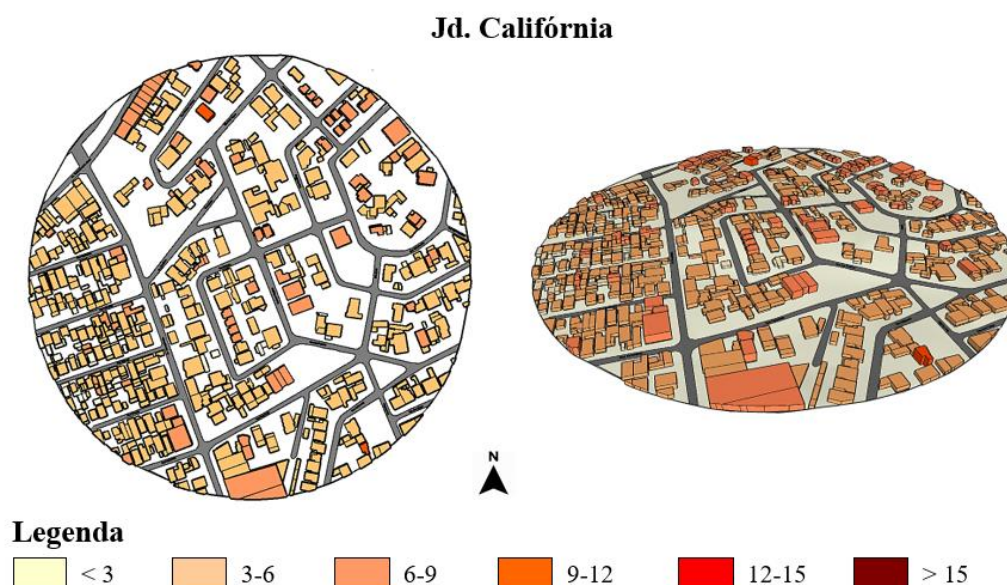


Figura 35 - Mapa de altura das geometrias na estação Jd. Califórnia, em metros

A fração apresenta 628 geometrias, com altura ponderada de 3,9 m, configurando uma região compacta e de altura predominantemente baixa, características da zona climática à qual pertence. A classe de altura entre 3 e 6 metros prevalece na área, correspondendo à 74,2% das geometrias coletadas. Após ela, a primeira e a terceira classe, respectivamente de alturas inferiores a 3 m e de 6 a 9 m, abrangem, cada uma, 12,7% das geometrias. Há somente 2 edificações de 9 a 12 m, correspondendo a 0,3% do total, sem ocorrência das classes restantes, de maior altura. A taxa de ocupação no local é de 32%, com razão fachada-terreno de 0,42, superando, em ambos os aspectos, as outras estações.

A área de influência da estação Jd. Califórnia é a mais compacta de todas as estudadas, logo, que apresenta maior área horizontal construída. Essa característica influencia na temperatura do ar, visto que há elevada densidade construtiva, e, conseqüentemente, maior absorção da radiação solar em função do baixo albedo que, ao interagir com a atmosfera, elevam a temperatura.

Os ventos são orientados, predominantemente, a sul-sudoeste (SSO) e leste-nordeste (ENE), com frequência de ocorrência de, respectivamente, 5,5% e 4,3%, como mostra a Figura 36.

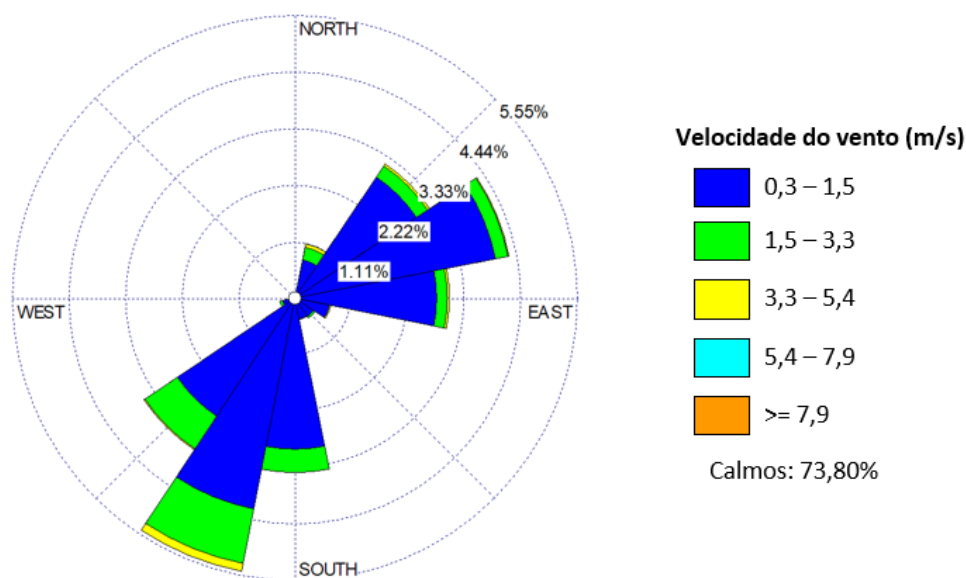


Figura 36 - Rosa dos ventos referente à estação Jd. Califórnia, para o período anual

A estação apresenta fluxo de ventos com velocidade média anual de 0,23 m/s, onde 73,8% dos ventos são classificados como calmos ($<0,3$ m/s), sendo a classe mais frequente, como mostra a Figura 37.

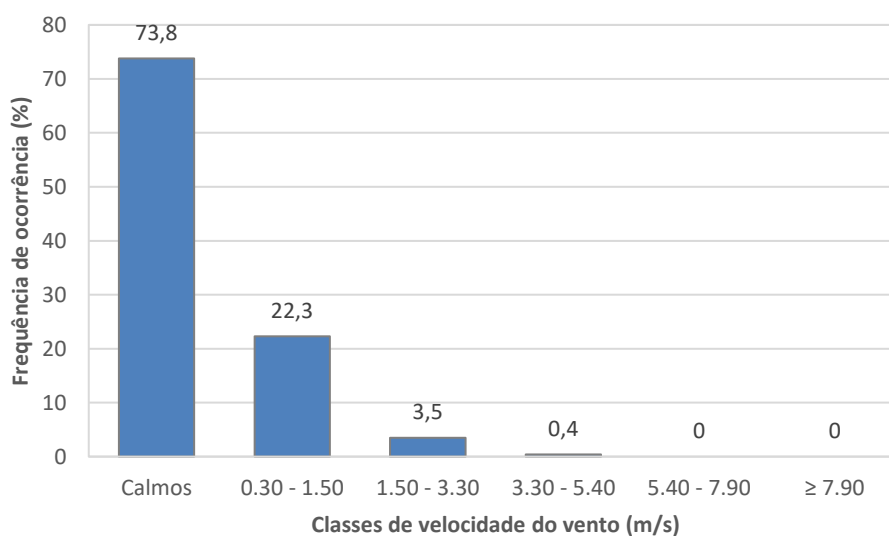


Figura 37 - Distribuição de frequência das classes de ventos na estação Jd. Califórnia

Nesta área não há registros de ventos acima de 5,4 m/s, e 96,9% dos dados ocorrem sem precipitação.

Na estação chuvosa, a velocidade média é de 0,19 m/s, na qual 74,2% dos ventos incidentes sendo classificados como calmos ($<0,3$ m/s). Ventos com velocidade superior são oriundos, principalmente, das orientações leste-nordeste (ENE), com

6,1% de frequência de ocorrência, e leste (E) e sudoeste (SO), ambas ocorrendo em 4,3% dos dados, como mostra a rosa dos ventos na Figura 38.

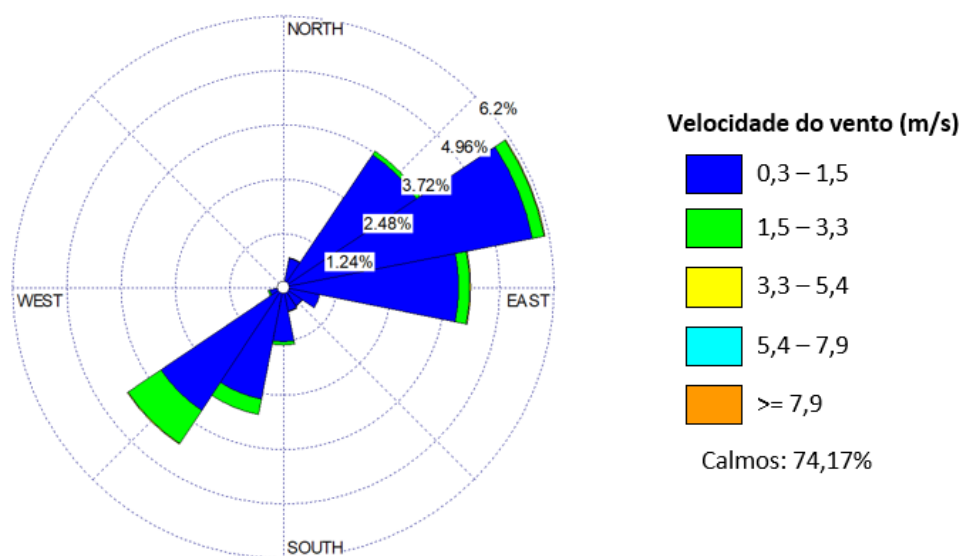


Figura 38 - Rosa dos ventos referente à estação Jd. Califórnia, para o período chuvoso

No período chuvoso (Outubro-Abril), as classes de aragem (0,3-1,5 m/s) correspondem a 23,7% do total, enquanto a classe de brisa leve (1,5-3,3 m/s) soma 2,1% dos dados, com apenas 0,1% referente à classe de brisa fraca (3,33-5,4 m/s). Além disso, 95,2% dos dados não ocorrem junto à precipitação.

Na estação seca (Maio-Setembro), a velocidade média do vento é de 0,29 m/s, cujas principais orientações de fluxo são sul-sudoeste (SSO) e sul (S), como mostra a Figura 39, com, respectivamente, 8,9% e 6,3% da frequência de ocorrência.

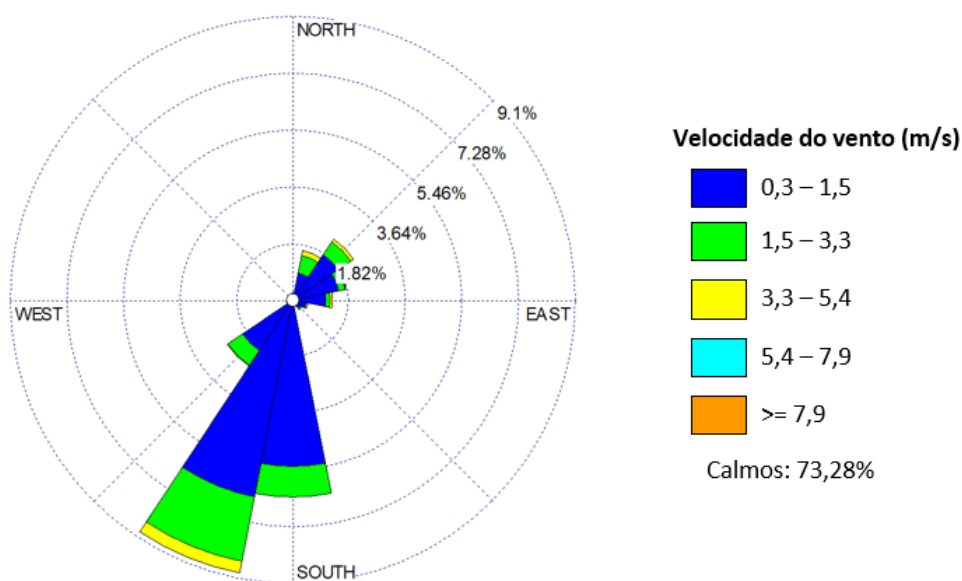


Figura 39 - Rosa dos ventos referente à estação Jd. Califórnia, para o período seco

Durante o período, a parcela de ventos calmos ($<0,3$ m/s) corresponde a 73,3% do total, seguida pela de aragem (0,3-1,5 m/s), com 20,4%, e de brisa leve (1,5-3,3 m/s), com 5,4% do total. A classe de brisa fraca (3,3-5,4 m/s) corresponde a apenas 0,9% do total, não havendo registros de velocidade superiores a 5,4 m/s. Na seca, apenas 0,6% dos dados ocorrem simultaneamente a registros de chuva.

É relevante ressaltar que o bairro onde se situa a estação está a cerca de 1 km do Rio Cuiabá, com uma faixa larga de vegetação densa às suas margens, sendo um dos fatores influentes na direção dos ventos deste local. Nota-se, também, a estação Jd. Califórnia apresenta a maior quantidade de registros de ventos calmos, tendo em vista que está localizada na região mais urbanizada dentre as analisadas, portanto, com muitas barreiras de alturas similares, interferindo na velocidade do fluxo de ventos.

5.2 ANÁLISE GLOBAL

5.2.1 Temperatura do ar

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos a partir da coleta de dados meteorológicos das estações utilizadas para este estudo. A Figura 40 mostra o gráfico das médias mensais de temperatura do ar durante o ano de medição, 2016, nas estações meteorológicas utilizadas em Cuiabá.

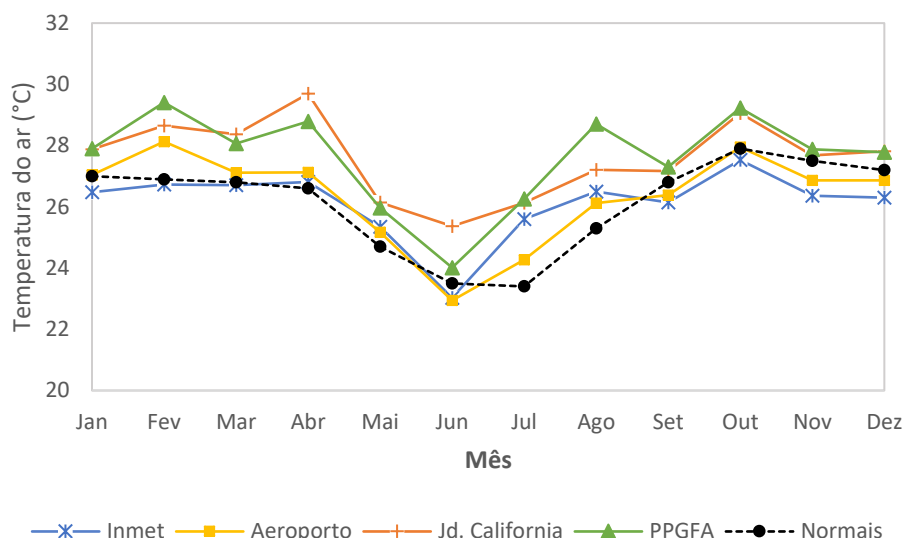


Figura 40 – Médias mensais de temperatura do ar nas estações meteorológicas em 2016

As estações PPGFA (LCZ 6) e Jd. Califórnia (LCZ 3) apresentaram comportamento similar ao longo do ano e registraram as maiores médias de temperatura, ambas com 27,6 °C em relação ao período anual, 26,4 °C no período seco e 28,4 °C no chuvoso. Os meses mais quentes registrados nas duas estações foram, respectivamente, fevereiro (29,4 °C) e abril (29,7 °C), enquanto o mês mais frio, em ambas, foi o de junho, com média de 24 °C na estação PPGFA e 25,4 °C na Jd. Califórnia. Ambas apresentaram os meses mais quentes dentre as estações estudadas, em função da densidade construtiva e do calor antropogênico gerado nas regiões.

