

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Rosiane de Oliveira Souza

Efeitos da vegetação no conforto térmico de praças urbanas: análise de cenários parametrizados sob influência de onda de calor

Juiz de Fora

2024

Rosiane de Oliveira Souza

Efeitos da vegetação no conforto térmico de praças urbanas: análise de cenários parametrizados sob influência de onda de calor

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Projeto do Ambiente Construído.

Orientador: Professor Dr. Klaus Chaves Alberto

Coorientadora: Professora Dra. Sabrina Andrade Barbosa

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

de Oliveira Souza, Rosiane.

Efeitos da vegetação no conforto térmico de praças urbanas : : análise de cenários parametrizados sob influência de onda de calor / Rosiane de Oliveira Souza. -- 2024.

96 p. : il.

Orientador: Klaus Chaves Alberto

Coorientadora: Sabrina Andrade Barbosa

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2024.

1. Conforto térmico urbano. 2. Paisagem urbana. 3. Simulações. I. Chaves Alberto, Klaus, orient. II. Andrade Barbosa, Sabrina, coorient. III. Título.

Rosiane de Oliveira Souza

Efeitos da vegetação no conforto térmico de praças urbanas: análise de cenários parametrizados sob influência de onda de calor

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído, Programa da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 14 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr Klaus Chaves Alberto - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) Sabrina Andrade Barbosa - Coorientador(a)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof Dr Fábio de Oliveira Sanches - Membro Interno

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) Patrícia Regina Chaves Drach- Membro Externo
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Juiz de Fora, 26/09/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Klaus Chaves Alberto, Coordenador(a)**, em 16/10/2024, às 11:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio de Oliveira Sanches, Professor(a)**, em 16/10/2024, às 14:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patricia Regina Chaves Drach, Usuário Externo**, em 17/10/2024, às 11:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sabrina Andrade Barbosa, Usuário Externo**, em 17/10/2024, às 14:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2006539** e o código CRC **E4B3AD5A**.

Dedico este trabalho a minha família, humana, felina e canina, aos mestres da vida toda e aos meus amigos, todos são peças fundamentais para a conclusão de mais esta importante etapa.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todo auxílio, cuidado, proteção e apoio aos estudos e todas as minhas decisões;

À família, pela disposição em auxiliar sempre no que eu precisar, apoio e razões para acreditar em minha capacidade;

Aos amigos e professores de toda minha trajetória, por toda ajuda disponibilizada em me facilitar as etapas de conclusão, pelo apoio e pelos muitos anos de amizade e trocas de experiências;

Aos meus orientadores, por embarcarem 100% comigo nessa experiência, por toda competência, solicitude, apoio e experiência compartilhada;

A todos que de certa forma facilitaram e/ou auxiliaram na coleta de informações e execução das etapas da pesquisa. Gratidão!

“A alta temperatura, decorrente do chamado 'efeito estufa', nada mais é do que a constatação do estado febril em que o planeta doente se encontra. ”

PAULO CESAR PASCHOALINI

RESUMO

O uso da cobertura vegetal em praças urbanas pode ser um elemento mitigador do efeito local das ilhas de calor urbano (ICU). Contudo, há ainda necessidade de estudos sobre o impacto do aumento da proporção de massa vegetativa no microclima de pequenas áreas urbanas, sobretudo em regiões mais quentes. A presente pesquisa comparou a atual configuração de três praças urbanas localizadas na cidade de Juiz de Fora - MG com cenários alternativos que consideraram diferentes composições vegetativas (área e tipo de vegetação). O estudo, conduzido em dias de onda de calor, analisou temperatura e umidade do ar, bem como o índice de conforto UTCI resultantes de três cenários alternativos com diferentes tipos de cobertura vegetal, em três praças com tamanhos distintos, dentro de um entorno parecido, no centro urbano de Juiz de Fora (MG). Para isso, a partir do levantamento paisagístico das praças em seu estado atual, simulações computacionais das condições térmicas do modelo real e dos cenários alternativos foram desenvolvidas no *software* Envi-Met, versão 5.5. Os cenários alternativos foram modelados com 100% de gramíneas, 100% de cobertura arbórea e 50% de gramínea com 50% de arbórea. Os resultados mostraram que a área coberta 100% com vegetação arbórea, nas condições microclimáticas, foram capazes de diminuir a temperatura, além de aumentar a umidade no interior das praças, melhorando a sensação térmica no ambiente.

Palavras-chave: Conforto térmico urbano. Paisagem urbana. Simulações.

ABSTRACT

The use of vegetation cover in urban squares can be an element that mitigates the local effect of urban heat islands (UCI). However, there is still a need for studies on the impact of increasing the proportion of vegetative mass on the microclimate of small urban areas, especially in warmer regions. This research compared the current configuration of three urban squares located in the city of Juiz de Fora - MG with alternative scenarios that considered different vegetative compositions (area and type of vegetation). The study, conducted on heat wave days, analyzed air temperature and humidity, as well as the UTCI comfort index resulting from three alternative scenarios with different types of vegetation cover, in three squares with different sizes, within similar surroundings, in the urban center of Juiz de Fora (MG). To this end, based on the landscape survey of the squares in their current state, computer simulations of the thermal conditions of the real model and alternative scenarios were developed in the Envi-Met version 5.5 *software*. Alternative scenarios were modeled with 100% grass, 100% tree cover and 50% grass with 50% tree cover. The results showed that the area covered 100% with tree vegetation, under microclimatic conditions, was able to reduce the temperature, in addition to increasing the humidity inside the squares, improving the thermal sensation in the environment.

Keywords: Urban thermal comfort. Urban landscape. Simulations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Fonte: ONU, 2015.....	15
Figura 2 – Reportagem sobre a oitava onda de calor em 2023. Fonte: Levigard, 2023.	20
Figura 3 – Reportagem sobre a onda de calor em Juiz de Fora. Fonte: Floriano, 2023.	21
Figura 4 - Mapa geral de Minas Gerais e Juiz de Fora. Fonte: A autora, adaptado de IBGE, 2010 e PJF, 2019.....	34
Figura 5 - Mapa de propensão de ICU do bairro Centro e localização das áreas de estudo. Fonte: A autora, adaptado de Pimentel, 2017.	36
Figura 6 - Características físicas e porcentagem de área verde das praças do estudo. Fonte: A autora, adaptado de Alberto <i>et al.</i> , (2020).	37
Figura 7 - Mapa de caracterização de materiais, morfologia e localização vegetativa – Praça Parque Halfeld. Fonte: A autora, 2023.	38
Figura 8 - Mapa de caracterização de materiais, morfologia e localização vegetativa - Praça Dr. João Penido. Fonte: A autora, 2023.	40
Figura 9 - Mapa de caracterização de materiais, morfologia e localização vegetativa - Praça Antônio Carlos. Fonte: A autora, 2023.....	41
Figura 10 - Instrumento utilizado para coleta de dados. Fonte: A autora, 2023.	42
Figura 11 - Mapas de temperatura do ar da Praça Parque Halfeld por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.	54
Figura 12 - Mapas de temperatura do ar da Praça Dr. João Penido por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.	57
Figura 13 - Mapas de temperatura do ar da Praça Antônio Carlos por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.	59
Figura 14 - Mapas de umidade do ar da Praça Parque Halfeld por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.	64
Figura 15 - Mapas de umidade do ar da Praça Dr. João Penido por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.	66
Figura 16 - Mapas de umidade do ar da Praça Antônio Carlos por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.	68
Figura 17 - Mapas de UTCI da Praça Parque Halfeld por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.....	74
Figura 18 - Mapas de UTCI da Praça Dr. João Penido por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.....	76
Figura 19 - Mapas de UTCI da Praça Antônio Carlos por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Configurações pré modelagem. Fonte: A autora, 2023.	47
Quadro 2 - Materiais e vegetações configuradas de acordo com o banco de dados Envi-Met 5.5. Fonte: A autora, 2023.	47
Quadro 3 - Parâmetros de entrada da simulação. Fonte: Torres (2017), Silva (2019), Pereira (2020), a autora, 2023.	49
Quadro 4 - Faixas de estresse térmico de UTCI. Fonte: Adaptado de Rossi, Krüger e Bröde (2012).	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados extraídos de temperatura para todos os cenários. Fonte: A autora, 2024.	52
Legenda: PQHA - Parque Halfeld; PDJP – Praça Dr. João Penido; PAC – Praça Antonio Carlos.....	61
Tabela 2 - Dados extraídos de umidade para todos os cenários. Fonte: A autora, 2024.	61
Legenda: PQHA - Parque Halfeld; PDJP – Praça Dr. João Penido; PAC – Praça Antonio Carlos.....	71
Tabela 3 - Dados extraídos de UTCI para todos os cenários. Fonte: A autora, 2024.	71

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	14
1.2 OBJETIVOS.....	22
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1 ESTUDOS SOBRE A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO	24
2.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E CONFORTO TÉRMICO	27
2.2.1 Temperatura do ar.....	27
2.2.2 Umidade do ar.....	28
2.2.3 Vento.....	28
2.2.4 Emissividade e albedo	29
2.2.5 Sombreamento.....	29
2.2.6 Evapotranspiração	30
2.2.7 Sensação térmica.....	30
2.2.8 Índice de conforto UTCI.....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO - JUIZ DE FORA (MG).....	33
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PRAÇAS	36
3.3 COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS DAS PRAÇAS	41
3.4 DADOS DE CONTORNO PARA A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	43
3.5 CONFIGURAÇÕES DOS CENÁRIOS SIMULADOS.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 TEMPERATURA E UMIDADE DO AR	51
4.1.1 Temperatura do ar.....	52
4.1.2 Umidade do ar.....	61
4.2 ÍNDICE DE CONFORTO UTCI	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
Contribuições, limitações da pesquisa e indicação para estudos futuros	81
Agradecimentos.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
APÊNDICE A: Dados estatísticos de ANOVA e Teste Tukey da temperatura do ar na semana de coleta	89
APÊNDICE B: Dados estatísticos de ANOVA e Teste Tukey da umidade do ar na semana de coleta.....	93

INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Até a década de 1970, acreditava-se que a Terra servia de fonte de subsistência humana inesgotável, mas fenômenos relacionados com o clima como inversão térmica, chuva ácida, inundações, secas, incêndios e alterações na temperatura fizeram com que tal teoria fosse questionada (Brundtland, 1991). Assim, mais recentemente, o tema Ecologia passou a ser discutido com o intuito de preservar e garantir o futuro do planeta e dos recursos naturais. A primeira dessas discussões ocorreu na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo, em 1972, que deu início ao plano de melhoria das ações que as nações deveriam cumprir em prol do meio ambiente. Com o passar dos anos, esse plano foi evoluindo a cada conferência realizada, quando em 1987, no relatório de desenvolvimento intitulado “Nosso Futuro Comum”, surgiu o termo ‘Desenvolvimento Sustentável’, que o descreve como, “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (Brundtland, 1991, p. 9), referindo-se ao equilíbrio entre a preservação do ambiente e o desenvolvimento socioeconômico, cultural e político.

Segundo o relatório, para o desenvolvimento sustentável acontecer, é necessário atender as demandas básicas de saúde, moradia, alimentação e educação da sociedade; para tal, durante as diversas conferências realizadas foram criados objetivos para que os países possam alcançar o desenvolvimento simultâneo à sustentabilidade. O termo “sustentabilidade” surgiu em 2002 na conferência Rio+10, realizada em Johannesburgo, onde representantes de 189 países e algumas Organizações Não Governamentais (ONGs) discutiram objetivos a serem traçados para, além de questões ambientais, mitigar questões sociais e econômicas, como saneamento básico, energia, biodiversidade, entre outros objetivos.

Em 2015, após a reunião de líderes mundiais em Nova York para criar um plano de erradicação da pobreza, entre outros objetivos, a ONU (Organização das Nações

Unidas), divulgou uma lista com “17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” (Figura 1), que abrange todos os conceitos discutidos nas conferências até aquele momento, com planejamento de adoção pelos países até 2030 com intuito de alcançar o desenvolvimento sustentável.



Figura 1 - Objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Fonte: ONU, 2015.

Desta maneira, é possível estabelecer, no ato do planejamento de uma cidade, estratégias para garantir a preservação e a equidade dos ambientes urbanos da cidade, equilibrando áreas verdes com as áreas construídas, levando em consideração as características do espaço como um todo, além da adequação das estratégias de conforto ambiental, bem como a avaliação das leis e normativas incitadas sobre ele.

Como forma de valorizar os compromissos firmados pelos países anteriormente e fortalecer os ODSs, em especial se tratando do objetivo 11 que remete a questão da cidade sustentável, a presente pesquisa torna-se, em conjunto aos demais documentos, planos, leis e normas, um instrumento importante para viabilizar o desenvolvimento urbano sustentável. É válido ressaltar que, é de grande importância a existência de estudos facilitadores envolvidos com a sustentabilidade local, de maneira a permitir a aplicação de benefícios para gerar a melhoria da qualidade de vida e preservação ambiental, contribuindo para formulação e/ou manutenção de políticas públicas para mitigar os efeitos do aquecimento urbano em climas tropicais.

