

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

**SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS DE ILHAS DE
CALOR E MORFOLOGIA URBANA COMO
INSTRUMENTO NO PLANEJAMENTO DE CIDADES**

DIANA CAROLINA JESUS DE PAULA

Prof.^a Dr.^a FLAVIA MARIA DE MOURA SANTOS

**Cuiabá, MT
Agosto de 2021**

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

**SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS DE ILHAS DE
CALOR E MORFOLOGIA URBANA COMO
INSTRUMENTO NO PLANEJAMENTO DE CIDADES**

DIANA CAROLINA JESUS DE PAULA

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

Prof.^a Dr.^a FLAVIA MARIA DE MOURA SANTOS

**Cuiabá, MT
Agosto de 2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P324s Paula, Diana Carolina Jesus de.
SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS DE ILHAS DE CALOR E
MORFOLOGIA URBANA COMO INSTRUMENTO NO PLANEJAMENTO DE
CIDADES / Diana Carolina Jesus de Paula. -- 2021
116 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Flávia Maria de Moura Santos.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Planejamento Urbano. 2. Modelagem. 3. Redes neurais artificiais. 4. Eventos
extremos. 5. Urbanização. 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.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS DE ILHAS DE CALOR E MORFOLOGIA URBANA COMO INSTRUMENTO NO PLANEJAMENTO DE CIDADES

AUTORA: DOUTORANDA: DIANA CAROLINA JESUS DE PAULA

Tese defendida e aprovada em **27 de agosto de 2021**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Profa. Dra. Flávia Maria de Moura Santos - Orientadora - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia – UFMT
2. Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira - Examinadora Interna - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia - UFMT
3. Prof. Dr. Raphael de Souza Rosa Gomes - Examinador Interno - Instituto de Computação- UFMT
4. Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte - Examinadora Externa - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – USP
5. Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais - Examinador Externo - Universidade de Cuiabá - UNIC

Cuiabá-MT, 27/08/2021.



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 30/08/2021, às 14:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARTA CRISTINA DE JESUS**



ALBUQUERQUE NOGUEIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 30/08/2021, às 14:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAPHAEL DE SOUZA ROSA GOMES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 30/08/2021, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **FLAVIA MARIA DE MOURA SANTOS, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 30/08/2021, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jonathan Willian Zangeski Novais, Usuário Externo**, em 30/08/2021, às 15:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Denise Helena Silva Duarte, Usuário Externo**, em 30/08/2021, às 16:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3857410** e o código CRC **873A6074**.

DEDICATÓRIA

*Á minha família, o meu porto
seguro.*

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais Marcio e Jucineide, pelo apoio incondicional e pela parceria na coleta de dados durante o doutoramento;
- As minhas irmãs Daphine e Ludmila, que são os meus bens mais preciosos;
- A Prof.^a Dr.^a Flavia Maria de Moura Santos, pelo incentivo em trilhar a vida acadêmica e auxiliar na caminhada até aqui, principalmente pela amizade que construímos;
- Ao Prof. Dr. Raphael Souza, por acreditar e aceitar o desafio proposto;
- Ao Prof. Dr. Carlo Ralph de Muis, pelo conhecimento, tempo, paciência e dedicação;
- A Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pelos conselhos, incentivo e ensinamentos;
- Aos Prof. Dr. José de Souza Nogueira e Sergio de Paulo, pela dedicação e empenho no programa de pós-graduação;
- A estimada banca por ter aceito o convite e pelas contribuições riquíssimas nesta pesquisa;
- A todos os Professores do programa de pós-graduação em Física Ambiental, por todo conhecimento compartilhado;
- Ao Cesar Guarienti pela parceria nesta pesquisa;
- Ao amigo Marcos Valin meu agradecimento especial, pelo incentivo desde a época do IFMT Campus Cuiabá e por ceder os instrumentos para a coleta dos dados durante o ano de 2019;
- Ao Cesário, Soilce e Jô por nos dar todo o apoio ao desenvolvimento das nossas atividades no programa;
- Aos amigos que são a família que escolhemos, pelo carinho, compreensão e incentivo em tudo que me proponho a fazer,
- A CAPES pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.

EPÍGRAFE

*“Pouco conhecimento faz com
que as pessoas se sintam orgulhosas.
Muito conhecimento, com que se sintam
humildes. ”*

Leonardo da Vinci

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	5
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS CIDADES.....	5
2.2 CLIMA URBANO.....	10
2.2.1 Anomalias Térmicas.....	13
2.3 ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS.....	17
2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O PLANEJAMENTO DE CIDADES.....	24
3. ÁREA DE ESTUDO.....	27
4. METODOLOGIA.....	29
4.1 COLETA DAS VARIÁVEIS TERMOHIGROMÉTRICAS.....	29
4.1.1 Tratamento dos dados em 2019.....	34
4.2 ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	36
4.3 CLASSIFICAÇÃO A PARTIR DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZs)	36
4.3.1 Cálculo da ilha de calor.....	41
4.4 COLETA DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS.....	45
4.5 PROGNÓSTICO DA TEMPERATURA DO AR EM ESCALA MICROCLIMÁTICA.....	
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	46
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS POTENCIAIS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZs) NOS TRANSECTOS	46

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DO ANO EM 2011-2012, 2016 E 2019-2020.....	51
5.3 POTENCIAIS LCZs E AS VARIAÇÕES TÉRMICAS DURANTE 2011-2012, 2016 E 2019-2020.....	56
5.3.1 Período Quente-Seco	56
5.3.1.1 Outono de 2011, 2016 e 2019.....	56
5.3.1.2 Inverno de 2011, 2016 e 2019.....	60
5.3.2 Período Quente-Úmido	65
5.3.2.1 Primavera de 2011, 2016 e 2019.....	65
5.3.2.2 Verão de 2012, 2016 e 2020.....	70
6. PROGNÓSTICOS PARA 2021.....	75
6.1 PROVÁVEL CENÁRIO DAS LCZs EM 2021.....	75
6.2 PROGNÓSTICO DAS VARIAÇÕES TÉRMICAS NAS ESTAÇÕES DO ANO PARA 2021.....	76
6.2.1 Período Quente-Seco	76
6.2.1.1 Outono de 2021.....	76
6.2.1.2 Inverno de 2021.....	79
6.2.2 Período Quente-Úmido	82
6.2.2.1 Primavera de 2021.....	82
6.2.2.2 Verão de 2021.....	85
7. CONCLUSÃO.....	89
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
8. BIBLIOGRAFIAS.....	91
8.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS.....	91
8.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Variação da temperatura média global entre 1920 a 2015.....	6
Figura 2 – Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	8
Figura 3 - Escala climáticas e camadas verticais em áreas urbanas.....	11
Figura 4 - Albedo de materiais e superfícies urbanas.....	13
Figura 5 – Perfil da temperatura do ar e temperatura da superfície.....	15
Figura 6 – Representação dos efeitos da cobertura do solo e a morfologia urbana nas superfícies urbanas e não urbanas na resposta térmica.....	16
Figura 7 – Categorias de intensidade de ilha de calor baseado na classificação LCZ de Stewart & Oke (2012).....	19
Figura 8 – Mapa da localização da área urbana de Cuiabá, MT, Brasil. Regiões do perímetro urbano de Cuiabá.....	24
Figura 9 – Localização dos pontos na área de estudo no Transecto 1.....	27
Figura 10 – Localização dos pontos na área de estudo no Transecto 2.....	28
Figura 11 – Sensor (1) utilizado por SANTOS (2012).....	29
Figura 12 – Sensor (2) utilizado por PAULA (2017).....	30
Figura 13 – Sensor (3) utilizado em 2019.....	31
Figura 14 – Modelos do Outono (a) e Inverno (b), de 2011 para 2016 adaptado de Guarienti (2020).....	40
Figura 15 – Modelos da Primavera (a) de 2011 para 2016, e Verão (b) de 2012 para 2016 adaptado de Guarienti (2020).....	41
Figura 16 – As potenciais LCZs no ano de 2011 em Cuiabá/MT nos transectos 1 e 2.....	46
Figura 17 – As potenciais LCZs no ano de 2016 em Cuiabá/MT nos transectos 1 e 2.....	47

Figura 18 – As potenciais LCZs no ano de 2019 em Cuiabá/MT nos transectos 1 e 2.....	47
Figura 19 – Caracterização da Temperatura do ar entre os anos e as Normais climatológicas.....	50
Figura 20 – Caracterização da Umidade relativa do ar entre os anos e as Normais climatológicas.....	51
Figura 21 – Caracterização da Precipitação entre os anos e as Normais climatológicas.....	52
Figura 22 – Média Temperatura do ar (a) e Umidade relativa do ar (b) no Outono de 2011, 2016 e 2019 nos dias de coleta no período noturno.....	53
Figura 23 – Média da Temperatura do ar entre as potenciais LCZs no Outono de 2011, 2016 e 2019.....	54
Figura 24 – Média da Ilha de calor urbana e as classes potenciais LCZs no outono de 2011, 2016 e 2019.....	55
Figura 25 – Média Temperatura do ar (a) e Umidade relativa do ar (b) no Inverno de 2011, 2016 e 2019 nos dias de coleta no período noturno.....	57
Figura 26 – Média da Temperatura do ar entre as potenciais LCZs no Inverno de 2011, 2016 e 2019.....	59
Figura 27 – Média Ilha de calor urbana e as classes potenciais LCZs no Inverno de 2011, 2016 e 2019.....	60
Figura 28 – Média Temperatura do ar (a) e Umidade relativa do ar (b) na Primavera de 2011, 2016 e 2019 nos dias de coleta no período noturno.....	63
Figura 29 – Média da Temperatura do ar entre as potenciais LCZs na Primavera de 2011, 2016 e 2019.....	64
Figura 30 – Média Ilha de calor urbana e as classes potenciais LCZs na Primavera de 2011, 2016 e 2019.....	65
Figura 31 – Média Temperatura do ar (a) e Umidade relativa do ar (b) no Verão de 2012, 2016 e 2020 nos dias de coleta no período noturno.....	67
Figura 32 – Média Temperatura do ar e as classes potenciais LCZs no Verão de 2012, 2016 e 2020.....	68

Figura 33 – Média Ilha de calor urbana e as classes potenciais LCZs no Verão de 2012, 2016 e 2020.....	69
Figura 34 - As prováveis LCZs no ano de 2021 em Cuiabá/MT nos transectos 1 e 2.....	72
Figura 35 – Cenário para a temperatura do ar para o outono de 2021.....	73
Figura 36 – Média da temperatura do ar para o outono de 2021 nas prováveis LCZs.....	74
Figura 37 – Cenário para a temperatura do ar para o inverno de 2021.....	76
Figura 38 – Média da temperatura do ar para o inverno de 2021 nas prováveis LCZs.....	77
Figura 39 – Cenário para a temperatura do ar para a primavera de 2021.....	79
Figura 40 – Média da temperatura do ar para a primavera de 2021 nas prováveis LCZs.....	80
Figura 41 – Cenário para a temperatura do ar para o verão de 2021.....	82
Figura 42 – Média da temperatura do ar para o verão de 2021 nas prováveis LCZs.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipologias edificadas das Zonas Climática Locais adaptado de Stewart & Oke (2012).....	17
Tabela 2 – Cobertura do solo das Zonas Climática Locais adaptado de Stewart & Oke (2012).....	19
Tabela 3 – Valores de propriedades geométricas, cobertura de superfície, propriedades térmicas, radiativas e metabólicas das Zonas Climática Locais (LCZ).....	20
Tabela 4a – Período de medição por transectos móveis por SANTOS (2012).....	31
Tabela 4b – Período de medição por transectos móveis em 2016, realizada por PAULA (2017).....	33
Tabela 4c – Período de medição por transectos móveis em 2019.....	34
Tabela 5 - Classificação potencial LCZ nos pontos em 2011 nos transectos	37
Tabela 6 – Classificação potencial LCZ nos pontos em 2016 nos transectos	38
Tabela 7 - Classificação potencial LCZ nos pontos em 2019 nos transectos.....	39
Tabela 8 - As comprações das propriedades de superfície de cada ano, com os valores de referencia das classes LCZs potenciais padrão.....	42
Tabela 9 - As principais características de cada potencial zona climática local (LCZ) em Cuiabá/MT nos Transectos.....	46
Tabela 10 - Efeito das classes potenciais LCZs nas variações térmicas no outono de 2011, 2016 e 2019.....	61
Tabela 11 - Efeito das classes potenciais LCZs nas variações térmicas no inverno de 2011, 2016 e 2019.....	64

Tabela 12 - Efeito das classes potenciais LCZs nas variações térmicas na primavera de 2011, 2016 e 2019.....	69
Tabela 13 - Efeito das classes potenciais LCZs nas variações térmicas no verão de 2012, 2016 e 2020.....	73
Tabela 14 - Diferenças de temperatura do ar estimadas em relação as LCZs no Outono de 2021.....	78
Tabela 15 - Diferenças de temperatura do ar estimadas em relação as LCZs no Inverno de 2021.....	81
Tabela 16 - Diferenças de temperatura do ar estimadas em relação as LCZs na Primavera de 2021.....	84
Tabela 17 - Diferenças de temperatura do ar estimadas em relação as LCZs no Verão de 2021.....	87

LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS

AR5	Relatório de Avaliação 5
CO₂	Gás carbônico
FVC	Fator de Visão de Céu (<i>Sky View Factor</i>)
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	Ilha de Calor urbana
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
HFCs	Hidrofluorcarbonos
LCZ	Zona Climática Local
MAXVER	Máxima Verossimilhança
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ODM	Objetivo de Desenvolvimento do Milênio
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
RLM	Regressão Linear Múltipla
RNA	Redes Neurais Artificiais
Tar	Temperatura do ar
UBL	Camada Limite Urbana (<i>Urban Boundary Layer</i>)
UCL	Camada Intra-Urbana (<i>Urban Canopy Layer</i>)
UR	Umidade relativa do ar
UTM	Universal Transversa de Mercator

RESUMO

PAULA, D. C. J. **Simulação de cenários futuros de ilhas de calor e morfologia urbana como instrumento no planejamento de cidades.** 2021, 116f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Devido à importância em considerar as mudanças climáticas nos centros urbanos, esta pesquisa teve o objetivo de simular cenários futuros de ilhas de calor urbana e o efeito das prováveis alterações da morfologia urbana no aquecimento em microescala. Para tanto foi necessária a análise dos dados termohigrométricos em relação às zonas climáticas locais (LCZs) entre 2011 e 2019 para posterior simulação dos cenários futuros de 2021. Os resultados demonstraram entre 2011 e 2020, que as tipologias LCZ2 e LCZ 4 com características de cânion urbano são as que estão favorecendo a intensificação da ilha de calor urbana (na região central da cidade e nas áreas ao redor) de forma mais expressiva no período quente-seco, em contrapartida as regiões que são caracterizadas como LCZA (vegetação arbórea densa) configuram oásis por manifestarem as temperaturas mais amenas em todas as estações nos anos de estudo. Na simulação dos cenários futuros de ilhas de calor, foram utilizadas as redes neurais artificiais do tipo LSMT para estimar a temperatura do ar de cada estação do ano para 2021 e conseqüentemente a ICU, logo a RNA com banco de dados composto de variáveis termohigrométricas associada às propriedades de superfície foi capaz de estimar o efeito de ilha de calor para o ano de 2021, corroborando com estudos de mudanças climáticas em cidades de clima tropical. Em vista disso, os piores cenários de ICU são observados a partir das prováveis transformações, quando LCZA é transformada nas demais tipologias construtivas devido à perda de vegetação arbórea densa em detrimento da construção de edifícios e superfícies pavimentadas, sendo de até 2,25°C no inverno, até 1,80°C na primavera e até 0,95°C no verão. Mudanças estimadas e igualmente relevantes são vistas quando muda de tipologias de baixa altura para de cânions urbanos de alto FVC e baixo H/W (LCZ2 e 5) bem como para cânions urbanos de baixo FVC e alto H/W (LCZ 4), criando um aquecimento local no outono de até 2,77°C, inverno de até 1,88°C, na primavera de até 1,37°C e no verão de até 1°C.

Palavras-chave: Planejamento-urbano, modelagem, redes neurais artificiais, eventos extremos, urbanização.

ABSTRACT

PAULA, D. C. J. **Simulation of future scenarios of heat islands and urban morphology as an instrument in city planning.** 2021, 116f. Thesis (PhD in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

Due to the importance of considering climate change in urban centers, this research aimed to simulate future scenarios of urban heat islands and the effect of likely changes in urban morphology on microscale heating. Therefore, it was necessary to analyze the thermohygrometric data in relation to the local climate zones (LCZs) between 2011 and 2019 for further simulation of future scenarios for 2021. The results showed, between 2011 and 2020, that the LCZ2 and LCZ 4 typologies with canyon characteristics urban are those that are favoring the intensification of the urban heat island (in the central region of the city and in the surrounding areas) more significantly in the hot-dry period, on the other hand, the regions that are characterized as LCZA (dense arboreal vegetation) configure oases for expressing the mildest temperatures in all seasons in the years of study. In the simulation of future scenarios of heat islands, LSMT-type artificial neural networks were used to estimate the air temperature of each season of the year for 2021 and consequently the ICU, hence the ANN with a database composed of thermohygrometric variables associated with the properties surface was able to estimate the heat island effect for the year 2021, corroborating studies of climate change in cities with tropical climate. In view of this, the worst ICU scenarios are observed from the probable transformations, when LCZA is transformed into the other constructive typologies due to the loss of dense arboreal vegetation to the detriment of the construction of buildings and paved surfaces, being up to 2.25°C in winter, up to 1.80°C in spring and up to 0.95°C in summer. Estimated and equally relevant changes are seen when changing from low height typologies to high FVC and low H/W urban canyons (LCZ2 and 5) as well as to low FVC and high H/W urban canyons (LCZ 4), creating local heating up to 2.77°C in autumn, up to 1.88°C in winter, up to 1.37°C in spring and up to 1°C in summer.

Keywords: Urban planning, modeling, artificial neural networks, extreme events, urbanization.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

Dados disponibilizados sobre o crescimento da população, relatam que em 1900 a população global era de 1,6 bilhão, deste total somente 13% da população vivia em áreas urbanas, aproximadamente 200 milhões. Contudo, em 2014, este percentual atingiu 54% com expectativa de aumento de 70% até 2050. A nível nacional, em 2015 a percentagem da população vivendo em áreas urbanas era de 85,7%, com estimativa de aumento para 91% em 2050.

Nesse contexto, estudos apontam que os movimentos migratórios são mais complexos e ocorrem principalmente entre cidades, podendo ser através de fronteiras internacionais, nacionais, estaduais e municipais. Assim, entre os desafios enfrentados na vida cidadina no século 21 está a mudança climática, exercendo pressão sobre áreas urbanas por meio de aumento dos eventos extremos, comprometendo os sistemas de infraestrutura urbana.

Sendo descrita como o maior e mais complexo problema ambiental da atualidade, acelerado principalmente por atividades antropogênicas, que elevam a temperatura média global manifestando padrões de extremos climáticos devido ao desequilíbrio ambiental.

Dado o nível atual de crescimento urbano e a concentração das populações envolvidas, as mudanças climáticas irão interagir com os riscos urbanos de várias maneiras, algumas das quais irão exacerbar o nível de risco climático. Além disso, existem desigualdades de saúde, especialmente nas cidades em desenvolvimento, que são ainda agravadas pelo aquecimento urbano, como ondas de calor, precipitação extrema, inundações interiores e costeiras, deslizamentos de terra, secas, aumento da aridez, escassez de água e poluição do ar. No caso do Brasil, os impactos socioambientais das mudanças climáticas são agravados devido à questão social.

Neste sentido, são enfatizadas estratégias como respostas aos extremos climáticos atuais e futuros no contexto urbano, voltadas à mitigação, que são relacionadas a

redução das emissões de gases que compõe o Efeito Estufa (GEE), e à adaptação, relacionadas ao ajustamento nos sistemas naturais e assentamentos humanos, com o propósito de promover a resiliência das cidades.

Pesquisas sobre o aumento dos efeitos das mudanças climáticas pelo aquecimento urbano local são escassas, mesmo após recomendações do 5º Relatório do IPCC, devido a dois fatos: o conhecimento das ilhas de calor em países de clima tropical ainda ser bastante recente e por outro lado, as estratégias voltadas à mitigação de ICU estão mais voltadas para climas temperados, pouco eficientes para os trópicos.

Neste contexto, desafios envolvendo o clima e a infraestrutura das cidades estão relacionados às edificações (conforto térmico), uma vez que elevadas temperaturas e forte radiação solar causam impactos indiretos na saúde cardiorrespiratória da população.

Desta maneira, muito ainda precisa ser feito para mitigar o efeito da ilha de calor urbana (ICU), estudos apontam que a adoção de planejamento urbano sensível ao clima é um facilitador chave da adaptação às mudanças climáticas, especialmente em cidades com demanda por resfriamento.

1.2 JUSTIFICATIVA

Pesquisadores na área de climatologia urbana afirmam que para manter os padrões atuais de conforto térmico a longo prazo a partir da umidade, será mais caro (em termos de consumo de energia) do que gerenciar a temperatura, especialmente no caso de cidades de clima tropical onde o problema de superlotação e os riscos associados às mudanças climáticas (como inundações, erosão costeira, tempestades, seca, ondas de calor) são cada vez mais frequentes, portanto adoção de projetos baseados no clima nas decisões de planejamento urbano são urgentes.

No entanto, o planejamento baseado no clima depende da escala e precisa ser vinculado às agendas de sustentabilidade urbana mais amplas, como redução da pobreza, desenvolvimento econômico e regeneração urbana, além disso, são necessárias parcerias institucionais da comunidade científica local com o objetivo de

investigar as necessidades locais e exigências dos tomadores de decisão no nível da cidade na promoção da resiliência.

Portanto, os objetivos para um planejamento baseado no clima devem identificar e incluir variações naturais do clima, padrões climáticos sazonais, uso da terra, propriedades físicas (geometria urbana e cobertura do solo), propriedades térmicas e radiativas, instrumentos de gestão e valorização dos serviços ecossistêmicos.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa é simular cenários futuros de ilhas de calor urbana e o efeito das prováveis alterações da morfologia urbana no aquecimento em microescala.

Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos: coleta de dados termohigrométricos em microescala, levantamento de dados de cobertura do solo, classificação da área de estudo em zonas climáticas locais (LCZs), análise dos dados termohigrométricos com as LCZs, simulação de cenários futuros de aquecimento local a partir de rede neural artificial do tipo LSTM para estimar a temperatura do ar e a ilha de calor e a relação com as prováveis alterações de morfologia urbana.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS CIDADES

Em 1900, quando a população global era de 1,6 bilhão, somente 13% da população vivia em áreas urbanas (cerca de 200 milhões), já em 2007 a Organização das Nações Unidas relata que pela primeira vez na história, a população urbana ultrapassou a população rural em nível global, em 2014 a população global vivendo em área urbana chegou a 54%.

A ONU (2020) relata que 3,6 bilhões de pessoas vivem em cidades, e em 2050 é esperado que a população urbana cresça de 5,6 para 7,1 bilhões, a expectativa é de que esta proporção aumente para 70%.

Assim com a expansão das cidades, a paisagem natural é substancialmente modificada pela grande concentração de casas, instalações industriais, adensamento populacional e pavimentação asfáltica, que por sua vez, criam condições para alterar o comportamento em ecossistemas urbanos (IPCC, 2007).

Destacando entre os desafios enfrentados na vida das cidades no século 21 estão às mudanças climáticas, descrito como o maior e mais complexo problema ambiental da atualidade, devido a influência das atividades antropogênicas que elevam o aumento da temperatura média global manifestando padrões de extremos climáticos cada vez mais severos devido ao desequilíbrio ambiental (Figura 1).

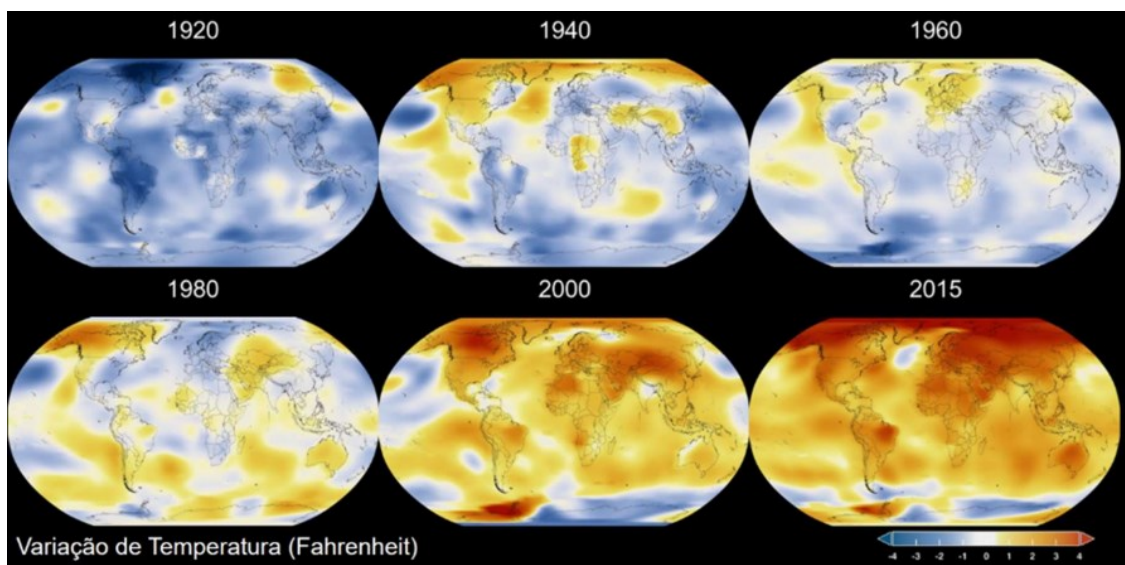


FIGURA 1- Variação da temperatura média global entre 1920 a 2015

FONTE: NASA, 2017

Projeções do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (AR5) indicam que as mudanças ocorrerão mesmo em diferentes cenários de emissão de GEE e que, caso se mantenham os níveis atuais, a previsão para o final do século seria um aumento de 2,6 a 4,8°C na temperatura média global, com incremento de 0,45 a 0,82 metro no nível do mar.

Em 2015 a Conferência das Partes no Acordo de Paris, reconheceu que as mudanças climáticas representam uma ameaça urgente e potencialmente irreversível para as sociedades humanas e para o planeta, solicitando a mais ampla cooperação possível de todos os países. Firmando compromissos de mitigação em termos de emissões anuais globais de gases de efeito estufa, em manter o aumento da temperatura média global a menos de 2°C acima dos níveis industriais e promover esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais e que acima disso, haverá eventos climáticos extremos tão intensos e frequentes que trarão rupturas imprevisíveis.

Entretanto, a temperatura média do globo já está acima de 1°C da época pré-industrial, entre 1850 e 1900, ressalta-se que a referência é a média global, mas há regiões que registraram temperaturas mais elevadas, como é o caso de Bandar

Mahshahr, uma pequena cidade do Irã, que vivenciou sensação térmica de 72,7°C em uma onda de calor no verão de 2015 (ICLEI, 2016).

Ademais, o período compreendido entre os anos de 2015 a 2019 foram os cinco anos mais quentes, até então registrados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o aumento em relação à média histórica foi de 1,3°C, tornando o mês de fevereiro de 2016 o mais quente dos últimos 130 anos, do mesmo modo, o mês de julho de 2016 foi o mais quente em relação a outros julhos nos últimos 136 anos (NASA, 2016).

Entretanto em 2020, novos recordes históricos de temperatura do ar foram registrados no Brasil: Cuiabá 44°C em 110 anos (30/09/2020), Curitiba 35,5°C em 110 anos (02/10/2020); Goiânia 41,2°C em 83 anos (07/10/2020); Campo Grande 41°C 05/10/2020 (ONU, 2020).

Estudos salientam que é nos países em desenvolvimento que se dará o crescente processo de urbanização, o que dependerá da política de planejamento urbano a ser implementada, sendo benéfico a partir de modelos de urbanização sustentáveis (ROSENZWEIG et al., 2015).

No caso do Brasil, o quadro social agrava os impactos socioambientais das mudanças climáticas (RIBEIRO, 2008), o país em 2015 já possuía 85,7% da população vivendo em áreas urbanas, com a previsão de que esse percentual atinja 91% em 2050, sendo que a maior parte das pessoas reside em cidades médias com população entre 100 e 500 mil habitantes, como é o caso de Cuiabá-MT, no último censo em 2010 a população era de 551.098 e a estimada para 2020 é de 618.124 habitantes (PBMC, 2016; IBGE, 2020).

As cidades brasileiras são vulneráveis às mudanças climáticas e os possíveis impactos dessas alterações deverão ocorrer em diferentes escalas, de acordo com a vulnerabilidade e as características específicas de cada região do Brasil. Ocorrendo intensificações dos eventos severos, como: tempestade, precipitação, inundações costeiras e em regiões de baixa altitude como vales, secas mais longas e mais severas em algumas áreas, incêndios florestais e aumento de temperatura, ocasionando

anomalias térmicas como a ilha de calor urbana (PBMC, 2013b; 100 RESILIENT CITIES, 2014).

Todavia, durante o Acordo de Paris foi formulada uma nova Agenda, a Agenda 2030 que resultou num conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são baseados nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Os ODS (figura 2) são integrados e indivisíveis, e mesclam, de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental, por serem universais, se aplicam a todos os países do mundo, tendo os governos locais e regionais desempenho importante em especial, pelo ODS 11, “Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis” (ONU, 2016).



FIGURA 2 – Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

FONTE: ONU, 2016

Desta maneira, estratégias de mitigação e adaptação se fazem necessárias para promover a resiliência das populações afetadas. No que se refere a mitigação, são estratégias relacionadas à redução das emissões de Gases que compõe o Efeito Estufa (GEE), nesta perspectiva Braga (2012), aponta que o planejamento urbano tem papel fundamental a partir da forma urbana, baseados nos padrões de uso do solo, que geram demandas de deslocamentos. Sendo reforçada por Bianco et al. (2011), que dizem que a estrutura, orientação e a condição dos edifícios e ruas tendem a aumentar a necessidade de resfriamento e aquecimento das edificações devido ao processo de

balanço de energia entre a radiação solar que é absorvida e dissipada, de acordo com as propriedades dos materiais existentes no ambiente construído.