Por outro lado, a estação Inmet, localizada na LCZ 9, apresentou a menor média anual, de 26,1°C, com médias de 25,3°C no período seco e de 26,7°C no chuvoso. Outubro foi o mês com maior média mensal de temperatura, com 27,5 °C, enquanto junho apresentou a menor média, com 23 °C. No geral, a estação apresentou menores médias de temperatura, exceto nos meses de maio, junho, julho e agosto, que foram superiores na estação Aeroporto.

Embora esteja situada na LCZ D_E, a estação Aeroporto apresentou médias gerais de temperaturas superiores à sua antecessora, com média anual de 26,3 °C, de 25 °C no período da seca e de 27,3 °C no de chuva. Assim como na estação PPGFA, o mês mais quente foi o de fevereiro, com 28,1 °C, enquanto o mês mais frio foi junho, tal como nas outras estações, com média de temperatura de 22,9 °C. Ainda que sua superfície não tenha edificações e seja predominantemente de solo natural, é

perceptível a influência do meio urbano circundante nas condições climáticas desta estação, apresentando temperaturas próximas às áreas mais urbanizadas.

A Figura 41 mostra o *boxplot* de temperaturas médias nos períodos seco e chuvoso em todas as estações analisadas.

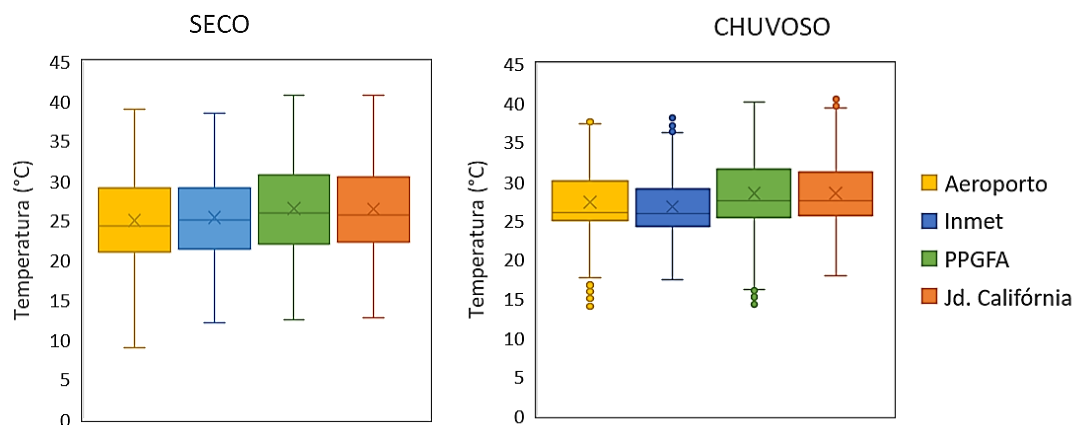


Figura 41 – *Boxplot* de temperatura do ar nas estações meteorológicas nos períodos seco e chuvoso

No período seco, a dispersão entre os dados é maior em todas as estações, visto que nesta época se encontram as maiores amplitudes térmicas no ano. A estação Inmet é a que apresenta menor variabilidade e melhor distribuição simétrica dos dados. As demais estações apresentam menor simetria e os dados estão mais dispersos. É notável que, no período seco, as estações Aeroporto e Jd. Califórnia são as que apresentam maiores amplitudes térmicas, esta sendo superior a 15 °C em 39,9% e 30,7% dos dias no período, respectivamente. A estação Aeroporto, também, detém o registro horário com menor temperatura, de 9°C.

No período chuvoso a variabilidade dos dados é menor em comparação ao período seco, com menores amplitudes térmicas devido à incidência de precipitação mais frequente, que amortecem as diferenças de temperatura. Entretanto, as estações mais urbanizadas, a saber, PPGFA e Jd. Califórnia, apresentam maior dispersão e temperaturas superiores às demais estações. A estação Aeroporto apresenta, também, elevadas temperaturas, embora seja possível observar alguns *outliers* abaixo da temperatura mínima, apresentando uma assimetria perceptível.

No que se refere ao comportamento da temperatura do ar ao longo do dia, a Figura 42 mostra o resultado anual obtido a partir dos dados das estações meteorológicas.

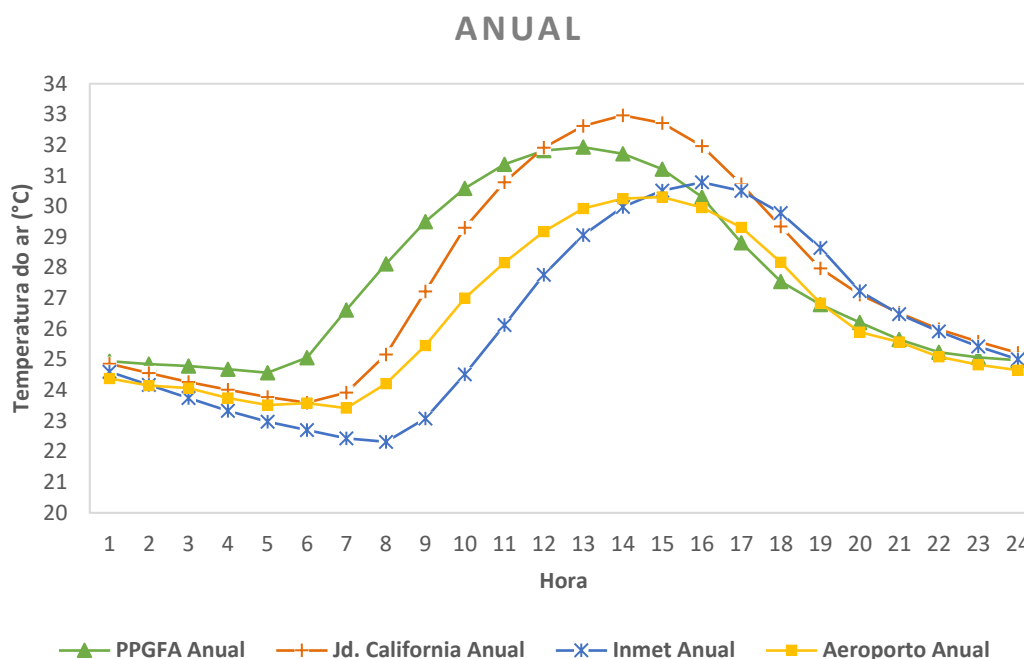


Figura 42 - Temperatura do ar média anual ao longo do dia

Observa-se que, no geral, as estações apresentam aquecimento da temperatura do ar a partir das 8 h, no período matutino, atingindo pico aproximadamente às 14 h, e arrefecendo a cerca das 20 h. A estação PPGFA se distancia um pouco deste padrão, principalmente no período matutino, com elevação da temperatura entre 6 h e 7 h, chegando à temperatura média de 28,1 °C às 8 h, enquanto nas outras estações, no mesmo horário, a temperatura é inferior em até 4 °C.

Este comportamento pode ser um resultado da liberação de calor antropogênico oriunda do tráfego, visto que a estação está localizada em uma instituição de ensino, logo, com fluxo de veículos intensos de veículos com destinação ao local, bem como do tráfego de avenidas adjacentes à universidade, que escoam um volume elevado de veículos para outros pontos da cidade. Nesta estação, o pico de temperatura ocorre às 13 h, com média de 31,9 °C.

O mesmo ocorre na estação Jd. Califórnia, que também apresenta elevadas temperatura a partir próximo ao mesmo período, que se estendem até às 20 h, com pico às 14 h, chegando a 33 °C. As temperaturas mais amenas se situam na faixa de horário entre 1 e 7 da manhã, alcançando seu ponto mais baixo às 6, com média de 23,6 °C.

Por outro lado, nas estações Aeroporto e Inmet o aquecimento só ocorre no fim da manhã, com ápice ocorrendo, respectivamente, às 15 h e às 16 h, com médias

correspondentes de 30,5 °C e 30,8 °C. Ambas apresentam temperaturas mais amenas até às 10 h, com mínima de 23,4 °C às 7 h na primeira, enquanto a segunda apresenta a menor temperatura às 8 h, de 22,3 °C.

A Figura 43 mostra as temperaturas médias ao longo do dia na estação chuvosa, ao passo em que a Figura 44 traz as informações referentes ao período seco.

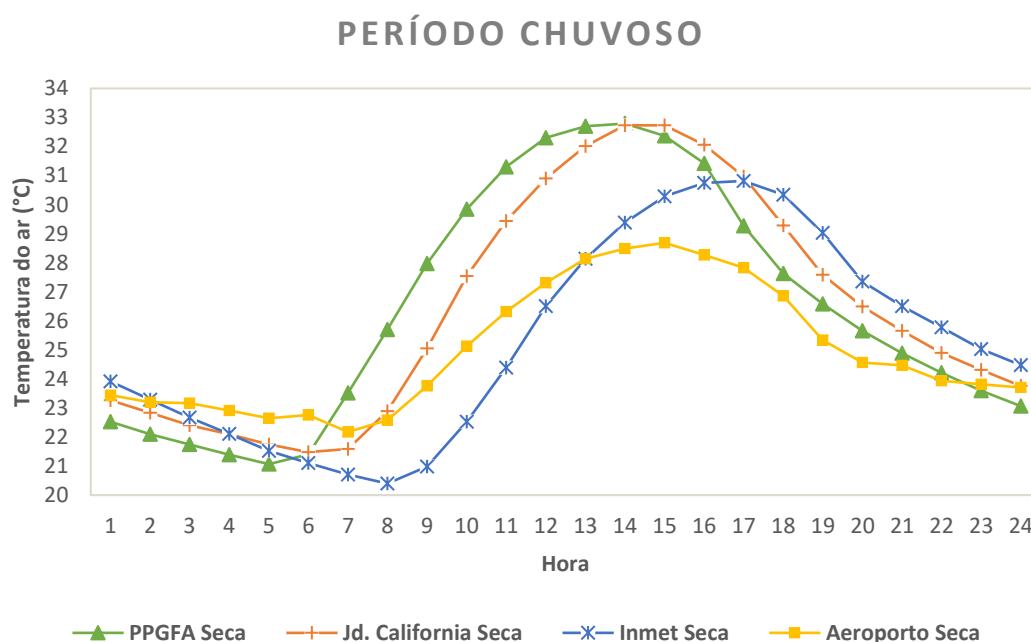


Figura 43 - Temperatura do ar média ao longo do dia no período de chuva

O padrão de temperaturas ao longo do dia ocorreu de forma similar nas duas estações climáticas, com algumas ressalvas. No período chuvoso há menos variações bruscas de temperatura, em função da umidade presente na época devido à precipitação. A estação PPGFA apresenta menores amplitudes, com temperatura elevada constante mesmo no período noturno, com mínima de 26,0 °C às 22 h, chegando à máxima de 31,5 °C às 12 h.

As estações Aeroporto e Inmet exibem tendência similar, na qual a primeira passa a se aquecer no início da manhã, a partir da 8 h, e ambas se resfriando por volta das 19 h. A estação Aeroporto apresenta mínima média de 24,0 °C às 5 h, com máxima verificada às 15 h, de 31,5 °C, enquanto na segunda os equivalentes ocorrem às 7 h (23,7 °C) e às 16 h (30,8 °C). A estação Jd. Califórnia apresenta temperaturas mais elevadas no período, com máxima média de 33,1 °C às 13 h e 14 h, e mínima de 25,1 °C às 6 h.

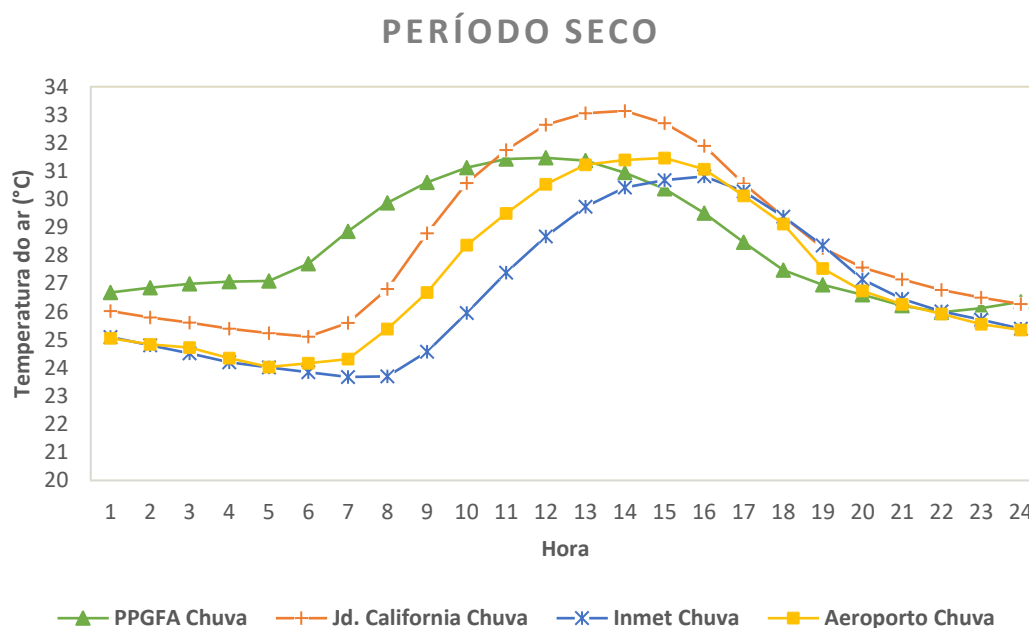


Figura 44 - Temperatura do ar média ao longo do dia no período seco

No período seco, temperaturas mais baixas são perceptíveis a partir das 21 h e se estendem, na maioria, até às 7 h. Na estação Inmet, por exemplo, temperaturas menores continuam até às 10 h, com média mínima às 9h, de 20,4 °C. A estação Aeroporto apresentou médias com menores amplitudes térmicas ao longo do dia, com variação máxima de aproximadamente 6 °C, com mínima de 22,2 °C (7 h) e máxima de 28,7 °C (15 h). As estações mais urbanizadas, por outro lado, apresentaram amplitude térmica média de até quase 12 °C, como na estação PPGFA, com mínima média de 21,1 (5 h) e máxima de 32,8 °C (14 h), e na estação Jd. Califórnia, com valores correspondentes de 21,5 °C (6 h) e de 32,7 °C (14 h e 15 h).