Em relação ao aquecimento urbano, por volta da década de 1950, já estava sendo desenvolvida uma conceituação sobre o fenômeno das ilhas de calor urbano (ICU) (Magalhães filho, 2006), que é resultado da alta concentração de energia solar

absorvida por materiais no meio urbano com baixa taxa de albedo. Estes materiais têm limitada capacidade de refletir a energia solar de volta para o espaço, absorvendo energia e conseqüentemente aumentando a temperatura do ar no entorno (Teixeira e Amorim, 2017). De acordo com Liu *et al.*, (2021), as ICU são um efeito da urbanização acelerada que causam a deterioração da habitabilidade dos espaços urbanos.

Por consequência do fenômeno de ICU, têm-se multiplicado as áreas desconfortáveis devido ao calor retido pelos materiais urbanos, pela massa edificada e pela dispersão não planejada da vegetação. Tais áreas são denominadas 'microclimas', que tratam das áreas pequenas com condições atmosféricas divergentes da sua localização maior. Geralmente, esse fenômeno é ocasionado por limitadores geomorfológicos, entre outras barreiras físicas que impedem a movimentação natural do clima (Gartland, 2010).

A quantidade de área verde por número de habitantes de uma região ou local pode ser um fator para redução dos efeitos da ICU e é também um determinante da qualidade de vida das pessoas. Em 1997, a Organização Mundial da Saúde (OMS) sugeriu o valor de 9m²/hab a ser adotado como mínimo para o desenvolvimento urbano para a América Latina e Caribe (IDB, 1997). A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) recomenda o valor mínimo de áreas verdes de 15m²/hab (SBAU, 1996). Para Oke (1973), o recomendável é disponibilizar aproximadamente 30% da área urbana para a alocação de áreas verdes, o que já seria suficiente para promover equilíbrio térmico e propiciar conforto; índices inferiores a 5% se assemelham às características climáticas de um deserto.

As praças, dentre os espaços livres públicos das cidades, se destacam por aproximar as pessoas destas áreas verdes pois, frequentemente, encontram-se dispersas na malha urbana fazendo parte dos trajetos diários de seus habitantes. Elas promovem áreas de descanso, áreas para o convívio social, além de serem utilizadas para diversas manifestações de diferentes grupos da sociedade. Áreas com este fim

estão relacionadas com outros ganhos em nível pessoal como o aumento da atividade física de seus usuários (Cleland *et al.*, 2019 e Florindo *et al.*, 2017).

De acordo com Ma *et al.*, (2022), a análise microclimática de um espaço urbano deve considerar condicionantes como a incidência solar e as trocas radiativas, direção e intensidade dos ventos, topografia, vegetação e presença de umidade. Além destes fatores, o traçado urbano, a morfologia das edificações, a característica das superfícies e o comportamento dos indivíduos também influenciam nas condições térmicas destes espaços. Um outro importante aspecto que influencia nas condições térmicas do ambiente urbano é a evapotranspiração. A vegetação pode ser um parâmetro para equilibrar os níveis ambientais de conforto térmico do espaço sendo, ao mesmo tempo, uma oportunidade para facilitar a coexistência entre a natureza e o ser humano, contribuindo para melhoria da qualidade de vida e da sustentabilidade urbana (Duarte, 2015). Assim, no campo do conforto ambiental urbano, as praças podem auxiliar na permeabilidade da ventilação nos espaços urbanos, na ampliação dos espaços com amplo acesso à luz solar. Suas áreas verdes (de pequena, média e de grande porte) contribuem para o equilíbrio da temperatura urbana, além de promover mais áreas sombreadas para os habitantes (Robba e Macedo, 2002).

Assim, apesar das praças terem seus benefícios sociais reconhecidos, percebe-se a necessidade de estudos que abordem as praças em relação aos benefícios termo ambientais tanto para seus usuários quanto para seu entorno. O aprofundamento do conhecimento sobre o impacto do aumento da proporção de massa vegetativa no microclima de pequenas áreas urbanas pode contribuir para a melhoria do ambiente destes espaços urbanos disseminados nas cidades.

De acordo com Veiga *et al.*, (2017), é possível analisar os problemas urbanos que surgem de alterações devido às ações antrópicas a partir de mudanças ocorridas na paisagem natural. A supressão de áreas verdes urbanas e o considerável aumento de áreas impermeáveis podem ocasionar desastres naturais, como deslizamento de encostas, poluição de reservas hídricas, aumento das ilhas de calor urbano, diminuição de áreas com cobertura de solos, entre outros problemas urbanos. A

implantação de áreas verdes urbanas é um fator de grande importância para a recuperação e/ou manutenção, prevenção de áreas degradadas. Entretanto tais espécies não podem ser distribuídas de maneira aleatória. Assim, estudos preliminares com utilização de *softwares* de simulação adequados podem ajudar a prever e prevenir problemas ambientais (Pereira, 2020).

Berardi, Jandaghian e Graham (2020) realizaram um estudo onde indicaram, por meio de análises macro e micro, que a inserção de vegetação em um local pode reduzir a temperatura e aumentar a umidade relativa do ar. O estudo, realizado em Toronto, comparou duas áreas vulneráveis durante uma onda de calor e avaliou diferentes cenários com inserção de áreas verdes (com 50% e 100% mais vegetação) no *software* Envi-Met. Eles identificaram a capacidade da vegetação em reduzir a temperatura do ar em até 1,4°C, apenas aumentando 50% a massa vegetativa local.

Segundo Sanches *et al.*, (2018), para realização de estudos no campo da climatologia, é recomendado a utilização da metodologia de análise da Organização Meteorológica Mundial (WMO), realizando um recorte cronológico para verificar, em um período de 10 anos anteriores ao período de realização da pesquisa, qual foi o pico de elevação acentuado de temperatura na história do local de estudo. Além disso, em casos em que existe uma previsão de *El Niño* para o ano vigente, o período certamente vai conter um pico de elevação das variáveis climáticas de maneira extrema (Berardi, Jandaghian e Graham 2020).

El Niño é um fenômeno climático caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. Ele tem impactos significativos no clima global, influenciando padrões de precipitação, temperatura e fenômenos meteorológicos extremos. Medir dados durante uma onda de calor pode informar políticas de planejamento urbano, como a criação de espaços verdes, instalação de tetos verdes e a implementação de materiais de construção que absorvem menos calor. Essas medidas podem ajudar a reduzir o efeito de ilha de calor urbana. A coleta de dados durante ondas de calor contribui para a pesquisa científica sobre mudanças climáticas. Esses dados são essenciais para modelar o clima futuro, entender padrões de aquecimento global e desenvolver políticas eficazes de mitigação e adaptação (ver testes estatísticos nos Apêndices A e B). O fenômeno possui implicações amplas e

diversas, tornando o monitoramento e a compreensão desse fenômeno essenciais para a mitigação de seus impactos em nível global (CPTEC/INPE, 2016).

Geralmente, os estudos (Zolch, 2019; Adário *et al.*, 2019; Pereira, 2020) utilizam-se de dados climáticos representativos da data de estudo escolhida, obtidos através da plataforma online do Instituto de Meteorologia (INMET). Segundo Sanches (2018), dados repassados pelo *site*, são transmitidos hora a hora pelas estações automáticas das cidades, e nem todas as cidades possuem diversas estações que geram dados meteorológicos distribuídos. Muitas dessas utilizam dados de apenas uma estação, para toda a área do município, como é o caso de Juiz de Fora. Embora a utilização de dados de apenas um local na cidade possa contribuir para o desenvolvimento de estudos de maior escala, estes dados podem distorcer a realidade e impedir o entendimento de contextos específicos de menor escala, como as praças urbanas, como é possível identificar em outros estudos para o mesmo objetivo, porém que se utilizaram da alternativa de medições, no local específico, com uso de equipamento próprio, adequado a coleta (Pimentel, 2017; Almeida *et al.*, 2023). Assim, verificar as diferenças entre simulações baseadas em dados de temperatura e umidade do ar coletados no local e em simulações computacionais baseados integralmente nos dados do INMET em diferentes contextos urbanos pode contribuir para melhor compreender e analisar as discrepâncias climáticas.

Desta forma, para o presente estudo, foi realizada coleta dos dados durante a semana do maior pico de elevação das variáveis previsto pelo INMET para 2023, sendo que o dia 25 de setembro destacou-se por ter atingido as temperaturas mais altas e umidades mais baixas ao longo da semana, atingindo 38°C em determinados pontos, em um mês que geralmente tem médias amenas próximas a 20,6°C. As figuras 2 e 3 a seguir, mostram reportagens de Minas Gerais e de Juiz de Fora, respectivamente, na época (ver Apêndices A e B) de coleta dos dados microclimáticos sob influência da anomalia citada.

Brasil

Brasil vive 8ª onda de calor em 2023 e temperaturas ficam altas até janeiro; veja a previsão do fim de semana

Inmet emitiu um alerta de 'Grande Perigo' de onda de calor para o Centro-Oeste, com temperaturas médias 5°C acima da média

Por Ericka Levigard* — Rio de Janeiro
11/11/2023 09:00 - Atualizado há 9 meses



País deve registrar altas temperaturas até o fim do verão — Foto: Ronaldo Silva/Ass Press/Ugência O Globo

Figura 2 – Reportagem sobre a oitava onda de calor em 2023. Fonte: Levigard, 2023.

Tarde com ventos de até 50 km/h marca fim da onda de calor

Temperatura deve ficar amena nesta quinta-feira, com alerta para pancadas de chuva.

Receba as notícias da Tribuna no Whatsapp

Por Mariana Floriano
27/04/2023 às 18h36



Figura 3 – Reportagem sobre a onda de calor em Juiz de Fora. Fonte: Floriano, 2023.

Além disso, foram desenvolvidas simulações computacionais utilizando o *software* ENVI-met. O *software* ENVI-met 5.5 é um modelo que utiliza a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) baseada em equações RANS (representação das tensões turbulentas que descrevem os efeitos das flutuações de pressão e velocidade), para analisar o fluxo atmosférico e a transferência de calor que acontecem em ambientes urbanos. Desenvolvido inicialmente por Bruse, em sua dissertação na Alemanha em 1998, o modelo passou por evoluções até chegar na atual versão (v 5.5). Apesar de possuir ferramentas diferenciadas em relação aos programas comumente utilizados, possui uma interface relativamente simples, que permite ao pesquisador executar as simulações propostas e utilizar os *plugins* de maneira diversificada e interconectada. Ele possui a capacidade de modelar geometrias urbanas mais complexas, além de considerar cargas térmicas do entorno,

como o calor residual de veículos, efeitos característicos da água, entre outras variáveis que podem impactar nos valores higrotérmicos (Crank *et al.*, 2018).

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho possui como objetivo geral **comparar, por meio de simulação computacional, as condições térmicas de três praças localizadas no centro urbano de Juiz de Fora (MG), considerando quatro cenários com diferentes tipos de cobertura vegetal (situação atual das praças; praças com 100% de massa vegetativa do tipo arbórea; praças com 100% de vegetação gramínea e; praças com 50% de sua vegetação gramínea e 50% arbórea) sob condições de anomalia térmica ocasionada pelo período de *El Niño*.**

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação foi estruturada em introdução e 4 capítulos. A introdução apresenta um panorama do contexto do estudo, sua justificativa e conceitos sobre as ilhas de calor urbano e o microclima, além do contexto espacial do local de implementação do estudo e o período considerado. Além disso, são apresentados os objetivos do trabalho.

No Capítulo 2 apresenta-se a fundamentação teórica, como o tema do conforto térmico urbano vem sendo estudado ao longo dos anos, quais os tipos de simulações e verificações são utilizadas para descrever os resultados e quais as lacunas de conhecimento acerca do tema foram tratadas na pesquisa.

O terceiro capítulo, intitulado materiais e métodos, descreve os procedimentos metodológicos seguidos na pesquisa, desde a coleta realizada *in loco* nas praças urbanas, a caracterização dos cenários parametrizados, modelagem e configurações necessárias no *software* de simulação, bem como a seleção e tratamento dos dados de saída das simulações. Além disso, mostra os critérios de seleção das praças para a aplicação do estudo, as variáveis utilizadas como parâmetros de verificação e as formas de tratamento dos dados resultantes.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos, discute como as características físicas das praças estudadas influenciam nos resultados.

Por fim, as considerações finais, considera uma compilação dos resultados dos cenários simulados, apontando os tópicos relevantes para o planejamento urbano. Também sendo abordadas as limitações da pesquisa e as indicações para estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, dividido em duas seções, são apresentados os conteúdos referenciais teórico-conceituais adotados para o desenvolvimento da pesquisa, no qual são abordados os aspectos relacionados à climatologia que envolve as áreas verdes urbanas, apresentando estudos sobre a forma como são trabalhados nas pesquisas atuais. Na segunda seção, são apresentados os conceitos teóricos de maior relevância para o presente estudo.