As estratégias de adaptação estão relacionadas com ajustamentos nos sistemas naturais e assentamentos humanos, em resposta a estímulos climáticos reais ou esperados, ou seus efeitos. Deverão ser consideradas estratégias relacionadas ao ordenamento do espaço urbano, ou seja, o ordenamento do uso do solo e do processo de expansão urbana que interferem diretamente na capacidade de resiliência das cidades a desastres ambientais (BRAGA, 2012; BIANCO et al. 2011)

As estratégias de planejamento urbano como medidas de adaptação devem abranger estudos sobre: Temperatura e ondas de calor, Precipitação, inundações e secas, promovendo alterações nos códigos de edificações, nas leis de uso e ocupação do solo, restringindo a expansão da malha urbana em áreas vulneráveis (PBMC, 2016).

Estudos de clima urbano destacam que a incorporação dos conhecimentos do clima urbano no planejamento das cidades de forma consistente é bastante recente, devido às dificuldades de comunicação entre a climatologia e planejamento urbano, limitação computacional, parametrização associada à representação de áreas urbanas em modelos climáticos (JIN et al., 2005; GRAWE et al., 2013).

No caso de cidades de clima tropical o conhecimento das ilhas de calor é ainda menor, devido às estratégias estarem voltadas ora ao aquecimento ora ao resfriamento, não se traduzindo de forma eficiente apenas para resfriamento (HUNG et al., 2006; ROTH, 2007).

Sendo assim pesquisas envolvendo o clima como instrumento para o planejamento urbano voltado a adaptação às mudanças climáticas em cidades tropicais é urgente, devido a demanda por resfriamento ser a principal estratégia (EMMANUEL, 2016). Portanto, muito ainda precisa ser feito para mitigar o efeito da ilha de calor urbana nos trópicos como parte das estratégias de adaptação às mudanças climáticas (EMMANUEL & LOCONSOLE, 2015).

Assim, se faz necessário analisar as dinâmicas existentes entre os fatores climáticos e a relação com a morfologia urbana, com o objetivo de entender os fenômenos de ilhas de calor identificados na cidade de Cuiabá/MT e o que pode ser visualizado de cenário futuro na busca da adaptação.

2.2 CLIMA URBANO

De acordo com Oke (1987), o clima urbano pode ser definido como o resultado das modificações da urbanização da superfície terrestre e da interferência dessa urbanização nas características da atmosfera de um determinado local.

Inicialmente a distinção entre o conceito de tempo e clima se faz necessário, Morize (1927), diz que o tempo é o estado momentâneo da atmosfera e o clima, sendo definido como a condição média da atmosfera. E para se entender o clima, o entendimento das escalas é primordial para uma análise clara e organizada, assim tem-se a escala vertical e a escala horizontal.

A maior parte dos esquemas de classificação utiliza a escala horizontal (Figura 3) como único critério, assim dentro da escala horizontal tem-se três escalas de interesse: a mesoescala definida pela influência da cidade no tempo e no clima. A escala local ou topo-clima, relacionadas com regiões da cidade, áreas urbanas menores com características semelhantes, podendo ser bairros. E a microescala, são áreas no entorno de edificações, árvores e estradas, estando ligada a camada limite urbana, definida entre o solo e a altura média dos edifícios (OKE, 2004).

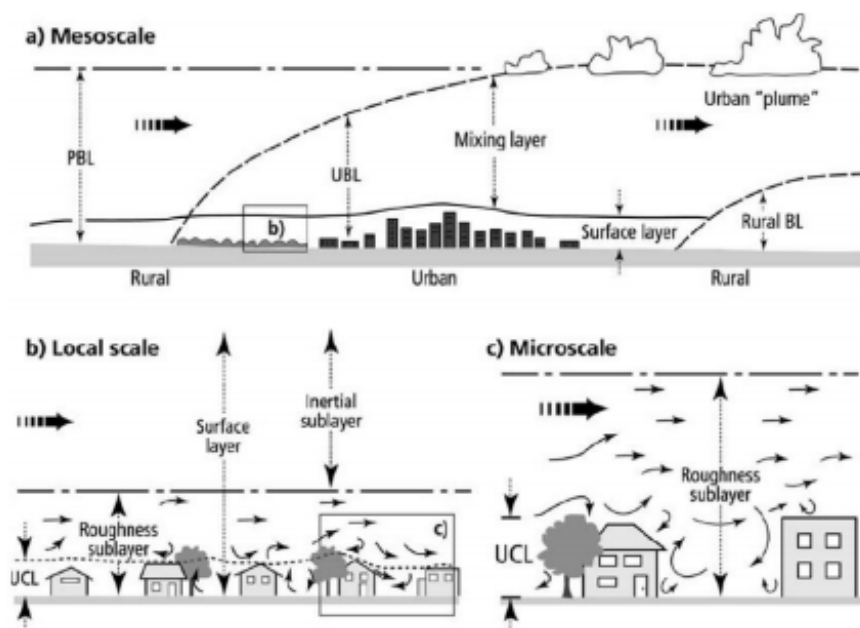


FIGURA 3 - Escalas climáticas e camadas verticais em áreas urbanas

FONTE: OKE, 2004

Dessa forma, a cidade gera um clima próprio resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada limite urbana e que agem no sentido de alterar o clima local. Assim, o clima urbano é o resultado da interação dos fatores urbanos com o clima regional e com o meio físico pré-existent, recebendo influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos (MONTEIRO, 1976; LOMBARDO 1985).

Para analisar o clima de uma área é preciso levar em consideração os fatores climáticos e os elementos climáticos, onde os fatores climáticos dão origem ou determinam o clima, enquanto os elementos climáticos, definem o clima (ROMERO, 2001)

Como fatores climáticos, destacam-se: a radiação solar que influencia a distribuição da temperatura do globo e a latitude, que é definida a partir da linha de equador, influenciando na quantidade de radiação disponível em dado local a depender da época do ano. Além destas, a altitude, regime de ventos e topografia também devem ser considerados (BARBIRATO et al., 2007).

Nos elementos climáticos destacam-se: temperatura do ar e umidade do ar, que sofrem interferência das características dos recintos urbanos, onde a quantidade de vapor de água na massa de ar é afetada pela temperatura do ar local, que sofre interação da temperatura superficial do meio circundante (ROMERO, 2001; MASCARÓ & MASCARÓ, 2010).

Assim o balanço de energia de uma determinada área pode ser expresso da seguinte forma: as múltiplas reflexões da radiação solar incidente, associadas ao calor antropogênico e a diminuição de vegetação com a menor velocidade do vento, isto é, a maior parte da energia disponível é absorvida pelas superfícies por meio de radiação solar ou a partir de calor antropogênico, desta maneira a energia disponível irá aquecer o ar acima da superfície, ou será evaporada com a umidade ou será armazenada nos materiais em forma de calor, promovendo a formação de ilha de calor (GARTLAND, 2010; MILLS, 2014).

Resultando no aumento de 5 a 10% de volume acumulado de precipitação em relação às áreas circundantes devido aos movimentos do ar ascendentes sobre a cidade, desse modo a velocidade e a direção dos ventos sofrem influência do recinto urbano, como edificações, áreas arborizadas e topografia, sendo menor na região central devido a rugosidade do ambiente construído (CONTI, 1998; SILVEIRA, 2007; BARBIRATO et al., 2007).

Assim a formação de ilha de calor é descrita como o fenômeno onde áreas das cidades tendem a ser mais quentes do que o entorno de áreas suburbanas e rurais devido à absorção de calor pelas superfícies impermeáveis que recobrem o solo em substituição da cobertura vegetal, alterando as propriedades físicas das superfícies diminuindo as taxas de evapotranspiração e alterando o campo térmico existente, associados a poluição do ar, água e do solo altera as condições em escala microclimáticas, hídricas etc, contribuindo para a manifestação de extremos climáticos, como ondas de calor (OKE et al., 2017; VOOGT & OKE, 2003; FERREIRA, 2019; ROSENZWEIG et al., 2011).

2.2.1 Anomalias térmicas

Para entender o comportamento do clima urbano e a manifestação da anomalia térmica conhecida como ilha de calor (IC) em áreas urbanas, precisa-se compreender o balanço de radiação.

Todo corpo disposto sobre a superfície terrestre apresenta uma característica física denominada de albedo (figura 4). O albedo é a capacidade de reflexão que um objeto ou superfície expressa na relação entre a energia refletida e o total incidente, variando de zero (corpo negro, nenhuma reflexão) a um (espelho, total reflexão) (AKBARI et al., 2012).

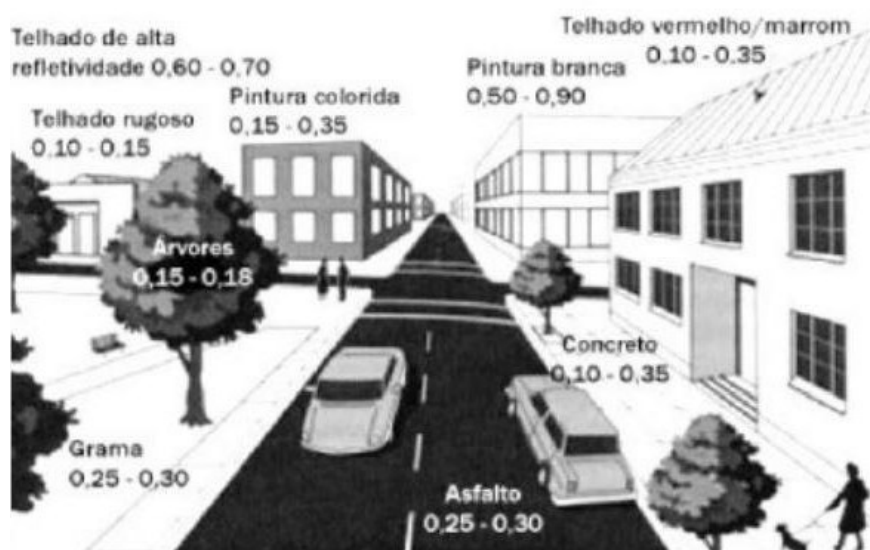


FIGURA 4 - Albedo de materiais e superfícies urbanas

FONTE: BIAS et al. (2003).

Assim, quando a radiação solar incide sobre uma superfície, parte da radiação incidente é refletida (albedo planetário), outra é absorvida (absorção) e a restante é transmitida (“atravessa” a atmosfera). Quanto menor for o albedo, maior será a quantidade de energia disponível para ser absorvida e transmitida, ou seja, maior será a liberação de energia (calor) para o meio externo (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A parte da radiação solar que é absorvida e reemitida, depende dos tipos de superfícies e das propriedades de cada material que recobre o solo. Assim, sabe-se que

a temperatura da terra depende do equilíbrio entre a energia que chega do sol e da energia que é irradiada de volta para o espaço pelo planeta.

Neste processo, as superfícies irradiam novamente essa energia sob a forma de determinados comprimentos de onda que correspondem à radiação infravermelha emitida pela terra. Ocorre que o gás carbônico, o metano e o vapor d'água, além de outros gases presentes na atmosfera, absorvem certos comprimentos de onda desse tipo de radiação, que mantém a temperatura da Terra aquecida, formando o efeito estufa (FIALHO, 2012).

Contudo, o aumento das concentrações de gás carbônico e de outros gases semelhantes faz com que maior quantidade de calor fique retido dentro da atmosfera do planeta, isto é, a elevação das concentrações desses gases tem sua causa nas ações antropogênicas. Conforme o PBMC (2016), os centros urbanos são responsáveis pelo consumo de 70% da energia disponível e por 40% das emissões de GEE.

Assis (2005), aponta que estudos descritivos do clima urbano têm mostrado que, tanto em áreas de clima temperado quanto tropicais, a mudança climática em escala local está associada ao efeito de transformação de energia na área urbana, influenciada por sua morfologia, pelas propriedades térmicas dos materiais das superfícies construídas e pela produção antropogênica de calor. Salienta que o peso das características urbanas no comportamento climático local pode variar bastante, de acordo com o tipo de entorno da cidade (sítio natural, rural ou industrial), as formas de relevo, a influência de massas d'água e o próprio tamanho da área urbanizada, ver figura 5.

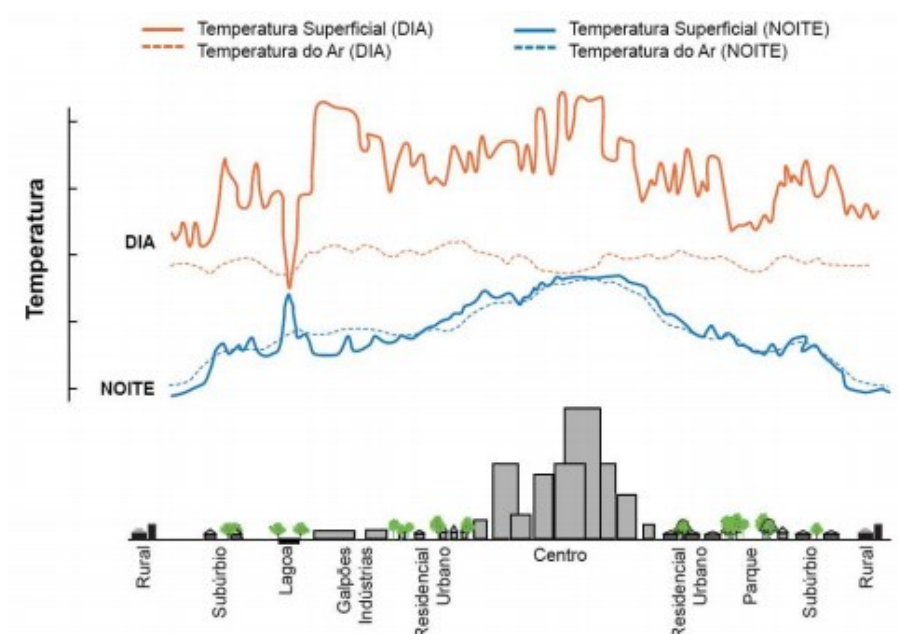


FIGURA 5 – Perfil da temperatura do ar e temperatura de superfície

FONTE: OKE et. al., 2017

Voogt & Oke (2003) descrevem a ilha de calor como maior aquecimento da área urbana em relação ao seu redor não urbanizado.

Cohen et al. (2012) ressaltam que a amplificação da temperatura do ar no ambiente urbano, pode ser definida como a diferença entre as temperaturas medidas no espaço urbano e os valores medidos no espaço circundante.

Fialho (2012) explica os vários tipos de ilha de calor de acordo com o método adotado para mensurá-la, podendo ser: ilha de calor atmosférica, ilha de calor vertical e ilha de calor de superfície.

O tipo de ilha de calor, objeto de estudo nesta pesquisa é a ilha de calor atmosférica, que é definida a partir da diferença térmica entre áreas urbanas e seus arredores (OKE et al., 2017).

Devido à complexidade térmica encontrada na escala intraurbana, o conforto térmico em áreas abertas é resultado de um difícil equilíbrio entre o uso e ocupação do solo, e os fatores e elementos climáticos locais, regionais e globais, isto é, a geometria das construções e o arranjo paisagístico afetam diretamente a magnitude e o regime de entrada (ondas curtas) e saída (ondas longas) de energia disponível

para as trocas térmicas entre as superfícies e o céu, ver figura 6 (ABREU-HARBICH et al., 2015; OKE et al., 2017).

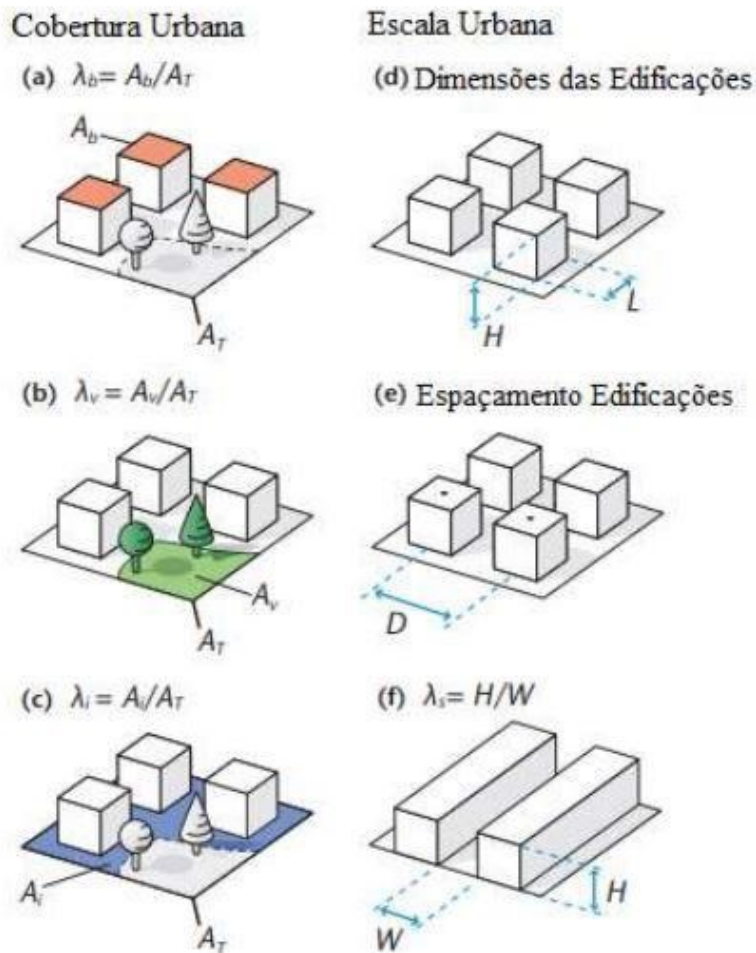


FIGURA 6 – Representação dos efeitos da cobertura do solo e a morfologia urbana nas superfícies urbanas e não urbanas na resposta térmica

FONTE: OKE et. al., 2017

A classificação da área urbana a partir das Zonas Climáticas Locais (LCZs) explica o efeito da cobertura do solo urbana por meio da relação entre a área edificada e área total, dimensões das edificações (altura x largura), afastamento entre as edificações e fator cânion urbano (relação entre a altura dos edifícios ((H) x a distância entre eles (W)).

Desta maneira, analisando a ICU devido às variações nas características geométricas, radiativas, térmicas, de umidade e aerodinâmicas da superfície que

afetam as superfícies urbanas e não urbanas e interferem na resposta térmica. A magnitude da ICU dependerá da LCZ usada para definir a Temperatura Urbana e seus arredores (OKE et al., 2017).

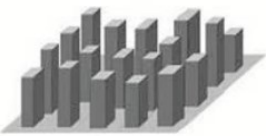

2.3 ZONAS CLIMÁTICA LOCAIS (LCZs)

Ferreira & Ugeda Júnior (2019), destacam que na fundamentação do Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976) a Ilha de Calor Urbana (ICU) é considerada como o principal produto dos fatores termodinâmicos, resultado das funções do uso da terra e morfologia nos processos de transformação e produção de energia que configuram o fenômeno. A distinção desses componentes na organização interna do modelo converge às premissas do sistema de classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZs) desenvolvido por Stewart (2011) e amplamente difundido em Stewart & Oke (2012).

Stewart & Oke (2012), apresentam um sistema de classificação baseado em Zonas Climáticas Locais (LCZ), isto é, locais na escala de análise, climáticas devido às propriedades (físicas e radiativas) estudadas e zonais no aspecto de distribuição espacial, com o objetivo de padronizar os estudos sobre ilhas de calor.

O sistema compreende a classificação de 17 Zonas Climáticas Locais, sendo 10 definidas por tipologias e adensamento das construções e 07 tipos de cobertura do solo (tabela 1 e 2) além de propriedades de superfícies (tabela 3).

Tabela 1 - Tipologias edificadas das Zonas Climática Locais adaptado de Stewart & Oke (2012)

Tipologia Construtiva	Definição
LCZ 1. Alto-compacto 	Edifícios altos em arranjo compacto. Áreas densamente construídas, com edifícios com mais de 10 pavimentos. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção em concreto, aço, pedra e vidro.
LCZ 2. Médio-compacto 	Edifícios de altura média em arranjo compacto (3 a 9 andares). Áreas densamente construídas. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.









LCZ 3. Baixo-compacto	Edifícios baixos em arranjo compacto (1 a 3 andares). Áreas densamente construídas. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.
	
LCZ 4. Alto-aberto	Edifícios altos em arranjo aberto. Áreas de menor adensamento com edifícios com mais de 10 pavimentos. Abundância de cobertura permeável do solo (vegetação herbácea, arbustiva ou árvores espalhadas). Materiais de construção em concreto, aço, pedra e vidro.
	
LCZ 5. Médio-aberto	Edifícios de altura média em arranjo aberto (3 a 9 andares). Áreas de menor adensamento. Abundância de cobertura permeável do solo (vegetação herbácea, arbustiva ou árvores espalhadas). Materiais de construção em concreto, aço, pedra e vidro.
	
LCZ 6. Baixo-aberto	Edifícios baixos em arranjo aberto (1 a 3 andares). Áreas de menor adensamento. Abundância de cobertura permeável do solo (vegetação herbácea, arbustiva ou árvores espalhadas). Materiais de construção em madeira, tijolo, pedra, azulejo e concreto.
	
LCZ 7. Baixo-precário	Edifícios baixos e leves, com pouca inércia térmica. Áreas densamente construídas, com edifícios de 1 pavimento. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo predominantemente compacta. Construção leve materiais (por exemplo, madeira, palha, metal corrugado).
	
LCZ 8. Baixo-grande	Grandes construções de baixa altura em arranjo aberto (1-3 andares). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Aço, concreto, metal e pedra materiais de construção.
	
LCZ 9. Ocupação esparsa	Disposição esparsa de edifícios de baixo e médio porte em um ambiente natural. Abundância de terras permeáveis cobertura (vegetação herbácea, arbustiva ou árvores espalhadas).
	
LCZ 10. Indústria Pesada	Estruturas industriais baixas e médias (torres, tanques, pilhas). Poucos ou sem árvores. Cobertura do solo principalmente pavimentada ou impermeável. Metal, aço e materiais de construção de concreto.
	

Tabela 2 - Cobertura do solo das Zonas Climática Locais adaptado de Stewart & Oke (2012)








Tipo de Cobertura do solo	Definição
<p>LCZ A. Vegetação Arbórea densa</p> 	<p>Áreas densamente cobertas por vegetação arbórea decídua e/ ou perene. Cobertura do solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>LCZ B. Vegetação Arbórea esparsa</p> 	<p>Áreas cobertas por vegetação esparsa decídua e/ ou perene. Cobertura do solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>LCZ C. Vegetação arbustiva</p> 	<p>Áreas cobertas por vegetação esparsa arbustiva e vegetação arbórea de pequeno porte. Cobertura do solo predominantemente permeável (solo exposto ou areia). A função da zona é mato natural ou agricultura.</p>
<p>LCZ D. Vegetação herbácea</p> 	<p>Áreas cobertas por vegetação herbácea. Poucas ou nenhuma árvore. A função de zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano</p>
<p>LCZ E. Rocha ou pavimento</p> 	<p>Áreas cobertas por rochas ou pavimentos impermeáveis. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função de zona é o deserto natural (rocha) ou transporte urbano.</p>
<p>LCZ F. Solo Exposto</p> 	<p>Áreas cobertas por solo exposto ou areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função de zona é deserto natural ou agricultura.</p>
<p>LCZ G. Água</p> 	<p>Corpos d'água: mares, lagos, rios, reservatórios e lagoas.</p>

TABELA 3 - Valores de propriedades geométricas, cobertura de superfície, propriedades térmicas, radiativas e metabólicas das Zonas Climática Locais (LCZ)

LCZ	FVC (a)	Razão do cânion urbano (b)	Razão superfície edificada (c)	Razão da área impermeável (d)	Razão da área permeável (e)	Altura dos elementos de rugosidade (f)	Classe de rugosidade do terreno (g)
LCZ 1	0.2-0.4	>2	40-60	40-60	<10	>25	8
LCZ 2	0.3-0.6	0.75-2	40-70	30-50	<20	10-25	6-7
LCZ 3	0.2-0.6	0.75-1.5	40-70	20-50	<30	3-10	6
LCZ 4	0.5-0.7	0.75-1.25	20-40	30-40	30-40	>25	7-8
LCZ 5	0.5-0.8	0.3-0.75	20-40	30-50	20-40	10-25	5-6
LCZ 6	0.6-0.9	0.3-0.75	20-40	20-50	30-60	3-10	5-6
LCZ 7	0.2-0.5	1-2	60-90	<20	<30	2-4	4-5
LCZ 8	>0.7	0.1-0.3	30-50	40-50	<20	3-10	5
LCZ 9	>0.8	0.1-0.25	10-20	<20	60-80	3-10	5-6
LCZ 10	0.6-0.9	0.2-0.5	20-30	20-40	40-50	5-15	5-6
LCZ A	<0.4	>1	<10	<10	>90	3-30	8
LCZ B	0.5-0.8	0.25-0.75	<10	<10	>90	3-15	5-6
LCZ C	0.7-0.9	0.25-1.0	<10	<10	>90	<2	4-5
LCZ D	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3-4
LCZ E	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1-2
LCZ F	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<0.25	1-2
LCZ G	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	-	1

FONTE: Adaptado de STEWART & OKE (2012)

- a- Razão entre a quantidade de hemisfério do céu visível do nível do solo e a de um hemisfério desobstruído
b - Razão altura-largura média de desfiladeiros de rua (LCZs 1–7), espaçamento de construção
c- Proporção da área do plano de edificado para a área total do terreno (%)
d -Razão da área plana impermeável (pavimentada, rocha) em relação à área plana total do terreno (%)
e - Razão da área plana permeável (solo descoberto, vegetação, água) para a área total do terreno (%)
f - Média geométrica de alturas de edifícios (LCZs 1-10) e alturas de árvores / plantas (LCZs A-F) (m)
g- Classificação de Davenport et al. (2000) de rugosidade efetiva do terreno (z_0) para paisagens urbanas e rurais.

O sistema LCZ foi concebido para padronizar a documentação dos metadados do local de mensuração das ICUs a fim de favorecer a comparação dos contrastes térmicos das combinações de paisagens no intraurbano e entre cidades, fornecendo um novo preceito para a quantificação das intensidades das ICUs (STEWART & OKE, 2012).

O esquema LCZ facilita a comparação dos resultados por compreender que cada classe possui um regime próprio da temperatura do ar derivado da combinação exclusiva de um conjunto completo de propriedades físicas da superfície (estrutura, cobertura, material e metabolismo), isto é, o campo térmico das LCZs é espacialmente contínuo, assim a condição do ar de uma classe se funde de modo gradual com aquela existente nos limites das LCZs circunvizinhas, formando áreas de transição térmica pela advecção. Deste modo, os autores afirmam que cada LCZ deve ter um diâmetro mínimo de 400 a 1.000m para que a porção do ar de sua camada superficial fique inteiramente no seu interior e não se sobreponha às LCZs adjacentes com distintas estruturas ou coberturas da terra.

Assim, a abordagem das LCZs resulta numa expressão consistente para mensurar as intensidades das ICUs, representando de forma mais ampla o fenômeno e sua magnitude, a medida da intensidade da ICU deixa de ser fundamentalmente a diferença urbano – rural (ΔT_{u-r}), e passa a ser também a diferença de temperatura entre as classes LCZs ($\Delta T_{LCZ X-Y}$).

As variações de temperatura entre as LCZs podem ser agrupadas da seguinte forma: pequena ($\leq 2^{\circ}\text{C}$), média ($2 \geq 5^{\circ}\text{C}$) ou grande ($> 5^{\circ}\text{C}$), como resposta às diferenças na morfologia e no material de superfície das LCZs, conforme figura 7 (STEWART & OKE, 2012).

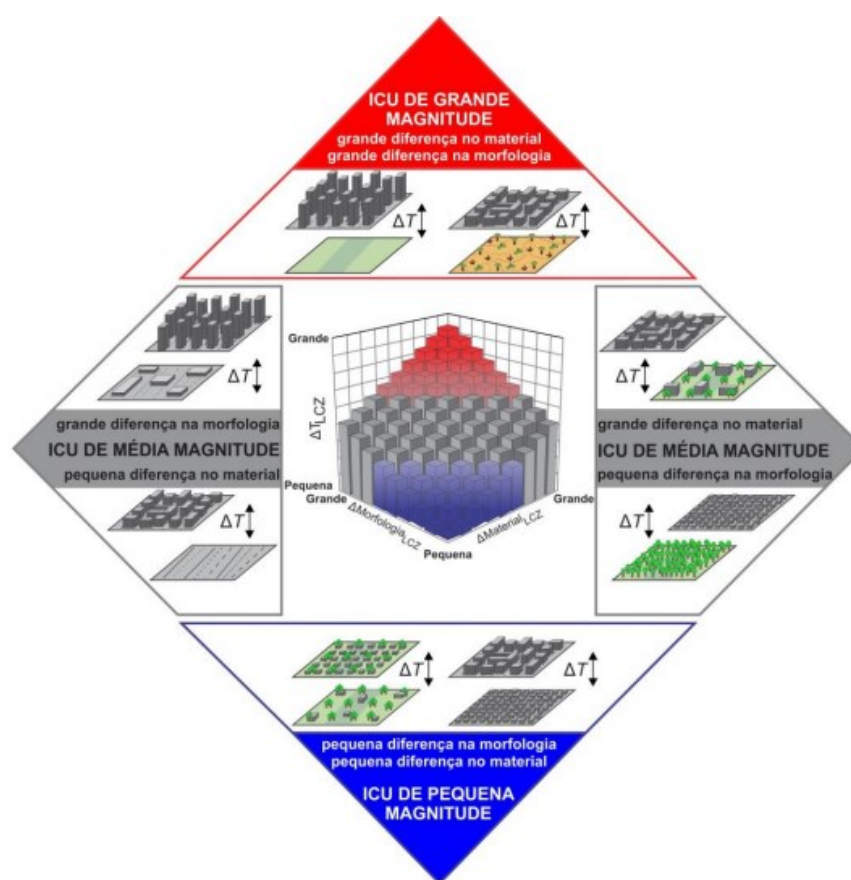


FIGURA 7 – Categorias de intensidade de ilha de calor baseado na classificação LCZ de Stewart & Oke (2012)

FONTE: PINTON et. al., 2021

O sistema de classificação por Zonas Climáticas Locais é amplamente utilizado em estudo de climatologia urbana voltado para o planejamento urbano, resultados satisfatórios podem ser encontrados em Fernandes & Masiero (2020), Perera & Emmanuel (2018), Ferreira & Duarte (2019), Oke et al. (2017), Cardoso & Amorim (2017), Ferreira & Ugeda Júnior (2019), entre outros.