No que se refere às temperaturas mais constantes durante o ano, a Figura 45 mostra a frequência de ocorrência das médias horárias de temperatura do ar em todas as estações em 2016.

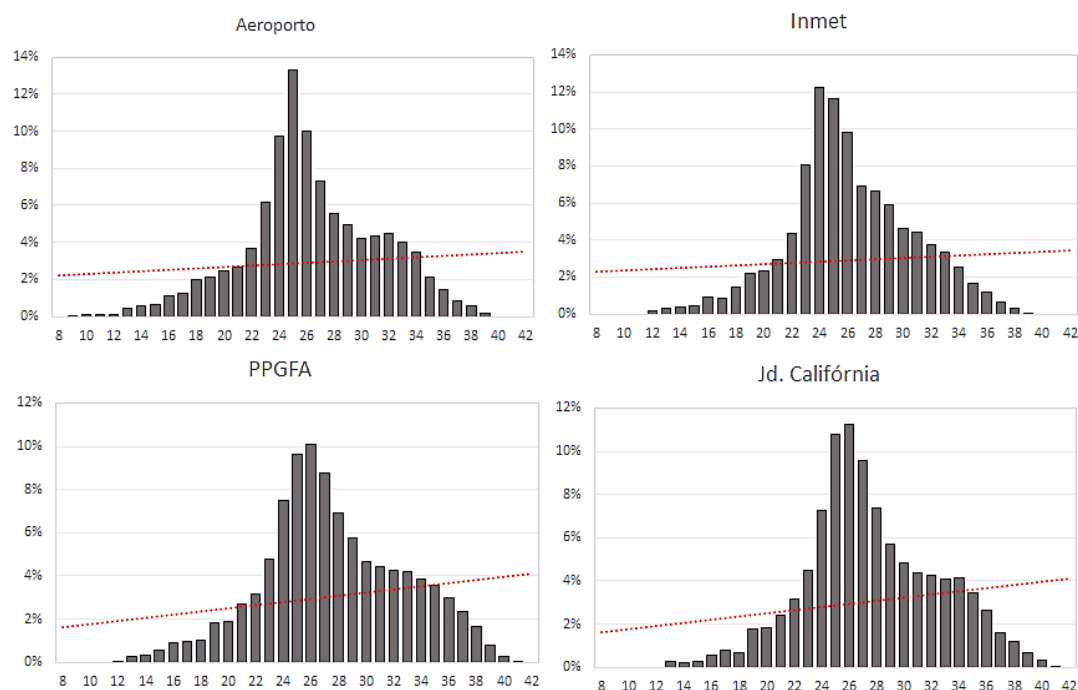


Figura 45 - Frequência de ocorrência (eixo vertical) de temperaturas (eixo horizontal) no ano de 2016 nas estações meteorológicas em Cuiabá-MT

Em todas as estações, as médias horárias de temperatura mais frequentes se situam na faixa entre 24 °C e 26 °C. A estação Inmet apresentou uma tendência mais linear de temperaturas com 40,9% das temperaturas situadas na faixa entre 25 °C e 30 °C e 30% entre 20 °C e 25 °C. Não obstante, a estação Aeroporto também apresentou tendência similar, porém supera a anterior em temperaturas tanto mais baixas quanto mais elevadas. A estação é a que apresenta maior porcentagem de temperaturas médias abaixo de 20 °C, com 8,5% contra 6,7% da primeira, e entre 30 °C e 35 °C, com 20,6% em relação a 18,7% na estação Inmet. Em relação às temperaturas acima de 35 °C, a estação Aeroporto apresenta 5,1% dos registros, contra 3,9% da Inmet.

As estações mais urbanizadas, PPGFA e Jd. Califórnia, no entanto, apresentaram tendência crescente nas médias de temperatura, onde as médias de temperatura inferiores a 25 °C somam menos de 30% em cada uma. Por outro lado, as médias de temperaturas superiores a 35 °C praticamente dobram em relação às estações menor urbanizadas, com 11,6% na estação PPGFA e 9,9% na Jd. Califórnia. Nesta última, as temperaturas entre 25 °C e 30 °C correspondem a 44,7% e de 30 °C a 35 °C em 21,7%. Na estação PPGFA, os valores correspondentes de cada uma dessas faixas, por sua vez, é de 41,2% e 21,3%. Nota-se que a estação PPGFA apresenta as

maiores médias de temperatura, ainda que tenha vegetação em sua configuração, fato que, novamente, pode ser resultado do calor antropogênico liberado na região.

5.2.2 Precipitação

A Figura 46 traz os dados de precipitação acumulada registrados em todas as estações meteorológicas utilizadas neste estudo, em comparação às normais climatológicas.

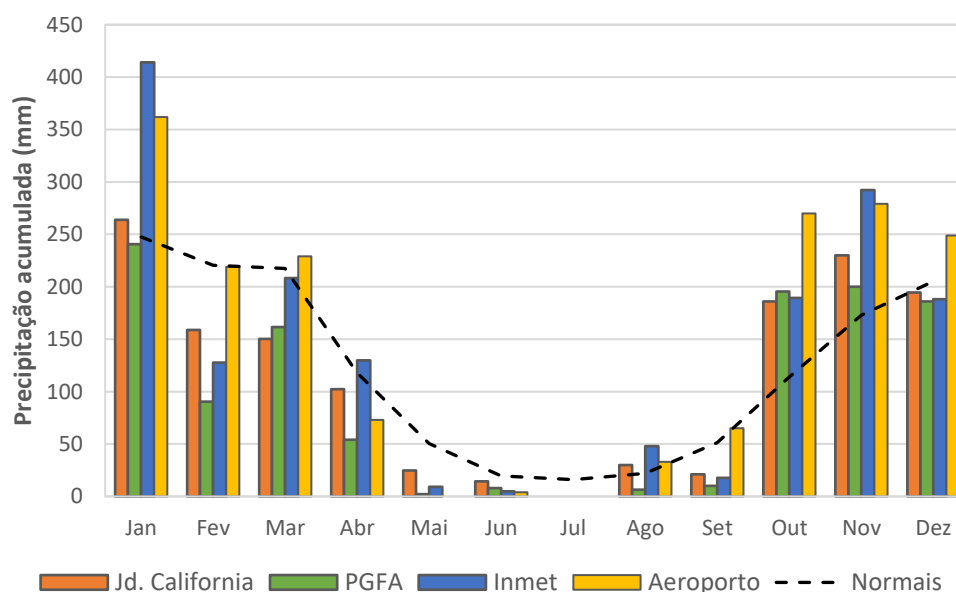


Figura 46 - Precipitação mensal acumulada nas estações em comparação às normais climatológicas

A estação Aeroporto apresentou maior precipitação acumulada dentre as estações estudadas, com 1.783 mm anuais, seguida da estação Inmet, com 1.549,9 mm no mesmo período. Além de se situar na altitude mais elevada, a estação apresenta solo de cobertura predominantemente natural, embora esteja localizado em uma área urbanizada. De forma similar, a estação Inmet apresenta menor densidade comparada às estações urbanas, porém, ressalta-se novamente que, embora esteja na menor altitude das quatro, a zona é cercada de áreas verdes de interesse ambiental e também se situa relativamente próxima à área rural do município.

Por outro lado, as zonas mais urbanizadas, a saber as estações PPGFA e Jd. Califórnia, apresentaram menor precipitação acumulada para o ano estudado, com, respectivamente, de 1.154,4 mm e 1.376,0 mm no período anual, e 1.128,0 mm e 1.286,2 mm no período chuvoso. Em ambas as estações a precipitação anual foi inferior às normais climatológicas, com diferença de 78,5 na Jd. Califórnia e de 300,2

mm na PPGFA. Essa diferença significativa na estação PPGFA foi observada no valor acumulado na estação seca, de 26,4 mm contra 89,8 mm da Jd. Califórnia.

Alguns estudos analisam a influência da urbanização no padrão de precipitações, cujas conclusões podem ser relacionadas às desse trabalho. Em regiões mais urbanizadas, a superfície do solo (impermeabilização) e a liberação de fluxo de calor antropogênico podem gerar aumento ou diminuição da precipitação acumulada, e geralmente esse efeito não é centralizado na cidade, mas varia conforme diferentes antecedentes geográficos e meteorológicos (FENG *et al.*, 2012; YAN *et al.*, 2016).

Outro efeito relevante é uma maior frequência de eventos de precipitação intensa em áreas urbanizadas (SOUZA, RANGEL e CATALDI, 2017), observado nas estações PPGFA, Jd. Califórnia e Aeroporto. A estação Aeroporto, a despeito de não ser classificada como uma zona climática urbana, se situa em uma região com tráfego intenso devido ao aeroporto, sofrendo interferência do calor antropogênico liberado na área. Por outro lado, a estação PPGFA apresentou menor precipitação acumulada, indo contra o apresentado. Isso pode ocorrer quando, mesmo com a liberação de calor antropogênico, a umidade presente no ar atmosférico não é suficiente para ocasionar precipitação (LIU e NIYOGI, 2019).

Foi verificado também que a estação Inmet apresentou 561 registros de precipitação, número significativo em comparação às outras estações meteorológicas, resultando em uma distribuição mais homogênea da chuva no período analisado, inclusive na estação seca. O contrário ocorre nas estações Aeroporto e PPGFA, que, por sua vez, apresentaram, respectivamente, 289 e 330 registros de chuva. Na estação Jd. Califórnia, esse registro foi de 357.

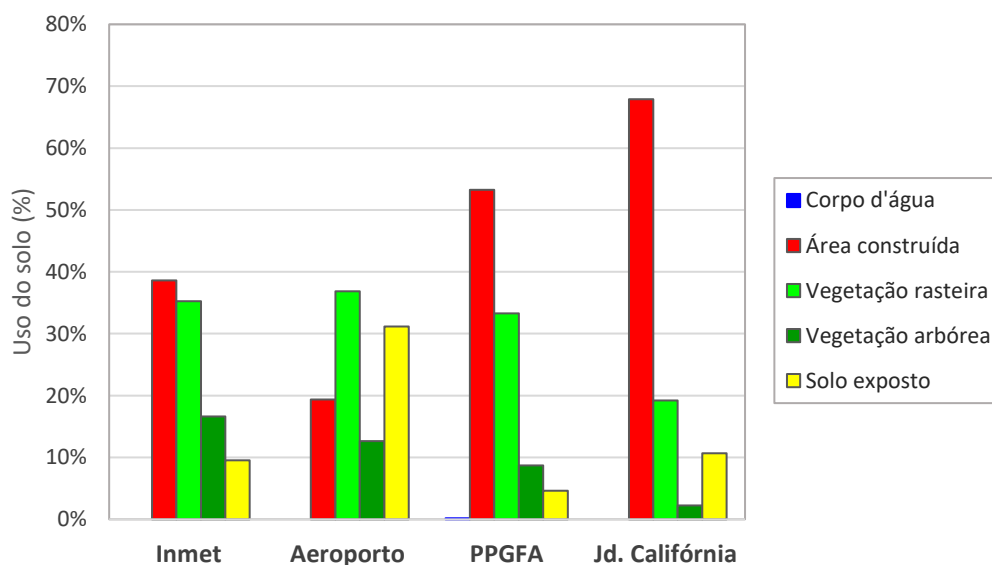
5.2.3 Uso do solo

A classificação de uso do solo forneceu a quantificação de área correspondente à cada classe determinada previamente, para as estações Inmet, Aeroporto, PPGFA e Jd. Califórnia, em um raio de abrangência de 250 metros para a caracterização do microclima. As áreas de cada classe foram contabilizadas e seus valores podem ser observados na Tabela 10, abaixo.

Tabela 10 - Área relativa às classes de uso do solo, em metros quadrados (m²)

Classe	Área (m ²)			
	Inmet	Aeroporto	PPGFA	Jd. Califórnia
Área construída	75.772,4	38.006,1	104.548,6	133.296,0
Vegetação rasteira	69.163,7	72.344,7	65.346,1	37.671,0
Vegetação arbórea	32.665,4	24.787,0	17.073,7	4.443,0
Solo exposto	18.738,1	61.201,7	9.080,1	20.929,6
Corpo d'água	0,0	0,0	291,0	0,0
Total	196.339,6	196.339,6	196.339,6	196.339,6

Com a classificação de uso do solo, verificou-se que as LCZs atribuídas estão em conformidade com os valores estipulados por Stewart e Oke (2012), além de ser possível quantificar a distribuição das classes dentre da área de influência. A Figura 47 mostra o resumo dos resultados obtidos na classificação de uso do solo para as quatro estações meteorológicas.

**Figura 47** - Uso de solo, em porcentagem, de cada estação meteorológica

Com os resultados é possível verificar que a ocorrência das classes de vegetação é inversamente proporcional a de área construída, visto que há substituição da cobertura natural do solo por outros materiais como concreto, asfalto, além de edificações. Além disso, as áreas com maior porcentagem de área construída são, também, aquelas em que apresentaram maiores temperaturas.

Dentre as soluções para a redução da temperatura de regiões muito urbanizadas, a inclusão de vegetação é uma das estratégias primárias para reduzir os

impactos das ICUs no estresse térmico e no consumo de energia de edificações, através da modificação da cobertura vegetativa da cidade e do albedo superficial, substituição das fachadas com materiais altamente refletivos e pela incorporação de vegetação nas coberturas e paredes (REN *et al.*, 2014). Com isso, a área verde absorve parte da radiação direta incidente e reduz a emissão em ondas longas (calor) para o ambiente externo, além de promover a evapotranspiração.

5.2.4 Geometria urbana

A coleta de dados permitiu gerar mapas de altura e identificar informações da geometria urbana das frações correspondentes às áreas de influência das estações utilizadas nessa pesquisa.