2.1 ESTUDOS SOBRE A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO

No contexto da temperatura das cidades, Neves e Bonatto (2019) utilizaram como estudo de caso, um trecho de cânion urbano no centro de Vitória-ES e compararam, por meio de simulação computacional, o cenário atual com dois cenários: um caso com edificações com telhado verde e outro com jardins verticais. Com as simulações feitas no Envi-Met, a autora constatou que as paredes verdes são capazes de ser mais eficientes que os telhados verdes em reduzir a temperatura local na altura do pedestre. O cenário com jardins verticais foi capaz de reduzir em 2,5°C a temperatura, além de aumentar em 5,76% a umidade, além de melhorar o índice de conforto PMV (*Predicted Mean Vote*) em 1 ponto na escala de sensação térmica.

Similarmente, o estudo de Berardi, Jandaghian e Graham (2020) realizado em Toronto comparou duas áreas vulneráveis durante uma onda de calor e avaliou diferentes cenários com inserção de áreas verdes com 50% e 100% mais vegetação no *software* Envi-Met. Eles identificaram a capacidade da vegetação em reduzir a temperatura do ar em até 1,4°C quando há um aumento de 50% da massa vegetativa local, enquanto se houver um incremento de 100% de massa vegetativa, pode reduzir a temperatura em até 2,3°C.

Na pesquisa de Zolch *et al.*, (2019) realizada em Munique, foram simulados nove cenários com diferentes aplicações de vegetação, com o intuito de testar diferentes casos (localização, tipo e distribuição da vegetação) de área verde em uma

praça também no *software* Envi-Met. Os cenários com implantação de árvores, quando adequadamente localizadas em áreas com grande incidência solar, resultaram em alto potencial de resfriamento com conforto e controle térmico, os resultados indicaram pouco potencial de resfriamento da área para o caso com grama sem árvores. Os autores destacaram a importância do planejamento de áreas urbanas com objetivo de alcançar um ótimo desempenho no conforto ambiental, pois o posicionamento da vegetação pode influenciar as áreas sombreadas, na permissão ou no bloqueio da ventilação, além da capacidade de reter as ondas solares. Segundo Zolch *et al.*, (2019), a distribuição das árvores no local gera melhores resultados de resfriamento do microclima, se for levado em consideração o layout do ambiente relacionado ao trajeto solar, árvores orientadas a gerar o sombreamento na área de implantação, principalmente no período da tarde, são capazes de gerar resultados positivos com relação a diminuição da temperatura.

Shinzato (2014), de forma mais específica, analisou a interação entre o solo, a vegetação e a atmosfera, verificando o comportamento das variáveis de microclima, embaixo do dossel das árvores, de acordo com o índice de área foliar (IAF) e o tamanho e densidade da copa. Para tanto, a autora utilizou de simulações no Envi-met, com alterações nas características especificamente do dossel, para cada cenário simulado. Com isso, chegou ao resultado que, ao aumentar a densidade e consequentemente a área da copa da árvore, tem-se um microclima mais ameno, logo abaixo do dossel, se comparado a níveis de IAF mais baixos.

Pereira (2020) investigou a possibilidade de redução da temperatura no nível da via urbana, através de simulações de áreas no Envi-met, com a inserção de vegetação do tipo grama. A autora verificou que o impacto da inserção de vegetação rasteira gerou resultados similares aos resultados da área com solo do tipo exposto. Ela explica que isso ocorreu devido à falta de sombreamento na altura do pedestre em uma área somente gramada, se comparada a uma área com a inserção de espécies arbóreas e concluiu que quanto maior a quantidade de vegetação arbórea,

com folhagens densas, maior será o nível de resfriamento da área no nível do pedestre.

Em Juiz de Fora (MG), o estudo de Adário, Calazans e Silva (2019) na Praça João Penido, teve como objetivo verificar o microclima da área com simulações computacionais em duas condições climáticas: em um dia de clima quente e seco e em um dia de clima frio e úmido, também com uso do Envi-met. Os autores analisaram a temperatura e a umidade do ar e a velocidade dos ventos, além do índice de conforto térmico PMV (*Predicted Mean Vote*). Foi percebido que, no verão, o clima resulta em sensação de muito quente e seco e, no inverno, fresco. O estudo concluiu que a área possui dois períodos destoantes em relação ao clima e destacou a importância de estudos mais aprofundados em regiões de clima tropical. Os autores enfatizam a relevância de estudos microclimáticos urbanos e paisagísticos, além da importância de utilização da simulação computacional como ferramenta metodológica.

De maneira geral, os estudos enfatizam o impacto dos padrões paisagísticos na microescala climática, nas regiões tropicais com temperatura de verão quente. É possível então, perceber uma lacuna nos estudos já verificados, algum que considere, não somente a implantação da vegetação na praça urbana, mas também características físicas gerais de entorno, como o perímetro da praça, vias de grande tráfego próximas, alta densidade de usuários do espaço, entre outros fatores, que são parâmetros que interferem na simulação. Além disso, mesmo em condições climáticas diferentes, a vegetação do tipo arbórea foi capaz de mitigar melhorias para os ambientes estudados, com resultados de diminuição de temperaturas mais expressivos até mesmo que outros tipos de vegetação, como é o caso das gramíneas.

O estudo das condições higrotérmicas dos ambientes urbanos é de grande importância para avaliação e planejamento de projetos urbanísticos e edifícios, principalmente nas cidades de clima tropical mesotérmico, em que os espaços livres são utilizados durante todo o ano e possuem maior interferência de temperatura e umidade extremas. A qualidade destes espaços pode contribuir para a qualidade de vida ou, ao contrário, gerar o isolamento e abandono social de espaços públicos

(Reboita *et al.*, 2015). No entanto, visto que, devido às particularidades adaptativas e específicas de cada ambiente, sempre existirá a necessidade de desenvolvimento de mais estudos acerca do impacto do aumento da proporção de massa vegetativa no microclima de pequenas áreas urbanas, sobretudo por conta do seu potencial de dissolução de calor e a conseqüente melhoria do bem-estar dos seus usuários, especialmente em condições climáticas extremas, como em momentos de onda de calor. Melhorias na infraestrutura urbana, como a criação de áreas verdes e o uso de materiais de construção que refletem o calor, podem ajudar a mitigar os efeitos das ondas de calor (Berardi, Jandaghian e Graham 2020).

2.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E CONFORTO TÉRMICO

Nesta seção, são apresentados os conceitos sobre as principais variáveis climáticas que afetam diretamente o estudo realizado, trazendo apontamentos explicativos acerca da influência das mesmas na criação de um microclima diferenciado. O microclima refere-se ao clima de uma área pequena e específica, que pode ser significativamente diferente do clima geral da região ao redor. Variáveis climáticas como temperatura, umidade, vento, radiação solar e precipitação influenciam o microclima de várias maneiras.

2.2.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar é uma medida importante nas ciências atmosféricas e ambientais, representando o grau de calor ou frio do ar em um dado momento e local. Ela é fundamental para entender e prever condições meteorológicas, bem como para avaliar o conforto humano e a eficiência energética. Temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, podem causar desconforto e problemas de saúde. A quantidade de radiação solar que uma área recebe afeta diretamente a temperatura do microclima. Áreas sombreadas, como sob árvores ou estruturas, tendem a ser mais frescas do que áreas expostas ao sol. Materiais diferentes absorvem e liberam calor de maneira diferente. Por exemplo, áreas pavimentadas e construções urbanas tendem a aquecer mais e reter calor, criando ilhas de calor urbano. Entender e monitorar a temperatura do ar é essencial para uma ampla gama de atividades

humanas e para a compreensão das dinâmicas ambientais e climáticas (Mattos e Drumond, 2004).

2.2.2 Umidade do ar

A umidade do ar trata da quantidade de vapor d'água na atmosfera, elemento relevante pois a presença em maior ou menor quantidade impacta diretamente na sensação térmica, no regime de chuvas, além de influenciar nas temperaturas e até mesmo na saúde humana. Fatores como vegetação, maritimidade em regiões litorâneas e a movimentação das massas de ar afetam consideravelmente na umidade do ar, e quanto maior ela for, maior será a sensação de abafamento se já estiver calor, e se estiver frio, a sensação térmica será de um frio ainda mais intenso (INPE, CPTEC, 2018).

2.2.3 Vento

O vento é caracterizado como um movimento de massa de ar que se locomove de acordo com a pressão atmosférica e é classificado devido à velocidade (km/h). O microclima é resultado de interações complexas entre muitas variáveis climáticas. Por exemplo, a umidade pode moderar o efeito da temperatura, enquanto o vento pode influenciar a evaporação e a sensação térmica. Esses fatores combinam-se de maneiras variadas para criar microclimas únicos em diferentes locais, desde pequenas áreas dentro de uma cidade até regiões específicas em paisagens rurais. A compreensão dos microclimas é essencial para o planejamento urbano, a agricultura, a gestão de recursos naturais e a adaptação às mudanças climáticas.

É possível utilizar a vegetação como forma de direcionar o vento para controlar o conforto térmico do ambiente urbano, com um caminho de árvores para fazer uma espécie de captação do vento ou através dos tamanhos de vegetação utilizados. Para isto, é importante que se adeque a localização da vegetação de forma que o canal de vento dominante permaneça livre, para facilitar a dispersão do vento quente que se instala por debaixo das copas das árvores. É aconselhável que sejam colocados grupos distintos de árvores, para permitir a passagem do vento dominante, minimizando a temperatura local, principalmente à noite (Zolch *et al.*, 2019).

2.2.4 Emissividade e albedo

O albedo pode ser explicado como a quantidade em porcentagem que uma superfície é capaz de refletir ou absorver os raios solares. Quanto mais alta sua taxa, maior será o poder de reflexão da superfície e quanto menor a taxa, maior será o poder de absorção. Ou seja, superfícies com baixa taxa de albedo absorvem mais os raios solares e por consequência armazenam mais calor, gerando um microclima mais quente onde está localizado. De maneira contrária, superfícies com alta taxa de albedo é capaz de refletir os raios solares (e o calor) de volta para a atmosfera (Reboita *et al.*, 2015).

Segundo Oke (1987), a emissividade é a razão da radiação emitida por uma superfície de um objeto em relação a radiação emitida por um corpo negro em mesmas condições. Sendo que, corpos que não emitem radiação possuem valor 0 e aqueles que emitem alta radiação possuem valor de 1 (Pimentel, 2017). Quando expostas à radiação solar direta, superfícies com alto albedo e emissividade permanecem frias, pois além de absorver pouca radiação, devolvem mais radiação térmica para o espaço, transmitindo menos calor para o ambiente do entorno (Ferreira, Prado, 2003).

Sant'anna, Amorim e Silva (2016) complementa que, quanto mais as paisagens naturais são substituídas por revestimentos urbanos de baixo albedo e emissividade, mais propicia a criação de microclimas urbanos de elevada temperatura, elevando a inércia térmica e conseqüentemente o calor acumulado nas áreas urbanas, que são os maiores contribuidores para formação das ICU e do desconforto térmico.

2.2.5 Sombreamento

O sombreamento é uma técnica para melhorar o conforto térmico e visual, reduzir o consumo de energia e proteger os ambientes dos danos causados pela exposição solar direta. Uma variável importante para gerar o conforto térmico urbano, principalmente durante o dia, sendo válido ressaltar o uso de vegetações altas e com copas com camadas múltiplas de folhagens, devido a capacidade de redução da radiação solar direta aos pedestres. Outra característica importante nas vegetações utilizadas é o tamanho da copa das árvores. Quanto maior e com um dossel mais

densificado, as árvores melhores condições de sombreamento e conseqüentemente, resfriamento, devido a sua área foliar maior. Além disso, é aconselhável a distribuição das árvores com certo distanciamento entre as mesmas, de forma que se amplifique a área sombreada em paralelo a abertura de corredores de ventilação, que também vai afetar positivamente na diminuição da temperatura (Zolch *et al.*, 2019).

2.2.6 Evapotranspiração

A evapotranspiração está diretamente relacionada a dois fenômenos naturais: a evaporação, que diz respeito à água que se desprende e evapora naturalmente para a atmosfera e a transpiração da planta, relacionado ao movimento interno de água da planta. Basicamente, as plantas absorvem a água do solo em que se encontram, retêm parte da água no corpo vegetal e expele a outra parte para o ambiente. Ambos os efeitos estão relacionados à transformação da água de um estado líquido para o gasoso e esses processos contêm uma energia que resfria a planta e o entorno dela, resfriando o ar principalmente na altura de 1,50m (Zolch, 2019).

De acordo com Zolch *et al.*, (2019), em ambientes urbanos, onde se tem a presença elevada de massa construída e de materiais que possuem taxa alta de absorvância de ondas solares por meio da radiação, em algumas vezes a quantidade de plantas pode não ser capaz de realizar evapotranspiração o suficiente para equilibrar o calor do ambiente, algo que gera os microclimas mais quentes e por conseqüência a formação de ICU.

2.2.7 Sensação térmica

Segundo Costa (2010) a sensação térmica é o que o corpo sente em relação aos fatores ambientais e climáticos. Em situação de pouca ventilação, em que a umidade do ar se eleva, a sensação de ar abafado vai ocorrer, porque os poros superficiais do corpo se fecham, impedindo que a pele transpire normalmente.