Fernandes & Masiero (2020) em análise da relação entre as LCZs e o conforto térmico, demonstram que as zonas climáticas abertas e com maior quantidade de vegetação proporcionam melhores condições de conforto do que em espaços com alta taxa de impermeabilidade e construída. Evidenciando a necessidade do planejamento da cidade em promover espaços mais condizentes com as necessidades climáticas.

Perera & Emmanuel (2018) em pesquisa na cidade de Colombo no Sri Lanka, identificam as vantagens do sistema de classes LCZ por abordar as características climáticas de cada zona de interesse, oferecendo mapeamento rápido e comparação em contextos urbanos semelhantes.

Ferreira & Duarte (2019) em pesquisa sobre a relação entre vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana na Região Metropolitana de São Paulo, identificam relação entre áreas que apresentaram perdas extensas de vegetação e intervenções urbanas como a implantação de pavimentação com o aumento de temperatura superficial, indicando o papel da vegetação como atenuador de temperaturas elevadas.

Oke et al. (2017) esclarecem que os efeitos urbanos no ambiente estão presentes em maior ou menor grau, e as diferentes morfologias urbanas por apresentarem geometrias e revestimentos distintos, influenciam de maneira particular no clima, portanto a escala de análise dos fenômenos urbanos é importante para a delimitação dessas influências no que se refere a dados climáticos para o planejamento das cidades.

Cardoso & Amorim (2017) em pesquisa na cidade de Presidente Prudente/SP encontraram contrastes entre as LCZs com diferenças significativas na morfologia urbana e cobertura da terra, excedendo em média 4°C, enquanto as diferenças entre as classes com características físicas semelhantes foram iguais ou inferiores a 2°C. Salientam que o sistema LCZ promove uma comunicação mais eficiente entre resultados, o que pode contribuir para o avanço nos estudos de ilhas de calor e para a integração desse conhecimento com o planejamento urbano, visando auxiliar na elaboração de estratégias de mitigação mais localizadas.

Ferreira & Ugeda Júnior (2019) quando analisaram a Temperatura de superfície e a LCZ durante o período noturno em Cuiabá/MT, identificaram que as LCZs que apresentam edifícios de altura média em arranjo compacto expressaram maior temperatura de superfície.

Desse modo, as cidades podem desenvolver planos com adoção de medidas a curta e longo prazo, como: o uso da vegetação, corpos d'água, diferentes materiais de superfície (naturais ou alternativos), alterações na legislação urbana (código de obras, uso e ocupação do solo, plano diretor), com o objetivo de diminuição das elevadas temperaturas urbanas e as cargas de resfriamento relacionadas às estratégias de planejamento urbano baseadas em estudo do clima nos trópicos em escala local (OKE et al., 2017; EMMANUEL, 2016; ROSENZWEIG et al., 2015; STEWART, 2011).

2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O PLANEJAMENTO DAS CIDADES

Devido às emissões antropogênicas de GEE, as cidades têm sido alvo de estudos sobre as mudanças climáticas, relacionada à expansão da malha urbana, com aumento de edificações, cobertura do solo impermeável, diminuição de cobertura vegetal principalmente de áreas com cobertura arbórea densa, com elevação da temperatura do ar e diminuição da umidade relativa do ar.

Neste sentido, muitas pesquisas com o objetivo de estimar, prever e simular cenários futuros a partir da temperatura do ar tem sido realizada em vários países de clima tropical, tendo como desafio as ilhas de calor urbanas, que ocorrem dentro dos ambientes urbanos.

A utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA), têm sido um instrumento cada vez mais eficiente na previsão de cenários futuros, pela capacidade de processamento de um grande volume de dados, precisão e acurácia dos resultados (BROWNLEE, 2018).

As RNAs que utilizam séries temporais têm como característica a dependência entre as variáveis com relação ao tempo, ou seja, tem como procedimento a retropropagação. Os parâmetros de entrada recebem pesos aleatórios pequenos, então a saída estimada é então comparada com a saída desejada, se houver erro, este é calculado e os pesos sobre os parâmetros de entrada são redistribuídos através da rede, de forma a diminuir o erro. Isso é repetido muitas vezes até que a rede consiga produzir a saída desejada (DEEP LEARNING BOOK, 2019).

Desta maneira, é possível verificar quais parâmetros de entrada manifestaram maior influência na obtenção dos dados de saída, por meio dos pesos que foram calculados e distribuídos para cada parâmetro de entrada, até chegar na saída desejada.

Estudos utilizando RNA voltados a questões climáticas podem ser observados em: Santamouris et al. (1999), Mihalakakou et al. (2004), Afzali et al. (2011), Guimarães et al. (2014), Young Lee et al. (2015), Debiazi (2016), Guarienti (2020), OH et al. (2020) entre outros.

O modelo foi desenvolvido por Santamouris et al. (1999), utilizando rede neural para modelar, prever e estimar a distribuição da temperatura do ar ambiente e a intensidade da ilha de calor urbana durante o período de verão na grande região de Atenas. Os parâmetros de entrada foram dados de temperatura do ar de vinte estações, os resultados foram comparados com os dados medidos e o método de rede neural foi capaz de simular com precisão suficiente o campo de temperatura urbana em vários locais da cidade no verão.

Mihalakakou et al. (2004) no artigo intitulado Simulação do fenômeno da ilha de calor urbano nos climas do Mediterrâneo, utilizam RNA para estimar a intensidade de ilha de calor urbana durante o dia e a noite, os dados de entrada são parâmetros climáticos que por sua vez evidenciam a influência na formação da ilha de calor.

Afzali et al. (2011) utilizando redes neurais artificiais para previsão de temperatura do ar ambiente na província de Kerman no Irã. Fornecem como entrada a temperatura média, mínima e máxima do ar ambiente durante os anos de 1961-2004, obtendo resultados satisfatórios.

Guimarães et al. (2014) analisaram 171 séries históricas contendo dados diários de temperaturas entre os anos de 1960 até 2009. Os resultados confirmam as tendências de aumento da temperatura mínima no Brasil e indicam que os maiores impactos deverão ocorrer nas regiões sudeste e sul. As temperaturas projetadas para o ano de 2050 apresentaram amplitudes de variação entre 0,4 e 2,1°C e sendo que para o ano de 2100 essa variação será de 0,8 a 4,0°C.

Young Lee et al. (2015) utilizaram um modelo preditivo de rede neural para a intensidade de ilha de calor em Seul, baseado em dados de albedo, cobertura de edifício, área verde, área construída, área da água, área de estrada, temperatura, umidade, velocidade e direção do vento e precipitação. Os resultados da previsão do modelo foram comparados com os dados medidos e os coeficientes de correlação dos modelos desenvolvidos variam de 0,95 a 0,99.

Debiazi (2016) com o objetivo de verificar o ambiente térmico de um campus universitário utilizando RNA, associa dados reais sobre temperatura do ar com índices urbanísticos locais. Os resultados apontaram que os índices urbanísticos estudados apresentaram importância relativa de acordo com a escala de análise, contudo o Coeficiente de Vegetação Urbana foi um dos parâmetros mais importantes na determinação dos padrões térmicos alcançados na área do Campus.

Guarienti (2020) utilizando como entrada dados microclimáticos de temperatura do ar, umidade relativa do ar e cobertura do solo da cidade de Cuiabá-MT durante os anos de 2011 e 2016, para estimar a temperatura do ar num intervalo de 5 anos. Os modelos criados foram testados com dados de entrada de 2011 e saída desejada com os dados de 2016. Os modelos de RNA foram capazes de prever a temperatura do ar com R^2 superior a 0,9.

Oh et. al. (2020) com o objetivo de entender a magnitude e as características da ICU em Seul, desenvolvem dois modelos de aprendizado profundo, um modelo de ICU temporal e de ICU espacial, utilizando dados relacionados a elementos meteorológicos (temperatura do ar) e albedo de superfície para treinar e testar os modelos. Além disso, desenvolve e propõe uma nova métrica, ICU-hora, que quantifica o número total de horas que o ICU existe em uma determinada área. Os resultados demonstram que os métodos utilizados são uma ferramenta útil, que pode ser utilizada para analisar e prever com precisão o comportamento da ICU em áreas urbanas.

Assim, essas informações podem ser utilizadas pelos gestores públicos e planejadores urbanos na adoção de planos de mitigação e adaptação nos efeitos da ICU em cidades de rigor climático como o caso de Cuiabá/MT, em cenários futuros.

3. ÁREA DE ESTUDO

Cuiabá-MT é conhecida pelo seu rigor climático, com elevadas temperaturas durante todo ano, frequentemente acima de 35°C. A área do município é de 3.538,17km², sendo que 254,57km² correspondem a área urbanizada ocupada por uma população urbana estimada de 618.124, além de fazer parte da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá, instituída em 2016, com população estimada de 1.041.307 (IBGE, 2020).

O município (Figura 8) está localizado no encontro de três importantes biomas brasileiros: o Pantanal, o Cerrado e a Floresta Amazônica, com 15°35'46" de latitude Sul e 56°05'48" de longitude Oeste, com altitude média inferior a 200m acima do nível do mar. O perfil climático é o tropical continental semi-úmido do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, uma quente-seca (outono-inverno) e uma quente-úmida (primavera-verão) (MAITELLI, 1994).

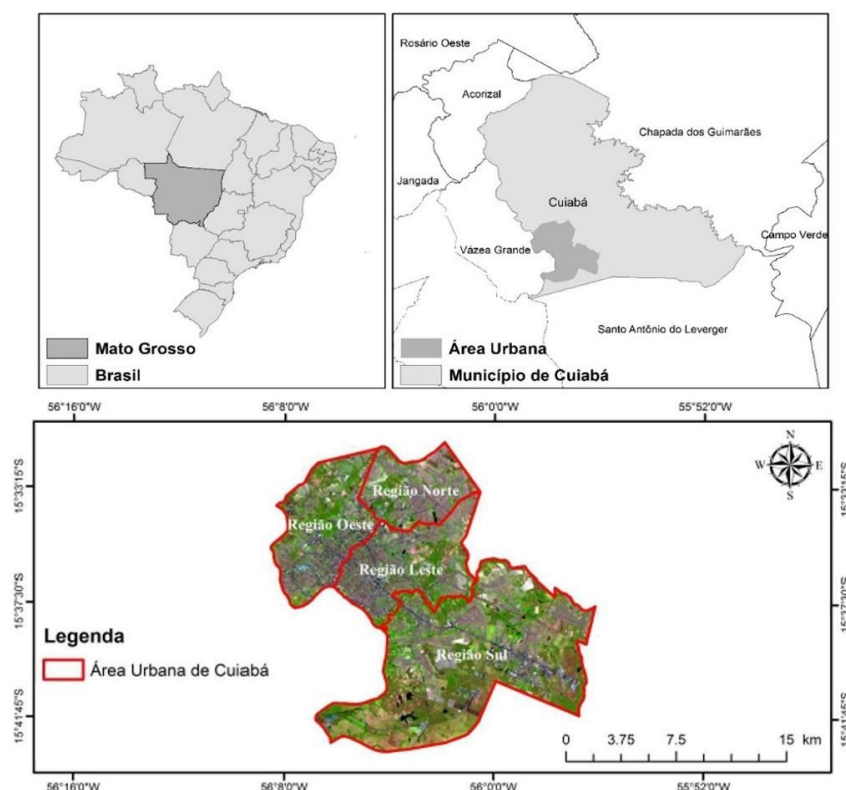


FIGURA 8 – Mapa da localização da área urbana de Cuiabá, MT, Brasil. Regiões do perímetro urbano de Cuiabá.

FONTE: adaptado de SOUZA, 2019

A temperatura média anual em Cuiabá oscila entre 25 a 26°C, enquanto as máximas ultrapassam 35°C e as mínimas oscilam entre 18 a 21°C, a Umidade relativa do ar tem média anual de 70%, contudo durante o período quente-seco chega a 12% e insolação total média de 2.179horas (MAITELLI, 2005; INMET, 2003; LEÃO, 2007).

Os meses mais quentes são setembro e outubro, respectivos ao fim do inverno e início da primavera, que fazem parte do período de transição de quente-seco para quente-úmido. O inverno é seco, com altas amplitudes térmicas diárias e elevadas temperaturas, podendo as máximas registrarem temperatura acima de 40°C, contudo, ocorrem episódios de baixas temperatura resultantes da invasão do Anticiclone Polar vindo do oceano Pacífico, provocando um forte declínio na temperatura do ar, com céu limpo e pouca umidade específica, este fenômeno recebeu o nome de “Friagem” e sua duração é, em média, de três a quatro dias (SANTOS et al., 2012; NOGUEIRA et al., 2005).

A direção do vento predominante na cidade é N (norte) e NO (noroeste) durante a maior parte do ano e S (sul) no período do inverno. O vento noroeste é dominante nos meses de verão e o vento SO (sudoeste), durante o inverno. E o vento L (leste) é proveniente da Chapada do Guimarães, e devido a altitude, é uma região dispersora de ventos, e deve ser considerada. A velocidade média anual do vento é de 1,5m/s, no entanto ainda sofrem redução devido a rugosidade da superfície (CAMPELO Jr. et. al., 1991; LEÃO, 2007)

Diante dessas características, observa-se que os fatores e elementos climáticos, a geometria urbana, os materiais que recobrem o solo, associados à expansão da cidade, resultam em uma cidade com rigor climático cada vez mais acentuado.

4. METODOLOGIA

Para esta pesquisa foram utilizados dados dos anos de 2011-2012 (SANTOS, 2012), 2016 (PAULA, 2017) e 2019-2020 com o objetivo de analisar a influência da morfologia urbana na manifestação da ilha de calor e, posteriormente, estimar cenários para 2021.

Para obtenção dos dados de ilha de calor urbana em cada estação dos anos de estudo, foi necessária a coleta das variáveis Termohigrométricas (temperatura do ar e umidade relativa do ar), para os efeitos da morfologia urbana sobre a ICU foi utilizada a classificação LCZ e obtenção das variáveis espaciais (cobertura do solo) a partir de imagens disponibilizadas pelo Google Earth de cada ano de estudo.

4.1 COLETA DAS VARIÁVEIS TERMOHIGROMÉTRICAS

A metodologia adotada para a coleta de dados foi o transecto móvel, que permite avaliar o comportamento da temperatura do ar e umidade do ar em cada intervalo do percurso e cobrir grande parte da área de estudo, por meio de sensores que foram instalados em veículo automotor ao longo do trajeto pré-determinado dentro da área de estudo, sendo amplamente utilizada para detalhar a distribuição horizontal das variáveis do clima (AMORIM, 2005; ARAÚJO, et al., 2008; AMORIM et al., 2015; CARDOSO, 2015).

Foram definidos dois transectos, com coletas móveis utilizando veículo automotor que requer que o tempo gasto entre a medida no ponto inicial e no ponto final de cada transecto não ultrapasse uma hora, com velocidade que deve variar entre 30 a 40 km/h.

Valin Jr. & Santos (2020) destacam que para o estudo de ilhas de calor realizadas no período noturno utilizando a metodologia de transecto móvel, todos os abrigos alternativos foram eficientes, prevenindo a exposição do sensor, destinado a medir a temperatura do ar à radiação proveniente de fontes de calor em seu entorno, pois, caso contrário, a temperatura medida não seria a temperatura real do ar, mas sim uma temperatura intermediária entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média (ISO 7726; BARBOSA et al., 2008).

O Transecto 1 no sentido Leste/Oeste com aproximadamente 19,6 km, iniciando no ponto 01 (P1) finalizando no ponto 56 (P56), com 56 pontos (Figura 9).

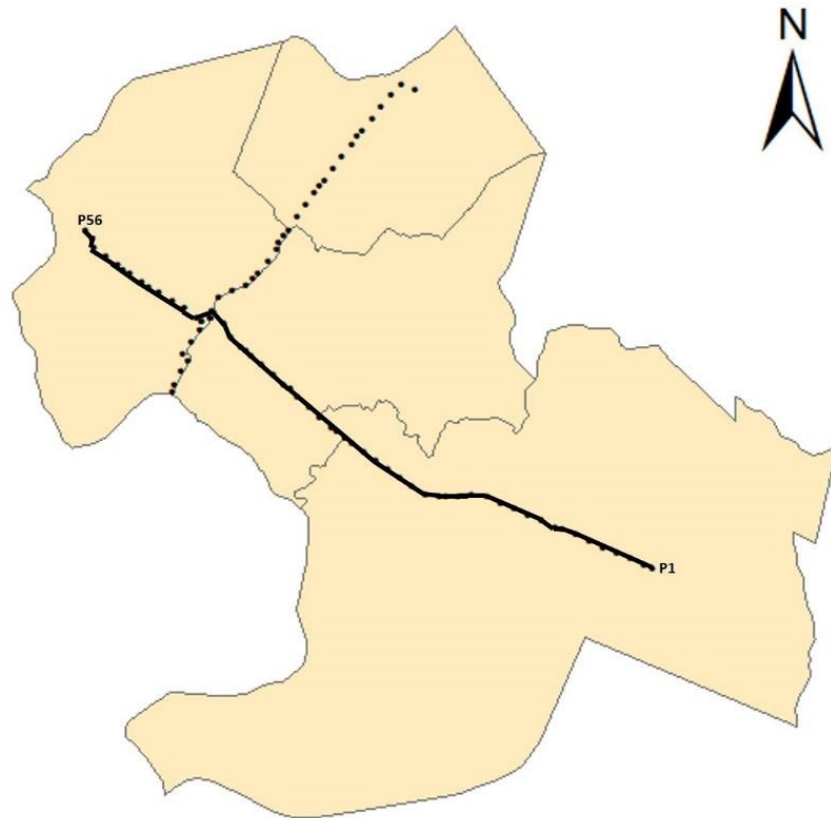


FIGURA 9 – Localização dos pontos em Cuiabá/MT no Transecto 1.

Posteriormente, o Transecto 2 no sentido Sul/Norte com aproximadamente 11,6km, iniciando no ponto 57 (P57) finalizando no ponto 91 (P91), com 35 pontos (Figura 10).

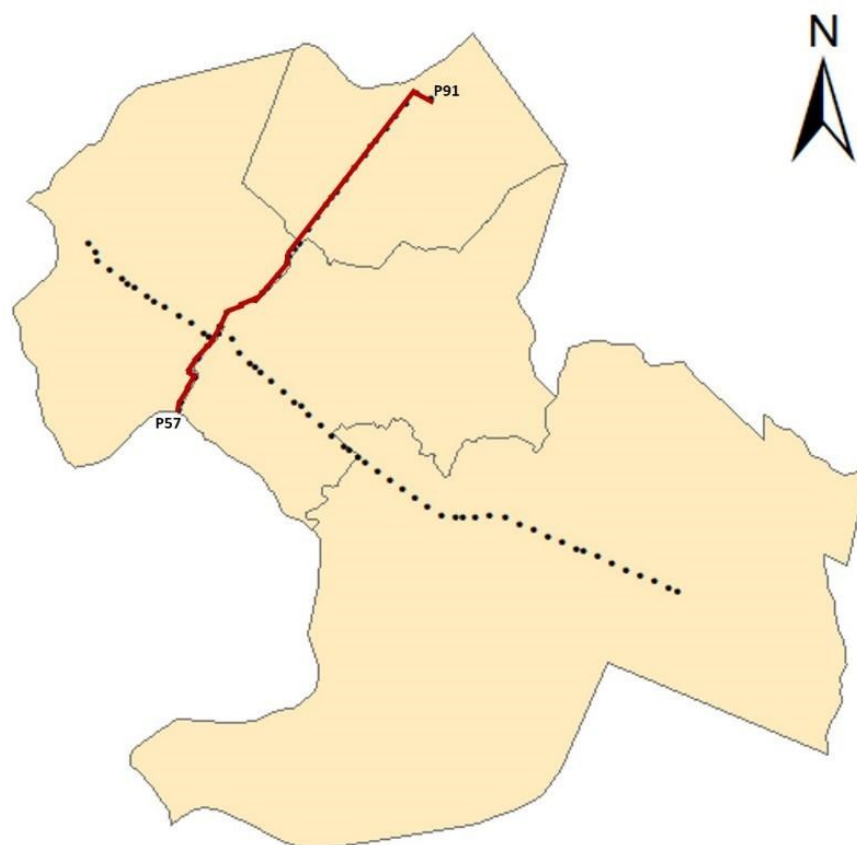


FIGURA 10 – Localização dos pontos em Cuiabá/MT no Transecto 2.

As medições foram realizadas nas quatro estações de 2019, seguindo o mesmo período utilizado por SANTOS (2012) e PAULA (2017) a partir das 20h, horário que as temperaturas do ar não experimentam mudanças rápidas pela ausência da radiação solar, justamente pela diferença de tempo entre a primeira e a última medida.

Foram estabelecidos dias com condições de tempo atmosférico ideal, ou seja, céu claro e ventos fracos (OKE, 1982), devido a essas condições as medições ocorreram de forma diferenciada ao longo dos meses, em todas as estações do ano (Tabela 2a, 2b e 2c).

Para as coletas realizadas em 2011 e 2012 (Tabela 4a), utilizou-se um Datalogger de temperatura e umidade do ar da marca Instrutherm, modelo HT-500, denominado sensor (1), protegido por abrigo, acoplado na lateral de um veículo, aproximadamente a 2,00m do solo. Simultaneamente, foi utilizado GPS/MAP da marca Garmin, modelo 76Cx, obtendo-se as coordenadas geográficas angular e UTM (Universal Transversa

de Mercator), Zona 21, para precisão dos locais de medição dos pontos (SANTOS, 2012) (Figura 11).

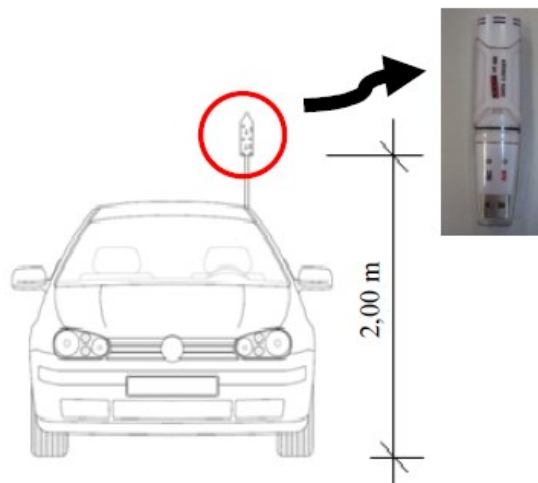


FIGURA 11 - Sensor (1) utilizado por Santos (2012)

FONTE: SANTOS, 2012

TABELA 4a – Período de medição por transectos móveis por SANTOS (2012)

MÊS	DIA	ESTAÇÃO
ABRIL/2011	12/19/26	OUTONO
MAIO/2011	09/17/26	OUTONO
JUNHO/2011	14/16/21/28	OUTONO/INVERNO
JULHO/2011	07/12/21/26	INVERNO
AGOSTO/2011	08/16/29/30	INVERNO
SETEMBRO/2011	06/19/25/28	INVERNO/PRIMAVERA
OUTUBRO/2011	24	PRIMAVERA
NOVEMBRO/2011	09/23	PRIMAVERA
FEVEREIRO/2012	28	VERÃO
MARÇO/2012	18/19	VERÃO

Para a coleta de dados realizada em 2016 (Tabela 4b), utilizou-se Datalogger com GPS, modelo GK_V02, denominado sensor (2), obtendo as coordenadas geográficas angular e posteriormente convertendo em UTM (Universal Transversa de Mercator) utilizando Datum WGS84 Zona 21S, para precisão dos locais de medições dos pontos.

TABELA 4b – Período de medição por transectos móveis em 2016, realizada por PAULA (2017)

MÊS	DIA	ESTAÇÃO
MARÇO/2016	04/06/18/20	VERÃO
MAIO/2016	11	OUTONO
JUNHO/2016	06/11/12	OUTONO
JULHO/2016	12	INVERNO
AGOSTO/2016	06	INVERNO
SETEMBRO/2016	10/15	INVERNO
OUTUBRO/2016	28/29	PRIMAVERA
DEZEMBRO	11/20	PRIMAVERA

Também se utilizou o RTL-10709 sensor de temperatura do ar e umidade relativa do ar, modelo AM2302, protegido por abrigo, acoplado na lateral de um veículo, fixado a aproximadamente 2,00m do solo (Figura 12).

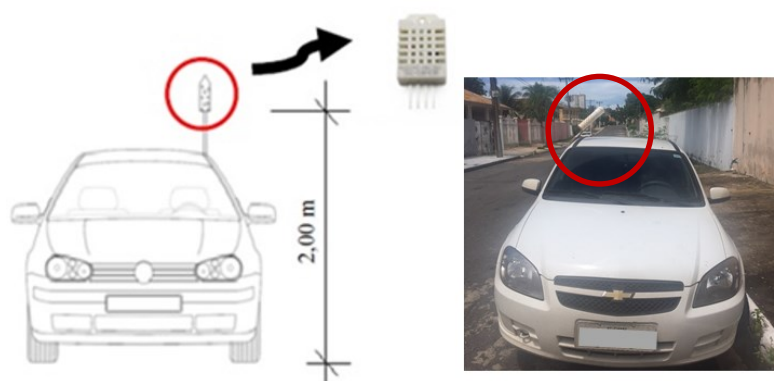


FIGURA 12 – Sensor (2) utilizado por PAULA (2017)

FONTE: PAULA, 2017

As coletas de dados em 2019 (Tabela 4c) utilizaram o sensor (3) modelo DHT22 para medir a temperatura e a umidade relativa do ar. O datalogger foi programado em placa microcontroladora Raspberry Pi 3, configurado para registros de maneira contínua e automatizada, o programa foi escrito na linguagem Python. Para a visualização e monitoramento instantâneo foi integrado um display para facilitar o processo de operação. Considerando as especificidades da utilização em transecto

móvel, o sensor foi conectado ao datalogger por meio de conectores RJ11, o módulo de GPS acoplado é o modelo GY-GPS6MV2 Ublox, figura 13.



FIGURA 13 – Sensor (3) utilizado em 2019

FONTE: Adaptado de VALIN JR. (2019)

TABELA 4c – Período de medição por transectos móveis em 2019

MÊS	DIA	ESTAÇÃO
MAIO/2019	18/21	OUTONO
JUNHO/2019	11/12	OUTONO
AGOSTO/2019	29/30	INVERNO
SETEMBRO/2019	09/20	INVERNO
DEZEMBRO/2019	04/06/11/20	PRIMAVERA
JANEIRO/2020	20/27	VERÃO
FEVEREIRO/2020	04/16	VERÃO

Para análise dos dados, fez-se o uso das médias dos registros de temperatura do ar e umidade relativa do ar por ponto (utilizando as coordenadas geográficas em UTM para precisão dos locais de medição dos pontos) em cada ano de coleta para as quatro estações.

4.1.1 Tratamento dos dados em 2019

Em 2019, uma parte dos dados da estação de inverno sofreu falhas devido a alguns desvios realizados no transecto 1 decorrentes de obras para ampliação da malha viária no percurso adotado.

A presença de falhas é um problema comum para pesquisadores de ciências ambientais (SILVA JÚNIOR et al., 2019), em situações como essas, deve ser aplicado um método de preenchimento de falhas. Assim foi utilizado o método de preenchimento de falhas desenvolvido por Ventura et al. (2016) que demonstram que o método de Regressão Linear Múltipla (RLM) tem um ótimo desempenho para tratar falhas em dados de temperatura e umidade relativa do ar, que são justamente as variáveis com falhas neste trabalho.

O método de RLM utiliza os valores de outras variáveis para estimar o valor faltante. A Equação 1 define o método:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (\text{Eq.1})$$

Onde a é um vetor de coeficientes calculados a partir do restante da série de dados e x são as variáveis independentes e n a quantidade de variáveis independentes.

Na série de dados original, havia informações de data, hora, latitude e longitude, além de temperatura e umidade relativa do ar no percurso que foi possível coletar os dados, contudo para auxiliar a estimativa no preenchimento de falhas, foram adicionadas informações sobre temperatura e umidade relativa do ar provenientes do INMET (2019), com esta configuração foi possível aplicar o método de Ventura et al. (2016) nos dados ausentes de temperatura e umidade relativa do ar local, completando a série de dados.

Todos os sensores anteriormente a coleta foram calibrados em relação a sensores de referência presentes do núcleo de instrumentação do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.

Para a validação dos dados, foi utilizado como dados de referência os valores obtidos da estação Automática do INMET (Código A901), localizada na 13ª Brigada de Infantaria Motorizada em Cuiabá-MT.

4.2 ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para análise estatística dos dados, fez-se o uso das médias dos registros de temperatura do ar, umidade relativa do ar e ilha de calor nas quatro estações anuais em relação as LCZs classificadas em 2011, 2016 e 2019.

A análise estatística adotada foi inicialmente a verificação da normalidade dos dados, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (TORMAN et. al, 2012) para avaliar se a distribuição dos dados adere a Normal, sendo rejeitada a aderência com $\text{sig.} < 0,05$.