A Figura 48 apresenta o resumo das geometrias identificadas na área de influência das estações meteorológicas urbanizadas para cada classe.

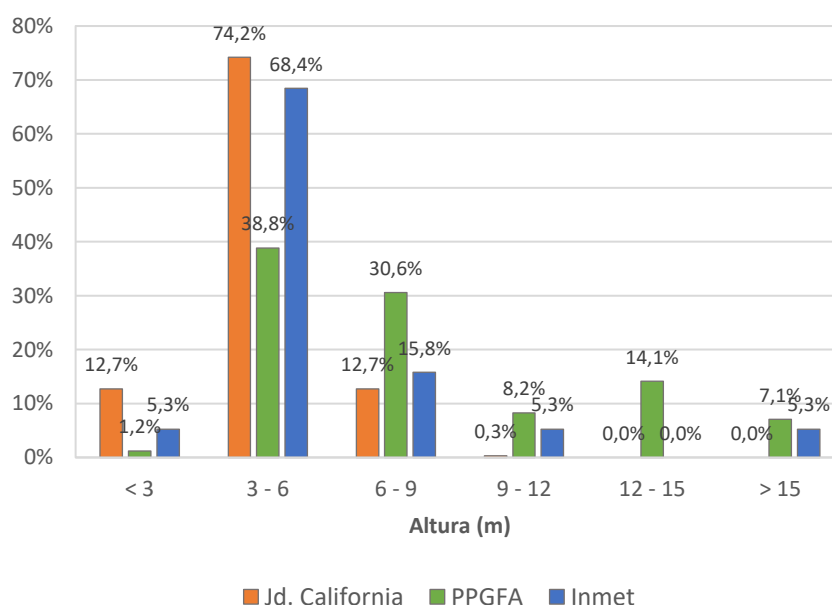


Figura 48 – Resumo das geometrias segundo a classe de altura nas estações Jd. Califórnia, PPGFA e Inmet

A partir dos dados é possível delinear o perfil geométrico das LCZs atribuídas para as frações urbanas estudadas. Os parâmetros de importância definidos previamente requerem a mesma escala de apresentação a fim de se realizar uma comparação. Dessa forma, na Tabela 11 podem ser visualizados os parâmetros brutos e normalizados.

Tabela 11 - Valores normalizados dos três parâmetros morfológicos das estações de estudo

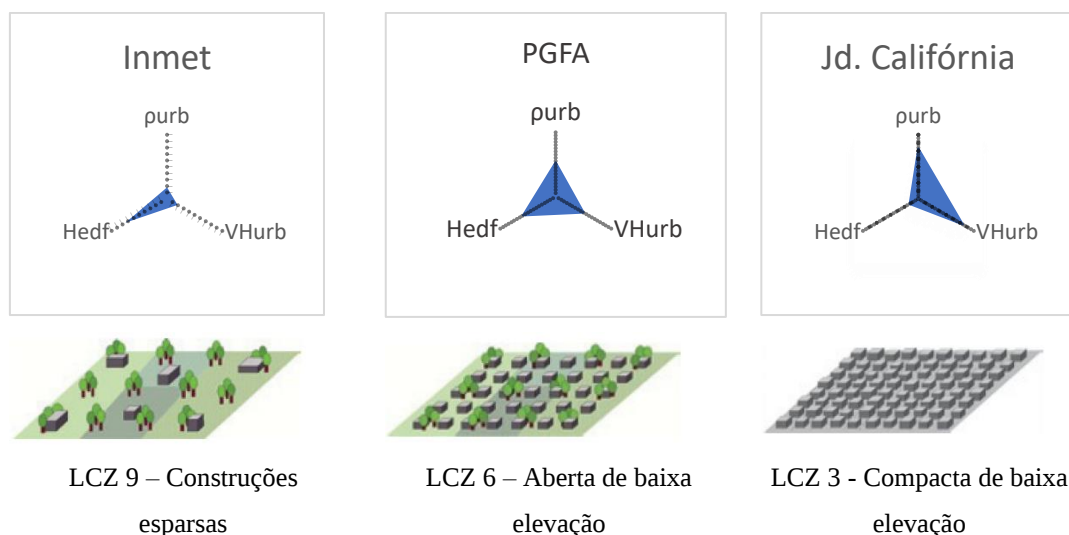
Estações	Parâmetros morfológicos			Parâmetros normalizados		
	ρ_{urb}	VH_{urb}	H_{edf}	ρ_{urb}	VH_{urb}	H_{edf}
Jd. California	0,32	0,42	4,31	1,2	1,2	-1,4
PGFA	0,24	0,26	7,67	0,1	0,0	0,4
Inmet	0,12	0,08	8,88	-1,3	-1,2	1,0
Média	0,23	0,26	6,96	0	0	0
Desvio-padrão	0,08	0,14	1,93	1	1	1

ρ_{urb} – fração de superfície construída

VH_{urb} – razão fachada-terreno

H_{edf} – altura média ponderada das edificações

Com os parâmetros normalizados, pode-se realizar a comparação entre os perfis geométricos de cada fração urbana que possui edificações. A Figura 49 apresenta os gráficos em radares com a representação dos perfis obtidos.

**Figura 49** - Perfis geométricos das frações urbanas estudadas e suas respectivas LCZs

A compacidade urbana, ou densidade horizontal, ocorre quando há o aumento da fração de superfície construída (ρ_{urb}), enquanto a razão fachada-terreno (VH_{urb}) somada à altura média das edificações (H_{edf}) aumentam a densidade vertical. O aumento da densidade horizontal, geralmente, promove o aumento da intensidade de ilha de calor no inverno, onde há menos precipitação e maior amplitude térmica, enquanto a densidade vertical a ICU é intensificada no inverno.

A partir dos gráficos apresentados, é possível verificar que a estação Inmet possui menor compacidade dentre as três áreas edificadas, onde, também, foram verificadas menores temperaturas. Por outro lado, nas estações PPGFA e Jd. Califórnia, há uma distribuição mais homogênea da compacidade, embora na segunda a altura média geral seja inferior. A densidade vertical promove a absorção da radiação

nas fachadas das edificações, enquanto a horizontal isso ocorre, principalmente, na cobertura de edificações e em outras superfícies impermeáveis que compõem a morfologia local.

A partir dos dados meteorológicos foi possível notar similaridade entre o comportamento térmico das duas frações urbanas, mesmo que estejam situadas em diferentes LCZs, visto que, na estação Inmet há, também, o calor antropogênico do tráfego e das atividades locais.

5.2.4.1 Ventos e geometria urbana

A análise global dos ventos foi realizada em comparação com a geometria das frações urbanas estudadas neste trabalho. A Figura 50 mostra a relação entre taxa de ocupação e velocidade média dos ventos nos períodos anual, chuvoso e seco verificadas nas estações meteorológicas neste estudo.

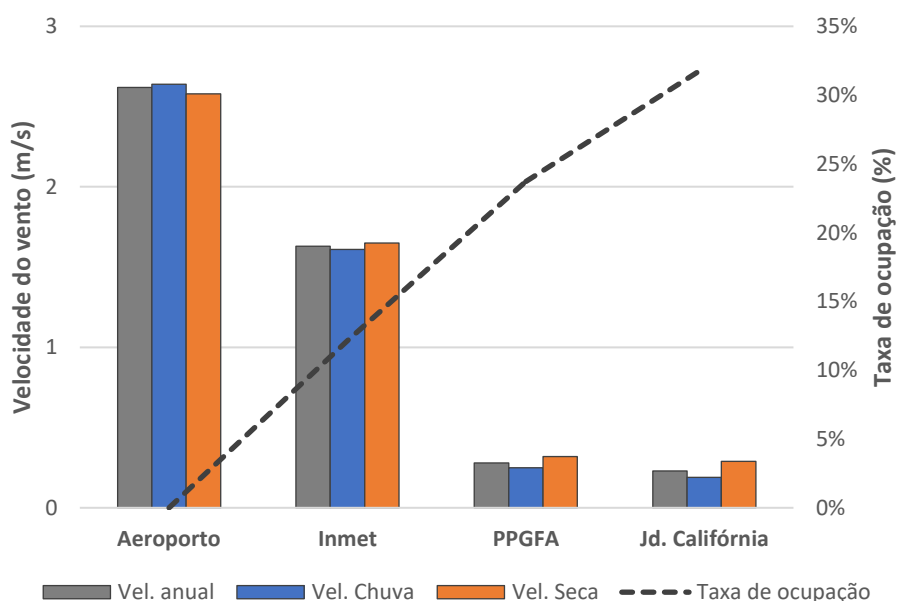


Figura 50 - Relação entre taxa de ocupação e velocidade média dos ventos nos períodos anual, chuvoso e seco em Cuiabá-MT

Os resultados indicam uma relação inversamente proporcional entre o ambiente construído e o fluxo de ventos, mesmo onde há mais vegetação, como, por exemplo, nas estações Inmet e PPGFA, visto que, além das edificações, a vegetação é um elemento de obstrução do fluxo de vento. Nas estações mais urbanizadas – PPGFA e Jd. Califórnia – essa relação pode ser observada em função da proporção de registros de ventos calmos ($<0,3$ m/s), que supera 60% dos dados, além de praticamente não

apresentarem dados com velocidade superior a 3,3 m/s. Nas demais estações, a proporção de ventos calmos é inferior a 10% e há melhor distribuição dos dados em classes de ventos mais intensos.

5.2.5 Ilha de calor urbana

A magnitude de ICU é uma forma de representar a variação de temperatura de áreas urbanizadas com relação à áreas menos urbanizadas, sendo um índice auxiliar para o estudo da influência da morfologia no microclima de regiões distintas em uma cidade. Neste trabalho, a área da estação Aeroporto foi utilizada como controle para verificar a intensidade de ICU nas áreas com edificações, neste caso, nas estações Jd. Califórnia (LCZ 3), PPGFA (LCZ 6) e Inmet (LCZ 9). A Figura 51 mostra a magnitude ICU nos períodos anual, seco e chuvoso nas três frações urbanizadas

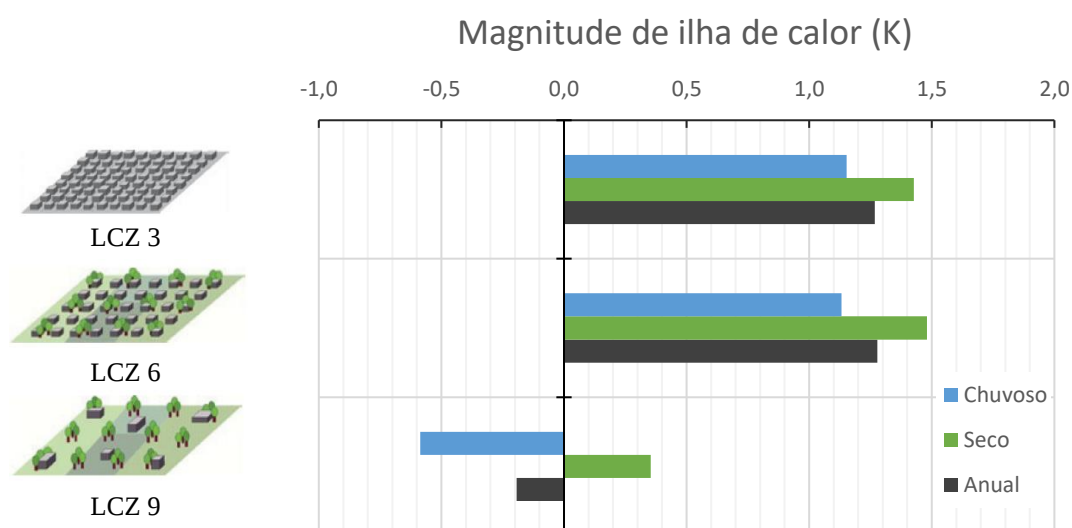


Figura 51 - Magnitude de ilha de calor ($\Delta T_{LCZ \times - DE}$) nas frações urbanas
Desvio-padrão <0,5 K em todas as barras

No cenário anual, as estações PPGFA e Jd. Califórnia apresentaram mesma magnitude de ilha de calor, com 1,3 K em comparação à estação Aeroporto, enquanto na Inmet a intensidade foi negativa (-0,2 K). Apesar de estar situada dentro da malha urbana, a estação Inmet fica próxima à região mais periférica da cidade e, como mencionado anteriormente, é cercada de áreas de interesse ambiental com vegetação densa. Essas características podem arrefecer as condições térmicas de um local, e caracterizar uma ilha de frescor, em que a região é mais fria que uma menos

urbanizada. Esse padrão pode ser observado, também, no período de chuva, em que a diferença no local é de -0,6 K; todavia, no período seco a ICU chegou a 0,4 K.

Nas estações PPGFA e Jd. Califórnia, a variação térmica no período chuvoso é de, respectivamente, 1,2 K e 1,1 K, o que indica que, mesmo na estação chuvosa, que compreende os meses de verão, a ICU apresenta intensidade similar para as duas frações. O mesmo pode ser observado na estação seca, que compreende os meses de inverno, onde a magnitude foi de 1,5 K e de 1,4 K, respectivamente. Nesse caso, a estação PPGFA, que apresenta maior densidade vertical também apresentou maior variação térmica, conforme a literatura.

A ICU se comporta distintamente ao longo do dia, como pode ser observado abaixo, onde a Figura 52 mostra a magnitude da ICU diurna e a Figura 53 mostra a da noturna.