O conforto adaptativo e o conforto estático são dois conceitos importantes, eles se referem às maneiras de como os seres humanos percebem e respondem às condições térmicas de seus ambientes. O conforto adaptativo considera a capacidade

dos indivíduos de se ajustar a variações na temperatura ambiente ao longo do tempo. A ideia é que as pessoas podem se adaptar às mudanças nas condições térmicas, desde que essas mudanças não sejam extremas e ocorram dentro de uma faixa razoável. O conforto estático refere-se à sensação de conforto térmico em um ambiente onde as condições são mantidas constantes e não há necessidade de adaptação ao longo do tempo. Nesse modelo, as condições térmicas ideais são fixas e os indivíduos não têm a possibilidade de ajustar o ambiente ou adaptar-se a ele (Araújo e Bartholomei, 2019).

Os índices de conforto térmico são ferramentas utilizadas para avaliar e quantificar o nível de conforto ou desconforto térmico experimentado por indivíduos em diferentes condições ambientais. Esses índices consideram variáveis climáticas e fisiológicas para fornecer uma medida compreensível do impacto do ambiente térmico sobre o ser humano. Existem muitos índices de conforto utilizados para quantificar diferentes tipos de ambientes e cada um deles vai utilizar um determinado grupo de variáveis distintas (Mattos, Drumond, 2004). Os índices PMV (*Predicted Mean Vote*), PET (*Physiological Equivalent Temperature*) e UTCI (*Universal Thermal Climate Index*) são utilizados para avaliar o conforto térmico humano em diferentes condições ambientais. Cada um desses índices considera variáveis climáticas e fisiológicas para fornecer uma medida compreensível do impacto do ambiente térmico (Araújo e Bartholomei, 2019).

2.2.8 Índice de conforto UTCI

O UTCI foi desenvolvido pela *Comission 6 da Internacional Society Biometerology* (ISB), em 2001. Em 2009, o índice UTCI foi apresentado em um simpósio que aconteceu em Genebra, Suíça. Atualmente o UTCI tem sido amplamente adotado por pesquisadores com foco em conforto térmico em contexto urbano. Este índice foi criado com base no modelo termorregulatório multimodal Fiala, para descrever o conforto fisiológico do corpo humano sob condições meteorológicas específicas a partir da avaliação da sensação térmica em ambientes reais urbanos. O Índice considera a temperatura ambiente, bem como outras variáveis como a

umidade, o vento e a radiação, que afetam significativamente a reação fisiológica ao ambiente circundante (Rossi, Krüger E Bröde, 2012).

O índice de conforto UTCI faz uma previsão do valor médio da sensação térmica experienciada para um determinado grupo de pessoas, atrelado ao meio físico em que se encontra, bem como as roupas que utiliza e a ação que desempenha no local (Novais, 2023). O Índice supõe que as pessoas se adaptam diferentemente ao lugar onde estão, sendo as ações adaptativas uma forma de ajuste do corpo ao meio térmico. O UTCI é, portanto, um índice que prevê o valor médio de um grande grupo de pessoas segundo uma escala de sensações, que vai desde o extremo estresse por calor (acima de 40°C), até o extremo estresse por frio (abaixo de 40°C), sendo um índice de conforto voltado para o ambiente urbano.

De acordo com Rossi, Krüger E Bröde (2012), a classificação UTCI apresenta categorias de estresse térmico, que vai indicar e auxiliar na compreensão dos °C que determinado local apresenta. Essas categorias, abrangem condições de temperaturas que vão de -40°C, onde há um indicativo para uma sensação de extremo estresse para o frio, até 46°C, sendo esta a faixa para extremo estresse para o calor. Dentre as categorias apresentadas na classificação, o conforto térmico se encontra entre 18°C e 26°C.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção apresenta a caracterização geral e específica das praças analisadas no estudo indicando sua localização, comportamento em relação ao meio urbano, bem como sua relação física direta com a área em que se encontram. Em seguida, são apresentados os dados utilizados nos modelos desenvolvidos no Envi-met 5.5, além das configurações do programa. Apresenta ainda a forma como são traduzidos pelo *software*, para gerar os dados de saída para as análises das simulações climáticas (Novaes e Monteiro, 2022).

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO - JUIZ DE FORA (MG)

Juiz de Fora está localizada na mesorregião da Zona da Mata Mineira (Figura 4), sob as coordenadas 21°41'40" S e 43°20' 40" O, em um planalto (Martins, 1996, p.39). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o estado de Minas Gerais se enquadra no tipo Cwa, com clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, caracterizado como clima tropical mesotérmico (Reboita *et al.*, 2015). Segundo Martins (1996), a configuração da rede hidrográfica do município contribuiu para o processo de ocupação urbana. Assim, o rio Paraibuna e a topografia acidentada podem ser considerados os elementos naturais responsáveis pela configuração atual da ocupação urbana da cidade, que tem o centro histórico implantado na área mais plana do vale que contorna o rio Paraibuna. A área central atualmente é caracterizada pela alta densidade de moradias, com grande oferta de usos comerciais, de serviços e institucionais. Segundo Pimentel (2017) a maior densidade de edificações, com amplo uso de materiais com baixa taxa de albedo e pouca proporção de áreas verdes faz com que o centro da cidade se configure como área de maior propensão de ICU.

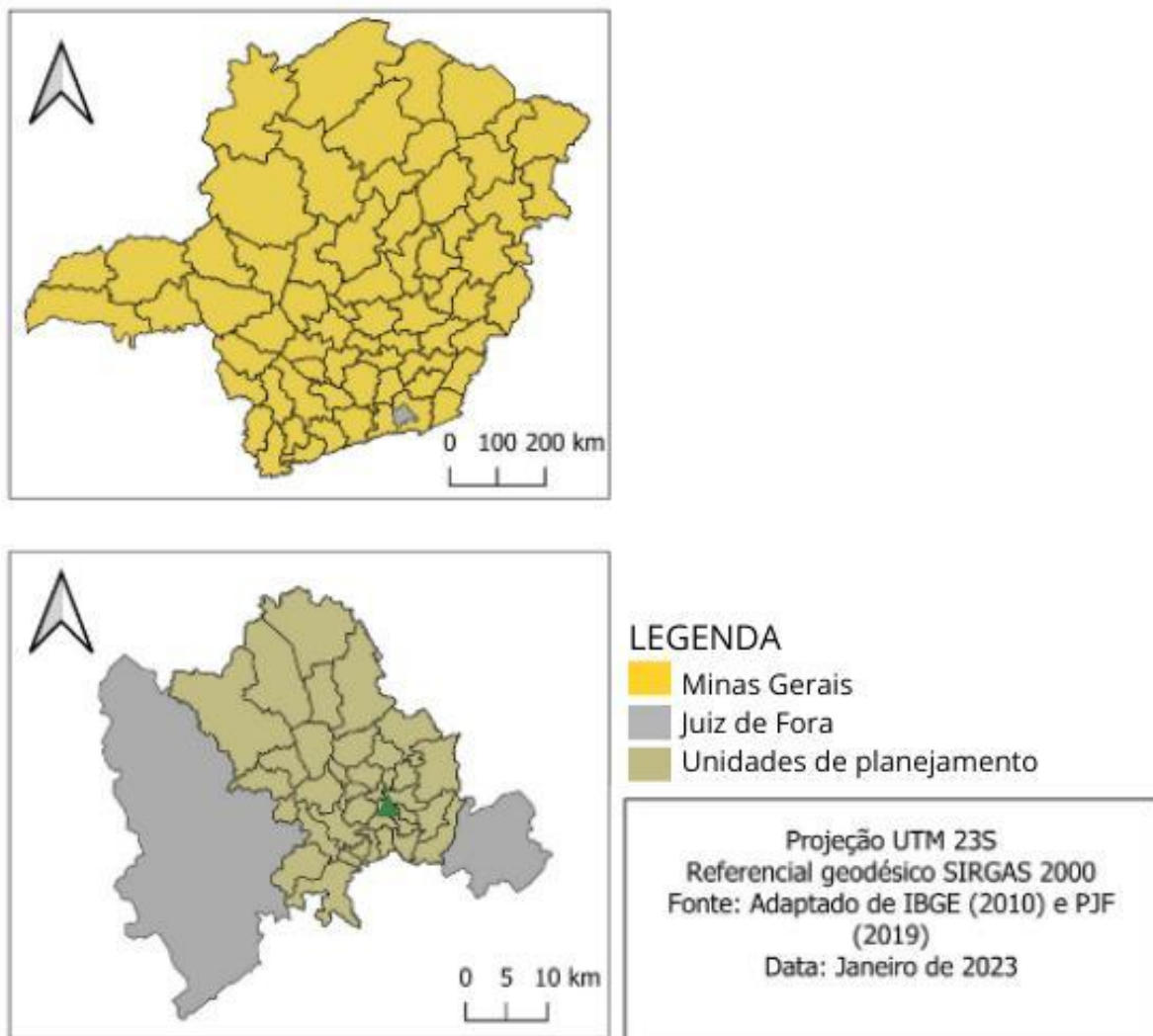


Figura 4 - Mapa geral de Minas Gerais e Juiz de Fora. Fonte: A autora, adaptado de IBGE, 2010 e PJJ, 2019.

As condições topográficas locais, de certa forma, protegem algumas áreas florestadas da cidade, como o Morro do Imperador e o Poço D'antas. Entretanto, o processo de ocupação urbana sempre faz com que ocorra uma remoção excessiva da vegetação nativa que, com o passar do tempo, acaba por promover desequilíbrios ambientais (aumento das temperaturas, do impacto causado pelas águas pluviais sobre a cidade, da velocidade do vento etc.), além de reduzir as áreas verdes (praças e jardins públicos especialmente) importantes para o convívio social da população (Martins, 1996).

O presente estudo foi realizado na área central da cidade, seguindo os parâmetros de propensão de ilhas de calor urbano delimitados por Pimentel (2017). A Figura 5 apresenta o mapa geral da cidade de Juiz de Fora - MG, representado em vermelho, os pontos de maior propensão de Ilhas de calor urbanos (ICU) encontrados por Pimentel (2017) e em amarelo o restante da cidade que não possui a mesma condição, com destaque para a área central da cidade, sendo o Centro, o setor mais quente do perímetro urbano. No local, tem-se também maior absorção e retenção de calor devido aos materiais urbanos utilizados e ao intenso tráfego de veículos, que fazem parte da área de estudo da pesquisa. Na mesma figura, uma imagem de satélite da região citada, para melhor localização da área.

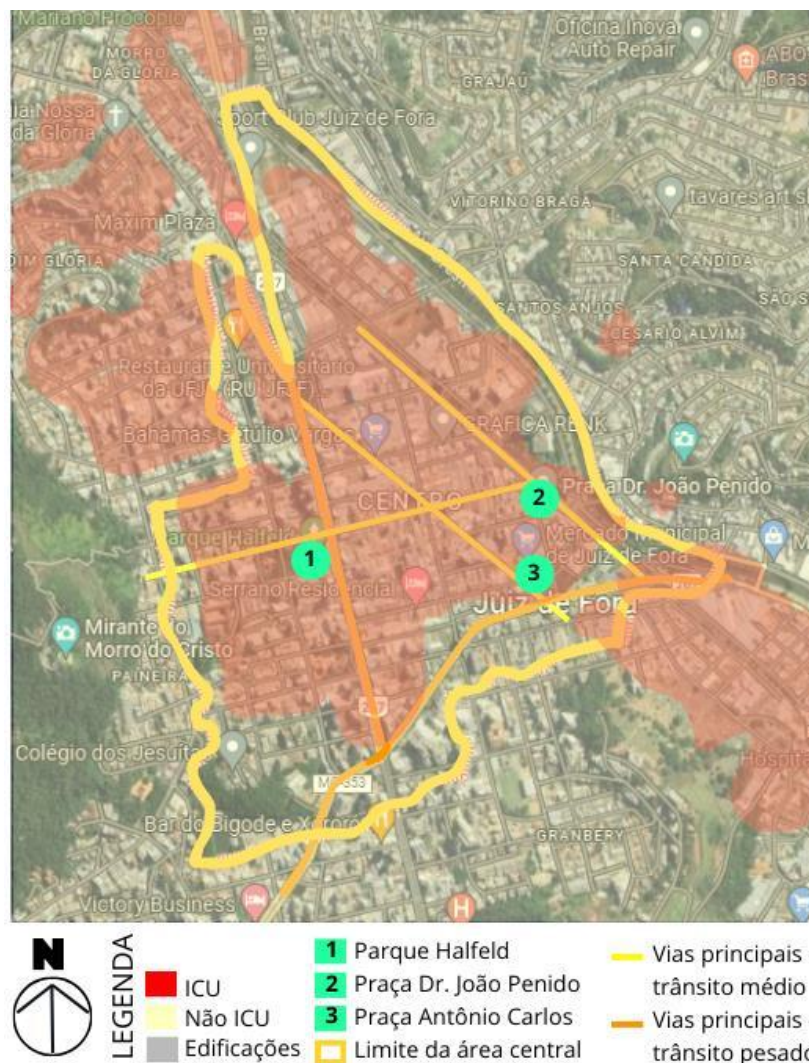


Figura 5 - Mapa de propensão de ICU do bairro Centro e localização das áreas de estudo. Fonte: A autora, adaptado de Pimentel, 2017.