Após a rejeição da hipótese da normalidade, adotou—se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (SHESKIN, 2011; SABINO et al., 2017) para as comparações entre as medianas dos grupos, sendo detectadas diferenças significativas com $\text{sig.} < 0,05$, ou seja, os grupos evidenciam comportamentos diferentes entre si.

4.3 CLASSIFICAÇÃO A PARTIR DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZs)

A elaboração dos mapas de cada ano de estudo com as zonas climáticas locais nos transectos realizados dentro do perímetro urbano de Cuiabá/MT foi pautada nos pressupostos e metodologias (adaptadas) descritas por Stewart & Oke (2012).

A partir dessa base metodológica e da investigação dos arranjos da paisagem, as classes das LCZs foram identificadas na malha urbana por meio de interpretação visual, utilizando a imagens disponíveis no Google Earth a partir de um diâmetro de 400m, cada LCZ é nomeada individualmente e ordenada por uma ou mais propriedades de superfície.

Cada LCZ utilizará o termo potencial e será nomeada individualmente, ordenada por uma ou mais classes, tipologias construídas e tipologias de cobertura do solo, assim o código para as subclasses é LCZ Xa , onde X é a classe mais predominante do conjunto padrão LCZ, a é a classe inferior (se aplicável) do conjunto padrão.

No entanto, para verificar a influência dos conjuntos padrão e subclasse das LCZs identificadas sobre a temperatura do ar registradas durante os anos de estudo foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis.

Após a aplicação do teste de efeitos para a comparação das medianas entre as subclasses e a temperatura do ar, detectaram sig. $>0,05$, isto é, não demonstraram efeito entre as subclasses e a Tar. Contudo, quando se aplicou o mesmo teste entre as medianas dos grupos padrão e a Tar, foram detectados efeitos significativos com sig. $<0,05$.

Neste sentido, Stewart & Oke (2012) fazem ressalvas quanto ao uso de subclasses seja pela dificuldade de reconhecer previamente o comportamento termal em razão da inexistência de propriedades físicas pré-definidas no sistema, ou devido às diferenças térmicas entre LCZs sucessivas no conjunto padrão não ultrapassam 1-2°C, isto é, o campo térmico das LCZs é espacialmente contínuo, levando a condição do ar de uma classe a se fundir de modo gradual com aquela existente nos limites das LCZs circunvizinhas.

Assim, foram admitidas apenas as classes padrão que persistiram durante os 3 anos de pesquisa e que demonstraram maior efeito sobre as variáveis térmicas, sendo: Médio-compacto (LCZ 2), Baixo-compacto (LCZ 3), Alto-aberto (LCZ 4), Médio-aberto (LCZ 5), Baixo-aberto (LCZ 6), Baixo-grande (LCZ 8), Ocupação esparsa (LCZ 9) e Vegetação arbórea densa (LCZ A).

Desse modo, adotou-se as classes potenciais padrão para analisar as variações térmicas em cada estação do ano durante os anos de estudo e nos prováveis cenários futuros.

4.3.1 Cálculo da ilha de calor

Stewart & Oke (2012) propõem que a ilha de calor seja representada pela diferença de temperatura do ar entre as *LCZs*, sendo possível analisar as superfícies comuns e as características das tipologias construídas e cobertura do solo na comparação de casos, evidenciando e facilitando o reconhecimento das influências urbanas sobre a temperatura do ar, conforme equação 2.

$$ICU = LCZX - LCZY \quad (eq. 2)$$

OKE et al. (2017) explicam que a aplicação desse preceito do sistema LCZ fornece maior significado às análises das intensidades das ICUs entre os contrastes térmicos no espaço intraurbano, explicando as relações da temperatura com a morfologia e o material de superfície.

Assim, a ICU passa a ser entendida como uma anomalia térmica com magnitudes que variam conforme as diversas combinações existentes entre as LCZs da área de estudo (STEWART, 2011).

Desse modo, a magnitude da ilha de calor urbana observada nos transectos será relacionada com as potenciais LCZs padrão com o objetivo verificar quais as tipologias construtivas e propriedades de superfície têm colaborado na elevação da temperatura do ar dentro da área de estudo.

4.4 COLETA DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS

Para obtenção das propriedades de superfície dos 91 pontos, utilizou-se o diâmetro de 400m para verificação da cobertura do solo (STEWART & OKE, 2012).

Assim para utilizar os dados de cobertura do solo, pesquisadores como Rosa (2009), Tangerino & Lourenço (2013) recomendam a técnica MAXVER (máxima verossimilhança), que consiste na classificação da imagem ponto a ponto, a partir de classes fornecidas pelo usuário, isto é, a análise do uso da terra é efetuada por meio digital, com a interferência do usuário para a definição das áreas de treinamento para a classificação.

Desta maneira, foram gerados os mapas temáticos em software SIG empregando o método de classificação supervisionada e validados por meio da técnica MAXVER, a partir de imagens do software Google Earth de cada ano de estudo, obtendo as porcentagens referentes a cada classe de interesse, isto é, porcentagem de cobertura edificada, permeável e impermeável.

A relação dos percentuais de cobertura do solo com as classes potenciais padrão nos anos de estudo com os valores de referência, podem ser observados na Tabela 8.

TABELA 8 - As comparações das propriedades de superfície de cada ano, com os valores de referência das classes LCZs potenciais padrão

<i>LCZs</i>	% EDIF 2011	% EDIF 2016	% EDIF 2019	% EDIF REF.	% PERM . 2011	% PERM . 2016	% PERM . 2019	% PERM . REF.	% IMP 2011	% IMP 2016	% IMP 2019	% IMP. REF.
2	40.90	42.36	46.61	40-70	26.16	22.81	20.32	<20	32.93	34.88	33.07	30-50
3	36.71	15.70	33.56	40-70	39.02	60.50	46.16	<30	24.52	23.80	20.28	20-50
4	31.03	36.16	46.41	20-40	35.85	25.07	23.95	30-40	32.92	38.77	29.64	30-40
5	31.52	19.34	38.06	20-40	32.62	42.78	39.35	20-40	35.86	37.88	22.59	30-50
6	27.88	30.51	25.22	20-40	50.36	39.36	57.38	30-60	21.77	30.18	17.40	20-50
8	29.30	36.32	34.55	30-50	42.81	34.56	39.42	<20	27.76	29.14	26.03	40-50
9	25.89	14.14	25.24	10-20	43.55	62.23	50.28	60-80	30.56	23.63	24.47	<20
A	8.75	13.04	10.58	<10	75.41	72.68	73.74	>90	15.85	14.29	15.67	<10

Os percentuais correspondentes a cada classe potencial padrão foram utilizados para verificar o efeito das propriedades de superfície nas variações térmicas em cada estação do ano durante os anos de estudo (2011-2012, 2016 e 2019-2020).

4.5 PROGNÓSTICO DA TEMPERATURA DO AR EM ESCALA MICROCLIMÁTICA

Os modelos criados para o ano de 2021 utilizaram os dados de 2011-2012 para treinamento, com o objetivo de obter os dados de 2016 como saída desejada, isto é, elaborou-se um modelo com dados de entrada de 2011/2012 com saída medida com dados de 2016. Para tanto, 90% dos dados foram utilizados para treinamento até

encontrar a saída desejada (medida) e posteriormente os 10% restantes foram utilizados para testar os modelos. A escolha do ano de 2021 é devido a utilização dos dados de 2011 e 2016, isto é, intervalo de 5 anos.

Para criação do modelo foram testadas diferentes combinações, dessa forma, foi possível salvar o melhor modelo para cada estação do ano, isto é, o que apresentou existência de relação útil entre a variável resposta e a variável regressora, adotando o Coeficiente de Determinação – R^2 (quanto mais próximo a 1, maior é a relação de dependência entre as variáveis).

Utilizando dados microclimáticos noturnos de Temperatura do ar e Umidade relativa do ar de cada estação do ano, que foram coletados em dias específicos (Tabela 4a e 4b) nos anos de 2011/2012 e 2016, além de dados de cobertura do solo de cada ano (paisagística, arbórea, solo exposto, área pavimentada, área edificada e água) extraídos a partir de imagens do Google Earth.

Os modelos obtiveram elevada concordância entre os dados medidos e os dados previstos nas quatro estações do ano. Desse modo, o melhor modelo de outono (Figura 14a) apresentou R^2 0,88 e o de inverno (Figura 14b) obteve R^2 0,97.

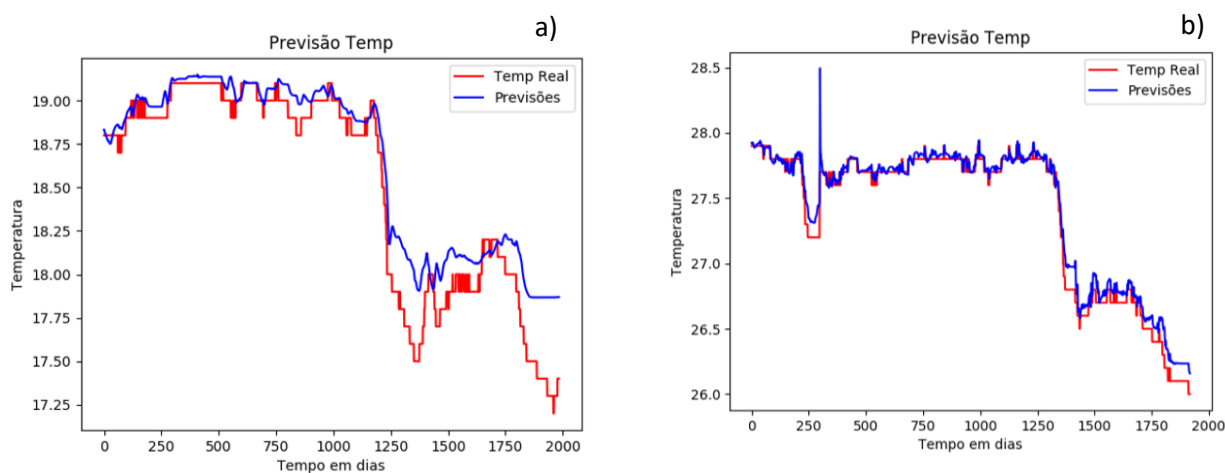


FIGURA 14 - Modelos de Outono (a) e Inverno (b), de 2011 para 2016 adaptado de Guarienti (2020)

FONTE: GUARIENTI (2020)

Resultados parecidos foram encontrados por Mihalakakou et al. (2004) utilizando rede neural, observaram relação útil na precisão das estimativas da intensidade da ilha de calor com valores variando entre 0,80 a 0,94.

O melhor modelo da primavera (Figura 15a) obteve R^2 0,94 e para o verão (Figura 15b) alcançou R^2 0,99. Indicando em ambos os modelos a alta relação entre os dados medidos e previstos.

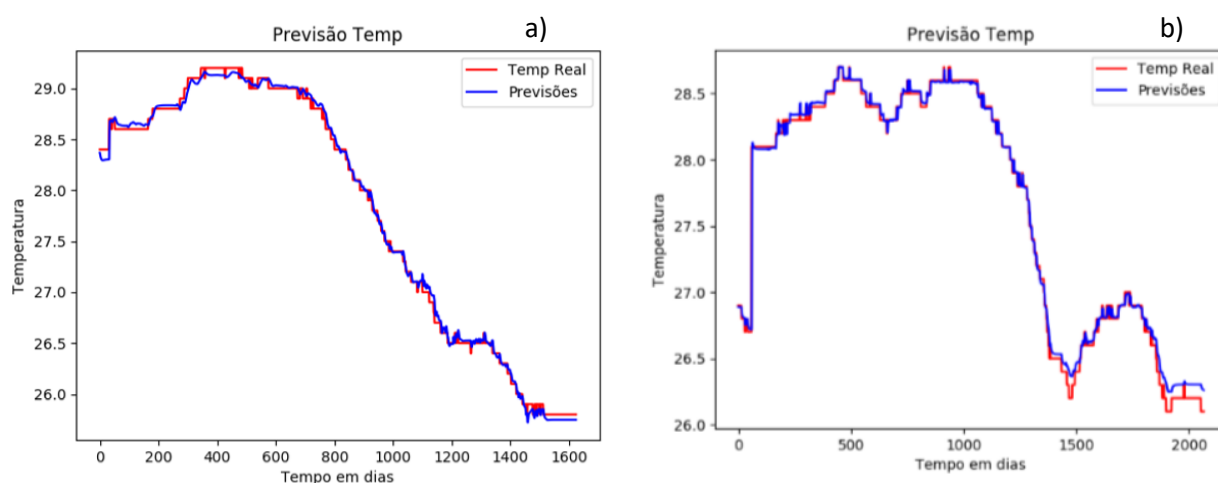


FIGURA 15 - Modelos de Primavera (a) de 2011 para 2016, e Verão (b) de 2012 para 2016 adaptado de Guarienti (2020)

FONTE: GUARIENTI (2020)

Coincidindo com a pesquisa de Afzali et al. (2011), que encontraram boa concordância entre os valores previstos e medidos, na ordem de 0,97 a 0,98 utilizando RNA.

A partir da comparação entre os modelos com relação ao R^2 , observou-se que o modelo que está mais distante de 1 é o outono com R^2 0,88, seguido da primavera com R^2 0,94.

Estudos na área de climatologia em Cuiabá, destacam que os meses de abril e outubro são caracterizados como de transição do período úmido para o seco e do seco para o úmido, devido a influência da massa tropical continental que provoca instabilidade na região (CALLEJAS, 2012).

As estações que apresentaram melhor coeficiente de determinação foram inverno com R^2 0,97 e o verão com R^2 0,99.

O inverno manifesta baixa umidade do ar, o que influencia em altas amplitudes térmicas diárias e aumento da temperatura máxima. O verão, tem como característica ser uma estação quente-úmida, período de maior precipitação pluviométrica na região, favorecendo a estabilidade da temperatura do ar (CALLEJAS, 2012).

Logo, os modelos gerados a partir dos dados de 2011/2012 para prever 2016 têm relação útil elevada com as variáveis preditoras, de acordo com os respectivos coeficientes de determinação, podendo ser utilizados para a estimativa da temperatura do ar para 2021.

Os dados utilizados para o prognóstico foram os 300 valores finais de cada conjunto de dados, isto é, os últimos 300 registros estimados de cada estação de cada ano representavam a previsão da Temperatura do ar para 2021.

Os cenários foram produzidos utilizando software Surfer, onde foram colocados os dados de longitude e latitude relacionado a temperaturas do ar para cada estação do ano no período noturno, estimada para 2021.







Por fim, foram realizadas análises das diferenças de temperatura do ar em relação a cada classe potencial e as prováveis alterações de morfologia urbana para 2021.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CARACTERÍSTICAS DAS POTENCIAIS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZs) NOS TRANSECTOS

Neste item foram descritas as características de cada classe potencial referente a forma, fluxo, função e uso predominante e a localização dos transectos em cada ano de estudo, conforme Tabela 9.

TABELA 9 - As principais características de cada potencial zona climática local (LCZ) em Cuiabá/MT nos Transectos

LCZs	Descrição	Vista aérea/ Panorâmica
<p>LCZ 2. Alto-compacto</p> 	<p>Forma: Edifícios de média altura (3 a 9 pavimentos) em área densamente construída. Cobertura do solo na maior parte pavimentada, poucas ou nenhuma árvore. Função: Comercial. Localização: Centro da cidade.</p> <p>Pontos 2011(9): P42, P43, P44, P46, P47, P63, P67, P68, P70</p> <p>Pontos 2016 (10): P42, P43, P44, P45, P46, P47, P63, P64, P66, P67</p> <p>Pontos 2019 (14): P22, P33, P34, P39, P40, P43, P45, P44, P47, P63, P64, P67, P68, P71</p>	 
<p>LCZ 3. Médio-compacto</p> 	<p>Forma: Edifícios baixos e pequenos (1 a 3 pavimentos) em área densamente construída. Cobertura do solo na maior parte pavimentada, poucas ou nenhuma árvore. Função: Residencial e comercial. Localização: centro da cidade, área de edificações comerciais ao longo de vias de tráfego intenso</p> <p>Pontos 2011 (2): P25, P41</p> <p>Pontos 2016 (2): P88, P89</p> <p>Pontos 2019 (6): P41, P42, P66, P87, P88, P89</p>	 

LCZ 4. Alto-aberto

Forma: Edifícios de elevada altura (acima de 10 pavimentos) em arranjo aberto de menor adensamento, cobertura do solo com árvores esparsas e vegetação arbustiva. **Função:** Comercial, residencial e institucional. **Localização:** região norte e oeste da cidade.



Pontos 2011(5): P48, P49, P50, P71, P73

Pontos 2016 (9): P48, P49, P50, P51, P68, P69, P70, P71, P72

Pontos 2019 (8): P48, P49, P50, P51, P65, P69, P70, P72

**LCZ 5. Médio-aberto**

Forma: Edifícios de média altura (3 a 9 pavimentos) em arranjo aberto de menor adensamento, cobertura do solo com árvores esparsas e vegetação arbustiva. **Função:** Comercial e Institucional. **Localização:** região ao redor do centro da cidade



Pontos 2011(2): P45, P51

Pontos 2016 (3): P73, P75, P77

Pontos 2019 (4): P46, P73, P74, P75

**LCZ 6 - Médio adensamento de baixa altura**

Forma: Edifícios de baixa altura (1 a 3 pavimentos) em arranjo aberto de menor adensamento, cobertura do solo com árvores esparsas e vegetação arbustiva. **Função:** áreas com predomínio de residências. **Localização:** região norte da cidade



Pontos 2011(4): P12, P26, P29, P88

Pontos 2016 (6): P41, P52, P53, P65, P82, P87

Pontos 2019 (1): P54



LCZ 8. Baixo-grande

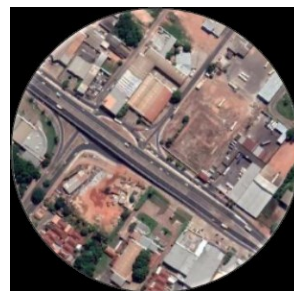
Forma: Edifícios de baixa altura (1 a 3 pavimentos) em arranjo aberto, cobertura do solo na maior parte pavimentada, poucas ou nenhuma árvore. **Função:** edificações comerciais e institucionais. **Localização:** ao longo de vias estruturais e principais de tráfego intenso.



Pontos 2011(47): P1, P2, P3, P4, P5, P6, P9, P10, P11, P13, P15, P16, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P27, P28, P30, P31, P33, P34, P35, P36, P38, P39, P40, P57, P58, P59, P60, P61, P62, P64, P65, P66, P69, P74, P75, P82, P84, P85, P86

Pontos 2016 (45): P1, P2, P3, P4, P5, P6, P9, P10, P11, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P28, P29, P30, P32, P31, P33, P34, P35, P36, P37, P38, P39, P40, P57, P58, P59, P60, P61, P62, P76, P85, P86

Pontos 2019 (40): P1, P2, P3, P4, P5, P6, P9, P10, P13, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P24, P25, P26, P28, P29, P30, P31, P32, P35, P36, P37, P38, P57, P58, P59, P61, P62, P60, P76, P82, P84, P85, P86, P91

**LCZ 9.** Ocupação esparsa

Forma: Edifícios de média e baixa altura com árvores esparsas. **Função:** edificações comerciais e institucionais. **Localização:** zona de expansão urbana da cidade e corredores de tráfego.



Pontos 2011 (7): P17, P32, P52, P53, P72, P76, P77

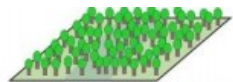
Pontos 2016 (5): P81, P27, P54, P84, P74

Pontos 2019 (7): P11, P12, P2, P52, P53, P77, P81



LCZ A - vegetação arbórea densa

Forma: Paisagem densamente arborizada. Árvores espaçadas em terreno permeável (vegetação rasteira). Poucas ou nenhuma estrada ou edifício. **Função:** Lazer, proteção ambiental. **Localização:** Parque Urbano e/ ou Zonas de Interesse ambiental ao longo de vias de alto tráfego.



Pontos 2011(9): P14, P54, P55, P56, P78, P79, P80, P81, P83

Pontos 2016 (7): P12, P55, P56, P78, P79, P80, P83

Pontos 2019 (7): P14, P55, P56, P78, P79, P80, P83



Desta maneira, a quantidade de pontos em cada uma das potenciais classes em 2011 (figura 16) foram: 47 em LCZ8, seguido de 9 em LCZ2 e A, 7 em LCZ9, 5 pontos como LCZ4, 4 em LCZ6, 2 em LCZ5. Portanto, a tipologia predominante é de grandes edificações de baixa altura com cobertura do solo na maior parte pavimentada.

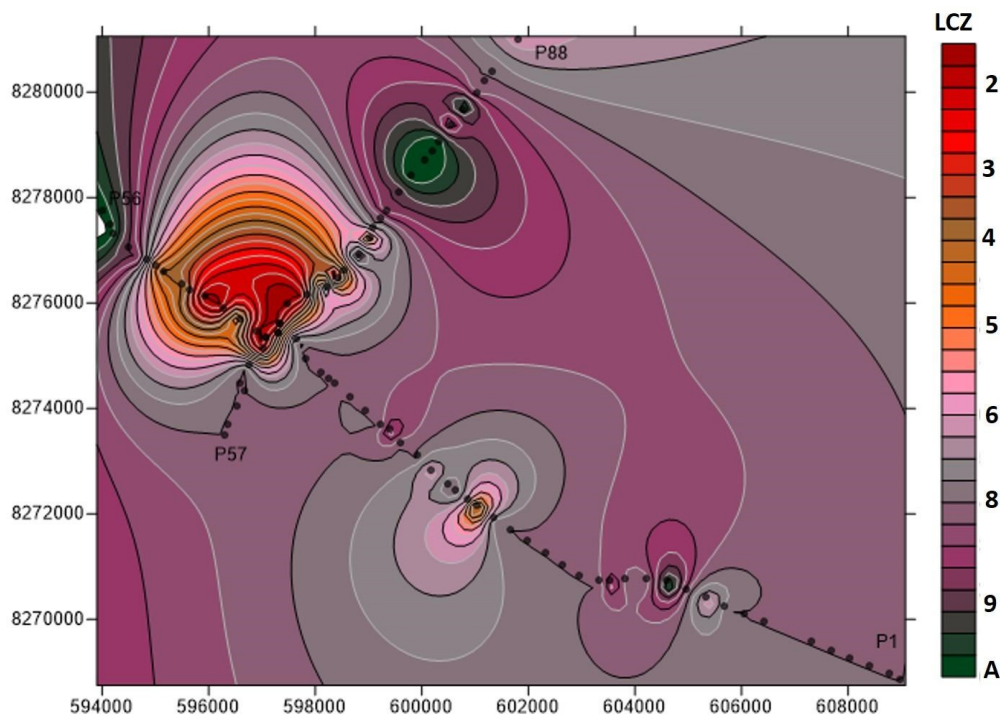


FIGURA 16 – As potenciais LCZs no ano de 2011 em Cuiabá/MT nos transectos 1 e 2.

Entretanto em 2016 (figura 17), houve diminuição de pontos nas LCZs 8 (45), LCZ9 (5) e LCZA (2), por outro lado identificou-se aumento nas LCZs 2 (10), LCZ4 (9), LCZ5 (3), LCZ6 (6) e na LCZ3 (2) não houve alteração. Desse modo em 3 anos ao longo dos transectos, nota-se tendência de verticalização e aumento no adensamento nas áreas próximas ao centro e ao longo das vias de tráfego intenso, ou seja, a construção de prédios acima de 3 pavimentos, menor afastamento entre as edificações e diminuição de cobertura vegetal.

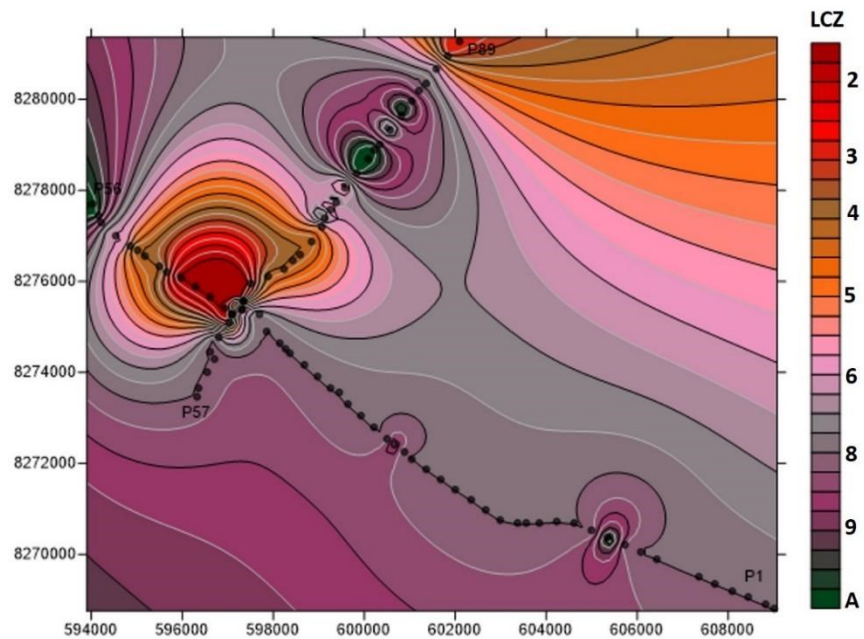


FIGURA 17 – As potenciais LCZs no ano de 2016 em Cuiabá/MT nos transectos 1 e 2

Em 2019 (figura 18) nota-se que a LCZ2 (14) e LCZ5 (4) continuam em expansão, a LCZ3 (6) e LCZ9 (7) apresentam aumento e a LCZA não exibe alteração, no entanto nas classes LCZ8 (40) e LCZ6 (1) foram identificadas diminuição.

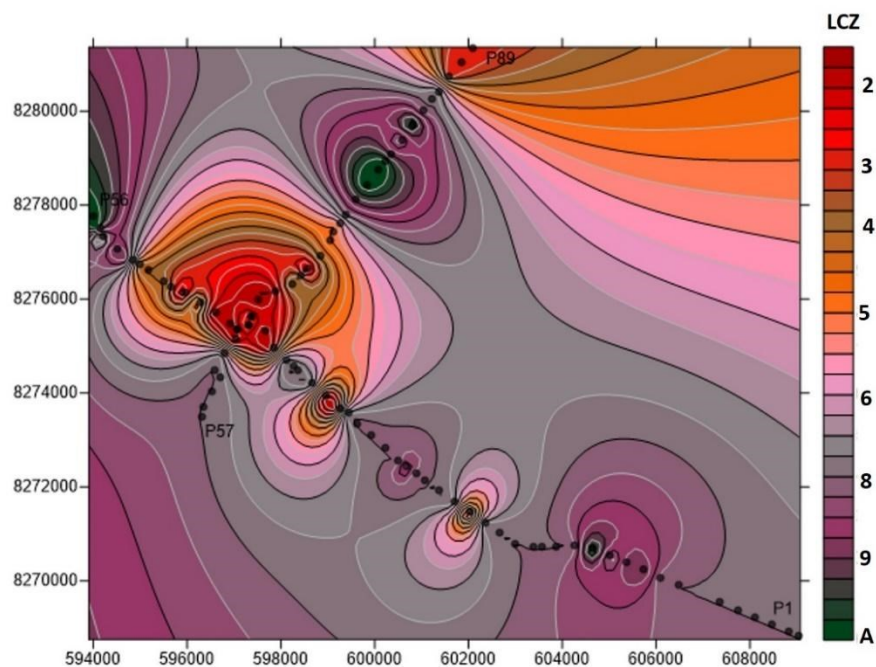


FIGURA 18 – As potenciais LCZs no ano de 2019 em Cuiabá/MT nos transectos 1 e 2

Em vista disso, em 8 anos na área de estudo, observa-se a consolidação do adensamento e cânion urbano nas áreas próximas ao centro e ao longo das vias de tráfego intenso, isto é, construção de prédios de 3 a 9 pavimentos com menor afastamento entre as edificações.

Dessa maneira, é possível verificar a ocorrência de grande área impermeável nos transectos pelo predomínio de grandes edificações de baixa altura (LCZ8) em regiões de uso comercial e institucional ao longo de vias estruturais e principais, assim como a tendência de verticalização relacionado ao aumento de pontos na LCZ2 (Médio-compacto) com cânion urbano consolidado e a LCZ3 (Baixo-compacto) na região central da cidade associado ao menor afastamento entre as edificações e com pouca ou nenhuma vegetação.

LCZ4 (Alto-aberto) são identificadas em zonas de uso múltiplo da cidade, preferencialmente por edifícios residenciais multifamiliares e comerciais, ou seja, edifícios acima de 10 pavimentos implantados com maior afastamento e presença de vegetação. No entanto, quando se refere a LCZ9 (Ocupação esparsa) estão mais afastadas da região central, preferencialmente em zonas de corredor de tráfego constituído por edifícios de uso comercial. Todavia, observa-se a manutenção de pontos em LCZA (área com vegetação arbórea densa) presente nos parques urbanos e zonas de interesse ambiental ao longo ou próximo a vias de tráfego intenso.

Concordando com pesquisa realizada por Ferreira & Ugeda Júnior (2020), apontando que as configurações densamente construídas (LCZ2 e 3) estão na região do centro da cidade e as áreas verticalizadas (LCZ4) encontram-se mais isoladas e afastadas da região central de Cuiabá/MT.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DO ANO EM 2011-2012, 2016 E 2019-2020

Esta pesquisa teve como um dos objetivos específicos analisar o comportamento das variáveis termohigrométricas (médias da temperatura do ar e umidade relativa do ar) nos anos de 2011-2012, 2016 e 2019-2020 em dias específicos

(Tabelas 4a, 4b e 4c). Para tanto se fez necessário observar as características climáticas nos dias correspondentes as estações em cada ano em relação às normais climatológicas (1981-2010).

Observa-se que durante a estação do outono de 2011 ocorreu aumento de Tar de $0,91^{\circ}\text{C}$, queda de $1,79^{\circ}\text{C}$ em 2016 e elevação de $1,5^{\circ}\text{C}$ em 2019 quando comparada às normais climatológicas. Ressalta-se que esses dados equivalem a aumento de 3,58%, diminuição de 7,04% e elevação de 5,90%, respectivamente.