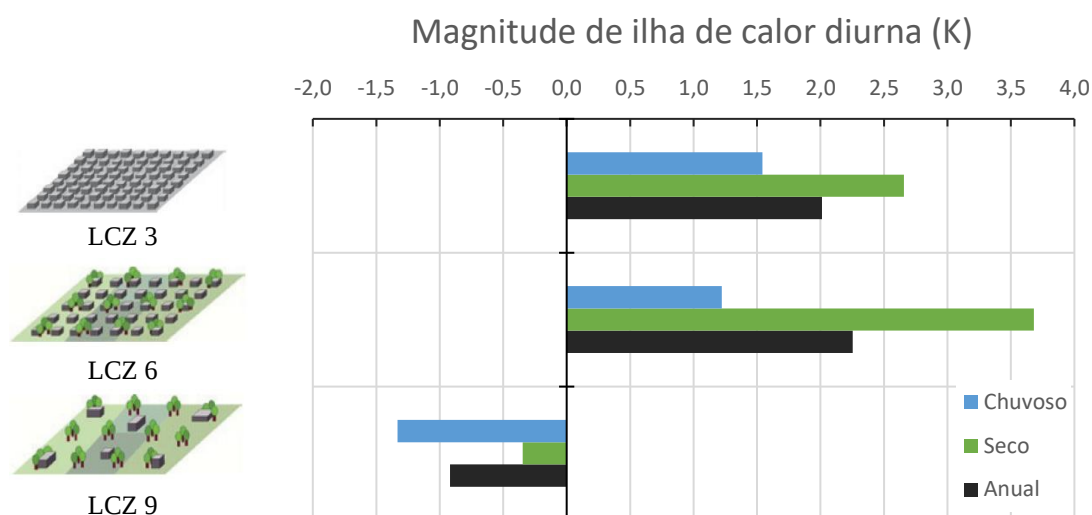


Figura 52 - Magnitude de ilha de calor diurna ($\Delta T_{LCZ X-DE}$) nas frações urbanas.
Desvio-padrão <1,2 K em todas as barras

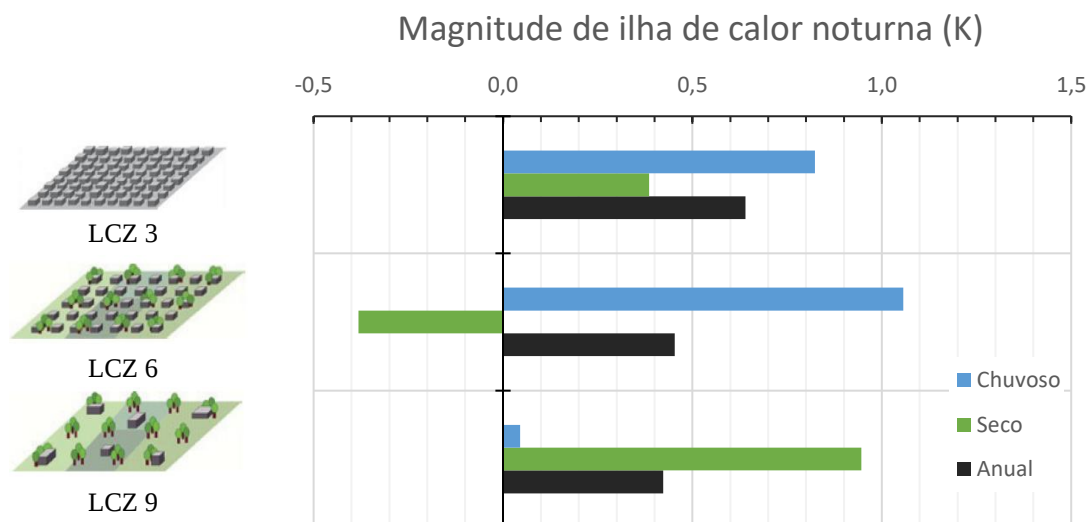


Figura 53 - Magnitude de ilha de calor noturna ($\Delta T_{LCZ X-De}$) nas frações urbanas.
Desvio-padrão <1 K em todas as barras

No período diurno, a estação PPGFA, com maior densidade vertical, apresenta maior magnitude de ICU, com variação de 3,7 K em relação à estação de controle durante a seca, enquanto na estação chuvosa essa variação é de 1,2 K, com média anual de 2,3 K. A estação Jd. Califórnia, por sua vez mais compacta, apresenta intensidade de 2,7 K na seca e de 1,5 K na época da chuva, com magnitude anual de 2 K seguindo resultados encontrados na literatura. A estação Inmet, por outro lado, apresenta intensidade negativa em todos os períodos, com variação anual de -0,9 K, de -0,3 K na seca e de -1,3 K na época de chuva, sendo significativamente mais seca que a região de controle, na estação Aeroporto, e em relação às demais frações estudadas.

Com relação ao período noturno, a magnitude anual de ICU é similar em todas as LCZs, com valores de 0,4 K, 0,5 K e 0,6 K, respectivamente, nas estações Inmet, PPGFA e Jd. Califórnia. Na estação seca, a variação é negativa na PPGFA, com -0,4 K, enquanto no período chuvoso essa variação é de 1,1 K. Na estação Jd. Califórnia, por outro lado, a variação é menor no período seco, de 0,4 K, e no período chuvoso de 0,8 K. Na estação Inmet, as condições são mais quentes tanto no período seco quanto chuvoso, com magnitude de 0,9 K e 0,05 K, respectivamente.

Assim, é possível verificar que as regiões mais urbanizadas apresentam variações térmicas mais intensas em relação às áreas menos urbanizadas, principalmente durante o dia. Já no período noturno, áreas mais verticalizadas perdem

rapidamente calor ao ambiente, resultando em ICU com intensidade negativa no período mais seco.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os resultados oriundos da metodologia apresentada. A partir dela, foram obtidos dados meteorológicos, do ano de 2016, de quatro frações urbanas no município de Cuiabá. Ademais, dados de uso do solo e geometria urbana, em um raio de influência de 250 metros, foram coletados para complementar o estudo.

Com relação às temperaturas médias, observa-se que as frações mais urbanizadas, PPGFA (LCZ 6) e Jd. Califórnia (LCZ 3), apresentaram um padrão de temperaturas mais elevado, inclusive, em meses mais frios, se estendendo por um período maior durante o dia em comparação às estações menos urbanizadas, Aeroporto (LCZ D_E) e Inmet (LCZ 9). Todavia, a estação Aeroporto apresentou tanto médias maiores de temperatura quanto registros médios de baixas temperaturas. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de a região circundante da estação apresentar pouca vegetação arbórea com uma parcela significativa de solo exposto (31,2%), ou seja, possui um albedo maior, refletindo mais radiação solar para a atmosférica, o que torna o ar mais quente e seco, além de estar em uma região com intensa atividade antrópica.

No padrão de precipitação foi possível verificar que as LCZs com maior cobertura de área construída tiveram menores índices de precipitação acumulada. No entanto, a estação Aeroporto, a LCZ com a cobertura mais natural dentre as estudadas, apresentou não somente elevada precipitação acumulada durante o ano, mas também mais episódios de chuva intensa, sob influência das condições de urbanização e calor antropogênico existentes na região circundante.

Em relação ao uso do solo, as áreas com maior fração de área construída foram, também, aquelas em que se verificaram maiores temperaturas, o que corrobora com os resultados de estudos realizados na área. Da mesma forma, a cobertura mais natural favorece um padrão de temperaturas mais amenas. No entanto, como verificado na estação Aeroporto, mesmo que a cobertura seja mais natural, sem vegetação arbórea expressiva e com significativa área de solo exposto o microclima do local fica sujeito a eventos de temperaturas muito baixas e muito altas, mesmo quando comparado às áreas mais urbanizadas.

No que se refere ao padrão dos ventos nas frações urbanas estudadas, nota-se uma variação visível nas velocidades médias e orientação do fluxo conforme o nível

de urbanização. A presença de vegetação e menor densidade construtiva favorecem a passagem do vento, principalmente em locais onde as construções são mais espaçadas, a exemplo da estação Inmet. Analogamente, regiões densamente construídas e muito compactas criam obstáculos ao vento e reduzem sua velocidade, como foi observado na fração mais urbanizada deste estudo, a Jd. Califórnia.

Ao analisar a intensidade de ICU nas frações urbanizadas, foi possível verificar que os resultados estão de acordo com a literatura, em que regiões mais compactas e/ou com maior densidade vertical apresentam variações térmicas mais significativas. A intensidade é observada, também, principalmente no período diurno no período seco, enquanto no período chuvoso o aquecimento das áreas urbanizadas ocorre no período noturno. Regiões menos compactas e menos densas verticalmente podem apresentar, por outro lado, condições térmicas mais amenas no período diurno, com temperaturas mais baixas, conhecidas como ilhas de frescor, decorrentes da vegetação e proximidade à corpos d'água.

Com os resultados é possível verificar que a morfologia urbana interfere no microclima de diferentes localidades em Cuiabá, MT, mesmo em zonas com menos área construída dentro de um certo limite de influência. As áreas com maior densidade construtiva e onde houve supressão da vegetação apresentam temperaturas mais elevadas, e, ainda que compreendam edificações esparsas, seu microclima é influenciado, também, pelo calor antropogênico liberado no local e em sua vizinhança. Este resultado é um passo inicial para o estudo de outras configurações urbanas no município visando alcançar um resultado mais abrangente que possa auxiliar na tomada de decisões para o planejamento urbano da cidade.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho buscou analisar a influência da morfologia no microclima de frações urbanas em Cuiabá-MT. A partir dos resultados, algumas sugestões surgiram como proposta para trabalhos futuros, dentre elas:

- Analisar outras tipologias de conformações urbanas e seus microclimas;
- Realizar um estudo com conjuntos de dados de períodos mais longos, com intuito de avaliar o padrão microclimático de cada perfil urbano;

- Realizar um estudo comparativo do calor antropogênico liberado em frações urbanas de igual tipologia;
- Correlacionar a temperatura de superfície obtida por sensoriamento remoto aos parâmetros morfológicos estudados neste trabalho.

As sugestões visam enriquecer o conteúdo disponível acerca do clima urbano de Cuiabá, Mato Grosso, com intuito de criar um estudo de referência para o clima local, visto que são temáticas consolidadas em outros países.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

7.1 REFERÊNCIAS CITADAS

ALLARD, F.; GHIAUS, C. **Natural Ventilation in the Urban Environment: Assessment and Design**. Sterling: Earthscan, 2005. 241 p.

ALVES, A. K. et al. Avaliação do Conforto Urbano Sob a Influência da Vegetação na Cidade de Cuiabá - MT. **E&S - Engineering and Science**, v. 6, n. 1, 2017. p. 106-121.

ARYA, S. P. **Introduction to Micrometeorology**. 2nd. ed. San Diego: Academic Press, 2001. 420 p.

ASSIS, E. S. D. **A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória**. In: ENCAC/ELACAC 2005. Maceió: ANTAC. 2005. p. 92-101.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. D. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 4, 2014. p. 515-526.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L. D.; TORRES, S. C. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2016. 164 p.

BARROS, M. P. D. **Dimensão fractal e ilhas de calor urbanas: uma abordagem sistêmica sobre as implicações entre a fragmentação das áreas verdes e o ambiente térmico do espaço urbano**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 171 f. 2012.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. Tradução de Ronaldo Cataldo Costa. 9ª. ed. Porto Alegre: Brookman Ltda., 2013. 528 p.

BEMIS, M. CFD Forums. **Autodesk Knowledge Network**, 2018. Disponível em: <<https://forums.autodesk.com/t5/cfd-forum/logarithmic-wind-profile-doesn-t-give-expected-results/td-p/7891538?attachment-id=686116>>. Acesso em: 1 nov 2019.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL Edifica, 2010. 98 p.

BOURIKAS, L. **Microclimate adapted localised weather data generation: Implications for urban modelling and energy consumption of buildings**. PhD Thesis (Energy and Climate Change) - University of Southampton. Southampton, p. 170. 2016.

BOURIKAS, L. et al. Transforming typical hourly simulation weather data files to represent urban locations by using a 3D urban unit representation with micro-climate simulations. **Future Cities and Environment**, v. 2, n. 7, 2016. p. 1-23.

BRITO, P. V. D. C. **Análise espaço-temporal das ilhas de calor urbanas de superfície na cidade de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 106 f. 2018.

BUYADI, S. N. A.; MOHD, W. M. N. W.; MISNI, A. Green Spaces Growth Impact on the Urban Climate. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 105, n. 1, 2013. p. 547-557.

BUYADI, S. N. A.; MOHD, W. M. N. W.; MISNI, A. Vegetation's Role on Modifying Microclimate of Urban Residences. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 202, n. 1, 2015. p. 400-407.

CALLEJAS, I. J. A. et al. Relationship between land use/cover and surface temperatures in the urban agglomeration of Cuiabá-Várzea Grande, Central Brazil. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 5, p. 1-15, 2011.

CANEPPELE, L. B. **Variação microclimática influenciada pela topografia e urbanização**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 78 f. 2018.

CHEGURY, J. Q. B. D. M. **Análise da variação termo-higrométrica e das ilhas de calor em Cuiabá - MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 134 f. 2019.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. Rome, p. 266. 2017.

CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de Arquitetura Bioclimática tropical para a redução de consumo energético**. Rio de Janeiro: Revan, 2011. 111 p.

CUIABÁ. PREFEITURA MUNICIPAL DE CUIABÁ. **Perfil Socioeconômico de Cuiabá**. Cuiabá, MT: Central de Texto, v. IV, 2009. 526 p.

DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 278 f. 2000.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4th. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2013. 910 p.

EOS. Earth Observing System. **About Sentinel-2**, 2015. Disponível em: <<https://eos.com/sentinel-2/>>. Acesso em: 18 nov 2019.

EPA. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies**. Environmental Protection Agency. Washington, p. 22. 2014.

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings**. New York: Earthscan, 2011. 266 p.

ESTÉVEZ, J.; GAVILÁN, P.; GIRÁLDEZ, J. V. Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. **Journal of Hydrology**, v. 402, n. 1, p. 144-154, 2011.

FENG, J.-M. et al. Simulating the Regional Impacts of Urbanization and Anthropogenic Heat Release on Climate across China. **Journal of Climate**, v. 25, n. 1, p. 7187-7203, 2012.

FERREIRA, H. V. L. **Variabilidade espaço-temporal da temperatura da superfície em diferentes zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá-MT**. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA. São Paulo: ANPEGE. 2019. p. 1-13.

FERREIRA, L. S. **Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 195 f. 2019.

FILHO, F. C. M. D. M.; AMARAL, D. B. Histórico da expansão urbana e ocorrência de inundações na cidade de Cuiabá-MT. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 1, p. 159-169, 2014.

FRANCO, F. M. **Configuração urbana e sua interferência no microclima local: estudo de caso no bairro do Porto em Cuiabá-MT**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 153 f. 2010.

GANHO, N. Clima urbano e a climatologia urbana: Fundamentos e aplicação ao ordenamento urbano. **Cadernos de Geografia**, Coimbra, n. 18, p. 97-127, 1999.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução de Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.

GONZÁLEZ, F. J. N. **Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible**. Madrid: Editorial Munilla-Lería, 2004. 443 p.

GRIGOLETTI, G. D. C.; FLORES, M. G.; SANTOS, J. C. P. D. Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, jan./mar. 2016. p. 123-141.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cuiabá**, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mt/cuiaba.html>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

IMAM, A. U. K.; INDU, M. S. Construction in Nature Versus Nature of Construction. In: SARMA, A. K., et al. **Urban Ecology, Water Quality and Climate Change**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 13-27.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**, 2018. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 11 nov 2019.