Segundo Pimentel (2017) a maior densidade de edificações, com amplo uso de materiais com baixa taxa de albedo e pouca proporção de áreas verdes faz com que o centro da cidade se configure como área de maior propensão de ICU. As praças estudadas encontram-se localizadas no setor Centro, dentro da mancha de ICU apresentada na Figura 5.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PRAÇAS

As praças foram selecionadas por terem características que favoreçam o entendimento do impacto do seu desempenho higrotérmico em ambientes urbanos já consolidados. São elas: pouca massa vegetativa, proximidade com vias de tráfego intenso, entorno altamente edificado e urbanizado e alta densidade de pedestres que transitam por elas durante o dia. Além disso, foram selecionadas praças de diferentes tamanhos de maneira a permitir a avaliação comparativa desta variável. Na Figura 6, são apresentadas as características físicas destas praças.



Figura 6 - Características físicas e porcentagem de área verde das praças do estudo. Fonte: A autora, adaptado de Alberto *et al.*, (2020).

Na parte superior da Figura 6, é demonstrada, as imagens atuais das praças, juntamente com os gráficos de proporção de área vegetada de cada praça. Na parte inferior, tem-se os mapas de localização com o destaque das áreas das praças no contexto urbano em que se encontram.

A praça Parque Halfeld, (Figura 7), com 10.534m² de área total, se encontra em meio a área urbanizada do Centro, dentro da mancha de propensão de ilha de calor, segundo Pimentel (2017). Esta área de estudo (Praça Parque Halfeld somado a 300m de diâmetro para ambos os lados), possui uma variação de gabaritos de entorno de 3 a 18 pavimentos. De acordo com Alberto *et al.*, (2020), 20% de sua área é coberta com vegetação rasteira, mas sua principal característica é a grande

densidade de massa vegetativa de grande porte (oitenta e cinco por cento) com poucas clareiras, algo que por si só, segundo Mattos (2013), é parâmetro para diminuição da temperatura local e aumento da umidade.

A praça Parque Halfeld passou por inúmeras alterações projetuais durante os anos, sendo tombado como patrimônio histórico municipal em 1989 com amplos canteiros e uma grande diversidade de exemplares de vegetação nativa e de outros países da América Latina. O local, além de sua importância histórica, afetiva e cultural, é também um importante ponto de ilha de frescor em meio a área urbana densa do Centro da cidade, mesmo estando sob uma massa de ilha de calor constante (Cunha *et al.*, 2020).

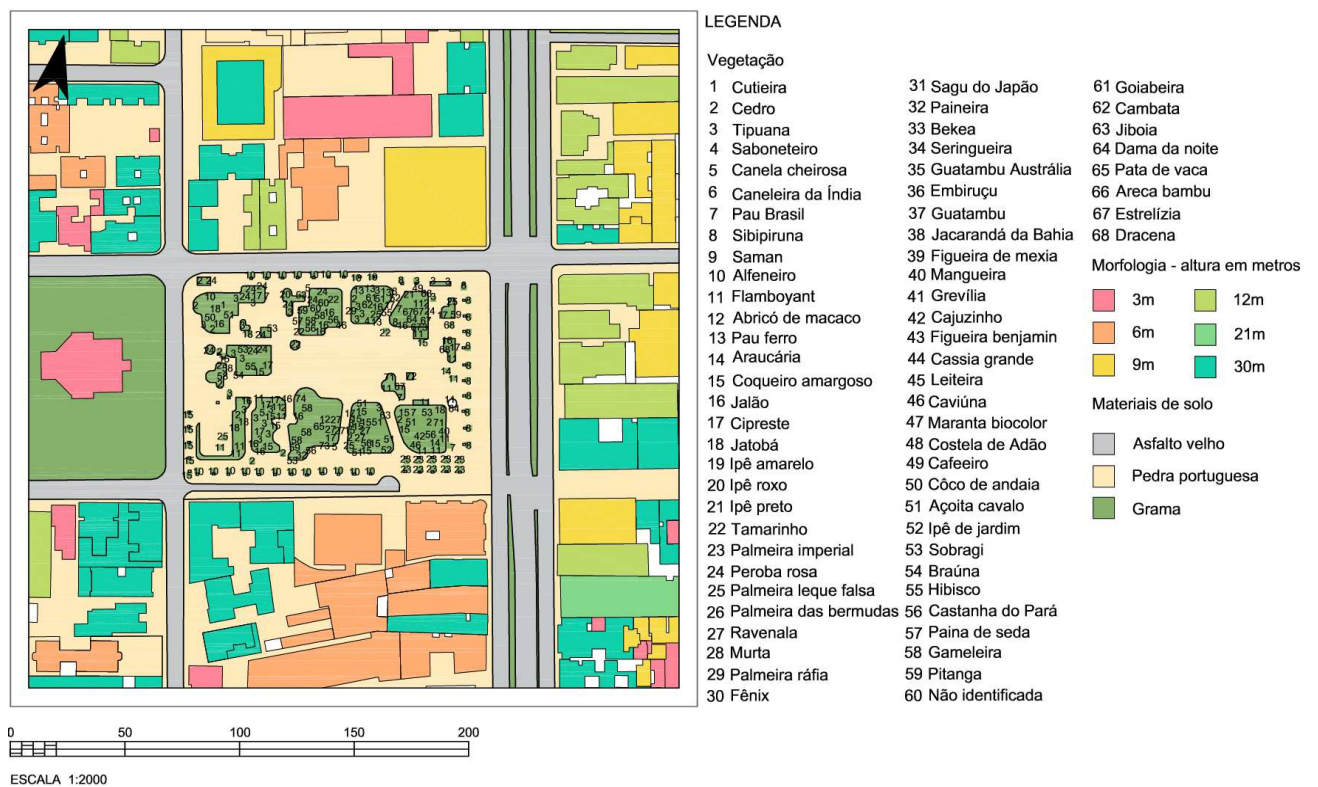


Figura 7 - Mapa de caracterização de materiais, morfologia e localização vegetativa – Praça Parque Halfeld. Fonte: A autora, 2023.

Com relação a sua configuração arbórea¹, a praça Parque Halfeld possui mais de 275 exemplares de 74 espécies diferentes, entre palmeiras, ipês, cedros e figueiras (Cunha *et al.*, 2020).

A praça Dr. João Penido, também conhecida como praça da Estação, caracterizada na Figura 8, possui poucas e esparsas árvores de grande porte e área vegetativa ao nível do solo de 10% de seu total. As edificações de entorno variam de 1 a 3 pavimentos e a praça possui aproximadamente 1600m² de área (Alberto *et al.*, 2020). De acordo com o levantamento realizado *in loco*, a praça possui muitos materiais com alta taxa de absorção de ondas solares, como concreto e pedra portuguesa, expostos diretamente à incidência dos raios solares, algo que afeta a dinâmica térmica geral devido a emissividade.

¹ Importante ressaltar, a presença de duas árvores declaradas imunes de corte por decreto nº 2.793, de 21 de setembro de 1982, feito pelo então prefeito, Francisco Antônio de Melo Reis, um exemplar de peroba-rosa, devido a sua beleza e raridade e o outro exemplar, pelo decreto nº 8.999 de 20 de setembro de 2006, de autoria do prefeito Alberto Bejani, de um de pau-brasil, devido a sua beleza, raridade e risco de extinção (Cunha *et al.*, 2020).

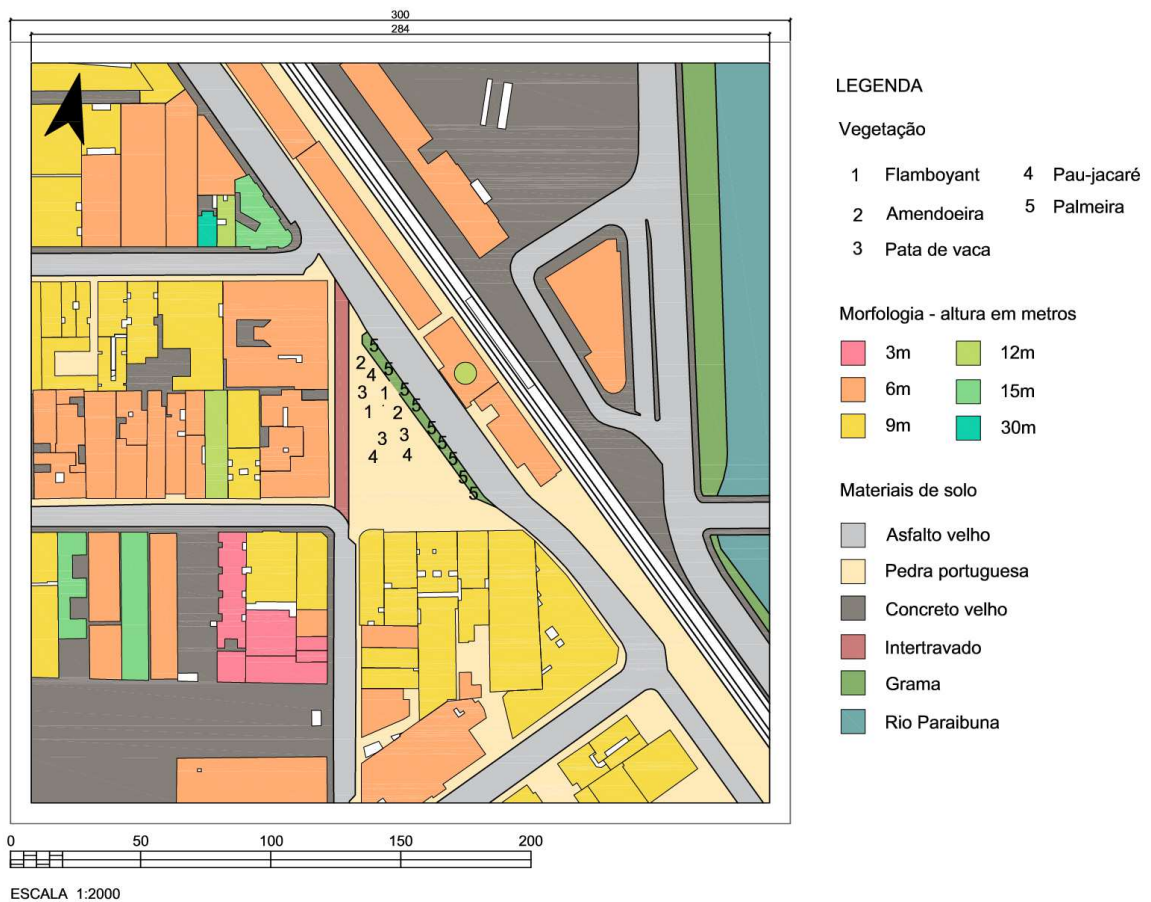


Figura 8 - Mapa de caracterização de materiais, morfologia e localização vegetativa - Praça Dr. João Penido. Fonte: A autora, 2023.

A praça Presidente Antônio Carlos, ou praça da alfândega (Figura 9), passou recentemente por uma requalificação urbana, teve grande parte de sua massa vegetativa reduzida, atualmente possui aproximadamente cerca de 20% de sua área verde ao nível do solo, de seus cerca de 11.400m² de área total, com um entorno

variado com gabaritos que vão de 3 a 16 pavimentos (Alberto *et al.*, 2020).



Figura 9 - Mapa de caracterização de materiais, morfologia e localização vegetativa - Praça Antônio Carlos. Fonte: A autora, 2023.

Em geral, parte da área verde foi suprimida, em torno de vinte por cento, além da troca dos materiais de solo, que antes eram em sua totalidade, pedras portuguesas e pequenos intertravados permeáveis, por blocos e placas de concreto em toda sua extensão, bem como a criação de um palco de eventos, também em concreto, que gerou elevados índices de temperatura e baixos de umidade, na altura do pedestre.

3.3 COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS DAS PRAÇAS

Segundo Novaes e Monteiro (2022), o processo de inserção dos dados climáticos e a avaliação dos dados calculados de simulação com os dados reais é chamado de calibração. Para calibrar os dados de simulação, foram utilizados os dados climáticos de temperatura e umidade do ar coletados *in loco*, de acordo com a

metodologia de coleta da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2021), que recomenda que as medições sejam realizadas em quatro horários, de acordo com o Meridiano de Greenwich: às 00h, 06h, 12h e 18h. Assim, de acordo com o fuso horário da área de estudo, os horários avaliados seriam às 21h, 03h, 09h e 15h. Porém, segundo Sanches *et al.*, (2018), os mesmos podem ser adaptados de acordo com a necessidade do pesquisador, mantendo-se o distanciamento de ao menos 5h entre ambos. Para a realização deste trabalho, os horários foram adaptados. Portanto os horários de avaliação foram às 08h, 13h e 18h, sendo descartado somente o horário de 2h (ver dados representados nos Apêndices A e B).



Figura 10 - Instrumento utilizado para coleta de dados. Fonte: A autora, 2023.