Paula (2017) relata que no outono de 2016 observaram-se alguns dias de friagem, que é caracterizada pela invasão do Anticiclone Polar vindo do oceano Pacífico, provocando um forte declínio na temperatura do ar, com céu limpo e pouca umidade específica.

No Inverno ocorreu elevação de Tar em todos os anos, sendo que em 2011 foi de $3,91^{\circ}\text{C}$, $4,33^{\circ}\text{C}$ em 2016 e $7,59^{\circ}\text{C}$ em 2019. Correspondendo a aumento de 15,79%, 17,49% e 30,62%, em relação às normais, respectivamente. Os meses que correspondem a coleta de dados da estação do inverno de 2019 são agosto e setembro, neste último, segundo INPE (2020) foram registradas temperaturas máximas superiores a 38°C .

Na Primavera ocorreu aumento de Tar em todos os anos, sendo os maiores registros em relação às normais em 2011 de $3,52^{\circ}\text{C}$, em 2019 de $2,05^{\circ}\text{C}$, a elevação em 2016 foi de $0,06^{\circ}\text{C}$. Os dados equivalem a alta de 12,87% em 2011, 7,49% em 2019 e de 0,21% em 2016.

Paula (2017) relata que durante a coleta de dados referente à primavera de 2016, foram observados aumento no volume de precipitação e temperaturas mais amenas.

No Verão ocorreram acréscimos na Tar em relação às normais em todos os anos, sendo os maiores registros em 2020 de $3,29^{\circ}\text{C}$ o equivalente a 12,19%, seguido de 2016 com $1,33^{\circ}\text{C}$ correspondendo a 4,93% e por fim 2012 com $0,82^{\circ}\text{C}$ representando 3,04%, conforme Figura 19.

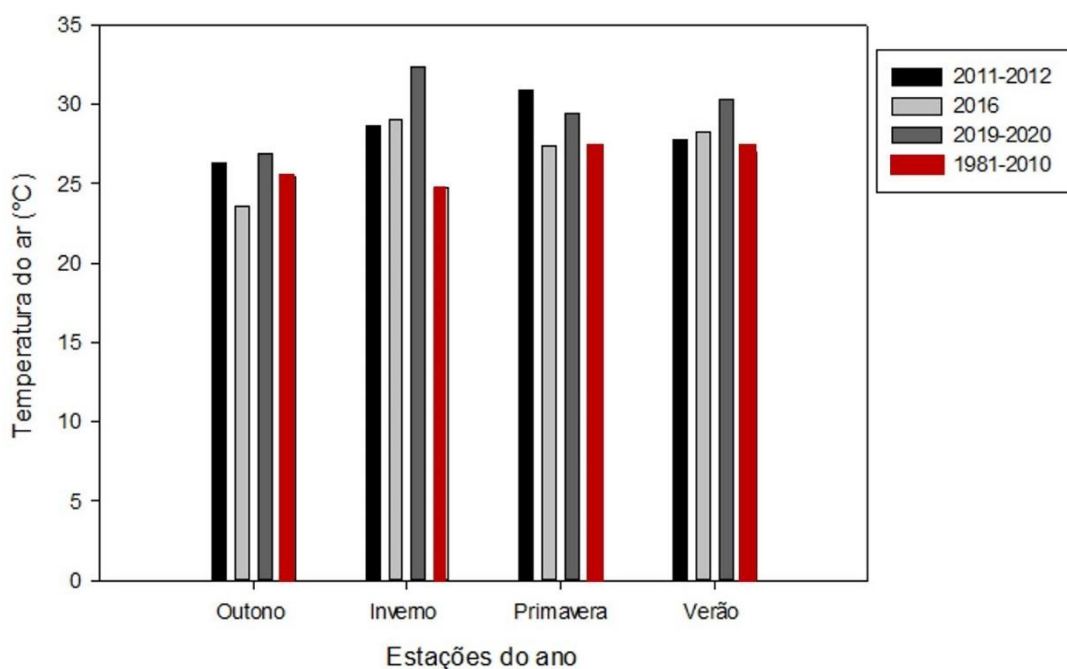


FIGURA 19– Caracterização da média da Temperatura do ar entre os anos e as Normais climatológicas

Em Cuiabá/MT a média da temperatura mensal é de aproximadamente 27°C no período quente-úmido que contempla as estações de primavera e verão, contudo a temperatura do ar atinge os 40°C frequentemente. Os menores valores das médias de temperatura mensal ocorrem na transição do outono para o inverno, em torno de 22°C, mas as temperaturas podem atingir até 10°C quando frentes frias vindas do Sul passam sobre a região (INPE, 2020).

Considerando a média da umidade relativa do ar durante as estações do ano ocorreram redução em todos os anos, em relação às Normais Climatológicas. Na estação do outono de 2016 ocorreu queda de 16,81%, seguido de 2019 com 15,96% e posteriormente 2011 com 12,07%. O inverno como já é esperado, continuou como a estação mais seca, destacando o ano de 2016 com baixa de 30,18%, 2019 com 27,41% e 2011 com 18,02%.

Ressalta-se que as estações do outono e inverno compõe o período quente-seco, devido a presença de massas de ar seco sobre o centro do Brasil que inibem as precipitações, associadas à intensidade de fumaça resultante das frequentes queimadas nessa época do ano, reduzindo a umidade relativa do ar a níveis muito baixos. Os

valores médios ficam próximos de 55%, podendo atingir 15% em casos extremos (INPE, 2020).

As estações que compõe o período quente-úmido são Primavera e verão, assim durante a primavera de 2011 ocorreu declínio de 19,74%, seguido de 2016 com 14,6% e 2019 com o menor valor 3,17%, tal diferença em relação aos outros anos pode ser devido aos volumes de chuva próximos à média histórica, conforme Figura 20.

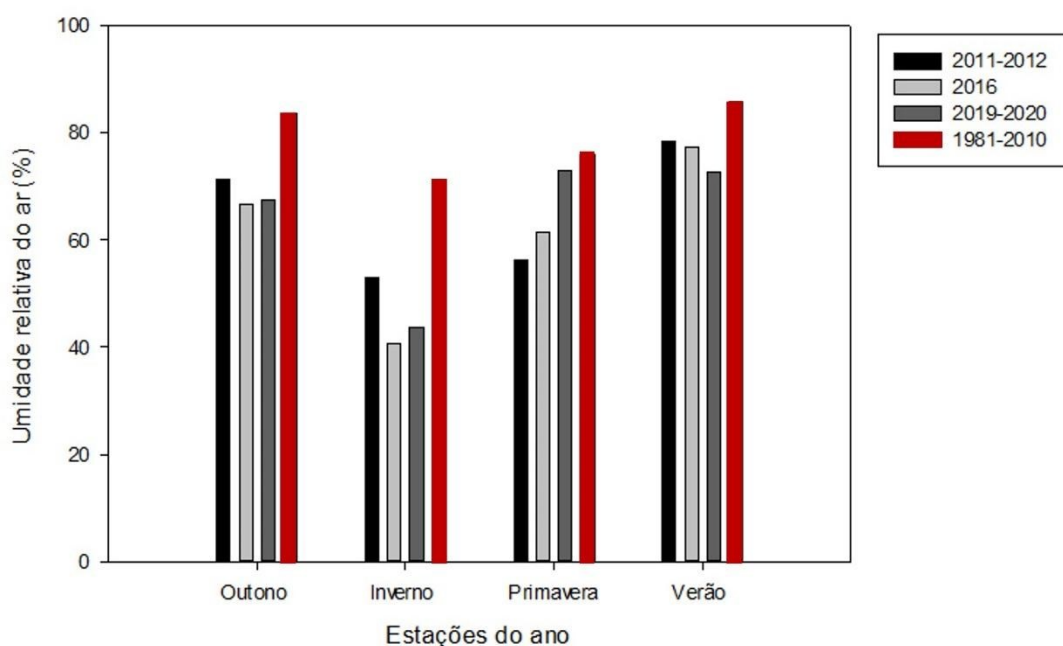


FIGURA 20 – Caracterização da média da Umidade relativa do ar entre os anos e as Normais climatológicas

Durante a estação do verão também foram observados declínios de UR, sendo em 2020 de 13,13%, seguido de 8,34% em 2016 e de 7,25% em 2012 em relação às normais.

Nos meses que compõem a estação do verão, a umidade relativa do ar gira em torno de 80%, todavia durante os dias de coleta relativos ao verão de 2020 os acumulados de chuva foram inferiores a 300 mm e as temperaturas foram elevadas (INPE, 2020).

No que se refere a precipitação durante o período de coleta da pesquisa, observou-se que a estação do outono de 2019 foi a mais seca, seguido de 2016 com

4,4mm e 2011 com 62,67mm. A estação do inverno foi marcada por baixos registros de precipitação, isto é, durante os dias de coleta no ano de 2019 não houveram episódios de chuva, e em 2011 e 2016 os registros foram de 17mm e 16mm, respectivamente, figura 21.

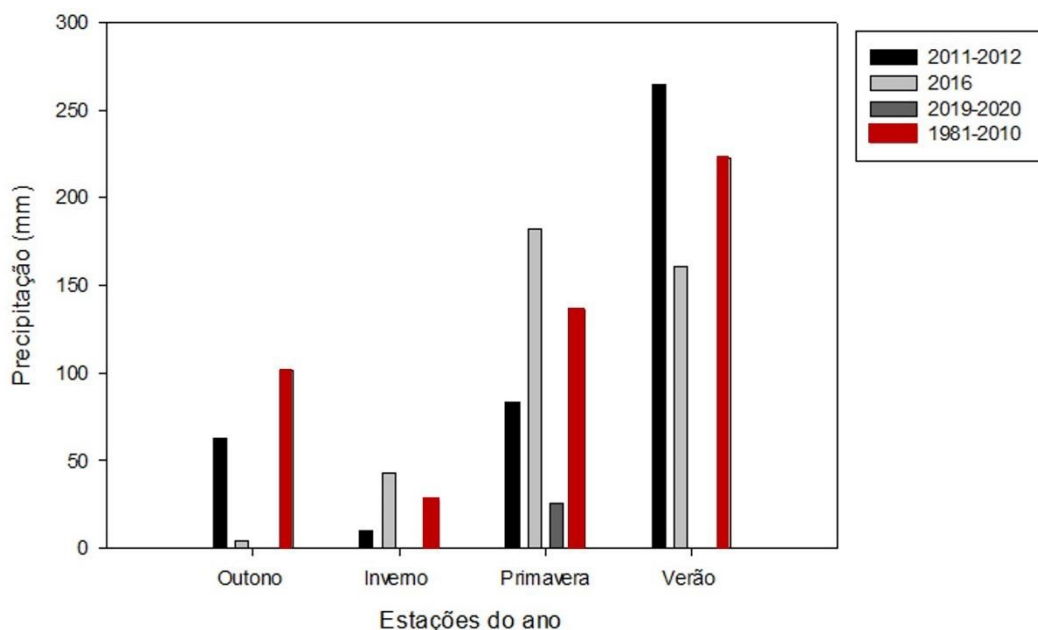


FIGURA 21 – Caracterização da média da Precipitação entre os anos e as Normais climatológicas

Segundo pesquisas anteriores, já eram observados baixos volumes de precipitação nos meses correspondentes às estações de outono e inverno (SANTOS, 2012; PAULA, 2017).

Na primavera ocorreu queda de precipitação em 2019 e 2011, com registros de 25,6mm e 82,83mm respectivamente. No entanto, em 2016 o volume registrado foi de 182mm o equivalente a 34% acima das normais. Durante o verão de 2012 ocorreram registros de 264,65mm representando alta de 18,82% em relação às normais, 2016 o volume de precipitação registrado foi de 161mm e 2020 o ano mais seco, conforme figura 15.

Evidencia-se que as estações de inverno e verão mantiveram as maiores médias de temperatura do ar, contudo observou-se que a média da umidade relativa do ar registrou queda em todas as estações, como já havia sido observado em 2016, principalmente durante o inverno.

Os anos de 2019 (outono/inverno/ primavera) e 2020 (verão) foram os mais secos, com os menores registros de precipitação durante o período da pesquisa, tais registros podem ter exercido influência nas variáveis termohigrométricas em escala microclimática.

5.3 POTENCIAIS LCZs E AS VARIAÇÕES TÉRMICAS DURANTE 2011-2012, 2016 E 2019-2020

As análises das variações térmicas e as potenciais LCZs durante os anos de estudo serão analisadas nos itens compreendidos por período quente-seco e quente-úmido.

5.3.1 PERÍODO QUENTE-SECO

Fazem parte do período quente-seco as estações de outono e inverno de 2011, 2016 e 2019.

5.3.1.1 Outono de 2011, 2016 e 2019

Durante o outono de 2011 ocorreram média de Tar de 26,31°C e média de UR de 71,38%, entretanto em 2016 ocorreu diminuição de Tar de até 2,7°C e UR de até 4,76%, já em 2019 a Tar foi de 26,90°C e UR foi de 67,49%, notando aumento de Tar de 3,29°C e de UR de 0,85% em relação a 2016, conforme figura 22.

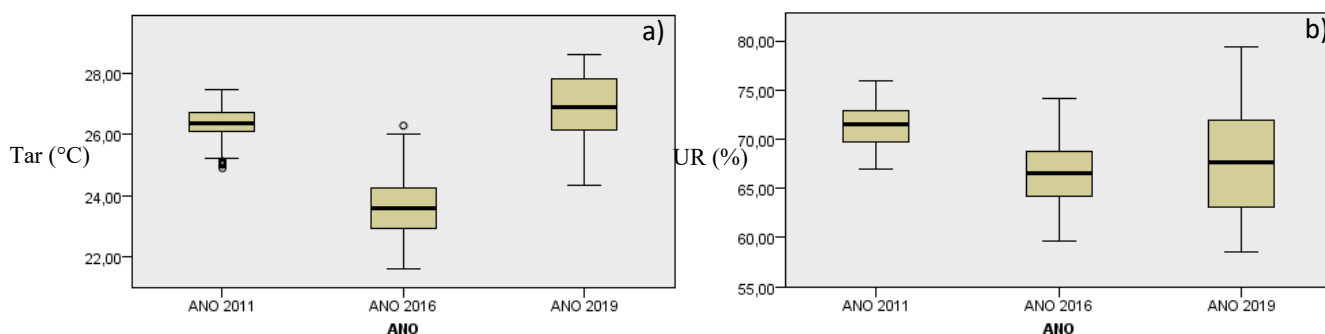


FIGURA 22 – Médias da Temperatura do ar (a) e Umidade relativa do ar (b), no Outono de 2011, 2016 e 2019 nos dias de coleta no período noturno

Quando comparadas as médias em 8 anos, entre 2011 e 2019, houve elevação de até 0,59°C de Tar e queda de 3,89% de UR. Logo, as alterações ocorridas na temperatura do ar e umidade relativa do ar durante o outono estão associadas à

amplitude térmica observada a partir da diminuição de umidade relativa desde de 2016.

Na identificação das variações de Tar ocorridas no outono a partir da classificação LCZ durante os anos de estudo, pode-se observar aquecimento em 2011 em relação à média da estação em LCZ5 (0,82°C), seguida da LCZ4 (0,57°C), LCZ2 (0,50°C) e na LCZA ocorreu arrefecimento de 0,36°C em relação à média da estação.

Em 2016 ocorreu aquecimento em relação à média da estação em: LCZ4 (0,59°C), entretanto ocorreu resfriamento em: LCZ3 (- 1,22°C) e LCZA (-0,90°C). Todavia em 2019, o comportamento foi parecido com o ano de 2011 com a ocorrência de aquecimento acima da média da estação em LCZ5 (1,22°C), LCZ4 (1,20°C) e LCZ2 (0,70°C), enquanto na LCZA observa-se arrefecimento de 1,19°C em relação à média.

Desta forma, as classes com média de Tar elevada foram: Médio-compacto (LCZ5) variando de 27,13 a 28,12°C e a Alto-aberto (LCZ4) variando de 24,20 a 28,10°C em 8 anos. No entanto, a classe Vegetação Arbórea densa (LCZA) permaneceu com os menores registros de Tar em 2011 e 2019, conforme Figura 23.

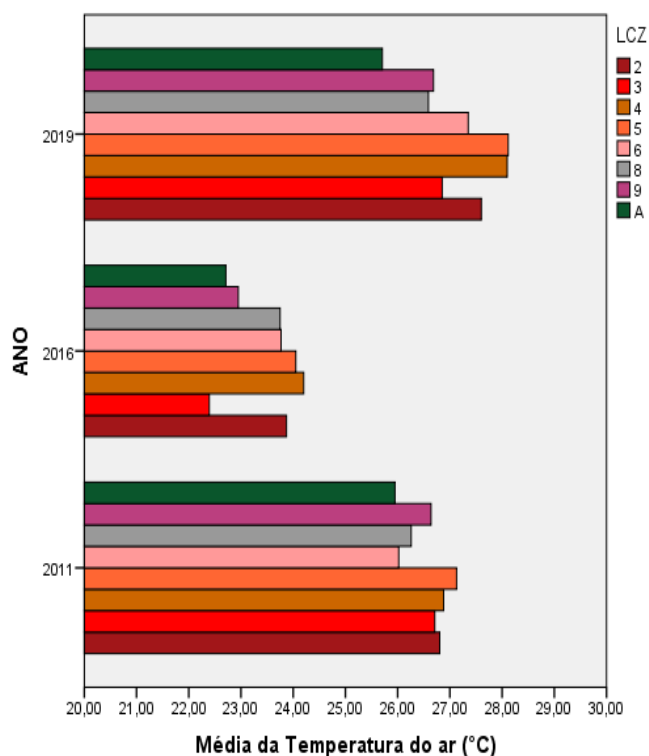


FIGURA 23 – Média da Temperatura do ar entre as potenciais LCZs no Outono de 2011, 2016 e 2019

A média da Tar nas áreas densamente construídas é maior do que no entorno menos urbanizado da cidade, sendo mais acentuada no período noturno e sem vento (STEWART & OKE, 2012).

A maior intensidade da ICU em 2011 foi de 1,18°C expressa por $\Delta\text{TLCZ5-A}$, enquanto em 2016 foi verificada pela diferença $\Delta\text{TLCZ4-A}$ (1,49°C), seguida da $\Delta\text{TLCZ5-A}$ (1,34°C) e $\Delta\text{TLCZ2-A}$ (1,16°C). Já em 2019 a maior intensidade voltou a ser pela diferença $\Delta\text{TLCZ5-A}$ (2,41°C), seguida da $\Delta\text{TLCZ4-A}$ (2,39°C), $\Delta\text{TLCZ2-A}$ (1,89°C) e $\Delta\text{TLCZ6-A}$ (1,64°C), conforme Figura 24.

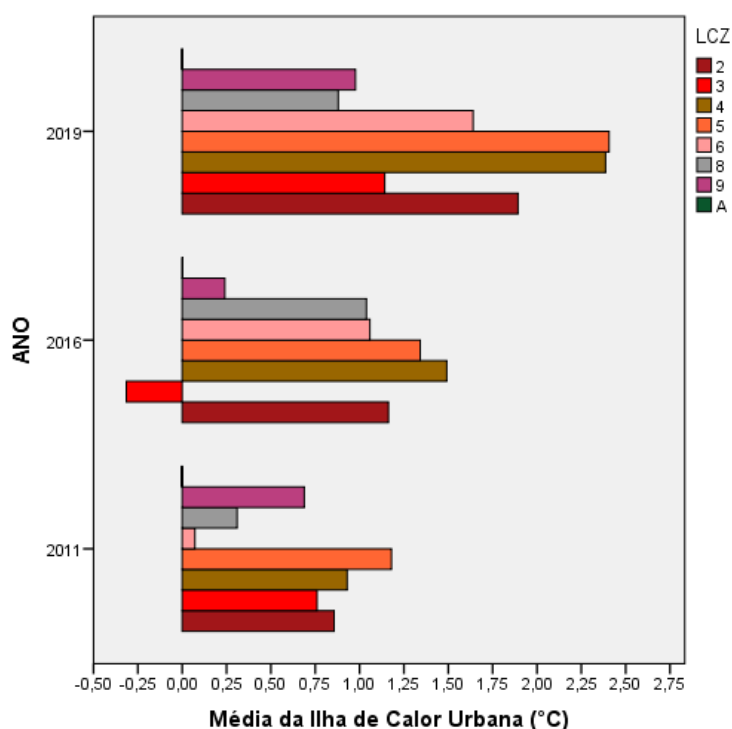


FIGURA 24 - Média da Ilha de calor urbana e as classes potenciais LCZs no outono de 2011, 2016 e 2019

A comparação revela a formação de diferentes ilhas de calor, com intensidades que variam de acordo com as características morfológicas e de cobertura da superfície, isto é, maior aquecimento (1,18 a 2,41°C) foram observadas na LCZ5 (Médio-aberto), (0,93 a 2,39°C) na LCZ4 (Alto-aberto), (0,86 a 1,89°C) na LCZ2 (Médio-compacto) em relação a LCZA (vegetação arbórea densa), logo as regiões com presença de edifícios acima de 3 pavimentos, com pouca ou nenhuma vegetação proporcionaram maior armazenamento de calor.

No entanto as regiões com arrefecimento foram observadas em 2011 e 2019 na LCZA (Vegetação Arbórea densa) e em 2016 (-0,32°C) na LCZ3 (Baixo-compacto), podendo estar relacionada com a baixa altura das edificações que propiciam movimentação de ar e com isso aumentando as trocas convectivas, além de uma maior parcela de céu visível facilitando o resfriamento das superfícies a partir do balanço de energia.

As variações térmicas apontadas na comparação das classes potenciais LCZs considerando também as propriedades de superfície foram analisadas a partir do teste

de Kruskal-Wallis, as medianas dos grupos detectaram diferenças significativas quando $\text{sig.} < 0,05$, assim a elevação de Tar está relacionada com o aumento de %EDF e %IMP, e diminuição de % PERM nas LCZs, conforme a Tabela 10.

TABELA 10 - Efeito das classes potenciais LCZs nas variações térmicas no outono de 2011, 2016 e 2019

Variáveis	Classes Potenciais LCZs				
	2-A	3-A	4-A	5-A	6-A
Tar (°C)/2011	+0,86 Sig. 0,03	+0,76 Sig. 1,00	+0,93 Sig. 0,15	+1,18 Sig. 0,56	+0,07 Sig. 1,00
% EDF/2011	+32,15 Sig. 0,00	+27,96 Sig. 0,09	+22,28 Sig. 0,07	+22,77 Sig. 1,00	+19,13 Sig. 1,00
% PERM/2011	-49,25 Sig. 0,00	-36,39 Sig. 1,00	+39,56 Sig. 0,02	-42,79 Sig. 0,27	-25,05 Sig. 1,00
% IMP/2011	+17,08 Sig. 0,04	+8,67 Sig. 1,00	+17,07 Sig. 0,24	+20,01 Sig. 0,68	+5,92 Sig. 1,00
Tar (°C)/2016	+1,16 Sig. 0,32	-0,32 Sig. 1,00	+1,49 Sig. 0,03	+1,34 Sig. 1,00	+1,06 Sig. 1,00
% EDF/2016	+29,32 Sig. 0,00	+2,66 Sig. 1,00	+23,12 Sig. 0,20	+6,30 Sig. 1,00	+17,47 Sig. 1,00
% PERM/2016	-49,87 Sig. 0,00	-12,18 Sig. 0,56	-47,61 Sig. 0,00	-29,90 Sig. 1,00	-33,32 Sig. 1,00
% IMP/2016	+20,59 Sig. 0,00	+9,51 Sig. 1,00	+24,48 Sig. 0,00	+23,59 Sig. 0,13	+15,89 Sig. 1,00
Tar (°C)/2019	+1,89 Sig. 0,01	+1,14 Sig. 1,00	+2,39 Sig. 0,00	+2,41 Sig. 0,02	+1,64 Sig. 1,00
% EDF/2019	+36,03 Sig. 0,00	+22,98 Sig. 0,79	+35,83 Sig. 0,00	+27,48 Sig. 0,49	+14,64 Sig. 1,00
% PERM/2019	-53,42 Sig. 0,00	-27,58 Sig. 1,00	-49,79 Sig. 0,00	-34,39 Sig. 1,00	-16,36 Sig. 1,00
% IMP/2019	+17,40 Sig. 0,00	+4,61 Sig. 1,00	+13,97 Sig. 0,03	+6,92 Sig. 1,00	+1,73 Sig. 1,00

Em Vista disso, os aquecimentos a serem considerados estão no período de 8 anos, entre 2011 e 2019, nas classes: LCZ5 (+2,41°C) podendo estar relacionada com o aumento (4,71%) de área edificada, LCZ4 (+2,39°C) associada a acréscimo de área edificada (13,55%) e diminuição de área permeável (10,24%), assim como a LC2 (+1,89°C) ligada ao aumento de área edificada (3,88%) e queda de permeabilidade (4,18%).

Masiero et al., (2018) evidenciam que os pontos que apresentaram aumento de temperatura do ar, também tiveram aumento de área construída, asfalto e/ou solo expostos, e declínio de área arborizada e gramínea, ou seja, a diminuição de área permeável nas cidades contribui de maneira negativa, refletindo diretamente na elevação da temperatura do ar e diminuição das taxas de evaporação.

5.3.1.2 Inverno de 2011, 2016 e 2019

Durante o inverno de 2011 ocorreu média de Tar de 28,66°C e média de UR de 52,93%, entretanto em 2016 os dados apontaram elevação de Tar de até 0,42°C e queda de 12,16% de UR, assim como em 2019 houve alta de 3,25°C na Tar e de 2,77% na UR em relação a 2016, conforme Figura 25.

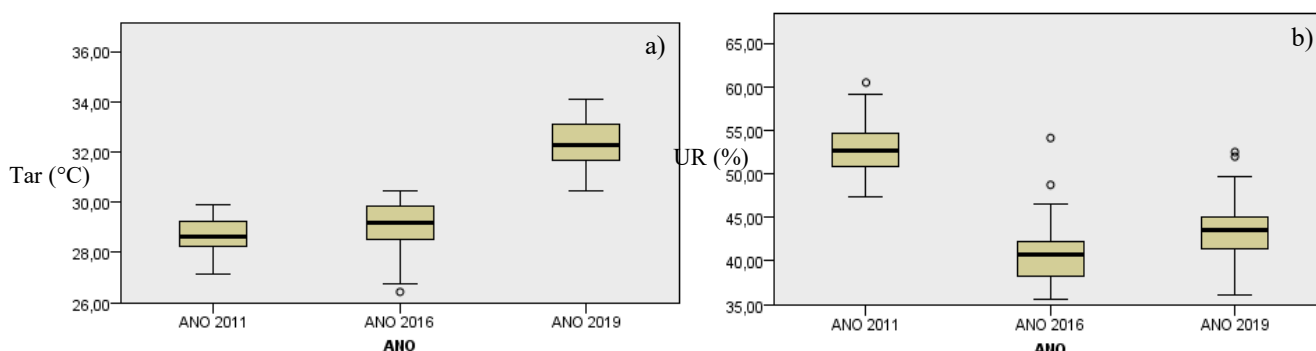


FIGURA 25 – Média Temperatura do ar (a) e Umidade relativa do ar (b) no Inverno de 2011, 2016 e 2019 nos dias de coleta no período noturno

Quando comparadas as médias em 8 anos, entre 2011 e 2019, houve elevação de até 3,67°C na Tar e queda de 9,39% na UR, estando relacionada com os baixos registros de precipitação durante os dias de coleta de dados, onde em 2011 o volume foi de 17mm e em 2019 não houveram ocorrências de precipitação.

Analisando as variações térmicas em relação às potenciais LCZs a partir da média da estação do inverno, identifica-se aquecimento em 2011 em relação à média da estação nas classes: LCZ5 (1,02°C), seguida da LCZ4 (0,77°C) e LCZ2 (0,75°C), entretanto, na LCZA ocorreu resfriamento de 0,77°C em relação à média da estação.

Em 2016, verifica-se que a LCZ 5 (+0,85°C), LCZ 2 (+0,78°C) e LCZ 4 (+0,71°C) continuam como as classes mais aquecidas, porém as ocorrências de arrefecimento foram na LCZ3 (- 1,41°C) e LCZA (-1,28°C).

Em vista disso, em 2019 a LCZ 2 (+0,84°C) e LCZ 4 (+0,73°C) permanecem como as classes com a Tar mais elevada, todavia LCZA (-0,61°C) continua registrando queda de Tar em relação à média da estação.

Consequentemente, durante o inverno na LCZA ocorreram os menores registros de Tar (27,80 a 31,72°C), seguida da LCZ3 (27,67 a 32,49°C), porém os maiores registros de Tar ocorreram na LCZ5 (29,68 a 33,05°C), LCZ2 (29,41 a 33,17°C) e LCZ4 (29,43 a 33,06°C), conforme Figura 26.

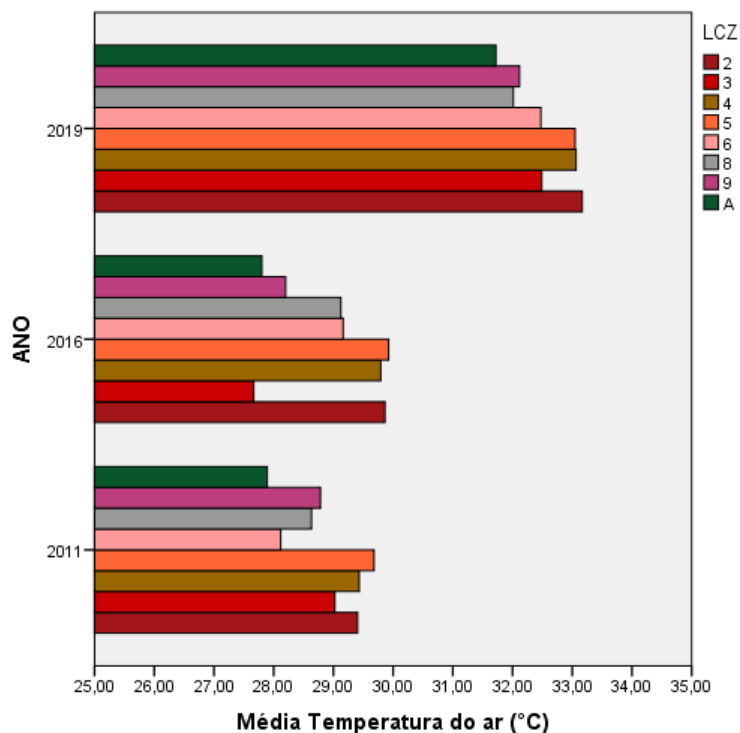


FIGURA 26 – Média da Temperatura do ar entre as potenciais LCZs no Inverno de 2011, 2016 e 2019

As diferentes morfologias urbanas por apresentarem geometrias e revestimentos distintos influenciam o clima de maneira específica, assim áreas densamente arborizadas próximas a áreas densamente construídas podem apresentar variações térmicas distintas (OKE et.al., 2017).