INPE. Classificação de imagens. **SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**, 2006. Disponível em:
<<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, p. 616. 2019.

KOBAYASHI, A. R. K.; BACKES, D. A. P. Avaliação dos impactos das obras de mobilidade urbana para a copa do mundo FIFA 2014 em Cuiabá: O caso do viaduto da Universidade Federal de Mato Grosso. **Revista Perspectivas Contemporâneas**, v. 11, n. 1, 2016. p. 188-213.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Manual of Tropical Housing and Building: Climatic Design**. London: University Press, 2013. 320 p.

LAKES ENVIRONMENTAL. WRPLOT View™ - Freeware. **Lakes Environmental**, 2019. Disponível em:
<<https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>>. Acesso em: 4 nov 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2014. 366 p.

LIU, J.; NIYOGI, D. Meta-analysis of urbanization impact on rainfall modification. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, 2019. p. 1-14.

MACIEL, C. D. R. **Análise da relação entre características do ambiente urbano e o comportamento de variáveis microclimáticas: estudo de caso em Cuiabá-MT**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 127 f. 2011.

MAITELLI, G. T. **Uma Abordagem Tridimensional de Clima Urbano em Área Tropical Continental: o exemplo de Cuiabá/MT**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 200 f. 1994.

MALAMUT, M. **Paisagismo: projetando espaços livres**. Lauro de Freitas, BA: Livro.com, 2011. 148 p.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Nota técnica No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET**. Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, p. 1-11. 2011.

MARINHA DO BRASIL. Anexo H - Escala Beaufort. **Marinha do Brasil**, s.d. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/cprj/cprj/sites/www.marinha.mil.br/cprj/files/anexoh.pdf>>. Acesso em: 4 nov 2019.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 201 p.

MESSIAS, B. D. S.; MARTINS, I. D. P. **Classificação de Zonas Climáticas Locais**: Cuiabá - MT. In: 4º Encontro em Engenharia de Edificações e Ambiental. Cuiabá: FAET/UFMT. 2016. p. 11.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **ICA 105-15: Estações Meteorológicas de Superfície**. Comando da Aeronáutica. Brasília, p. 73. 2018a.

_____. **MCA 101-1: Instalação de Estações Meteorológicas de Superfície e de Altitude**. Comando da Aeronáutica. Brasília, p. 50. 2018b.

MOREIRA, J. C.; SENE, E. D. **Geografia**. São Paulo: Scipione, 2005. 560 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. 315 p.

MORO, J. et al. **Método indireto para obtenção de alturas de edificações a partir de imagens de satélite**. In: XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído: Mudanças climáticas, concentração urbana e novas tecnologias. João Pessoa: ANTAC. 2019. p. 737-745.

NETO, A. T.; AMORIM, M. C. D. C. T. **Ilha de Calor Urbana e desconforto térmico**: uma análise episódica em Cuiabá/MT. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas: UFC. 2017. p. 1492-1506.

NETO, C. S. V. **As transformações urbanas da cidade de Cuiabá nos últimos 40 anos**. In: VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. Vitória: EdUFES. 2014. p. 1-12.

NETTO, A. L. **Obras de infraestrutura e reestruturação da cidade para a copa do mundo**: impactos socioambientais na cidade de Cuiabá/Mato Grosso. In: VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. Vitória/ES: Associação dos Geógrafos Brasileiros. 2014. p. 12.

NOAA. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **2014-2016 El Niño Assessment Report**. Assessment Report. Honolulu, p. 48. 2018.

OKE, T. R. **Methods in urban climatology**. Applied Climatology. Zurique: Zürcher Geographische Schriften. 1984. p. 19-29.

_____. **Boundary Layer Climates**. 2nd. ed. London and New York: Routledge, 1987. 435 p.

_____. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. In: Instruments and Observing Methods. Report No. 81, WMO/TD-No. 1250. Vancouver, p. 47. 2006.

OKE, T. R. et al. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 519 p. ISBN 978-0-521-84950-0.

ONSET. Onset Computer Corporation. **HOBO U30 USB Weather Station Starter Kit**, 2019. Disponível em: <<https://www.onsetcomp.com/products/kits/u30-nrc-sys-c>>. Acesso em: 2 dez 2019.

OSMOND, P.; SHARIFI, E. **Guide to Urban Cooling Strategies**. Low Carbon Living CRC. Sydney, p. 71. 2017.

PAULA, D. C. J. D. **Análise termohigrométrica pós intervenções urbanas em Cuiabá-MT**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 104 f. 2017.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 192. 2007.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ª. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p.

PETERSEN, J. F.; SACK, D.; GABLER, R. E. **Fundamentals of Physical Geography**. Belmont: Cengage Learning, 2011. 479 p.

PITTIGLIANI, M. **Controle de Qualidade de Dados Hidrometeorológicos do Simepar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Rio de Janeiro: SBMET. 2000. p. 11.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. Open Source Geospatial Foundation Projetc. **QGIS Geographic Information System**, 2019. Disponível em: <<https://www.qgis.org>>. Acesso em: 14 Maio 2019.

REN, G. Urbanization as a major driver of urban climate change. **Advances in Climate Change Research**, v. 6, p. 1-6, 2015.

REN, Z. et al. Constructing weather data for building simulation considering urban heat island. **Journal of Building Services Engineering Research & Technology**, v. 35, n. 1, p. 69-82, 2014.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **The end of the age of tall buildings**. Oxford: Elsevier Ltd., 2009. 385 p.

ROMERO, M. A. B. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. **Fórum Patrimônio**, Belo Horizonte, 4, n. 1, 2011. 9-22.

_____. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Universidade de Brasília - UnB, 2013. 128 p.

_____. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. 4. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2015. 226 p.

ROSELUND, H. Climatic Design of Buildings using Passive Techniques. **Building Issues**, v. 10, n. 1, 2000. p. 3-26.

SALVATI, A. et al. Climatic performance of urban textures: Analysis tools for a Mediterranean urban context. **Energy & Buildings**, v. 185, n. 1, 2019. p. 162-179.

SENE, E. D.; MOREIRA, J. C. **Geografia Geral e do Brasil - Espaço Geográfico e Globalização**. São Paulo: Scipione, v. 1, 2010. 247 p.

SHAHMOHAMADI, P. et al. The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance. **Urban Studies Research**, 2011. p. 1-10.

SILVA, M. P. D. **Ritmos e ciclos no clima local de Cuiabá/Várzea Grande-MT: uma análise secular (1912 a 2012)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Rondonópolis/MT, p. 210 f. 2015.

SOUZA, A. P. D. et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, out./dez. 2013. p. 34-43.

SOUZA, C. V. F. D.; RANGEL, R. H. O.; CATALDI, M. Avaliação Numérica da Influência da Urbanização no Regime de Convecção e nos Padrões de Precipitação da Região Metropolitana de São Paulo. **Revista Brasileira de Metodologia**, v. 32, n. 4, 2017. p. 495-508.

SOUZA, N. S. E. **Análise da relação da radiação solar na formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá - MT**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 73 f. 2016.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. **Newly developed "Thermal Climate Zones" for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer**. In: Eighth Symposium of the Urban Environment. Phoenix: American Meteorological Society. 2009a. p. 1-6.

_____. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.

_____. **Classifying urban climate field sites by "Local Climate Zones":** The case of Nagano, Japan. In: The Seventh International Conference on Urban Climate. Yokohama: IAUC. 2009b. p. 1-5.

SUN, C.-Y. **Urban heat island study between different size of towns and cities.** In: 9th International Conference on Urban Climate. Toulouse: Météo-France. 2015. p. 1-4.

TERRIN, J.-J. **Villes et changement climatique: Îlots de chaleur urbains.** Paris: Parenthèses, 2015. 288 p.

THOMPSON, R. D.; PERRY, A. **Applied climatology: principles and practice.** New York: Routledge, 1997. 352 p.

TOUCHAEI, A. G.; WANG, Y. Characterizing urban heat island in Montreal (Canada) - Effect of urban morphology. **Sustainable Cities and Society**, v. 19, n. 1, 2015. p. 395-402.

TRENBERTH, K. E. et al. **Effects of changing climate on weather and human activities.** Sausalito: University Science Books, 2000. 41 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia.** Versão Digital 2. ed. Recife: [s.n.], 2006. Disponível em: <http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso em: 10 maio 2019.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Climatological Practices.** WMO-No. 100. ed. Geneva: [s.n.], 2011. 104 p.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Climatological Practices.** WMO-No. 100. ed. Geneva: [s.n.], 2018. 140 p.

YAN, Z.-W. et al. Review of recent studies of the climatic effects of urbanization in China. **Advances in Climate Change Research**, v. 7, n. 3, 2016. p. 154-168.

7.2 REFERÊNCIAS CONSULTADAS

BELCHER, S. E.; HACKER, J. N.; POWELL, D. S. Constructing design weather data for future climates. **Building Services Engineering Research and Technology**, 26, n. 1, 2005. 49-61.

BOURIKAS, L. et al. Addressing the Challenge of Interpreting Microclimatic Weather Data Collected from Urban Sites. **Journal of Power and Energy Engineering**, v. 1, p. 7-15, 2013.

CUI, Y. et al. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island in Beijing and the impact on building design and energy performance. **Energy**, 130, n. 1, 2017. 268-297.

DRURY, M.; GATTIE-GARZA, M. **Climate Change and its Effect on Weather Data**. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE). [S.l.], p. 1-9. 2016.

ESCH, M. P.-V. **Designing the Urban Microclimate**. [S.l.]: Architecture and the Built Environment, 2015. 308 p.

HURLEY, P. J.; PHYSICK, W. L.; LUHAR, A. K. TAPM: a practical approach to prognostic meteorological and air pollution modelling. **Environmental Modelling & Software**, 20, n. 1, 2005. 737-752.

KOČÍ, J. et al. Effect of applied weather data sets in simulation of building energy demands: Comparison of design years with recent weather data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 1, 2019. 22-32.

PYRGOU, A. et al. Differentiating responses of weather files and local climate change to explain variations in building thermal-energy performance simulations. **Solar Energy**, 153, n. 1, 2017. 224-237.

SEDIRA, S.; MAZOUZ, S. Experimental case study on the effect of the urban morphology on urban microclimate and outdoor thermal comfort. **Journal of Building Material Structure**, v. 5, n. 1, p. 157-163, 2018.

SILVA, P. P. C. E. **Ata de fundação de Cuiabá: uma análise crítica**. Cuiabá: IHGMT, 1995.

TRATCHER, M.; HURLEY, P. Simulating Australian Urban Climate in a Mesoscale Atmospheric Numerical Model. **Boundary-Layer Meteorology**, 142, n. 1, 2011. 149-175.

TSOKA, S. Investigating the Relationship Between Urban Spaces Morphology and Local Microclimate: a study for Thessaloniki. **Procedia Environmental Sciences**, v. 38, n. 1, p. 674-681, 2017.

8 ANEXOS

Estação meteorológica Inmet

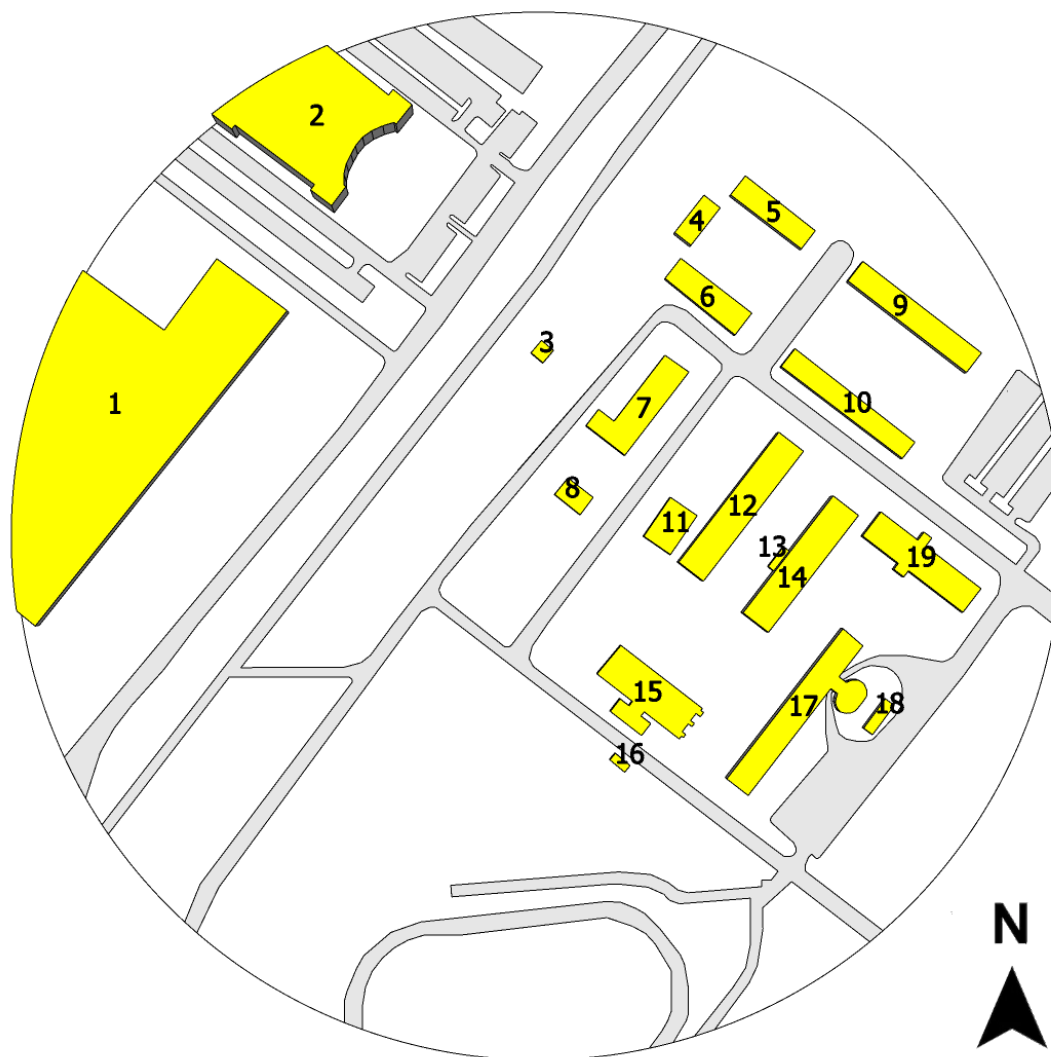


Figura 54 - Geometrias identificadas na área de influência da estação Inmet

Estação meteorológica Aeroporto

Não há edificações dentro da área de influência, cujo raio é de 250 m, da estação meteorológica Aeroporto, visto que na região está situada a pista de decolagem do Aeroporto Marechal Rondon.