No levantamento de campo foi utilizado o Termo Higo Anemômetro Luxímetro Modelo Thal-300 da *Instrutherm* (Figura 10) para coletar a temperatura do ambiente, a velocidade de ventilação e a umidade relativa do ar na altura do pedestre. Para gerar simulações mais aproximadas em termos de comparação, foram utilizadas as

variáveis temperatura e umidade, medidas *in loco* e a ventilação utilizada foi a geral da cidade, medida pela estação automática.

Todas essas variáveis mencionadas foram utilizadas para completar os dados de entrada das simulações no programa. As medições foram realizadas durante 7 dias, em uma semana prevista pelo INMET para ocorrência de anomalia térmica intensa e repetida, ou seja, uma onda de calor, nos horários de 08h, 13h e 18h, realizadas nas 3 praças: a praça Parque Halfeld; a Praça Dr. João Penido (Estação); e a Praça Antônio Carlos.

3.4 DADOS DE CONTORNO PARA A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para o estudo da presente pesquisa, inicialmente foi utilizada uma versão gratuita do Envi-met 3, onde o recorte da área de estudo contempla um perímetro de 300m x 300m (x e y), sendo a maior área de estudo permitida pela versão inicialmente utilizada e tendo como centro da área, a Praça Parque Halfeld, a praça Dr. João Penido e a Praça Antônio Carlos, respectivamente. As edificações do entorno foram modeladas de acordo com a quantidade de pavimentos, tomando como referência o pé direito de 3m. O modelo considerou ainda as espécies vegetais existentes, além dos tipos e tonalidades dos solos e das superfícies do entorno. A partir destes dados (tipologias dos materiais das superfícies e solos, tipos de vegetação existentes e morfologia de entorno) foi desenvolvida a planta baixa do caso real com os parâmetros de estudo para a criação da imagem *BitMap* no AutoCAD 2024 (Figuras 5, 6 e 7). A fim de evitar a possibilidade de falhas nas bordas da simulação, foi incorporada uma borda de 8m de largura em todas as extremidades a partir do centro da praça. Sendo assim, foi modelada e simulada uma área total de 284m x 284m.

A utilização do Envi-met 5.5, com licença for *Education*, foi adquirida somente no final da pesquisa, para possibilidade de geração dos dados de UTCI, a qual a versão *Free* não é capaz de gerar (com relação a índices de conforto, a versão gratuita somente gera dados PMV e PPD, que são índices geralmente utilizados para conforto interno). Como o tempo de simulação de cada cenário era bastante extenso (sete dias para cada cenário), não foi possível refazer as simulações para ampliar a área de

estudo, permitida pelo Envi-met 5.5 *Student* devido ao tempo de conclusão do mestrado.

O Envi-met 5.5, é um programa que funciona baseado nas leis de dinâmica dos fluidos, para simular possibilidades climatológicas, em ambientes urbanos, bem como analisar, como padrões de vegetação, edificações, materiais, áreas com presença de água, entre outras características urbanas, podem afetar as variáveis climáticas do ambiente. Dessa maneira, o programa permite uma interação entre os parâmetros físicos da área de análise, a fim de verificar as condições térmicas resultantes (Bruse *et al.*, 2023).

Pelo programa, é possível utilizar os parâmetros climáticos de qualquer região, algo que o torna uma ferramenta adaptativa e flexível para aplicar em qualquer localidade. O *software* faz a aplicação do cálculo ao modelo representativo; sendo assim, o usuário deve ter o devido rigor para coleta dos dados e o controle dos mesmos para inserção no programa. O resultado gerado é um arquivo climático que pode ser utilizado em diversos ambientes variados da mesma área, conhecido como cenário, a serem submetidos às variações de um mesmo ambiente urbano, sob as mesmas condições climáticas (Novaes e Monteiro, 2022).

A simulação do cenário é constituída através de cálculos parametrizados das condições climáticas de cada grid do modelo, para cada intervalo de tempo pré-definido, com base na coleta das variáveis climáticas e nas informações características do local. Para isto, as informações de entrada do modelo se trata de informações como a configuração física e geométrica edilícia, das vegetações, tipos de solos e revestimentos, além da localização na área estudada, associadas a situação geográfica, as coordenadas e também altitude. Todo esse pré estabelecimento de configurações é importante para que os dados de saída dos resultados, conhecidos como outputs da simulação, tenham inseridos em seu arquivo, o conjunto das informações para cada grid do modelo, para cada intervalo de tempo, em pontos específicos, variando conforme a altura e o plano de análise (altura), em relação ao solo (Bruse *et al.*, 2023).

Com relação as características do fenômeno das Ilhas de Calor Urbano, alguns estudos também fazem menção, na área da climatologia, ao fenômeno de ilha de frescor. Diversos estudos apontam, que em espaços urbanos sombreados, a temperatura do ar (uma das variáveis microclimáticas utilizadas para mitigar e verificar tais fenômenos) costuma ser menor. Se um espaço urbano de, por exemplo 100m², possui 50m² de sua área sombreada por vegetação, então existe uma área de sombreamento. Esta área de sombreamento gera um espaço cuja temperatura do ar é menor do que o seu entorno imediato (Pereira 2020).

Esse espaço, cuja temperatura do ar (e também a umidade, na presente pesquisa) é menor, é denominado em climatologia como área de influência ou área de interferência da determinada variável microclimática analisada. Afinal, a temperatura e/ou a umidade do ar, não será exatamente igual em todas as partes de uma cidade. Na prática, tem-se o conhecimento de que tal processo é mais dinâmico, devido aos diversos aspectos que modificam e interferem a métrica do exemplo citado anteriormente, como o deslocamento do sol durante o dia, a densidade e a tipologia vegetativa, edificações ou relevos existentes (ou não) no entorno, a presença, direção e velocidade do vento, entre outras características diversas.

Com as simulações dos cenários, é possível estimar qual o tamanho (em m²) desse espaço, considerando a presença dos aspectos de influência. Portanto, a área de influência se refere ao tamanho, por metragem quadrada, que a área estudada possui ou ganhou, de acordo com as variações das vegetações para cada cenário e horário.

3.5 CONFIGURAÇÕES DOS CENÁRIOS SIMULADOS

Foram criados quatro cenários distintos da mesma praça e para cada praça respectivamente, dentro dos parâmetros do período de análise (na estação Primavera) : i) o primeiro cenário foi configurado com os parâmetros existentes na praça, considerando quantidade real de massa vegetativa arbórea e rasteira (respectiva de cada praça); ii) o segundo cenário foi modelado com a praça possuindo 100% de massa vegetativa do tipo arbórea; iii) o terceiro cenário contendo 100% de

vegetação gramínea e iv) o quarto cenário possuindo 50% de sua vegetação gramínea e 50% arbórea, juntas, de forma a identificar sua influência na melhoria do microclima. Os modelos foram criados e simulados no *software* Envi-Met 5.5, na plataforma bidimensional com o auxílio da imagem bitmap para aplicação das características vegetativas em suas localizações reais. O Quadro 1 apresenta as configurações do modelo, de acordo com dados reais do ambiente simulado.

CARACTERÍSTICAS DO MODELO			
Área do modelo	n° células eixo x	142 células	
	n° células eixo y	142 células	
	n° células eixo z	30 células	
	n° células de nidificação ²	8 células	
	tipo de solo área de nidificação	Padrão	
Tamanho e estrutura das células	tamanho da célula eixo x	2 m	
	tamanho da célula eixo y	2 m	
	tamanho da célula eixo z	3 m	
	método de geração da grade vertical	equidistante	
Propriedades padrões de parede e telhado	material das paredes	tijolo queimado	
	material dos telhados	terracota	
	indicação do norte (em graus)	-14.00° (PQHA) -13.00° (PDJP) -13.00° (PAC)	
Propriedades geográficas	Localização na Terra	Nome da cidade	Juiz de Fora - MG
		Latitude	-21°
		Longitude	-43°

² *Nesting grids*, no Envi-Met, corresponde às bordas do cenário, pois as células ao redor ficam sempre descaracterizadas e/ou sofrem deformação no processo de simulação, sendo assim a área de nidificação, é o espaço deixado no entorno da área simulada, para que não ocorra perda de dados simulados na área estudada (PEREIRA, 2020).

		Fuso	GMT-3
--	--	------	-------

Quadro 1 - Configurações pré modelagem. Fonte: A autora, 2023.

Para as áreas verdes, foi utilizado material de tipo solo padrão (com símbolo XX no programa de simulação), que é o material padrão do programa. Nas calçadas, intertravados e abaixo de edificações foi utilizado material do tipo concreto usado ou velho (PP) e nas vias foi aplicado material de asfalto comum (ST), que possui alta absorção. Além disso, também foram utilizados os materiais de solo argiloso (LO) na área da linha férrea que possui terra exposta, pedra portuguesa (GS) na área da praça e água (WW) na área que compreende o Rio Paraibuna. Os materiais citados estão organizados no Quadro 2.

LEVANTAMENTO	BANCO DE DADOS ENVI-MET 5.5	
NOME	NOME	SÍMBOLO
Intertravado	Pavement (concrete), used/dirty	PP
Pedra portuguesa	Marble pavement (single stones)	GS
Grama	Default unseaud soil	XX
Asfalto	Asphalt road	ST
Linha férrea	Loamy soil	LO
Água	Deep water	WW
Área edificada	Pavement (concrete), used/dirty	PP
Árvores	Tree 10m very dense, leafless base	T1
Grama	Grass 50cm aver, dense	GG
Paredes	Concrete slab (hollow block, default)	CS
Coberturas	Terracota	R2

Quadro 2 - Materiais e vegetações configuradas de acordo com o banco de dados Envi-Met 5.5. Fonte: A autora, 2023.

As edificações foram modeladas considerando o número de pavimentos real, de um a dez (3 a 30m), de acordo com os dados levantados *in loco*. Para as paredes, o material utilizado foi do tipo tijolo queimado (B2) e para os telhados o padrão tipo terracota (R2), por serem materiais encontrados na maioria das edificações da área de estudo.

Os arquivos foram salvos no formato *input file* (.inx), que é o padrão para leitura dos dados na etapa de tratamento dos dados a partir das características climáticas nas datas escolhidas. O tempo de duração da simulação foi baseado em testes prévios realizados por Torres (2017), que identificou a necessidade de no mínimo 52h simuladas, com o descarte das primeiras e últimas 24h para garantir a estabilização dos dados de saída do *software*. A autora também recomenda que o intervalo de registro seja realizado a cada 60 minutos. Outros dados de simulação estão apresentados no Quadro 3.

PERÍODO DE CONFIGURAÇÃO	
Data inicial da simulação	24/09/2023 (Primavera)
Horário inicial	18:00
Duração total	52h
Intervalo de registo	60min
Velocidade média do vento (acima de 10m)	1,5 m/s (Primavera)
Direção do vento	90°
Rugosidade Z0 (ponto de referência)	0.1m
Umidade específica (2500m) ³	7,85 (Primavera)

³ Os dados de Umidade Atmosférica a 2.500m são coletados no portal da Universidade de Wyoming. Utilizando os dados da estação de cidade com aeroporto de clima mais próximo possível ao da cidade de estudo, no caso, do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.weather.uwyo.edu/>>. Acesso em: 17 de jan. de 2023

Quadro 3 - Parâmetros de entrada da simulação. Fonte: Torres (2017), Silva (2019), Pereira (2020), a autora, 2023.

Os resultados das simulações foram importados no *plugin* Leonardo 5.5, para gerar os mapas de cores das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, apresentados na seção seguinte. Foram utilizados os dados na altura de 1,50m do solo, que representa a altura média do pedestre (Pereira, 2020). As análises consideraram também o índice de conforto UTCI para os horários definidos (8h, 13h e 18h) no *plugin* Biomet 5.5, a partir dos cenários simulados utilizando os dados de saída do Envi-Met 5.5. Os dados do Biomet 5.5 foram tratados também no *plugin* Leonardo 5.5 para criação dos mapas de cores. Para a presente pesquisa, foi utilizada a configuração padrão do Biomet 5.5, como se as pessoas respondentes da pesquisa de sensação hipotética, possuísem idades aproximadas a 35 anos, utilizando roupas de verão (0,50 clo), devido ao momento de onda de calor analisado e estariam caminhando a uma velocidade de 1,12 m/s, de acordo com os padrões de atividade e metabolismo da ISO Standard 7730 (Olesen e Parsons, 2002).

O quadro 4 apresenta as faixas de estresse térmico de UTCI (Rossi, Krüger e Bröde, 2012). A legenda de cores para extração dos gráficos apresentados na seção seguinte foi elaborada seguindo estas faixas, simplificadas entre a temperatura máxima (45,0°C) e mínima (22,9°C), geradas por meio do Biomet 5.5.