Na comparação da ICU durante o inverno, no ano de 2011 e 2016 a maior intensidade foi expressa por $\Delta\text{TLCZ5-A}$ de 1,79°C e 2,13°C, respectivamente. Assim como por $\Delta\text{TLCZ4-A}$ de 1,99 e 1,54°C, ademais em 2016 nota-se $\Delta\text{TLCZ6-A}$ de 1,36°C e $\Delta\text{TLCZ8-A}$ de 1,32°C, entretanto a menor intensidade em 2016 de -0,13°C em $\Delta\text{TLCZ3-A}$. Já em 2019, a maior intensidade foi 1,45°C expressa por $\Delta\text{TLCZ2-A}$, conforme Figura 27.

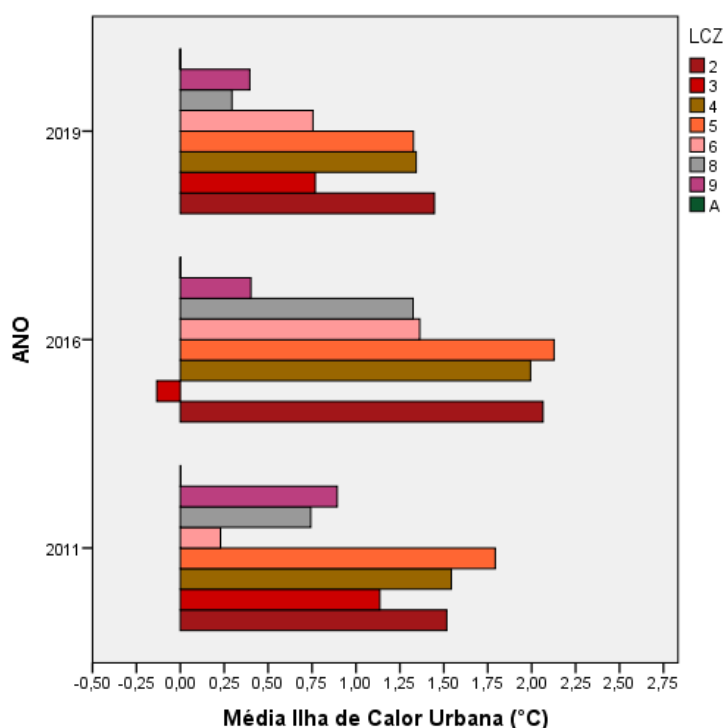


FIGURA 27- Média Ilha de calor urbana e as classes potenciais LCZs no Inverno de 2011, 2016 e 2019

No inverno assim como no outono, as maiores intensidades (1,79 a 2,13°C) foram observadas na LCZ 5, (1,52 a 2,06°C) na LCZ 2 e (1,54 a 1,99°C) na LCZ4, evidenciando que as regiões de cânions urbano são as mais aquecidas. No entanto as tipologias que foram observadas arrefecimento foram (-0,13 a 1,14°C) na LCZ3 (Baixo-compacto) e na LCZA (vegetação arbórea densa).

As repetições de cânions urbanos restringem a visão do céu, provocando reflexões múltiplas da radiação solar que aumentam a absorção de calor pelas superfícies do cânion quando comparadas com uma superfície de baixa altura, além disso ocorre redução na velocidade de vento, consequentemente reduz as trocas por

convecção dificultando o resfriamento das superfícies (OKE et.al., 2017; FERREIRA, 2019)

Para validação das diferenças, foi realizada a análise entre os pares de classes potenciais LCZs considerando as propriedades de superfície e os efeitos sobre a variação térmica, aplicando o teste de Kruskal-Wallis obteve-se sig.<0,05, evidenciando que existe relação entre o maior aquecimento a partir do aumento de % IMP e queda da %PERM, conforme a Tabela 11.

TABELA 11 - Efeito das classes potenciais LCZs nas variações térmicas no inverno de 2011, 2016 e 201

Variáveis	Classes Potenciais LCZs					
	2-A	3-A	4-A	5-A	6-A	8-A
Tar (°C)/2011	+1,52 Sig. 0,03	+1,14 Sig. 1,00	+1,54 Sig. 0,15	+1,79 Sig. 0,56	+0,23 Sig. 1,00	+0,74 Sig. 1,00
% EDF/2011	+32,15 Sig. 0,00	+27,96 Sig. 0,09	+22,28 Sig. 0,07	+22,77 Sig. 1,00	+19,13 Sig. 1,00	+20,55 Sig. 0,00
% PERM/2011	-49,25 Sig. 0,00	-36,39 Sig. 1,00	+39,56 Sig. 0,02	-42,79 Sig. 0,27	-25,05 Sig. 1,00	-32,60 Sig. 0,00
% IMP/2011	+17,08 Sig. 0,04	+8,67 Sig. 1,00	+17,07 Sig. 0,24	+20,01 Sig. 0,68	+5,92 Sig. 1,00	+11,91 Sig. 0,18
Tar (°C)/2016	+2,06 Sig. 0,00	-0,13 Sig. 1,00	+1,99 Sig. 0,00	+2,13 Sig. 0,08	+1,36 Sig. 0,85	+1,32 Sig. 0,23
% EDF/2016	+29,32 Sig. 0,00	+2,66 Sig. 1,00	+23,12 Sig. 0,20	+6,30 Sig. 1,00	+17,47 Sig. 1,00	+23,28 Sig. 0,02
% PERM/2016	-49,87 Sig. 0,00	-12,18 Sig. 0,56	-47,61 Sig. 0,00	-29,90 Sig. 1,00	-33,32 Sig. 1,00	-38,12 Sig. 0,01
% IMP/2016	+20,59 Sig. 0,00	+9,51 Sig. 1,00	+24,48 Sig. 0,00	+23,59 Sig. 0,13	+15,89 Sig. 1,00	+14,85 Sig. 0,07
Tar (°C)/2019	+1,45 Sig. 0,02	+0,77 Sig. 1,00	+1,34 Sig. 0,16	+1,33 Sig. 0,92	+0,75 Sig. 1,00	+0,29 Sig. 1,00
% EDF/2019	+36,03 Sig. 0,00	+22,98 Sig. 0,79	+35,83 Sig. 0,00	+27,48 Sig. 0,49	+14,64 Sig. 1,00	+23,97 Sig. 0,03
% PERM/2019	-53,42 Sig. 0,00	-27,58 Sig. 1,00	-49,79 Sig. 0,00	-34,39 Sig. 1,00	-16,36 Sig. 1,00	-34,32 Sig. 0,03
% IMP/2019	+17,40 Sig. 0,00	+4,61 Sig. 1,00	+13,97 Sig. 0,03	+6,92 Sig. 1,00	+1,73 Sig. 1,00	+10,36 Sig. 0,09

Desta forma, os aquecimentos mais significativos foram no período de 5 anos, entre 2011 e 2016, na LCZ2 (+2,06°C), LCZ4 (+1,99°C) e LCZ8 (+1,32°C), associadas ao aumento de área impermeável (7,40%) e queda de permeabilidade (8,05%).

Logo a estação do inverno reflete a influência das tipologias de cânion urbano nas variações térmicas, localizadas em região central da cidade e nas áreas circundantes, sendo acentuada pela interferência da baixa umidade relativa do ar característica da estação.

Portanto as análises relacionadas ao período quente-seco (outono-inverno) em escala microclimática a partir de dados coletados durante o período noturno, demonstram que as tipologias construtivas do tipo: LCZ2, LCZ4 e LCZ5, são as mais aquecidas com ICU variando de 0,86 a 2,41°C em relação a LCZA, estando fortemente relacionado com a geometria urbana, ou seja, cânions urbanos. Além disso, na LCZ8 ocorreu pico de 1,32°C, logo regiões constituídas de grandes edificações com predomínio de área impermeável, isto é, superfícies que possuem baixo albedo e altas admitâncias proporcionam maior armazenamento de calor influenciando no microclima.

5.3.2 PERÍODO QUENTE-ÚMIDO

Fazem parte do período quente-úmido as estações da primavera (2011, 2016 e 2019) e verão (2012, 2016 e 2020).

5.3.2.1 Primavera de 2011, 2016 e 2019

Durante a primavera de 2011 ocorreu média de Tar de 30,87°C e média de UR de 56,31%, no intervalo de 5 anos, entre 2011 e 2016, os dados apontaram queda de 3,46°C na média da Tar e alta de 5,14% de UR, entretanto em 3 anos, ou seja, entre 2016 e 2019, houve alta de 1,99°C na Tar e de 11,43% na UR, conforme Figura 28.

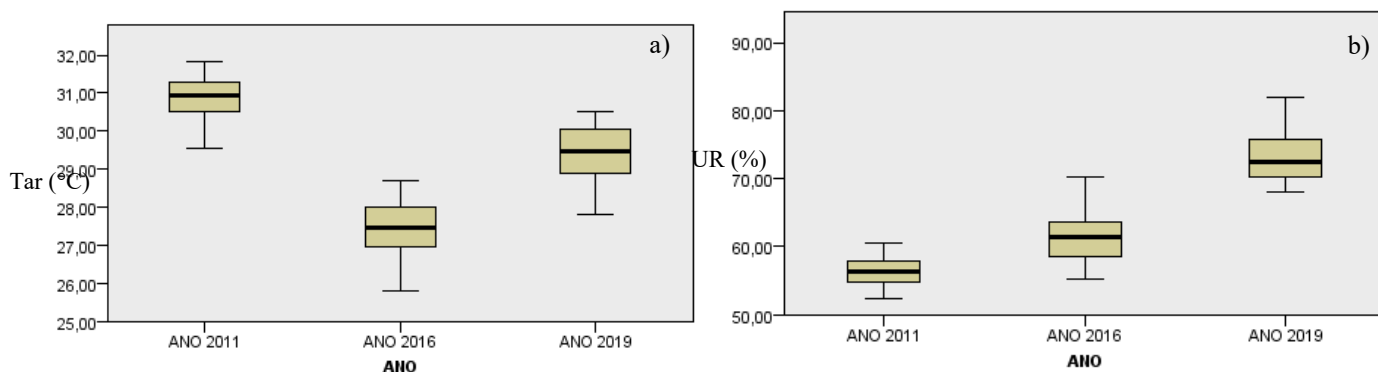


FIGURA 28 – Média da Temperatura do ar (a) e Umidade relativa do ar (b) no Primavera de 2011, 2016 e 2019 nos dias de coleta no período noturno

No entanto, em 8 anos, entre 2011 e 2019, houve diminuição de até $1,47^{\circ}\text{C}$ na Tar e alta de 16,57% na UR, podendo estar relacionado aos volumes de chuva próximos à média histórica.

Investigando as variações térmicas na primavera em relação às potenciais LCZs, identifica-se aquecimento em relação à média da estação em 2011 na LCZ2 ($+0,64^{\circ}\text{C}$), LCZ5 ($+0,62^{\circ}\text{C}$) e LCZ 4 ($+0,39^{\circ}\text{C}$), entretanto foram observadas quedas em relação à média da estação na LCZ6 ($-0,40$) e LCZA ($-0,42^{\circ}\text{C}$).

Em 2016 a LCZ2 ($+0,88^{\circ}\text{C}$) e LCZ4 ($+0,63^{\circ}\text{C}$) seguem como as mais aquecidas, porém observa-se resfriamento na LCZ3 ($-1,17^{\circ}\text{C}$), LCZA ($-0,92^{\circ}\text{C}$) e LCZ9 ($-0,59^{\circ}\text{C}$) devido aos maiores por registros de UR.

Ademais em 2019 as LCZs 2 ($+0,57^{\circ}\text{C}$), LCZ4 ($+0,33^{\circ}\text{C}$) e LCZ5 ($+0,23^{\circ}\text{C}$), se mantêm como as mais aquecidas e as LCZs A ($-0,84^{\circ}\text{C}$), LCZ9 ($-0,29^{\circ}\text{C}$) e LCZ6 ($-0,13^{\circ}\text{C}$) seguem com arrefecimento. O registro de UR (77,30%) na LCZA em 2019, reflete o efeito da evapotranspiração da vegetação arbórea densa sobre a temperatura do ar na primavera, conforme Figura 29.

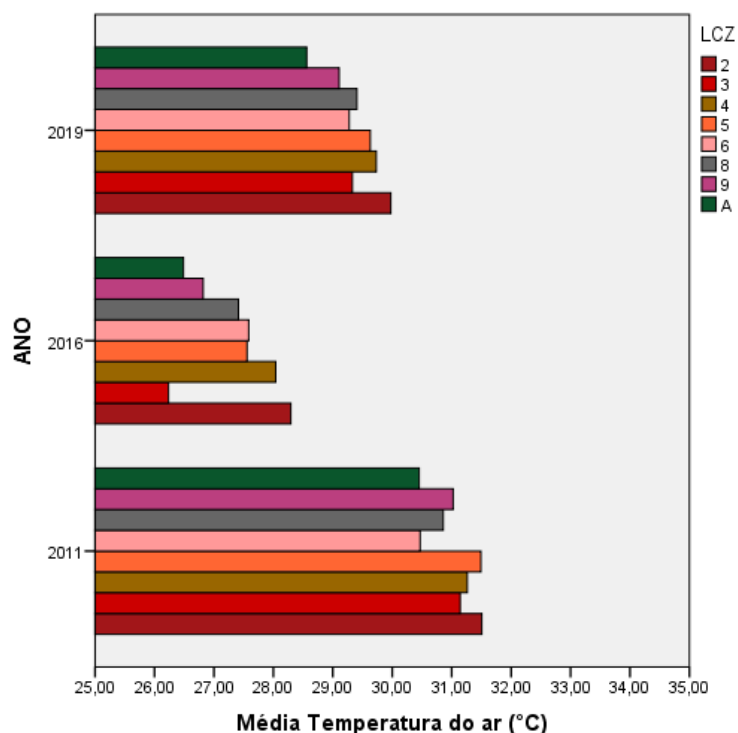


FIGURA 29 – Média da Temperatura do ar entre as potenciais LCZs na Primavera de 2011, 2016 e 2019

Os efeitos da vegetação em escala microclimática dependem de vários fatores como a densidade da copa, porte da vegetação, disponibilidade de água no solo, localização, idade da planta, espécie e época do ano devido às interações com a Temperatura de superfície e a Temperatura do ar a partir dos mecanismos de sombreamento e evapotranspiração (FERREIRA, 2019; OKE et. al., 2017; WONG & CHEN, 2009).

A maior intensidade observada foi expressa por $\Delta\text{TLCZ2-A}$ variando de 1,06°C em 2011 a 1,80°C em 2016, as ICUs expressas por $\Delta\text{TLCZ4-A}$ e $\Delta\text{TLCZ5-A}$ variaram entre 0,81 a 1,55°C e 1,04 a 1,07°C, respectivamente. Exceções foram observadas na diferença expressa por $\Delta\text{TLCZ3-A}$ de -0,25°C em 2016, conforme Figura 30.

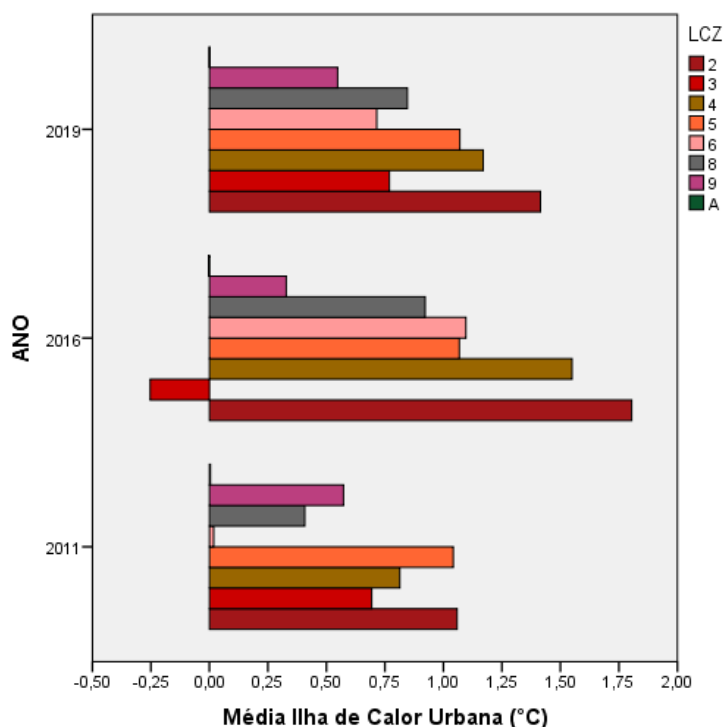


FIGURA 30 - Média Ilha de calor urbana e as classes potenciais LCZs na Primavera de 2011, 2016 e 2019

Desta maneira, as maiores intensidades observadas foram em 5 anos, entre 2011 e 2016, nas LCZs: (1,80°C) LCZ2, (1,55°C) LCZ4, (1,10°C) LCZ6 e (1,07°C) LCZ5, entretanto observa-se queda (-0,25°C) na LCZ3.

A densidade construída, altura das edificações e cobertura vegetal demonstram a relação do planejamento urbano com os picos de temperatura em escala microclimática, logo a articulação desses indicadores possa auxiliar na mitigação do efeito da ilha de calor em cidades de clima tropical (ZHAO et al., 2011; EMMANUEL, 2011).

As variações térmicas apontadas na comparação das classes potenciais LCZs considerando também as propriedades de superfície foram analisadas a partir do teste de Kruskal-Wallis, as medianas dos grupos detectaram diferenças significativas quando sig.<0,05, assim a elevação de Tar está relacionada com a diminuição de %PERM nas LCZs, conforme a Tabela 12.

TABELA 12 - Efeito das classes potenciais LCZs nas variações térmicas na primavera de 2011, 2016 e 2019

Variáveis	Classes Potenciais LCZs					
	2-A	3-A	4-A	5-A	6-A	8-A
Tar (°C)/2011	+1,06 Sig. 0,00	+0,69 Sig. 1,00	+0,81 Sig. 0,48	+1,04 Sig. 0,83	+0,02 Sig. 1,00	+0,41 Sig. 1,00
% EDF/2011	+32,15 Sig. 0,00	+27,96 Sig. 0,09	+22,28 Sig. 0,07	+22,77 Sig. 1,00	+19,13 Sig. 1,00	+20,55 Sig. 0,00
% PERM/2011	-49,25 Sig. 0,00	-36,39 Sig. 1,00	+39,56 Sig. 0,02	-42,79 Sig. 0,27	-25,05 Sig. 1,00	-32,60 Sig. 0,00
% IMP/2011	+17,08 Sig. 0,04	+8,67 Sig. 1,00	+17,07 Sig. 0,24	+20,01 Sig. 0,68	+5,92 Sig. 1,00	+11,91 Sig. 0,18
Tar (°C)/2016	+1,80 Sig. 0,00	-0,25 Sig. 1,00	+1,55 Sig. 0,00	+1,07 Sig. 1,00	+1,10 Sig. 0,30	+0,92 Sig. 0,19
% EDF/2016	+29,32 Sig. 0,00	+2,66 Sig. 1,00	+23,12 Sig. 0,20	+6,30 Sig. 1,00	+17,47 Sig. 1,00	+23,28 Sig. 0,02
% PERM/2016	-49,87 Sig. 0,00	-12,18 Sig. 0,56	-47,61 Sig. 0,00	-29,90 Sig. 1,00	-33,32 Sig. 1,00	-38,12 Sig. 0,01
% IMP/2016	+20,59 Sig. 0,00	+9,51 Sig. 1,00	+24,48 Sig. 0,00	+23,59 Sig. 0,13	+15,89 Sig. 1,00	+14,85 Sig. 0,07
Tar (°C)/2019	+1,41 Sig. 0,00	+0,77 Sig. 1,00	+1,17 Sig. 0,15	+1,07 Sig. 1,00	+0,72 Sig. 1,00	+0,85 Sig. 0,37
% EDF/2019	+36,03 Sig. 0,00	+22,98 Sig. 0,79	+35,83 Sig. 0,00	+27,48 Sig. 0,49	+14,64 Sig. 1,00	+23,97 Sig. 0,03
% PERM/2019	-53,42 Sig. 0,00	-27,58 Sig. 1,00	-49,79 Sig. 0,00	-34,39 Sig. 1,00	-16,36 Sig. 1,00	-34,32 Sig. 0,03
% IMP/2019	+17,40 Sig. 0,00	+4,61 Sig. 1,00	+13,97 Sig. 0,03	+6,92 Sig. 1,00	+1,73 Sig. 1,00	+10,36 Sig. 0,09

Conseqüentemente, as alterações que foram significativas refletindo o efeito da morfologia urbana na variação térmica ocorreram no período de 5 anos, na LCZ2 (+1,80°C), LCZ4 (+1,55°C) e LCZ8 (+0,92°C), associadas a declínio de área ocupada por vegetação arbórea densa (8,05%).

Concordando com estudo realizado por Pinton et. al. (2021) na cidade de Sacramento/MG, onde as LCZs compostas por áreas densamente construídas e cobertura essencialmente pavimentada (LCZ2) apresentaram desvios positivos durante os episódios de primavera.

Desse modo, cânions com alto fator de visão de céu e baixo H/W (LCZ 2 e LCZ8) podem interferir negativamente no conforto térmico em escala microclimática, especialmente nas que possuem pouca ou nenhuma vegetação. No caso de cânions

com baixo fator de visão de céu e alto H/W (LCZ4) aquecem mais lentamente durante o dia, apresentando resfriamento lento durante a noite devido à perda de calor para atmosfera ser dificultada, demonstrando a importância do planejamento e projeto urbano nas modificações do clima local e a necessidades de políticas públicas que promovam um planejamento sensível ao clima (JOHANSSON & EMMANUEL, 2006; FERREIRA, 2019).

5.3.2.2 Verão de 2012, 2016 e 2020

O verão de 2012 registrou média de Tar de 27,79°C e média de UR de 78,47%, no intervalo de 4 anos, entre 2012 e 2016, os dados apontaram alta de 0,51°C na média da Tar e queda de 1,09% de UR, ademais entre 2016 e 2020, a Tar (1,99°C) segue em alta e a UR (4,79%) em queda, resultando no aumento de 2,47°C de Tar e declínio de 5,88% de UR em 8 anos, entre 2012 e 2020, conforme Figura 31.

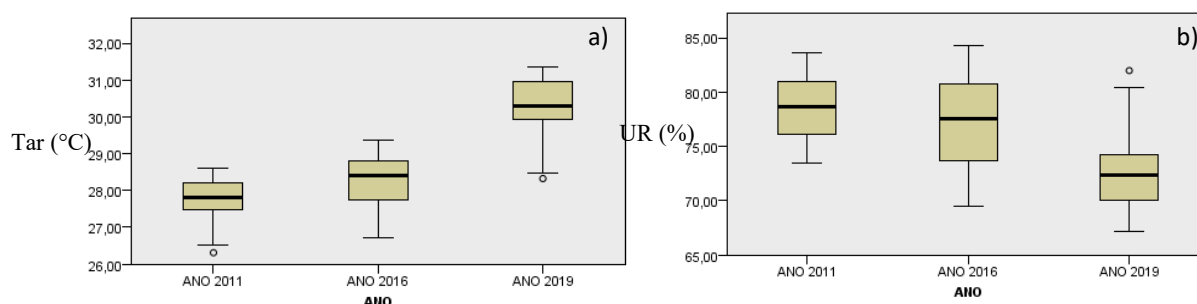


FIGURA 31 – Média da Temperatura do ar (a) e Umidade relativa do ar (b) no Verão de 2012, 2016 e 2020 nos dias de coleta no período noturno

Analisando as variações térmicas no verão em relação às potenciais LCZs em relação à média da estação, identifica-se que em 2012 que na LCZ5 ocorreu aquecimento de 0,73°C, seguida da LCZ4 de 0,72°C e LCZ2 de 0,58°C), concordando com os menores percentuais de umidade relativa do ar (< 75%). Entretanto, a LCZ6 (-0,47°C) e LCZA (-0,41°C) registraram média de Tar abaixo da média da estação, concordando com os maiores percentuais de UR (> 80%).

Em 2016, verifica-se que a média de Tar segue em alta na LCZ2 de 0,75°C e LCZ4 de 0,68°C coincidindo com os menores registros de UR (<73%). Porém observa-se que na LCZ3 (-0,97°C), LCZA (-0,44°C) e LCZ9 (-0,35°C) ocorreram

arrefecimento de Tar, correspondendo aos maiores percentuais registrados de UR (>79%).

Em 2020 LCZ2 (+0,70°C), LCZ4 (+0,42°C) e LCZ5 (+0,26°C) permanecem como as mais aquecidas, assim como a LCZA (-0,90°C), LCZ9 (-0,34°C) e LCZ3 (-0,12°C) permanecem as temperaturas mais amenas, conforme Figura 32.

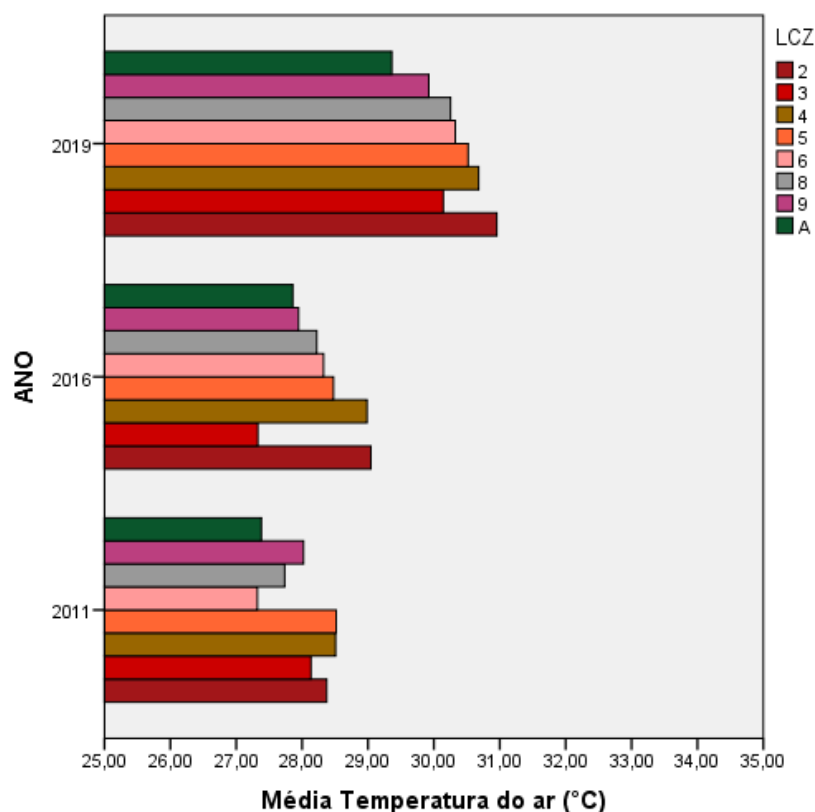


FIGURA 32 - Média Temperatura do ar e as classes potenciais LCZs no Verão de 2012, 2016 e 2020

Os registros de UR durante o verão de 2020 estão abaixo da média histórica que gira em torno de 80%, refletindo a baixa precipitação durante os dias de coleta e as temperaturas elevadas.

A ICU expressa por $\Delta TLCZ2-A$ foi a mais intensa durante o verão de 2020, atingindo 1,60°C, seguida de $\Delta TLCZ4-A$ (1,32°C) e $\Delta TLCZ5-A$ (1,16°C), entretanto, menores intensidades foram observadas no mesmo período em $\Delta TLCZ6-A$ (0,97°C) e na $\Delta TLCZ8-A$ (0,89°C). A menor ICU foi expressa pela $\Delta TLCZ3-A$ (-0,53°C) em 2016, assim como observado na primavera (Figura 33).

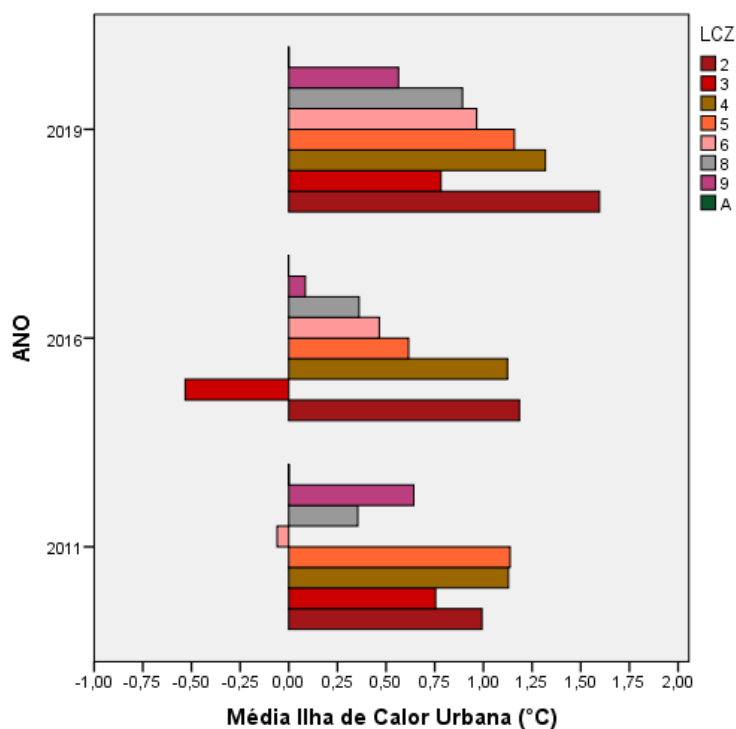


FIGURA 33 - Média Ilha de calor urbana e as classes potenciais LCZs no Verão de 2012, 2016 e 2020

Desse modo, durante a estação do verão, verifica-se em 8 anos aumento de $0,60^{\circ}\text{C}$ na LCZ2, $1,02^{\circ}\text{C}$ na LCZ 6, $0,54^{\circ}\text{C}$ na LCZ 8 e de $0,19^{\circ}\text{C}$ na LCZ 4.