Estação meteorológica PPGFA

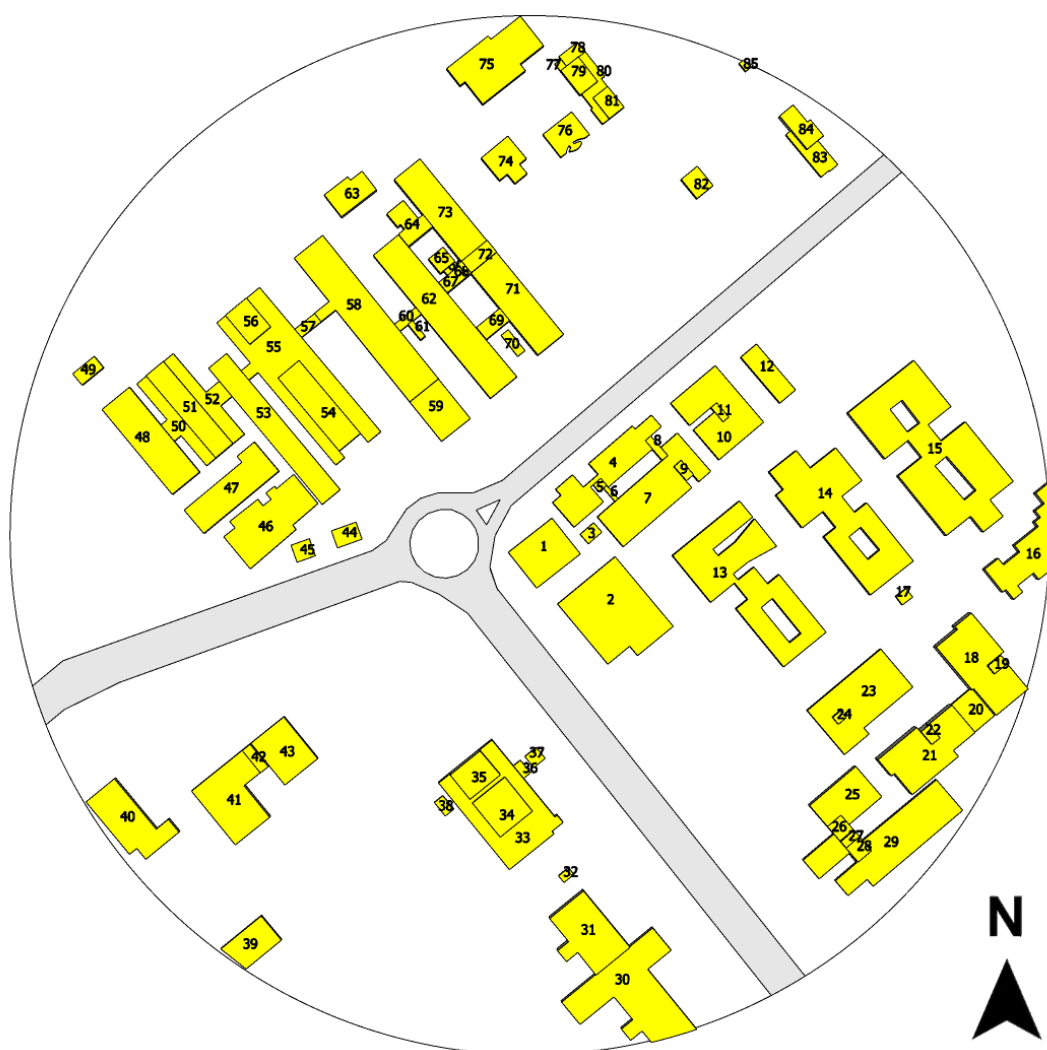


Figura 55 - Geometrias identificadas na área de influência da estação PPGFA

Estação meteorológica Jd. Califórnia



Figura 56 - Geometrias identificadas na área de influência da estação Jd. Califórnia

9 APÊNDICE

Nesta seção, estão discriminadas as geometrias identificadas dentro da área de estudo das quatro estações meteorológicas, em um raio de 250 m, apresentadas na seção de Anexos, bem como a área de fachada e de cobertura que esta faixa abrange. Nesta análise, foi considerada a geometria de altura uniforme, não se tratando de edificações isoladas.

Assim, em uma mesma edificação com geometrias de diferentes tamanhos, foi atribuída uma geometria com altura ($H_{\text{geometria}}$), área do plano de construção (A_{plano}) e área de fachada (A_{fachada}) – somente dentro da área compreendida pelo círculo de influência -, a fim de facilitar a análise e aumentar a acurácia dos dados coletados.

Estação meteorológica Inmet

Tabela 12 - Dados de geometrias coletados na área de influência da estação Inmet

Geometria	$H_{\text{geometria}}$ (m)	A_{plano} (m²)	A_{fachada} (m²)
1	9	10798.0	3032.5
2	20	3229.1	3916.6
3	2.6	57.2	78.6
4	5	221.8	323.9
5	4	473.9	428.3
6	3.5	540.5	388.0
7	4.5	780.1	655.2
8	4	156.3	204.2
9	4.3	834.4	713.4
10	4	741.7	661.0
11	4.5	344.9	340.2
12	7.3	1148.0	1350.4
13	3	39.9	55.9
14	7.5	1061.5	1240.7
15	4	1044.9	728.2
16	3	37.3	79.3
17	6	1343.7	1485.2
18	3.8	91.3	171.9
19	4	901.6	662.1

Estação meteorológica Aeroporto

Não há edificações dentro da área de influência, cujo raio é de 250 m, da estação meteorológica Aeroporto, visto que na região está situada a pista de decolagem do Aeroporto Marechal Rondon.

Estação meteorológica PPGFA

Tabela 13 - Dados de geometrias coletados na área de influência da estação PPGFA

Geometria	H_{geometria} (m)	A_{plano} (m²)	A_{fachada} (m²)
1	4,7	583,7	456,4
2	4,7	1474,6	745,0
3	4	51,2	116,3
4	8	817,8	1391,3
5	7	21,2	55,4
6	4,6	16,9	72,5
7	8	1048,2	1236,0
8	7	43,8	101,8
9	13,2	40,5	176,4
10	5	930,0	755,8
11	6	32,0	39,1
12	5	284,8	387,7
13	7,6	7963,1	2991,1
14	8	1852,2	2385,7
15	8	2644,8	3273,9
16	9	627,4	1081,1
17	3,5	32,5	80,2
18	13,5	924,9	1723,4
19	17,5	40,1	171,7
20	3,5	225,2	92,8
21	13,5	862,4	1640,6
22	17,5	40,3	173,0
23	4,5	1136,2	663,3
24	8,5	20,6	72,7
25	7,8	507,3	644,6
26	7,5	78,0	72,5
27	11,5	33,6	139,3
28	7,5	78,3	83,7
29	5	1391,5	1083,7
30	7,4	1496,5	1300,0
31	11,3	780,1	1266,4
32	3	25,3	61,7
33	11,5	1060,7	1784,7
34	14,5	417,0	245,1
35	21,5	276,6	879,0
36	3	33,5	49,1
37	3	47,8	82,9
38	3,5	43,4	94,9
39	5,3	355,5	329,1

40	9	723,2	1160,9
41	12,5	841,8	1444,1
42	19,1	65,8	419,1
43	8,5	520,5	665,0
44	3	108,8	127,2
45	3	80,9	108,0
46	4	931,6	577,9
47	9	721,5	1136,6
48	7	894,7	976,6
49	5	93,1	203,0
50	4	345,6	245,5
51	7	556,5	460,7
52	4	408,1	282,8
53	4	955,1	738,8
54	7	603,8	406,5
55	4	1536,6	867,4
56	7	238,1	240,1
57	4	61,7	96,7
58	6	1603,5	1281,4
59	3	430,6	199,3
60	6	55,2	139,6
61	12,6	27,3	296,1
62	8,6	1415,2	1588,9
63	10	268,4	691,5
64	12,4	219,7	725,8
65	12,4	79,7	383,5
66	8,6	19,8	42,2
67	12,4	79,4	272,9
68	15,4	17,1	97,5
69	12,4	108,0	386,9
70	3	56,8	103,8
71	12,4	795,6	1356,9
72	16,4	113,8	251,7
73	12,4	797,7	1361,6
74	7	274,1	508,0
75	7	907,5	943,3
76	3,8	245,8	296,6
77	2,5	16,6	20,5
78	3,5	67,6	70,2
79	6	160,2	175,9
80	4	169,5	179,1
81	5,6	114,1	156,2
82	5	120,0	220,0
83	3,3	181,4	181,0

84	8	192,2	431,5
85	3,3	6,2	24,6

Estação meteorológica Jd. Califórnia

Tabela 14 - Dados de geometrias coletados na área de influência da estação Jd. Califórnia

Geometria	H_{geometria} (m)	A_{plano} (m²)	A_{fachada} (m²)
1	4	54,0	85,9
2	5	158,9	255,1
3	3	83,6	66,5
4	4	11,9	26,1
5	3,5	79,7	91,4
6	3	22,3	33,7
7	3	45,4	49,6
8	3,5	38,1	63,7
9	3,5	150,3	138,9
10	2,8	19,9	17,5
11	3	122,2	94,0
12	8	524,1	517,9
13	7	109,0	210,8
14	4	78,6	72,9
15	4	124,9	106,2
16	4	43,2	41,6
17	3,5	121,5	163,7
18	3,5	29,8	58,6
19	2,8	17,2	49,2
20	3	157,3	139,3
21	3	18,3	36,7
22	3,5	130,5	133,1
23	3	141,7	134,7
24	3	156,3	163,1
25	3	60,6	82,0
26	8	100,9	235,2
27	3	63,8	58,0
28	3,5	32,0	87,9
29	3	88,4	82,4
30	3,3	52,3	96,1
31	3	65,4	77,6
32	3	76,0	96,3
33	3	108,1	94,6
34	3	78,1	28,8
35	3	190,3	144,5
36	3	124,2	128,0
37	2,8	16,1	31,8
38	3,5	193,7	192,3

39	3	61,8	81,1
40	7	203,5	400,6
41	3	162,6	154,6
42	3,5	101,7	141,9
43	4	221,4	215,1
44	3	64,5	99,8
45	3	74,5	172,7
46	3	63,9	75,7
47	3,5	122,3	138,4
48	3	34,7	50,1
49	3,3	127,3	143,4
50	3,3	41,6	58,0
51	3,5	32,7	82,6
52	3,3	102,0	134,9
53	3	49,4	82,8
54	3,3	90,5	120,2
55	2,8	58,6	87,1
56	3	122,8	136,8
57	3	87,2	113,8
58	3	38,5	75,4
59	2,8	36,7	51,6
60	3	67,4	53,3
61	2,8	19,0	24,1
62	3	14,8	38,7
63	3	77,4	82,8
64	2,8	77,0	82,9
65	2,8	40,8	58,4
66	3	66,2	72,0
67	2,8	51,1	32,0
68	2,8	48,0	39,6
69	2,8	35,8	17,2
70	3	24,8	43,1
71	2,8	10,4	6,5
72	2,8	16,5	8,9
73	3	24,5	3,7
74	3	24,9	33,6
75	4	51,0	91,3
76	3	93,2	128,2
77	8,5	128,7	265,2
78	4,5	52,4	75,8
79	3	69,6	38,0
80	5,5	35,7	111,4
81	3	105,9	65,9
82	3	24,8	31,2

83	2,8	34,9	45,7
84	2,8	23,3	48,2
85	2,8	58,3	65,1
86	3	77,0	54,4
87	2,8	22,7	34,0
88	3,5	64,4	86,6
89	3,5	22,5	22,8
90	3,3	24,5	48,5
91	7	62,8	216,6
92	3	31,8	47,8
93	4	146,1	216,6
94	3,3	43,4	53,8
95	3,3	93,3	73,8
96	2,8	22,2	38,2
97	3	45,7	76,4
98	4	220,4	181,9
99	3,5	130,8	134,8
100	3	44,4	48,5
101	3	42,0	86,4
102	3	136,0	141,2
103	3	117,0	116,9
104	3	76,0	103,5
105	3	54,3	46,6
106	3,5	157,8	189,4
107	2,6	38,1	68,6
108	2,6	35,7	36,9
109	2,8	40,5	18,2
110	2,8	24,1	35,0
111	3	150,1	76,9
112	3	33,5	50,9
113	2,8	84,0	53,9
114	3	30,8	16,9
115	3	34,8	48,1
116	3,5	38,4	58,0
117	3	130,7	142,1
118	2,8	41,1	58,4
119	2,8	83,7	61,2
120	6,3	50,1	104,7
121	6,5	50,1	121,5
122	2,8	23,2	27,7
123	3	120,7	138,4
124	2,8	26,6	43,5
125	3,3	96,1	82,1
126	2,8	18,7	34,3

127	2,8	14,7	34,2
128	2,8	70,6	74,7
129	2,6	18,1	32,1
130	2,8	10,3	25,8
131	3	131,9	122,8
132	4	87,8	80,5
133	2,8	5,8	21,0
134	3	27,7	32,1
135	2,8	80,8	32,8
136	3,3	134,4	104,9
137	2,8	58,6	74,9
138	3,5	113,6	121,3
139	2,6	48,0	41,4
140	2,6	22,4	35,6
141	3,5	90,9	142,4
142	3,5	89,6	137,1
143	2,8	37,8	55,9
144	3	128,2	110,4
145	2,8	29,5	47,4
146	3,3	116,5	153,5
147	3,5	94,6	112,4
148	3	16,6	26,1
149	3	54,1	82,1
150	3	63,2	83,2
151	3,5	55,0	71,6
152	3,5	44,5	37,8
153	6,5	110,5	336,7
154	4,5	62,6	121,7
155	7,5	59,6	217,8
156	2,8	16,2	29,9
157	3	180,7	141,7
158	3	50,8	83,9
159	4,5	126,4	225,1
160	7	127,8	372,1
161	7	46,6	165,0
162	4	331,9	205,9
163	3	32,9	53,2
164	3	79,2	101,3
165	2,8	23,3	38,4
166	2,6	80,3	100,3
167	3	115,1	92,7
168	3	62,0	35,7
169	2,8	82,7	54,4
170	2,6	26,0	35,4