Faixas de UTCI	Categorias de estresse
> 46°C	extremo estresse para o calor
38 °C a 46 °C	muito forte estresse para o calor
32 °C a 38 °C	forte estresse para o calor
26 °C a 32 °C	moderado forte estresse para o calor
18 °C a 26 °C	conforto térmico
9 °C a 18 °C	sem estresse térmico
0 °C a 9 °C	pouco estresse para o frio
0 °C a -13 °C	moderado estresse para o frio
-13 °C a -27 °C	forte estresse para o frio

-27 °C a -40 °C	muito forte estresse para o frio
< -40 °C	extremo estresse para o frio

Quadro 4 - Faixas de estresse térmico de UTCI. Fonte: Adaptado de Rossi, Krüger e Bröde (2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos quatro cenários parametrizados de maneira comparativa, considerando os seguintes horários: 08h, 13h e 18h. As análises abarcam os comportamentos higrotérmicos em um dia representativo do período quente e seco (25/09/2023) sob influência da anomalia térmica conhecida como *El Niño*. Para melhor leitura dos resultados obtidos, as análises foram divididas em duas seções. Na seção 4.1, tem-se os resultados obtidos através dos cenários simulados, sendo que na subseção 4.1.1 foi feita a análise dos cenários parametrizados considerando a temperatura do ar nos 4 cenários e na subseção 4.1.2 a análise dos cenários considerando a umidade do ar e na seção 4.2, é realizada a análise do Índice UTCI para os cenários nas três praças analisadas.

Os quatro cenários foram analisados considerando a presença de áreas verdes, conforme descrito nos materiais e métodos. Para análise do desempenho da espacialização da área verde, foi identificada a extensão da área de influência dessas áreas verdes, em cada cenário simulado, através da quantificação das áreas referentes a temperatura mínima e a umidade máxima, nos três horários verificados.

Para classificação do intervalo de temperatura do ar mínima, foi considerado o valor mínimo comum encontrado nos quatro cenários, aqui denominada de temperatura do ar mínima comum (TA_{minC}). Da mesma maneira, para a classificação do intervalo de umidade máxima do ar, foi considerado o valor máximo comum encontrado nos quatro cenários, que fica aqui denominado como umidade do ar máxima comum (UA_{máxC}).

4.1 TEMPERATURA E UMIDADE DO AR

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos através dos cenários parametrizados, sendo analisados com relação a distribuição das áreas verdes em cada cenário estudado, para cada horário, com intuito de analisar como a presença da vegetação influencia no microclima de cada cenário, considerando três simulações:

áreas com inserção total de espécies arbóreas, áreas com inserção total de espécies gramíneas e com mistura parcial de ambas as espécies.

4.1.1 Temperatura do ar

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos de temperatura do ar (mínimas e máximas / na área simulada) para os três horários analisados, no dia 25 de setembro de 2023, para o cenário atual e para os casos alternativos com as diferenciações de massa vegetativa. Os dados apresentados em negrito são os medidos *in loco* para a situação atual. Para os demais cenários, os valores apresentados correspondem aos dados resultantes das simulações geradas.

		Temperatura (C°)								
	Data	Hora	Cenário atual		100% Árvores		100% Grama		50% árvores 50% grama	
			Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
PQ HA	25/9/2023	08:00	23,4	27,5	23,4	27,4	23,3	27,4	23,4	27,4
	25/9/2023	13:00	27,5	31,5	27,5	31,8	27,7	31,9	27,6	31,8
	25/9/2023	18:00	29,9	33,6	29,2	33,5	30,0	33,6	29,6	33,6
PD JP	25/9/2023	08:00	27,4	28,9	26,6	28,7	27,5	28,9	27,2	29,0
	25/9/2023	13:00	30,7	34,9	30,3	34,7	30,7	34,9	30,5	34,9
	25/9/2023	18:00	29,8	31,3	29,4	31,1	29,8	31,3	29,8	31,1
PA C	25/9/2023	08:00	24,4	29,3	21,9	28,9	23,4	28,7	24,4	29,3
	25/9/2023	13:00	27,6	32,1	25,8	32,6	27,1	33,3	27,6	32,1
	25/9/2023	18:00	29,7	33,6	29,0	35,2	29,8	35,7	29,7	33,5

Legenda: PQHA - Parque Halfeld; PDJP – Praça Dr. João Penido; PAC – Praça Antonio Carlos.

Tabela 1 - Dados extraídos de temperatura para todos os cenários. Fonte: A autora, 2024.

Entre os cenários simulados, levando em consideração os três locais analisados, não houve variação de mais de 1°C entre as temperaturas máximas e mínimas do cenário atual com os demais cenários no Parque Halfeld e na Praça Dr. João Penido. Porém, esta diferença foi observada na Praça Antonio Carlos que, no cenário com 100% inserção de árvores, apresentou uma temperatura 2,5°C menor em relação ao cenário atual. A espacialização adensada da massa arbórea gerou efeitos de sombreamento, maior possibilidade de evapotranspiração, além de criar um caminho para a ventilação natural.

Nesta mesma praça o cenário com 100% grama obteve mais alta temperatura (2,1°C maior que o cenário atual), em relação aos outros cenários simulados, principalmente no horário noturno. Isso pode ser explicado pela falta do sombreamento, devido à altura dessa tipologia e menor efeito da evapotranspiração desse caso, em relação aos demais.

Os mapas térmicos dos quatro cenários simulados foram agrupados nas Figuras 11, 12 e 13, que apresentam os resultados obtidos da temperatura do ar ao nível do pedestre (1,50m do solo), para os horários de 8h, 13h e 18h, nas três praças estudadas. A faixa de temperatura mínima comum, encontrada nas legendas das imagens, se referem a média das temperaturas mais baixas encontradas nos cenários, para aquele horário específico em que se apresenta e o termo área de influência, se refere a quantidade, em metros quadrados, que as menores temperaturas da média entre os cenários, foram capazes de alcançar, fisicamente, na área da praça.

Praça Parque Halfeld

Observa-se que na praça Parque Halfeld, no horário das 08h, o cenário com 100% inserção de árvores obteve uma mancha de ilha de frescor fisicamente maior, em comparação ao cenário com 50% árvore e ao cenário atual. Na parte nordeste da praça, que apresenta maiores temperaturas devido à presença do material asfáltico da avenida Rio Branco, a cobertura 100% arbórea foi capaz de reduzir essa influência na área da praça, devido a capacidade das árvores em melhorar a umidade do local pelo efeito da evapotranspiração, o que afeta também a temperatura.

O cenário com 100% grama apresentou uma mancha com temperatura na faixa entre 26 °C e 27°C, próximo da temperatura máxima do cenário atual, mais distribuída ao longo da praça e do entorno. A cobertura com 100% de gramíneas reduz a retenção do calor, porém somente no nível do solo, o que também foi identificado por Pereira (2020) ao comparar um cenário com solo exposto e outro com solo gramado. O cenário que explorou 50% de gramíneas e de árvores apresentou uma redução na temperatura, mais especificamente onde foram inseridas as espécies arbóreas.

TEMPERATURA - PARQUE HALFELD

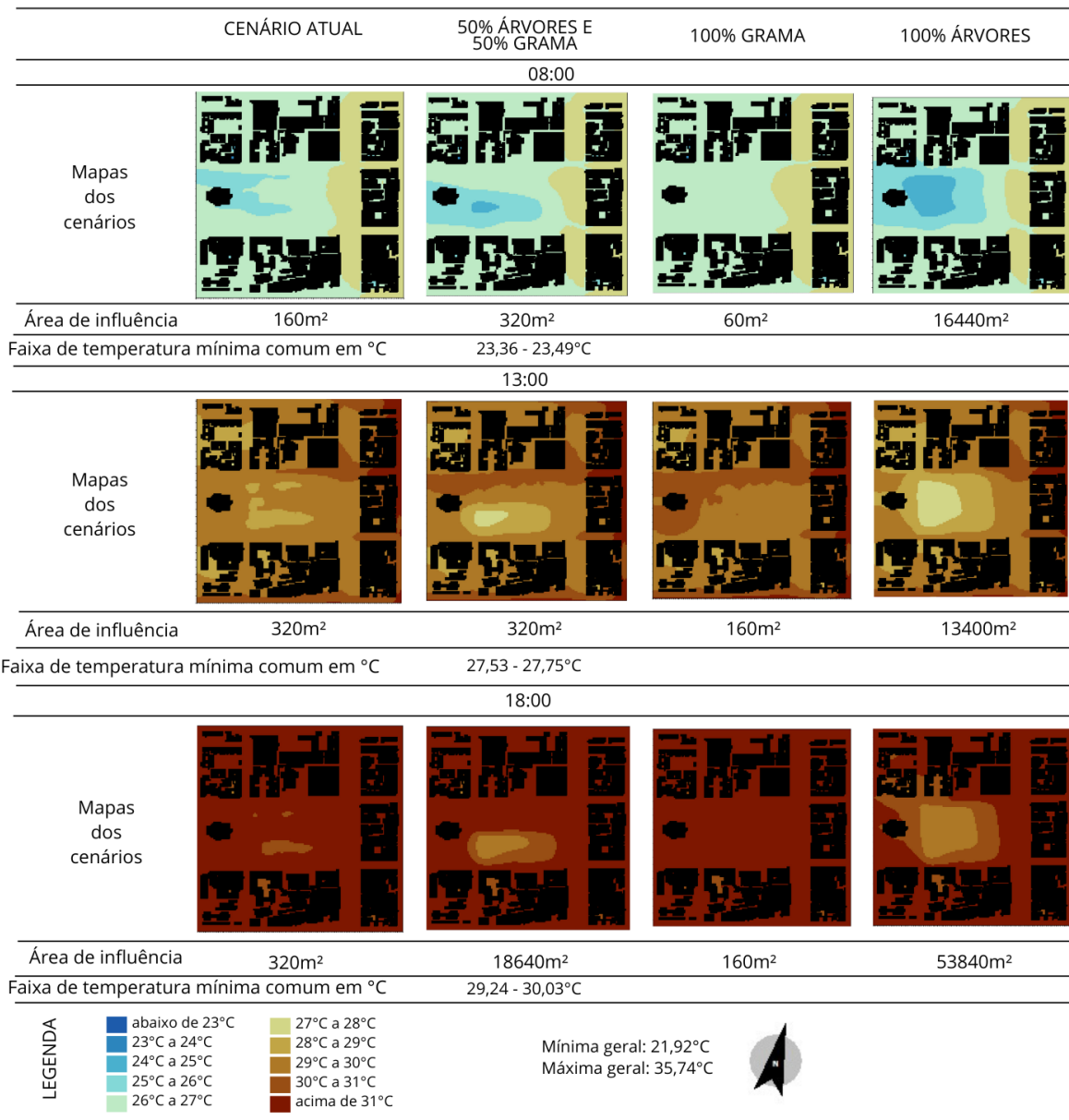


Figura 11 ⁴- Mapas de temperatura do ar da Praça Parque Halfeld por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

⁴ A área de influência se refere ao tamanho, por metro quadrado, que as temperaturas mínimas, originadas da presença da vegetação, impactou na área de análise, de acordo com as variações das vegetações para cada cenário e horário.

Com relação aos horários, ao entardecer, a temperatura vai se elevando em todos os cenários, isto se deve ao aumento da radiação solar e a absorção dos materiais urbanos afetados pela mesma. Ao anoitecer, no horário das 18h percebe-se que as temperaturas se elevam, devido ao efeito da inércia térmica do calor presente nos materiais do solo. Quanto às manchas de distribuição das temperaturas, percebe-se que seu o comportamento nestes dois horários foi semelhante à distribuição das manchas no horário das 8:00h.

A área de influência apresenta diferenças mais significativas entre os cenários. Neste quesito, destaca-se que o cenário com 100% árvores apresentou maior área de influência em comparação com todos os outros cenários em todos os horários simulados. Novamente, a inércia térmica no período do entardecer ampliou os efeitos da temperatura também na área de influência, registrando uma metragem quadrada de 53.840m².

Praça Dr. João Penido

A Figura 12 mostra os mapas de temperatura do ar obtidos para a Praça Dr. João Penido. No horário das 08h, o cenário que obteve os melhores resultados foi o com 100% inserção de árvores. Nesta praça, o material asfáltico se encontra na parte nordeste além disso existe também um fator agravante nesta localização em específico, a passagem da linha férrea, na ponta nordeste também, com solo exposto, devido a presença de ambos (passagem de trem e solo exposto) o calor no ar é geralmente intensificado.

Independente dos itens mencionados, observa-se que, assim como na praça Parque Halfeld, o cenário com 100% árvores, foi capaz de reduzir a temperatura em parte da praça para a faixa de 26°C a 27°C, sendo capaz de influenciar a temperatura do entorno, criando uma mancha de ilha de frescor mais dispersada e que abrange, visivelmente, uma área maior ao redor.

O mesmo aconteceu para o horário das 13h e das 18h, porém no horário da noite, o tamanho da mancha física de temperatura menor se até somente a área da

praça, sem influenciar o entorno, devido aos mesmos efeitos que aconteceram na praça Parque Halfeld, relacionado a inércia térmica por absorção dos materiais urbanos. Observa-se também que as manchas com menores temperaturas ocorrem justamente, quando é o caso, onde as espécies arbóreas são inseridas.