Em consequência disso, ocorre o aumento da demanda de energia para resfriamento das edificações principalmente em cidades de clima quente, assim os ganhos de calor a partir dos aparelhos de condicionamento de ar serão exacerbados num mundo em aquecimento, onde são previstos o aumento de eventos extremos de calor (EMMANUEL, 2016).

Assim para validação das diferenças identificadas, foi realizada a análise entre os pares de LCZ considerando as propriedades de superfície e os efeitos sobre a variação térmica, aplicando o teste de Kruskal-Wallis obtendo $\text{sig.} < 0,05$, demonstrando relação existente entre aumento de %EDF e a Tar, conforme a Tabela 13.

TABELA 13 - Efeito das classes potenciais LCZs nas variações térmicas no verão de 2012, 2016 e 2020

Variáveis	Classes Potenciais LCZs						
	2-A	3-A	4-A	5-A	6-A	8-A	9-A
Tar (°C)/2012	+1,00 Sig. 0,00	+0,75 Sig. 1,00	+1,13 Sig. 0,00	+1,14 Sig. 0,29	-0,06 Sig. 1,00	+0,35 Sig. 1,00	+0,64 Sig. 1,00
% EDF/2011	+32,15 Sig. 0,00	+27,96 Sig. 0,09	+22,28 Sig. 0,07	+22,77 Sig. 1,00	+19,13 Sig. 1,00	+20,55 Sig. 0,00	+17,14 Sig. 0,53
% PERM/2011	-49,25 Sig. 0,00	-36,39 Sig. 1,00	+39,56 Sig. 0,02	-42,79 Sig. 0,27	-25,05 Sig. 1,00	-32,60 Sig. 0,00	-31,86 Sig. 0,22
% IMP/2011	+17,08 Sig. 0,04	+8,67 Sig. 1,00	+17,07 Sig. 0,24	+20,01 Sig. 0,68	+5,92 Sig. 1,00	+11,91 Sig. 0,18	+14,71 Sig. 0,53
Tar (°C)/2016	+1,19 Sig. 0,00	-0,53 Sig. 1,00	+1,12 Sig. 0,00	+0,61 Sig. 1,00	+0,46 Sig. 1,00	+0,36 Sig. 1,00	+0,09 Sig. 1,00
% EDF/2016	+29,32 Sig. 0,00	+2,66 Sig. 1,00	+23,12 Sig. 0,20	+6,30 Sig. 1,00	+17,47 Sig. 1,00	+23,28 Sig. 0,02	+1,10 Sig. 1,00
% PERM/2016	-49,87 Sig. 0,00	-12,18 Sig. 0,56	-47,61 Sig. 0,00	-29,90 Sig. 1,00	-33,32 Sig. 1,00	-38,12 Sig. 0,01	-10,45 Sig. 1,00
% IMP/2016	+20,59 Sig. 0,00	+9,51 Sig. 1,00	+24,48 Sig. 0,00	+23,59 Sig. 0,13	+15,89 Sig. 1,00	+14,85 Sig. 0,07	+9,34 Sig. 1,00
Tar (°C)/2020	+1,60 Sig. 0,00	+0,78 Sig. 1,00	+1,32 Sig. 0,11	+1,16 Sig. 1,00	+0,97 Sig. 1,00	+0,89 Sig. 0,61	+0,56 Sig. 1,00
% EDF/2019	+36,03 Sig. 0,00	+22,98 Sig. 0,79	+35,83 Sig. 0,00	+27,48 Sig. 0,49	+14,64 Sig. 1,00	+23,97 Sig. 0,03	+14,66 Sig. 1,00
% PERM/2019	-53,42 Sig. 0,00	-27,58 Sig. 1,00	-49,79 Sig. 0,00	-34,39 Sig. 1,00	-16,36 Sig. 1,00	-34,32 Sig. 0,03	-23,46 Sig. 1,00
% IMP/2019	+17,40 Sig. 0,00	+4,61 Sig. 1,00	+13,97 Sig. 0,03	+6,92 Sig. 1,00	+1,73 Sig. 1,00	+10,36 Sig. 0,09	+8,80 Sig. 1,00

Variações térmicas significativas foram observadas no período de 8 anos, entre 2012 e 2020, na LCZ2 (+1,60°C), LCZ4 (+1,32°C) e LCZ8 (+0,89°C), ligadas ao aumento de área edificada (13,55%) e queda de permeabilidade (10,24%).

Desse modo os ganhos de calor ocorrem devido ao uso de materiais com baixa refletividade com alta capacidade térmica, geometria urbana que diminuem a velocidade de vento e mudam a direção do vento, bem como a perda de cobertura arbórea, que promove o sombreamento e a evapotranspiração colaborando para o resfriamento da temperatura do ar.

Assim, no período quente-úmido (primavera-verão) as configurações do tipo LCZ2 (áreas densamente construídas de Média altura), LCZ4 (Menos adensamento de elevada altura) e LCZ 8 (grandes edificações com área impermeável) favoreceram

a intensificação da ilha de calor (0,89 a 1,80°C) em 5 e 8 anos. Reforçando os resultados encontrados por Perera & Emmanuel (2018), que identificaram maior intensidade de ICU com a infusão de blocos médios e altos na cidade de Colombo no Sri Lanka.

Desse modo observa-se em escala microclimática entre 2011 e 2020, que as tipologias LCZ2 e LCZ 4 com características de cânion urbano são as que estão favorecendo a intensificação da ilha de calor urbana (na região central da cidade e nas áreas ao redor) de forma mais expressiva no período quente-seco, assim como a tipologia LCZ8 definida por grandes edificações com área predominantemente pavimentada, promove a manutenção da ICU em todas as estações, em contrapartida as regiões que são caracterizadas como LCZA configuram oásis por expressarem as temperaturas mais amenas em todas as estações nos anos de estudo.

6. PROGNÓSTICO PARA 2021

Neste capítulo serão apresentados o provável cenário das LCZs em 2021 e as estimativas da média da temperatura do ar referentes às estações do ano. Posteriormente, será apresentado o provável efeito das alterações da morfologia urbana na ilha de calor urbana nos transectos estudados.

6.1 PROVÁVEL CENÁRIO DAS LCZs EM 2021

Será utilizado como provável cenário das LCZs em 2021 a espacialização elaborada para o ano de 2016, devido aos dados utilizados como saída desejados para treinar a rede neural, ser de 2016, conforme figura 34.

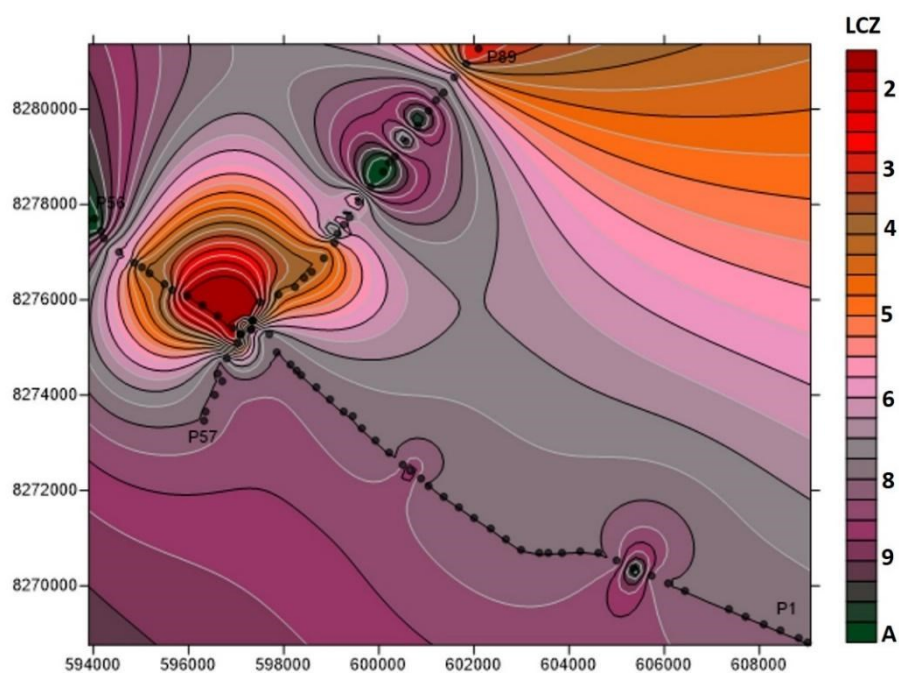


FIGURA 34 – As prováveis LCZs no ano de 2021 em Cuiabá/MT nos transectos 1 e 2

Assim, a quantidade de pontos em cada uma das prováveis classes em 2021 foram: 45 em LCZ8, seguido de 10 em LCZ2, 9 em LCZ4, 7 em LCZA, 6 pontos como LCZ6, 5 em LCZ9, 3 em LCZ5 e 2 em LCZ3.

6.2 PROGNÓSTICO DA VARIAÇÕES TÉRMICAS NAS ESTAÇÕES DO ANO PARA 2021

6.2.1 PERÍODO QUENTE-SECO

6.2.1.1 Outono de 2021

A partir do modelo criado para o outono, elaborou-se o cenário para a média da temperatura do ar nos transectos (Figura 35). Assim a previsão do comportamento da Tar em 2021 indica média de 24,18°C, comparando com as normais climatológicas (25,40°C) estima-se queda de 1,22°C, assim como em relação a 2011 de 2,13°C e de 2,72°C em 2019, porém com alta de 0,57°C referente a 2016.

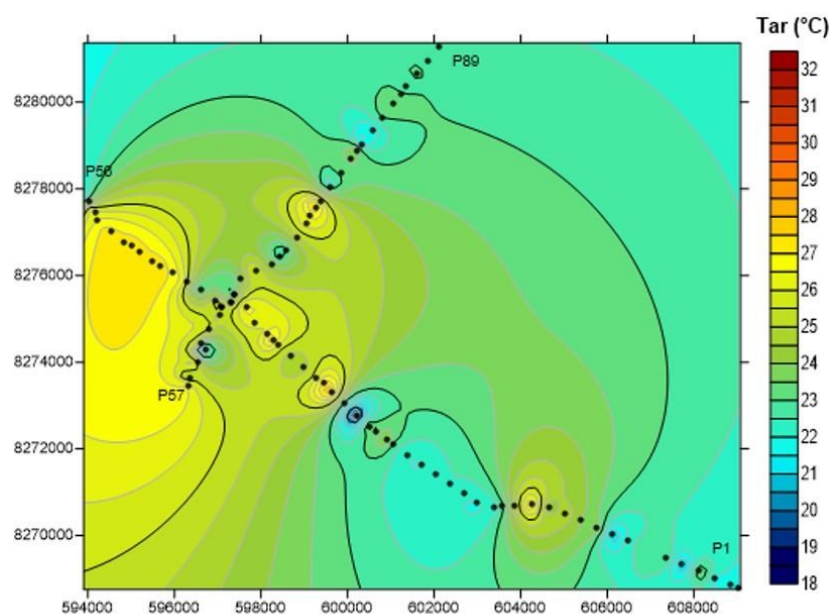


FIGURA 35 - Cenário da média da temperatura do ar para o outono de 2021

Analisando as possíveis variações térmicas no outono em relação às prováveis LCZs, identifica-se que em 2021 as LCZs 4 (25,49°C) e LCZ5 (25,43°C) poderão manifestar as temperaturas mais elevadas, seguidas da LCZ2 (24,79°C) e LCZ6 (24,49°C), entretanto a LCZ3 (22,72°C) e LCZA (23,40°C) expressarão as menores temperaturas, conforme Figura 36.

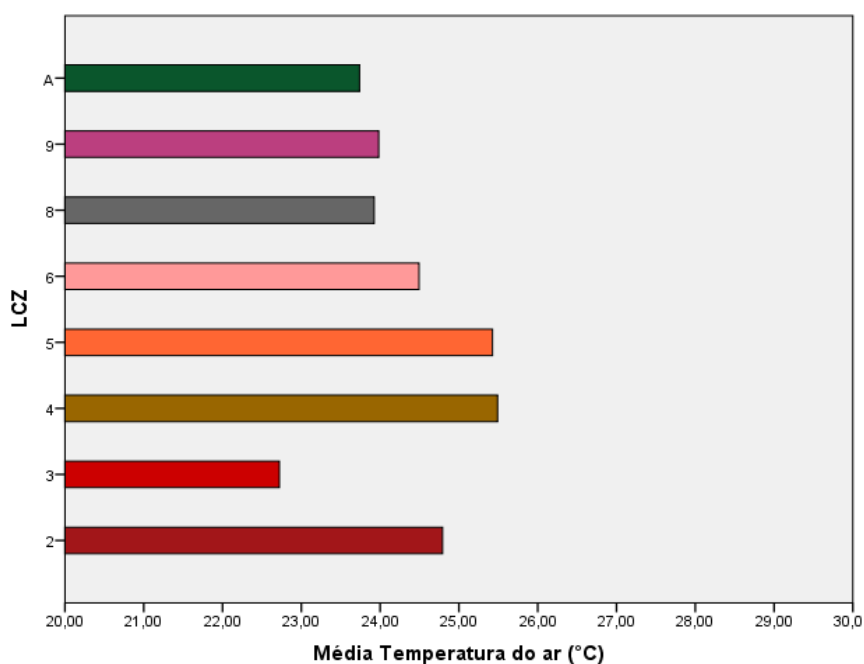


FIGURA 36 – Média da temperatura do ar para o outono de 2021 nas prováveis LCZs

Logo, as tipologias de cânions urbanos de alto FVC e baixo H/W (LCZ2 e 5) se mantêm como as regiões mais aquecidas, seguida da tipologia caracterizada por cânions urbanos de baixo FVC e alto H/W (LCZ 4) e a tipologia constituída por edifícios baixos com maior afastamento entre as edificações sob a influência de calor antropogênico (LCZ6).

Todavia, as tipologias que seguem com as temperaturas mais amenas são as constituídas por edifícios de baixa altura onde a ventilação é favorecida (LCZ3) e em áreas de parques urbanos e de zonas de interesse ambiental (LCZA).

Utilizando da mesma metodologia de análise para validação das diferenças térmicas identificadas entre as prováveis LCZs, os resultados identificam sig. 0,45, ou seja, os efeitos das possíveis LCZs sobre as variações térmicas são mínimas, conforme Tabela 14.

TABELA 14 - Diferenças de temperatura do ar estimadas em relação as LCZs no Outono de 2021

LCZs Existente s	Diferenças de temperatura do ar (°C) estimadas em relação as LCZs						
	2	3	4	5	6	8	9
2			0,70	0,64	-0,30	-0,87	-0,81
3	2,07		2,77	2,71	1,77	1,20	1,26
4	-0,70	-2,77		-0,06	-1,00	-1,57	-1,51
5	-0,64	-2,71	0,06		-0,94	-1,51	-1,45
6	0,30	-1,77	1,00	0,94		-0,57	-0,51
8	0,87	-1,20	1,57	1,51	0,57		0,06
9	0,81	-1,26	1,51	1,45	0,51	-0,06	
A	1,05	-1,02	1,75	1,69	0,75	0,18	0,24

Apesar do resultado do teste de efeitos da Tabela 14 mostrar um conjunto de provável aquecimento local na estação do outono de 2021, as maiores intensidades são de 2,77°C e 2,71°C observadas quando LCZ3 é transformado em LCZ4 e LCZ5, respectivamente. Isto é, quando muda a altura média dos edifícios, de baixos para altos e média altura, devido a modificação do fluxo de ar no transporte de calor atmosférico, refletindo no balanço de radiação de ondas curtas e ondas longas.

Outra transformação observada, é a mudança das áreas de grandes edificações de baixa altura (LCZ8) para edificações acima de 3 pavimentos (LCZ4 ou LCZ5), isso criará um aquecimento local adicional de 1,57°C e 1,51°C respectivamente.

No entanto, alterações benéficas de forma urbana podem ser vistas quando muda de baixo-aberto para baixo-compacto (LCZ6 para LCZ3) com arrefecimento de 1,77°C, alteração de médio-aberto para ocupação esparsa (LCZ5 para LCZ9) promovendo diminuição de Tar de 1,45°C, de ocupação esparsa para baixo-compacto (LCZ9 para LCZ3) propiciando declínio de Tar de 1,26°C, indicando o efeito das tipologias construídas (Altura das edificações e espaçamento entre elas) sobre a Tar.

As transformações relacionadas a LCZA demonstram um provável aquecimento com relação a maioria das prováveis LCZs, com exceção para LCZ3 (-1,02°C).

Stewart & Oke (2012), relatam que contrastes entre classes com diferenças significativas na geometria urbana e cobertura do solo podem frequentemente exceder 5°C, porém este padrão é facilmente interrompido pelos efeitos dinâmicos e sazonais de umidade da superfície, relevo, cobertura de árvores, calor antropogênico, que pode substituir ou compensar os efeitos invariáveis da forma e superfície do edifício.

6.1.1.2 Inverno de 2021

Durante o inverno de 2021 a Tar prevista nos transectos (Figura 37), indica média de 29,72°C, comparando com as normais climatológicas (24,75°C) estima-se alta de 4,97°C, assim como em relação a 2011 de 1,06°C e de 0,74°C em 2016, porém com queda de 2,61°C referente a 2019.

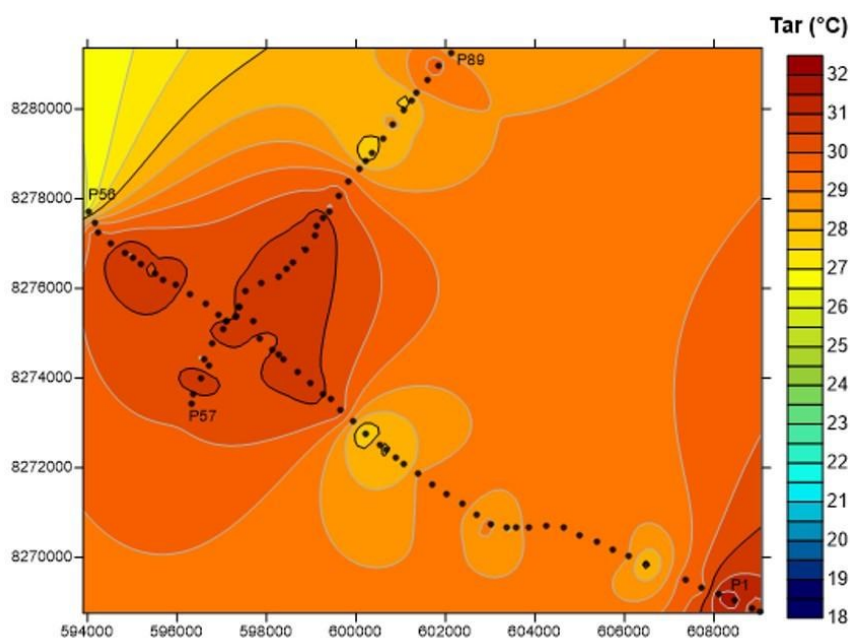


FIGURA 37 - Cenário para a temperatura do ar para o inverno de 2021

Comparando as possíveis variações térmicas no inverno em relação às prováveis LCZs, identifica-se que em 2021 as LCZs5 (30,70°C) e LCZ2 (30,45°C)

poderão manifestar as temperaturas mais elevadas, seguidas da LCZ6 (29,83°C) e LCZ8 (29,68°C), porém a LCZA (28,44°C) manifestará a menor Tar, conforme Figura 38.

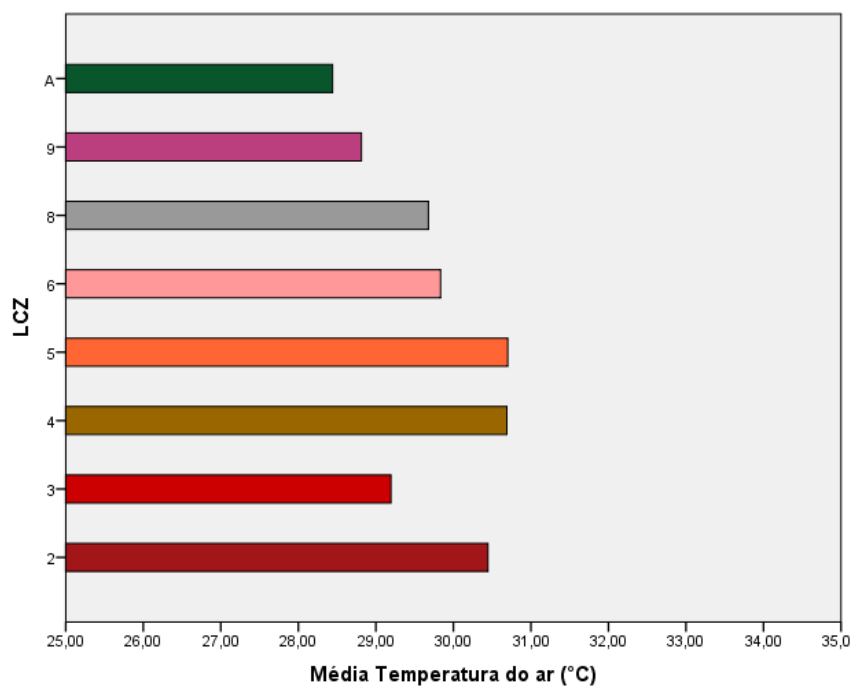


FIGURA 38 – Média da temperatura do ar para o inverno de 2021 nas prováveis LCZs

As maiores médias de temperatura do ar permanecem nas tipologias de cânions urbanos de alto FVC e baixo H/W (LCZ2 e 5), seguida da tipologia caracterizada por cânions urbanos de baixo FVC e alto H/W (LCZ 4) e a tipologia constituída por edifícios baixos com predomínio de área pavimentada (LCZ8).

Na validação das prováveis diferenças térmicas identificadas entres as LCZs, o teste de Kruskal-Wallis expressou sig.<0,05, em relação às prováveis alterações da morfologia urbana nas variações térmicas, conforme Tabela 15.

TABELA 15 - Diferenças de temperatura do ar estimadas em relação as LCZs no Inverno de 2021

LCZs Existentes	Diferenças de temperatura do ar (°C) estimadas em relação as LCZs						
	2	3	4	5	6	8	9
2			0,24 Sig.1,0 0	0,25 Sig.1,00			
3	1,26 Sig.1,00		1,50 Sig.1,0 0	1,51 Sig.1,00	0,64 Sig.1,0 0	0,49 Sig.1,00	
4							
5			-0,01 Sig.1,0 0				
6	0,62 Sig.1,00		0,86 Sig.1,0 0	0,87 Sig.1,00			
8	0,77 Sig.1,00		1,01 Sig.0,0 9	1,02 Sig.1,00	0,15 Sig.1,0 0		
9	1,64 Sig.0,66	0,38 Sig.1,00	1,88 Sig.0,0 7	1,89 Sig.0,91	1,02 Sig.1,0 0	0,87 Sig.1,00	
A	2,01 Sig.0,02	0,75 Sig.1,00	2,25 Sig.0,0 0	2,26 Sig.0,13	1,39 Sig.1,0 0	1,24 Sig.0,87	0,37 Sig.1,00

*significância no nível < 0,05

A Tabela 15 mostra um conjunto de provável aquecimento local com intensidade de 2,25°C e 2,01°C observada quando LCZA é transformado em LCZ2 e LCZ4, respectivamente, sendo o pior cenário em consequência da provável mudança de cobertura arbórea densa para tipologias construídas de cânions urbanos.

Outras alterações estimadas porém menos expressivas são vistas quando LCZ8 (grandes edificações de baixa altura com área pavimentada) muda para LCZ4 (edificações acima de 10 pavimentos) de 1,01°C e LCZ9 (Ocupação esparsa) para LCZ4 de 1,88°C, ocorrendo a partir do aumento da construção de edifícios de grande altura ao longo dos transectos.

Assim, a supressão da vegetação densa influenciará no aumento da temperatura do ar com o aquecimento das superfícies devido a redução de áreas arborizadas que realizam trocas térmicas úmidas, ou seja, a mudança das tipologias construtivas associadas a materiais que armazenam calor.

Young Lee et al. (2015) utilizam RNA para estimar intensidade de ICU em Seul, os resultados evidenciam a relação dos fatores físicos urbanos com as intensidades médias e máximas das ilhas de calor urbana, relatam que a áreas de construção foram um fator chave intimamente ligado à contribuição das intensidades de ilha de calor urbanas.

6.2.1 PERÍODO QUENTE-ÚMIDO

6.2.1.1 Primavera de 2021

Durante a primavera de 2021 a média de Tar prevista nos transectos (Figura 39), será de 27,67°C, comparando com as normais climatológicas (27,35°C) estima-se alta de 0,32°C e de 0,26°C em relação a 2016, com redução de 3,20°C e de 1,73°C em relação a 2011 e 2019, respectivamente.

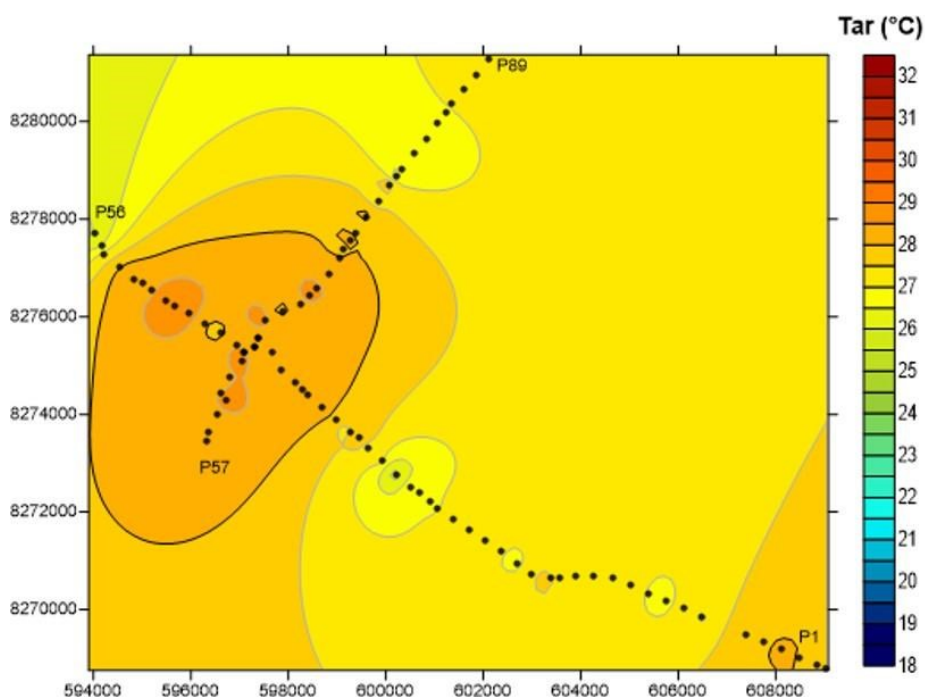


FIGURA 39 - Cenário da média temperatura do ar para a primavera de 2021

Observando as possíveis variações térmicas na primavera em relação às prováveis LCZs, identifica-se que em 2021 as LCZ2 (28,45°C), LCZ4 (28,42°C) e

LCZ5 (28,19°C) irão manifestar as temperaturas mais elevadas, entretanto LCZA manifestará a menor Tar (26,65°C), conforme Figura 40.

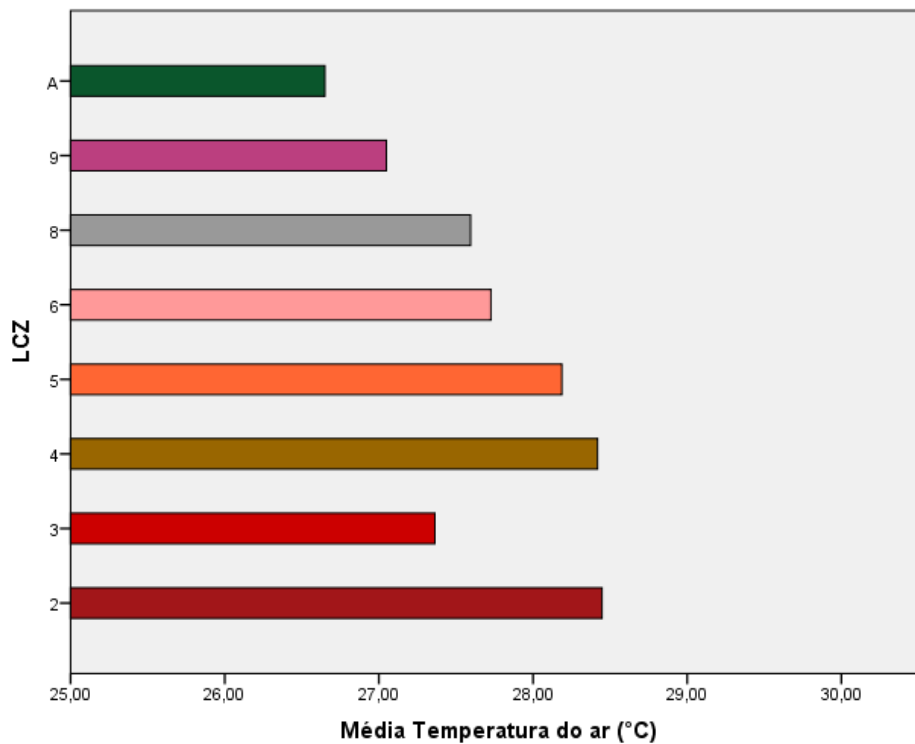


FIGURA 44 – Média da temperatura do ar para a primavera de 2021 nas prováveis LCZs

Logo, as regiões mais aquecidas seguem nas tipologias de cânions urbanos de alto FVC e baixo H/W (LCZ2 e 5) e de cânions urbanos de baixo FVC e alto H/W (LCZ 4)

Na validação das prováveis diferenças térmicas identificadas entres as LCZs, o teste de Kruskal-Wallis expressou sig.<0,05, evidenciando relação entre as prováveis alterações da morfologia urbana e as variações térmicas, conforme Tabela 16.