171	2,8	30,0	67,9
172	3,5	34,2	64,2
173	3	87,2	65,4
174	3	59,5	53,6
175	3	83,3	11,8
176	2,8	39,4	54,8
177	3	52,1	30,6
178	2,8	19,5	38,0
179	3	70,9	73,4
180	3,5	72,9	85,8
181	3	23,3	52,7
182	3,5	59,2	58,4
183	3,5	35,8	64,6
184	4	60,2	75,1
185	4	44,4	85,3
186	4,5	103,5	138,4
187	4	164,1	159,9
188	2,8	45,7	44,6
189	3	59,4	62,0
190	4	40,6	107,9
191	3	56,2	66,4
192	1,8	7,4	23,1
193	4	126,3	137,9
194	3,3	21,3	43,1
195	3	140,8	130,3
196	3,3	43,1	66,5
197	4	204,6	246,6
198	4	67,8	98,8
199	4	75,2	99,2
200	2,8	41,9	86,0
201	3,5	156,4	186,8
202	4	208,3	234,2
203	4	77,6	93,1
204	4	113,1	159,5
205	3	67,8	70,7
206	6,5	69,9	135,1
207	7	122,5	262,9
208	4	26,2	70,6
209	4	67,3	118,0
210	4	86,8	149,1
211	4,5	130,4	217,3
212	2,8	18,7	27,8
213	3	5,0	10,4
214	3	31,8	43,2

215	3	24,4	38,5
216	3	7,4	24,2
217	5	204,4	244,0
218	4,5	31,4	71,7
219	4,5	13,5	30,8
220	5	217,2	294,9
221	3	9,6	26,4
222	3	43,7	58,2
223	3	27,3	60,1
224	4,3	36,6	87,7
225	4,3	39,2	82,6
226	3	48,6	72,0
227	4	88,1	130,7
228	3,5	33,6	62,6
229	3	36,2	63,2
230	3	29,6	32,7
231	3	75,6	71,4
232	3	25,4	45,2
233	3,5	47,9	96,9
234	3	85,4	117,9
235	3,5	182,7	148,2
236	3,5	144,8	117,3
237	4,5	78,2	111,1
238	2,8	4,8	17,3
239	3	59,9	78,9
240	8,5	54,3	231,4
241	4	104,6	180,3
242	4	104,2	136,1
243	3	92,5	90,9
244	2,8	36,0	48,6
245	5	86,1	135,0
246	5	383,2	183,4
247	3	35,1	51,4
248	4,3	314,7	140,2
249	4,5	42,0	82,5
250	4	186,0	86,5
251	3,5	65,7	83,0
252	7,5	220,4	355,8
253	4,5	184,8	264,3
254	3,5	52,9	101,9
255	8,5	242,3	322,0
256	7	126,5	117,7
257	6,5	141,2	111,4
258	6,5	134,7	104,3

259	6,5	126,7	96,5
260	6,5	149,9	74,6
261	6,5	101,4	57,2
262	6,5	41,2	38,7
263	6,5	18,1	46,0
264	3	53,2	88,4
265	4,5	164,1	247,7
266	3,3	232,1	186,9
267	6,3	48,7	146,7
268	4	32,1	98,9
269	4	31,0	98,0
270	4	66,2	145,1
271	5,5	229,9	374,1
272	3	42,5	61,0
273	3,5	166,7	129,0
274	3	100,1	110,9
275	6,5	86,5	184,7
276	4	146,3	172,3
277	3	33,3	42,8
278	3,61	92,4	78,1
279	3	45,7	63,4
280	6	79,6	231,9
281	3	61,4	52,7
282	3,3	90,6	70,5
283	4	113,5	90,2
284	3	92,3	82,4
285	4	262,5	262,7
286	7,3	32,0	167,2
287	4,3	48,8	106,2
288	3,3	213,5	157,5
289	2,8	51,0	57,4
290	4	291,4	233,5
291	8	54,4	187,0
292	3	28,2	39,8
293	6	39,2	167,8
294	8	178,9	432,8
295	2,6	21,9	34,4
296	3,5	339,4	260,1
297	6	144,7	245,3
298	3,5	123,5	123,5
299	9	201,6	522,7
300	6,5	190,9	360,2
301	5	123,9	166,8
302	4,5	115,8	168,1

303	2,6	11,1	20,2
304	3,5	230,1	204,8
305	2,8	18,7	40,8
306	4	127,8	154,1
307	3	49,2	52,0
308	3,3	65,3	92,0
309	2,8	12,6	46,1
310	4	182,1	152,8
311	4	136,4	202,6
312	6	72,2	216,0
313	6	66,9	213,7
314	6	64,0	204,6
315	4	357,9	32,2
316	4,5	239,6	294,7
317	4	283,0	271,9
318	3,5	54,4	82,6
319	3,5	158,0	202,6
320	3,5	38,1	62,9
321	3,5	22,4	50,8
322	4	166,1	152,5
323	4	32,9	119,6
324	7	112,5	213,1
325	4	21,4	69,9
326	4	261,1	209,4
327	3,8	8,3	31,3
328	3	36,2	65,5
329	4,5	343,6	377,3
330	4,5	422,1	457,9
331	3	54,0	77,4
332	3,5	13,6	38,3
333	6	106,6	235,2
334	3,8	12,9	49,6
335	6	107,8	196,9
336	3,5	11,5	34,9
337	3,5	111,9	120,5
338	4,5	216,0	267,2
339	4	549,0	459,7
340	3	48,7	82,3
341	4	330,3	302,5
342	4	63,7	134,5
343	4,04	17,5	41,0
344	4,3	267,8	236,8
345	3	60,9	72,4
346	4,3	243,4	276,2

347	3	290,6	218,5
348	3	56,2	96,2
349	4	30,2	88,3
350	4	73,8	116,6
351	7	132,3	281,4
352	2,8	13,7	20,8
353	6	75,3	212,2
354	6	75,7	212,7
355	6	73,6	209,3
356	6	74,0	209,8
357	6	225,3	360,3
358	3	10,0	27,5
359	3	56,4	91,9
360	3	117,1	112,4
361	6	204,1	316,7
362	3	40,1	68,8
363	4	210,5	237,7
364	4	93,3	178,8
365	6	179,9	313,6
366	3,5	35,4	44,3
367	3	27,8	38,9
368	2,8	19,1	36,4
369	6,6	163,7	318,2
370	3	97,1	92,4
371	3	42,4	48,1
372	4,5	251,9	241,1
373	4	46,4	38,7
374	2,8	19,3	36,9
375	3,5	52,0	64,0
376	4	116,4	128,0
377	4	15,2	35,8
378	4,5	77,6	119,3
379	3	24,1	51,2
380	6	106,6	276,5
381	6	24,5	69,7
382	2,8	50,3	66,9
383	4	169,5	209,7
384	6	75,0	154,9
385	7	121,7	234,2
386	3,8	19,4	34,1
387	8,5	489,8	751,7
388	4	178,0	143,2
389	6	101,0	159,9
390	4	53,6	55,5

391	3,5	23,5	39,0
392	5	117,7	142,4
393	3	15,5	24,5
394	8	202,1	320,2
395	3,5	353,2	191,1
396	3,5	34,0	60,5
397	8,3	258,8	539,0
398	3	8,5	25,2
399	4	66,7	94,3
400	5,3	65,7	147,8
401	3,5	40,8	47,0
402	3	87,8	100,0
403	5	45,8	36,6
404	3,5	112,7	58,2
405	3	32,3	35,7
406	4,3	59,1	162,9
407	5,3	226,0	369,8
408	3	29,0	46,0
409	6,3	107,8	167,0
410	3	46,7	42,3
411	3	42,8	78,5
412	6,3	67,5	146,5
413	3,5	290,4	211,9
414	3,3	52,9	72,3
415	3	12,9	7,8
416	2,6	30,5	43,9
417	3,5	134,1	161,0
418	4	28,7	65,8
419	4,5	30,0	75,3
420	3,5	190,7	214,7
421	6,3	346,3	479,9
422	3	131,2	124,1
423	3	53,7	62,7
424	3,8	183,6	191,5
425	3,5	51,5	104,4
426	3,5	272,6	275,6
427	4,12	221,7	226,2
428	2,8	33,1	45,8
429	4,12	58,1	87,4
430	3,5	139,0	124,8
431	2,8	32,5	63,6
432	6,3	340,5	488,3
433	6,3	318,7	417,1
434	4	47,0	88,5

435	3	45,6	6134,0
436	3	19,7	47,7
437	3,5	87,9	89,4
438	6	160,8	315,8
439	3	40,1	65,0
440	3	61,9	85,3
441	2,8	48,8	64,0
442	3	220,7	143,4
443	3,5	229,3	213,4
444	3,5	93,5	121,9
445	3	23,8	42,6
446	7	148,0	324,3
447	3,5	174,8	111,6
448	3	48,5	65,2
449	3,2	38,5	22,4
450	3,5	70,0	87,0
451	4	155,9	215,7
452	4,5	320,7	274,7
453	4,2	35,2	64,1
454	2,8	40,1	35,2
455	2,8	65,7	65,5
456	2,8	22,8	38,0
457	3,5	196,7	186,9
458	3	15,2	34,5
459	4,3	33,2	75,4
460	4	117,9	142,1
461	7	91,8	276,4
462	7	92,0	279,0
463	7	88,3	277,9
464	7	93,0	279,9
465	4	270,1	263,1
466	4	102,2	193,5
467	3,5	34,6	48,2
468	3,5	80,8	73,1
469	4	180,1	187,7
470	3	19,1	37,1
471	2,6	16,4	35,9
472	3,5	241,5	219,0
473	2,7	68,6	74,9
474	3	134,3	161,6
475	6,3	39,7	112,7
476	6,3	56,4	136,3
477	3,3	118,7	159,4
478	3,5	180,7	222,0

479	2,5	12,0	24,6
480	6,3	27,1	86,9
481	3,5	71,4	126,9
482	3,3	149,3	171,0
483	3,5	239,7	254,3
484	4	77,6	163,7
485	4,82	11,7	30,2
486	2,6	59,6	52,7
487	4,3	159,4	187,2
488	2,8	29,1	51,1
489	3	138,0	144,2
490	3	140,3	135,0
491	2,8	17,4	53,6
492	3,5	82,0	89,8
493	3,6	47,0	71,6
494	3,8	150,9	186,9
495	3,5	77,0	134,3
496	3	115,5	131,4
497	3,3	289,5	224,8
498	4,5	220,6	279,1
499	3	71,0	135,3
500	4	397,7	263,9
501	2,8	108,0	88,9
502	2,8	66,9	92,3
503	3	34,9	69,7
504	4,5	228,7	269,4
505	4	41,6	102,6
506	4	200,4	193,2
507	4	200,9	148,7
508	3,5	34,3	48,6
509	3,5	104,0	90,9
510	5,8	94,0	243,0
511	3,5	65,0	103,3
512	4,5	147,4	164,4
513	4	52,0	134,2
514	4,5	59,6	112,9
515	4,5	59,2	112,4
516	8	181,4	314,9
517	8	130,5	105,5
518	8	219,5	347,8
519	4	95,4	163,1
520	3,5	119,4	114,7
521	3,5	81,3	80,1
522	3,5	83,2	70,6

523	3,5	142,0	86,4
524	3,5	62,5	75,8
525	2,6	135,0	137,7
526	2,6	30,5	34,7
527	5,8	53,0	156,9
528	3	35,1	66,0
529	3,5	200,8	210,6
530	3,5	140,1	168,1
531	5	247,7	227,1
532	5	419,5	130,7
533	5	316,0	103,4
534	3	64,1	64,3
535	7	124,8	245,2
536	8,3	146,7	283,9
537	3,5	33,9	59,0
538	3,5	133,6	93,8
539	3,5	59,6	76,7
540	3,5	57,4	75,1
541	3,5	131,6	88,5
542	3	36,7	53,1
543	3	241,9	205,9
544	3	61,0	117,1
545	6	1478,8	405,3
546	6	457,7	90,8
547	3,5	176,8	148,6
548	3	22,3	34,6
549	3	48,3	75,2
550	3	43,6	67,9
551	3	44,7	81,3
552	3,7	59,7	121,7
553	3	25,4	64,9
554	4	52,1	93,4
555	4,5	179,8	201,3
556	3,5	63,5	60,0
557	3,3	76,5	100,5
558	4	58,8	132,4
559	3,5	35,8	59,3
560	4	167,0	195,7
561	3,5	22,3	48,7
562	4	117,2	112,9
563	4	76,0	124,4
564	4,5	187,4	223,5
565	4	234,5	189,9
566	3	11,2	20,2

567	3,5	150,0	166,2
568	4	146,4	198,9
569	3	13,4	32,0
570	3,5	155,7	163,7
571	3	22,3	52,0
572	3,5	84,5	77,3
573	3,5	174,4	169,5
574	3,5	142,8	178,2
575	3,3	133,0	131,1
576	3,5	46,5	81,1
577	4	130,8	162,4
578	4	158,9	144,1
579	3	76,9	56,4
580	3,5	108,9	72,8
581	9	89,7	364,6
582	4	80,4	107,8
583	3	76,9	88,0
584	3,8	23,2	63,0
585	3	51,4	44,4
586	4	218,7	254,4
587	5	159,5	152,9
588	5	27,2	54,9
589	4	164,8	145,6
590	3	44,4	44,5
591	3,5	64,5	107,4
592	3	14,0	35,4
593	4	191,8	182,1
594	4	128,3	172,8
595	3,5	38,0	97,9
596	4	265,9	242,8
597	3,5	53,5	89,2
598	3	88,2	80,2
599	3	18,7	36,2
600	3,5	251,9	165,2
601	3,5	54,7	52,1
602	4	45,3	30,3
603	2,8	24,2	59,1
604	4,5	133,9	127,9
605	4	34,4	91,9
606	3,5	57,6	80,9
607	6	204,1	324,8
608	3,7	349,2	30,8
609	3	38,9	76,4
610	3	34,2	32,4

611	3,5	138,4	166,2
612	3,7	111,7	172,5
613	3,7	128,7	175,5
614	3,5	36,9	64,5
615	3,5	106,9	143,7
616	3,8	197,5	239,9
617	6,5	83,9	218,7
618	3,5	5,0	17,7
619	3,5	124,8	149,6
620	3	41,7	55,5
621	4,5	254,5	247,1
622	4,5	45,3	85,8
623	4	83,4	142,8
624	3,5	241,5	175,8
625	4	13,8	48,0
626	3	29,9	53,2
627	3,5	193,6	152,5
628	3,5	33,1	81,3