TABELA 16 - Diferenças de temperatura do ar estimadas em relação as LCZs na Primavera de 2021

LCZs Existentes	Diferenças de temperatura do ar (°C) estimadas em relação as LCZs						
	2	3	4	5	6	8	9
2							
3	1,09 Sig.1,00		1,06 Sig.1,00	0,83 Sig.1,00	0,37 Sig.1,00	0,24 Sig.1,00	
4	0,03 Sig.1,00						
5	0,26 Sig.1,00		0,23 Sig.1,00				
6	0,72 Sig.1,00		0,69 Sig.1,00	0,46 Sig.1,00			
8	0,85 Sig.0,02		0,82 Sig.0,05	0,59 Sig.1,00	0,13 Sig.1,00		
9	1,40 Sig.0,01	0,31 Sig.1,00	1,37 Sig.0,01	1,14 Sig.1,00	0,68 Sig.1,00	0,55 Sig.1,00	
A	1,80 Sig.0,00	0,71 Sig.1,00	1,77 Sig.0,00	1,54 Sig.0,32	1,08 Sig.1,00	0,95 Sig.0,57	0,40 Sig.1,00

*significância no nível < 0,05

De acordo com a Tabela 16, o conjunto de provável de aquecimento local com intensidades de 1,80°C e 1,77°C são observadas quando LCZA é transformado em LCZ2 e LCZ4, respectivamente.

Mudanças estimadas e igualmente relevantes são vistas quando LCZ9 muda para LCZ4 (1,37°C) e LCZ8 (grandes edificações com área predominantemente impermeável) para LCZ2 (Médio-compacto com área densamente construída) de 0,85°C, parecendo ser a menos prejudicial.

Galusic & Dornelles (2017), salientam a importância de se considerar os aspectos climáticos das cidades no processo de planejamento, evidenciando as vantagens do estudo do microclima em áreas urbanas, trazendo benefícios ligados diretamente aos projetos construtivos e urbanos.

6.2.2.2 Verão de 2021

Durante o verão de 2021 a média de Tar prevista nos transectos (Figura 41), poderá ter registros de até 1,48°C acima das normais climatológicas (26,97°C), alta de até 0,66°C em relação a 2012 e de 0,15°C em relação a 2016. Porém, estima-se redução de até 1,81°C em relação a 2020.

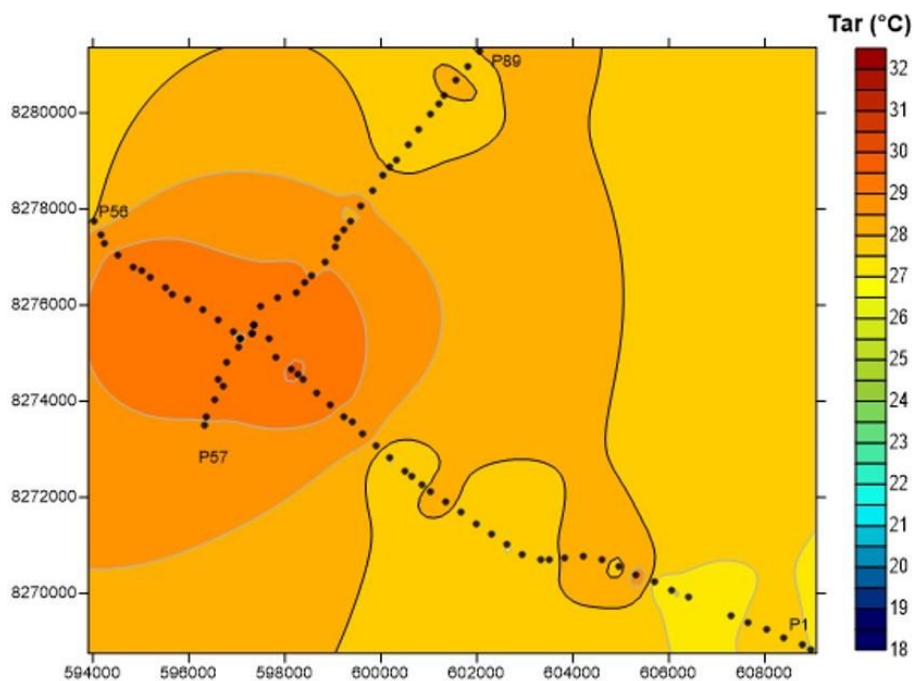


FIGURA 41 - Cenário para a temperatura do ar para o verão de 2021

Oh et al. (2020), utilizando RNA para analisar ICU e Tar observam que a temperatura do ar tende a aumentar e diminuir ao longo dos anos em Seul, o mesmo comportamento foi observado em 2011, 2016, 2019 e continuando em 2021.

Analisando as possíveis variações térmicas no verão em relação às prováveis LCZs, identifica-se que em 2021 as LCZs4 (29,22°C) e LCZ2 (29,16°C) expressarão as temperaturas mais elevadas, entretanto LCZ3 manifestará a menor Tar (27,91°C), conforme Figura 42.

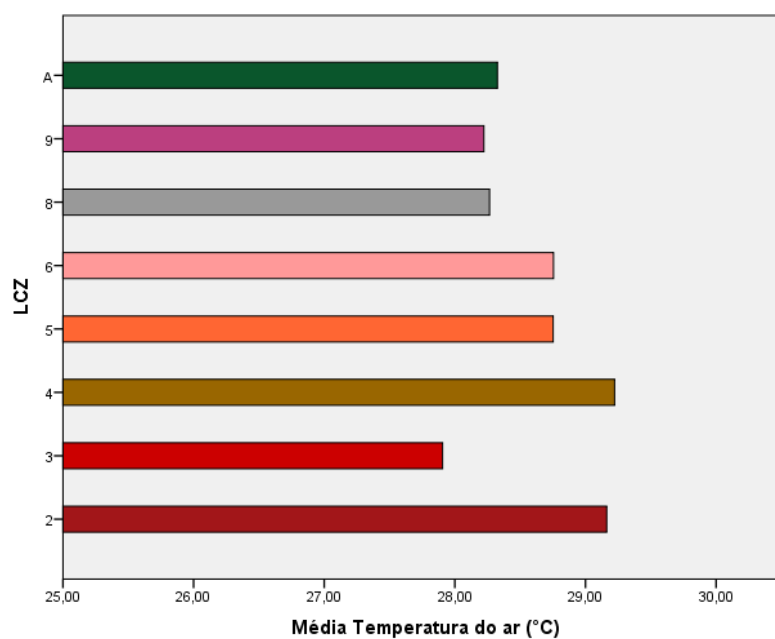


FIGURA 42 – Média da temperatura do ar para o verão de 2021 nas prováveis LCZs

Desse modo, as regiões que seguem em provável aquecimento são observadas nas tipologias de cânions urbanos com elevado adensamento (LCZ2) e cânions urbanos de menor adensamento (LCZ4).

Na validação das prováveis diferenças térmicas identificadas entre as LCZs, o teste de Kruskal-Wallis expressou $\text{sig.} < 0,05$, evidenciando relação entre as prováveis alterações da morfologia urbana e as variações térmicas, conforme Tabela 17.

TABELA 17 - Diferenças de temperatura do ar estimadas em relação as LCZs no Verão de 2021

LCZs Existentes	Diferenças de temperatura do ar (°C) estimadas em relação as LCZs						
	2	3	4	5	6	8	9
2			0,06 Sig.1,00				
3	1,25 Sig.1,00		1,31 Sig.1,00	0,84 Sig.1,00	0,85 Sig.1,00	0,36 Sig.1,00	0,31 Sig.1,00
4							
5	0,41 Sig.1,00		0,47 Sig.1,00		0,01 Sig.1,00		
6	0,40 Sig.1,00						
8	0,89 Sig.0,02		0,95 Sig.0,01	0,48 Sig.1,00	0,49 Sig.1,00		
9	0,94 Sig.0,64		1,00 Sig.0,43	0,53 Sig.1,00	0,54 Sig.1,00	0,05 Sig.1,00	
A	0,83 Sig.0,68	-0,42 Sig.1,00	0,89 Sig.0,44	0,42 Sig.1,00	0,43 Sig.1,00	-0,06 Sig.1,00	-0,11 Sig.1,00

*significância no nível < 0,05

De acordo com a Tabela 17 o conjunto provável de aquecimento local com intensidades de 0,95°C e 0,89°C são observadas quando LCZ8 é transformado em LCZ4 e LCZ2, respectivamente. Outras mudanças previstas, porém menos expressivas são observadas quando LCZ9 muda para LCZ4 (1,00°C) e LCZ2 (0,94°C), assim como LCZA para LCZ4 (0,89°C) e LCZ2 (0,83°C).

Tais mudanças surgem como reflexo de alteração da forma urbana esparsa para uma mais compacta, mantendo essas zonas mais aquecidas durante estações do ano sucessivas, porém com alternância de magnitude.

Desta maneira, na análise dos cenários futuros da ilha de calor em razão das prováveis transformações de morfologia urbana para 2021 o prognóstico para o período quente-seco, estima no outono magnitudes de 2,77 e 2,71°C quando LCZ3 é transformada em LCZ4 e LCZ5, respectivamente. Outras intensidades são observadas quando a mudança da LCZ8 para LCZ4 ou LCZ5, isso criará um aquecimento local adicional de 1,57°C e 1,51°C respectivamente.

Para o inverno são observadas magnitudes de 2,25°C e 2,01°C observadas quando LCZA é transformado em LCZ2 e LCZ4, respectivamente. Outras alterações

estimadas, porém menos expressivas são vistas quando LCZ8 muda para LCZ4 (1,01°C) e LCZ9 para LCZ4 (1,88°C), ocorrendo a partir do aumento de edifícios de grande altura para uso residencial e comercial ao longo das vias estruturais e principais que fazem parte do transecto.

Concordando com Emmanuel (2016) quando ressalta que regiões de clima tropical verão um aumento exponencial por resfriamento nas cargas sensíveis e latentes durante o período quente-seco, requerendo estratégias voltadas ao aumento da umidade relativa do ar e arrefecimento da temperatura do ar.

Quanto aos cenários representativos do período quente- úmido, considera-se para a primavera um conjunto provável de aquecimento local com intensidades de 1,80°C e 1,77°C são observadas quando LCZA é transformado em LCZ2 e LCZ4, respectivamente. Mudanças estimadas e igualmente relevantes são vistas quando LCZ9 muda para LCZ 4 (1,37°C) e LCZ8 para LCZ2 (0,85°C), parecendo ser a menos prejudicial.

Entretanto para o verão as maiores intensidades previstas serão de 0,95°C e 0,89°C quando LCZ8 é transformado em LCZ4 e LCZ2, respectivamente. Outras mudanças previstas, porém menos expressivas são vistas quando LCZ9 muda para LCZ4 (1,00°C) e LCZ2 (0,94°C), assim como LCZA para LCZ4 (0,89°C) e LCZ2 (0,83°C).

Assim o planejamento sensível ao clima precisa ser vinculado às agendas de sustentabilidade urbana mais amplas, como redução da pobreza, desenvolvimento econômico e regeneração urbana, sendo necessários arranjos institucionais inovadores para vincular a expertise científica às necessidades e exigências dos tomadores de decisão locais no nível da cidade, resultando na associação bem-sucedida da geometria da altura dos edifícios em relação a rua, inserção de espaços arborizados que produzam sombreamento e arrefecimento da temperatura do ar, considerando as oportunidades adaptativas com os padrões de atividade, conforme recomendação de Emmanuel (2018).

7. CONCLUSÃO

Devido à importância em considerar as mudanças climáticas nos centros urbanos, esta pesquisa teve o objetivo de simular cenários futuros de ilhas de calor urbana e o efeito das prováveis alterações da morfologia urbana no aquecimento em microescala.

Para tanto foi necessária a análise dos dados termohigrométricos em relação às zonas climáticas locais (LCZs) entre 2011 e 2019 para posterior simulação dos cenários futuros de 2021.

Os resultados demonstraram em escala microclimática entre 2011 e 2020, que as tipologias LCZ2 e LCZ 4 com características de cânion urbano são as que estão favorecendo a intensificação da ilha de calor urbana (na região central da cidade e nas áreas ao redor) de forma mais expressiva no período quente-seco, assim como a tipologia LCZ8 definida por grandes edificações com área predominantemente pavimentada promove a manutenção da ICU em todas as estações, em contrapartida as regiões que são caracterizadas como LCZA configuram oásis por expressarem as temperaturas mais amenas em todas as estações nos anos de estudo.

Para a simulação dos cenários futuros de ilhas de calor foram utilizadas as redes neurais artificiais do tipo LSMT para estimar a temperatura ar de cada estação do ano para 2021 e conseqüentemente a ICU, logo a RNA como instrumento para o planejamento urbano na elaboração de cenários futuros com banco de dados composto de variáveis termohigrométricas, associado a propriedades de superfície foi capaz de estimar o efeito de ilha de calor para o ano de 2021, corroborando com estudos de mudanças climáticas em cidades de clima tropical.

Desse modo revelando a evolução da magnitude da ICU em cada estação do ano, correspondendo as prováveis transformações de morfologia urbana, sendo as mais expressivas previstas para o período quente-seco. Os piores cenários de ICU são observados no período noturno a partir das prováveis transformações quando LCZA dá lugar às demais tipologias construtivas, devido à perda de vegetação arbórea densa

em detrimento da construção de edifícios e superfícies pavimentadas, sendo de até 2,25°C no inverno, até 1,80°C na primavera e até 0,95°C no verão.

Mudanças estimadas e igualmente relevantes são vistas quando muda tipologias de baixa altura para tipologias de cânions urbanos de alto FVC e baixo H/W (LCZ2 e 5) bem como cânions urbanos de baixo FVC e alto H/W (LCZ 4), criando um aquecimento local no outono de até 2,77°C, inverno de até 1,88°C, na primavera de até 1,37°C e no verão de até 1°C.

Tais mudanças expressam a intensificação das anomalias térmicas quando a morfologia urbana passa de forma esparsa para uma mais compacta com características de cânion urbano, mantendo essas zonas mais aquecidas durante estações do ano sucessivas, porém com alternância de magnitude.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As pesquisas realizadas neste trabalho são uma contribuição para a linha de pesquisa Análise Microclimática de Sistemas Urbanos, no que se refere a metodologias para investigações e posterior entendimento dos processos formadores do clima urbano.

Desta maneira, ficam sugeridas recomendações para futuras pesquisas no meio urbano:

- a. Continuidade na pesquisa aplicando redes neurais artificiais com o objetivo de desenvolver modelos para o planejamento urbano baseado no clima local;
- b. Pesquisas com coleta de dados durante o período diurno e noturno com o objetivo de verificar a Ilha de calor urbana acumulada em horas e a relação com as morfologias urbanas;
- c. Pesquisas utilizando uma base de dados maior, para sugerir um planejamento sensível ao clima visando a mitigação e a adaptação aos efeitos das ilhas de calor em cidades de clima tropical em países em desenvolvimento.

8. BIBLIOGRAFIAS

8.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Influence of Different Urban Configurations on Human Thermal Conditions in a Typical Subtropical Coast City: case of Santos, São Paulo. In: International conference on urban climate jointly, 9.; Symposium on the urban environment, 12., Toulouse, 2015. **Proceedings...**Toulouse, 2015.

AFZALI, M.; AFSANEH, A.; ZAHEDI, G. Ambienta ir temperature forecasting using artificial neural network approach. **International Conference on Environmental and Computer Science**. p.176-180, 2011.

AKBARI, H.; MATTHEWS, H. D.; SETO, D. The long-term effect of increasing the albedo of urban áreas. **Environmental Research Letterrs**. V.7. 2012.

ALVES, E. D. L.; SPECIAN V. Estudo do Comportamento Termohigrométrico em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em Iporá-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, PE, v. 3, n. 2, p. 87 – 95. 2010

AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP. **Geosul**, v. 20, n. 39, p. 65–82, UFSC – Florianópolis/Brasil, 2005.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29–45, 2015.

ANJOS, M. W. B.; GOIS, D. V.; CRUZ, R.; LIMA, L. P. Climatologia urbana e espaços verdes: contributo ao planejamento das cidades. **Revista Geonorte**, v.2, 2012. P. 233-245.

ARAÚJO, A. P.; ALEIXO, N. C. R.; MENEZES, B. B.; SOUZA, C. G.; RIVERO, C. A. V.; MONTEZANI, E.; BRAIDO, L. M. H.; BRAIDO, P. H. M.; AMORIM, M. C. T. Ensaio metodológico sobre a utilização de transectos móveis. **Revista Formação**. Presidente Prudente – SP, v. 1, n. 17, 2010.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: ENCAC/ELACAC. **Anais**. Maceió - AL, Brasil, 2005.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade – A abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. 1ª ed. Maceió: EDUFAL, 165f. 2007.

BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Uso de barreiras de radiação para minimizar o erro no registro das temperaturas do ar em edificações. **Ambiente Construído**. Porto Alegre – RS, v. 8, n. 4, p. 117 – 136, 2008.

BIANCO, H. et al. The role of urban land in climate change. In: ROSENZWEIG, c. et. alli. **Climate change and cities: First assessment report of the urban climate change research network**. New York: Cambridge University Press, 2011. pp 217-248.

BRAGA, R. **Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do Estatuto da Cidade**. In: Encontro Nacional da Anppas- 4, 2012. Belém-PA-Brasil.

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

BROWNLEE, J. **Long Short-Term Memory Networks with Python: Develop Sequence Prediction Models with Deep Learning**. 2018.

CALLEJAS, I. A. **Avaliação temporal do balanço de energia em ambientes urbanos na cidade de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental - Universidade de Mato Grosso, 242f. 2012.

CAMPELO, JR. J.H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. 3º Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. Londrina, 1991. **Anais**. Londrina, v. 1, Comunicações, p. 542-552.

CAVALCANTE, M. R. C.; SOUZA, C. A. S.; BARBIRATO, G. M.; MAIA, A. S. Microclima e Planejamento: o caso da taxa de permeabilidade do solo. In: XIV Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Balneário Camboriú - SC, Brasil, 2017.

CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP**. 2015. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Intensidade das ilhas de calor em Presidente Prudente (SP) através de zonas climáticas locais (LCZ). In. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. **Anais**. Campinas-SP, 2017. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2105 - ISBN 978-85-85369-16-3

CHEN, Y.; WONG, N. H. Thermal Benefits of the City parks. *Energy and Buildings*, v. 38, p. 105- 120, 2006

COX, S. (2012). “Cooling a Warming Planet: A Global Air Conditioning Surge”, **Yale Environment** 360, July 10.

CONTI, J. B. **Clima e Meio Ambiente**. São Paulo: Atual, 1998, 3^a ed.

DEBIAZI, P. R.; SOUZA, L. C. L. Contribuição de parâmetros do entorno urbano sobre o ambiente térmico de um campus universitário. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, V. 17, n. 4, 2017. p.215-232.

DUARTE, H. S.; SERRA, G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, V. 3, n. 2, 2003. p.7-20.

EMMANUEL, R. Urban Heat Islands and sustainable urbanity: An application agenda for tropical mega cities. In: HEBBERT, M.; JANKOVIC, V., WEBB, B. **City Weathers. Meteorology and urban design 1950-2010**. Manchester: Manchester Architecture Research Centre, 2011, p.75-80.

EMMANUEL, R. Performance standard for tropical outdoors: A critique of current impasse and a proposal for way forward. **Urban Climate**, v. 23. 2018. p.250-259. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.01.002>

EMMANUEL, R. (ed.), 2016. **Urban Climate Challenges in the Tropics: Rethinking Planning and Design Opportunities**, London: Imperial College Press, ISBN: 9781783268405, 366 pp

EMMANUEL, R.; LOCONSOLE, A. Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK. **Landscape and Urban Planning**. V. 138, p. 71-86, 2015. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.012.

EPA, 2011. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basic**.

ESTEVEZ, L. F.; NUCCI, J. C. Análise de relatórios ambientais prévios de Curitiba/PR com base nos princípios do planejamento da paisagem. **O Espaço Geográfico em Análise - R. Ra e Ga**. V.34. ago. 2015. ISSN 2177-2738.

FERNANDES, M. E.; MASIERO, E. Relação entre conforto térmico urbano e Zonas Climáticas Locais. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, vol. 12, 2020 Pontifícia Universidade Católica do Paraná. DOI: 10.1590/2175-3369.012.e20190247.

FERREIRA, H. V. L.; UGEDA JÚNIOR, J. C. Variação da temperatura da superfície através de imagens Aster em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 26, 2020. ISSN: 2237-8642.

FERREIRA, L. S. **Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo**. 2019. 196f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo, São Paulo, 2019.

FERREIRA, L. S.; DUARTE, D. Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. **Urban Climate**, v. 27, p. 105-123, 2019.

FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, ed. Especial, 2012. p. 61-76.

GALUSIC, B.; DORNELLES, K. A. Estudo da ilha de calor urbana em São Carlos/SP: como a permeabilidade dos revestimentos urbanos horizontais intervêm nas variações da temperatura do ar. IN: XIV Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Balneário Camboriú - SC, Brasil, 2017

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 243p.

GUARIENTI, C. E. **Modelagem da temperatura do ar em transecto urbano utilizando LSTM**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental - Universidade de Mato Grosso, 88f. 2020.

GUIMARÃES, D. P.; ASSAD, E. D.; LANDAU, E. C.; COSTA, T. C. C. **Uso de redes neurais para projeção climática no Brasil: Temperatura mínima**. 2014.

HUNG, T., UCHIHAMA, D., OCHI, S. et al. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 8(1), 34–48, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2005.05.003>.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5. 2014b.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, Pachauri, R.K, & A. Reisinger, (eds.), IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

ISO - International Organization for Standardization. **7726 - Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. Genebra, 1998.

JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v.51, n. 2, p.119-133, 2006.

LEÃO, E. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 147 f. Cuiabá, MT.

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

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. 220f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994,

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. **Vegetação Urbana**. Porto Alegre. 3ª Edição. 2010.

MASIERO, E.; SOUZA, L. C. L. Clima urbano e estabelecimentos de diretrizes para cenários de ocupação do solo. **Cadernos Zgmunt Bauman**. V. 8. n. 18. 2018. ISSN 2236-4099

MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; CARTALIS, C.; TSANGRASSOULIS, A. Simulation of the urban heat island phenomenon in mediterranean climates. **Pure and Applied Geophysics**. p.429-451, 2004.

MILLS, G. Urban Climatology: History, status and prospects. **Urban Climate**, v. 10, n. P3, p.479489, 2014.

MONTEIRO, C. A. **Teoria e clima urbano**. 1976. 181f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo.

MORIZE, H. **Contribuição ao estudo do clima do Brasil**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, 1927.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, J. S. Conforto térmico em escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. **Revista eletrônica em educação ambiental**. Rio Grande – RS. v.14, 2005.

OH, J.; NGARAMBE, J.; DUHIRWE, P. N. Z.; GEUN, Y. Y.; SANTAMOURIS, M. Using deep-learning to forecast the magnitude and characteristics of urban heat island. In Seoul, Korea. **Scientific Reports**, feb.2020.

OLIVEIRA, M. C. A.; PEREIRA, L. C. L. Uma leitura sobre a influência da arborização em uma quadra em Palmas/TO. . IN: XIV Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Balneário Camboriú - SC, Brasil, 2017.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quartely Journal of The Royal Meteorological Society**. v.108, n.455. p.1-24. 1982.

Oke, T.R., 1987: **Boundary Layer Climates**, 2nd edn., Routledge, London, 435 pp.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observation at urban sites**. Geneva: WMO. 2004.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 542p. ISBN 9781107429536

PAULA, D. C. J. **Análise termohigrométrica pós intervenções urbanas em Cuiabá-MT**. Cuiabá, 2017. 106f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2017.

PBMC, 2016: Mudanças climáticas e cidades. **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** (Ribeiro, S. K.; SANTOS, A. S. (eds)). PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PERERA, N. G. R.; EMMANUEL, R. 2018, 'A "Local Climate Zone" based approach to urban planning in Colombo, Sri Lanka', **Urban Climate**, vol. 23, pp. 188-203. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.11.006>

PINTON, L. G.; RIBEIRO, M. C. A.; SUIZU, T. M.; AMORIM, M. C. C. T. Magnitudes do fenômeno da ilha de calor urbana em Sacramento (MG): perspectivas de aplicação do sistema das zonas climáticas locais em cidades de pequeno porte.

Revista Caminhos de Geografia. Uberlândia-MG. v.22, 2021. p.161-179. ISSN 1678-6343 DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG227953890>

RIBEIRO, W.C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)**. Parcerias Estratégicas, 2008. v. 13, n 27.

ROTH, M. Review of urban climate research in (sub)tropical regions. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 14, p. 1859-1873, nov. 2007. <https://doi.org/10.1002/joc.1591>

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenvolvimento urbano**. São Paulo: Projeto, 2001. 2ª edição, 128p.

ROSENZWEIG, C.; SOLECKI, F.; HAMER, S.; MEHROTRA, E. Urban Climate Change in Context. *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate*. **Change Research Network**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 3–11.

ROSENZWEIG et al., 2015: ARC3.2 Summary for City Leaders. *Urban Climate Change Research Network*. Columbia University. New York.

SABINO, C. V. S., LAGE, L. V., NORONHA, C. V. Variação Sazonal e Temporal da qualidade das águas em um ponto do córrego Gamaleiras usando térmicas quimiométricas robustas. **Eng. Sanit. Ambiental**. v.22, n.5, p969-983. 2017.

SANTAMOURIS, M. Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. **Science of The Total Environment** 512–513, 582–598 (2015)

SANTOS, F. M. M. **Influência da ocupação do solo na variação termohigrométrica na cidade de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental). UFMT, Cuiabá-MT, 2012.

SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Análise da influência da ocupação do solo na variação termohigrométrica por meio de transectos noturno em Cuiabá-MT. **Revista Caminhos de Geografia**, v.13, 2012. p.187-194.

SILVA JÚNIOR, A. A.; GOMES, R. S. R.; VENTURA, T. M.; RODRIGUES, T. R.; NOGUEIRA, J. S.; OLIVEIRA, A. G.; FIGUEIREDO, J. M. Visão geral sobre o tratamento de dados meteorológicos no Brasil. **Natural Resources**, v.9, n.2, p.59-66, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2019.002.0006>

SHEKIN, D.J. Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. 5 ed. 1926p. **Boca Raton**: Chapman & Hall. 2011.

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. São Paulo, 2009, 173p. Dissertação (Mestrado – Área e Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAU/USP. São Paulo, 2009.

SILVEIRA, A. L. R. C. **Parâmetros bioclimáticos para avaliação de conjuntos habitacionais na região tropical subúmida do Brasil**. Brasília, 2007. 312 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. 2011a. 368p. Thesis (Doctor of Philosophy). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver.

STEWART, I. D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. **Int. J. Climatol.**, 31, p. 200–217, 2011b

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 93, p. 1879–1900, 2012.

SOUZA, N. S. **Análise da relação da radiação solar na formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá-MT**. Cuiabá, 2016, 60f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Pós-Graduação em Física-Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

TANGERINO, D. F.; LOURENÇO, R. T. Comparação da exatidão de métodos de classificação supervisionada e não supervisionada a partir do índice kappa na microbacia do Ribeirão Duas Águas em Botucatu/SP. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. 16. 2013. Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2013. p.4093-4100.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. O estudo da ilha de calor em cidades de pequeno porte: algumas contribuições. **Sociedade e Natureza**. V. 30. n. 2. mai./ago. 2018. p. 186-209. ISSN 1982-4513

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, 2012. p.227-234.

VALIN Jr., M. O. **Análise de abrigos termo-higrométricos alternativos para transectos móveis**. Cuiabá, 2019. 118f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2019.

VALIN JR, M. O.; SANTOS, F. M. M. Levantamento bibliográfico da utilização de transectos em pesquisas de clima urbano no brasil e recomendações de padronização nos procedimentos. **Revista Brasileira de Climatologia**. v.26. 2020. p.425-440. ISSN: 2237-8642

VAREJÃO, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife-PE. Brasil. Março, 2006.

VENTURA, T. M.; SANTANA, L. L. R.; MARTINS, C. A.; FIGUEIREDO, J. M. Análise da Aplicabilidade de Métodos Estatísticos para Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.19, p.168-177, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v19i0.44989>.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v.86, n.3, p.370-385, 2003

YOUNG LEE, Y.; KIM, J. T.; YUN, G. Y. The neural network predictive model for heat island. Intensity in Seoul. **Energy and Buildings**. p. 353-361, 2015.

ZHAO, C. et al. Urban planning indicators, morphology and Climate indicators: A case study for north-south transecto of Beijing, China. **Building and Environment**, v.46, n.5, p.1174-1183, 2011.

8.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

Data Science Academy. Deep Learning Book, 2019. Disponível em: <<http://www.deeplearningbook.com.br/>>. Acesso em: 10 Abril. 2020.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em fevereiro de 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em julho de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/cuiaba/panorama>. Acessado em 06.08.2020.

ICLEI; Programa Cidades Sustentáveis, 2016: **Guia de Ação Local pelo Clima**. São Paulo, Brasil. ISBN 978-85-99093-29-0

Nasa Earth Observatory, 2016. July 2016 was the hottest month on record. Disponível em: <earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=88607>

ONU – Organização das Nações Unidas. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/166070>. Acesso em: abr.2020.