TEMPERATURA - PRAÇA DR. JOÃO PENIDO

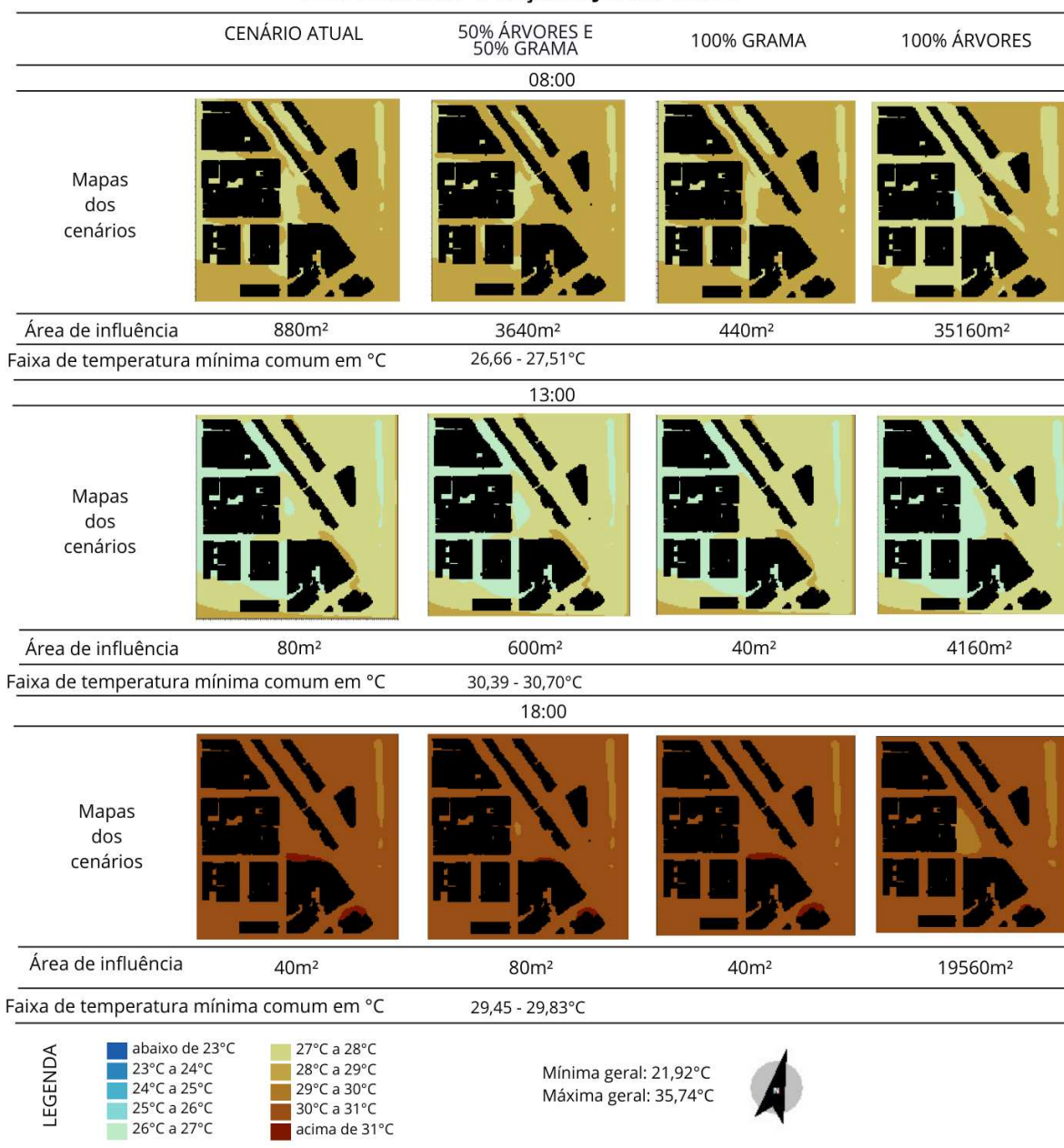


Figura 12⁵ - Mapas de temperatura do ar da Praça Dr. João Penido por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

⁵ A área de influência se refere ao tamanho, por metro quadrado, que as temperaturas mínimas, originadas da presença da vegetação, impactou na área de análise, de acordo com as variações das vegetações para cada cenário e horário.

Praça Antônio Carlos

A Figura 13 mostra os mapas de temperatura do ar extraídos das simulações feitas na Praça Antônio Carlos. Atualmente essa praça passou por reforma recente na época em que foi realizada a presente pesquisa, sendo transformada em uma praça para shows e eventos, teve grande parte de sua área verde suprimida, além de ter recebido bastante área de material urbano do tipo concreto cinza, que é um tipo de material com baixa taxa de albedo e emissividade, conseqüentemente um material que absorve mais a radiação deixando o ambiente mais quente.

TEMPERATURA - PRAÇA ANTÔNIO CARLOS

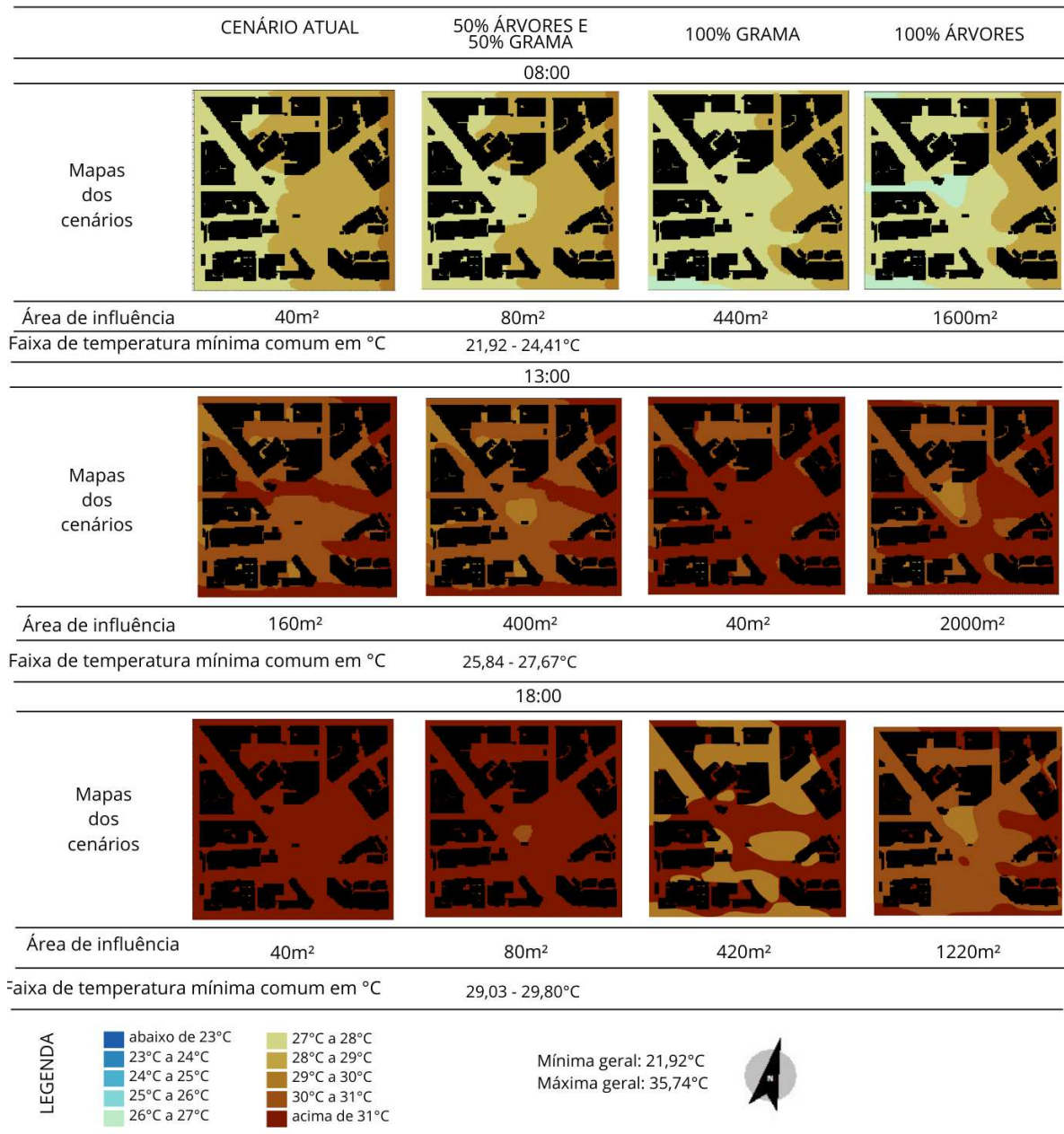


Figura 13⁶ - Mapas de temperatura do ar da Praça Antônio Carlos por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

⁶ A área de influência se refere ao tamanho, por metro quadrado, que as temperaturas mínimas, originadas da presença da vegetação, impactou na área de análise, de acordo com as variações das vegetações para cada cenário e horário.

Além disso, esta praça está situada em uma área urbanizada que, apesar de próxima as outras duas praças, dista um pouco no quesito de elementos do entorno. A Praça Antonio Carlos se encontra em uma área que é funil de tráfego urbano, com isso, grande parte dos veículos são direcionados para a área onde ela se encontra, tornando o ar próximo com temperaturas ainda mais elevadas.

Portanto, os resultados obtidos para a praça foram diferentes em relação aos obtidos nas anteriores, principalmente, no que diz respeito ao cenário atual. O impacto positivo do cenário com 100% árvores se torna ainda mais perceptível, influenciando também a porção oeste do entorno da área. Conseguindo diminuir a temperatura em 3°C em relação ao cenário atual.

Os cenários do horário das 13h e das 18h, apesar de obterem resultados de temperaturas que se elevaram acima de 31°C. O cenário com 100% árvores se destaca por reduzir a temperatura em uma área maior se comparado aos outros cenários, principalmente ao cenário atual.

Os cenários com inserção de 100% vegetação do tipo gramíneas apresentaram os resultados mais extremos de temperatura em todos os cenários. O cenário com 100% inserção de gramíneas da Praça Antônio Carlos apresentou o pior desempenho, para os três horários, enquanto os demais se mantiveram com desempenho melhor em relação ao resfriamento da área da Praça. No horário das 18h, o cenário citado demonstrou resultados ainda mais expressivos, chegando a uma temperatura de 35,7°C, sem conseguir influenciar sua própria área de cobertura, se mantendo com temperatura mais alta que a área ao redor da área analisada.

A partir dos mapas térmicos obtidos, observou-se que em todos os horários, os cenários 100% cobertos com árvores, apresentaram o intervalo com as menores temperaturas do ar. É possível notar a influência espacial da temperatura, através da concentração da massa arbórea em um único espaço delimitado. Além da influência da evapotranspiração das plantas no ambiente de acordo com a tipologia da vegetação. É válido ressaltar, que a ausência de incidência solar no horário das 18h impacta no aumento da amplitude da mancha da área de influência, em paralelo ao

efeito da inércia térmica que eleva a temperatura em determinados locais (a depender do tipo de revestimento do solo) ao fim do dia.

4.1.2 Umidade do ar

A Tabela 2 apresenta os dados obtidos de umidade do ar (mínimas e máximas / na área simulada) para os três horários analisados, no dia 25 de setembro de 2023, para o cenário atual e para os casos alternativos com as diferenciações de massa vegetativa. Os dados apresentados em negrito são os medidos *in loco* para a situação atual. Para os demais cenários, os valores apresentados correspondem aos dados resultantes das simulações geradas.

		Umidade (%)								
	Data	Hora	Cenário atual		100% Árvores		100% Grama		50% árvores 50% grama	
			Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
PQ HA	25/9/2023	08:00	65,1	91,1	48,0	58,3	47,9	58,7	48,0	58,5
	25/9/2023	13:00	48,9	70,6	35,0	47,1	34,9	44,4	34,9	46,1
	25/9/2023	18:00	43,0	58,7	32,3	41,1	32,3	37,7	32,3	40,1
PD JP	25/9/2023	08:00	45,1	50,3	45,1	51,2	45,1	50,3	44,8	50,3
	25/9/2023	13:00	28,8	36,9	28,9	38,2	28,8	36,9	28,8	37,2
	25/9/2023	18:00	34,3	39,2	32,7	37,0	34,4	39,2	34,8	39,2
PA C	25/9/2023	08:00	44,4	55,3	46,4	66,5	45,1	58,6	44,4	55,3
	25/9/2023	13:00	34,7	44,4	35,7	51,0	33,6	46,2	34,8	44,4
	25/9/2023	18:00	31,0	38,0	28,6	39,8	27,6	38,0	31,0	38,0

Legenda: PQHA - Parque Halfeld; PDJP – Praça Dr. João Penido; PAC – Praça Antonio Carlos.
Tabela 2 - Dados extraídos de umidade para todos os cenários. Fonte: A autora, 2024.

Entre os cenários simulados, levando em consideração os três locais analisados, diferente dos resultados para temperatura, houve variação de mais de 30% entre as umidades máximas e mínimas do cenário atual com os demais cenários. Esta diferença foi amplamente observada na praça Parque Halfeld que, no cenário atual, apresentou uma umidade 33% maior em relação aos cenários hipotéticos. A espacialização adensada da massa arbórea do cenário atual gerou efeitos de sombreamento, maior possibilidade de evapotranspiração, além de criar um caminho

para a ventilação natural, devido a existência de uma clareira em meio a área, ao centro da praça e outras menores ao redor.

Além disso, houve um aumento de aproximadamente 10% na umidade do cenário com 100% árvores na Praça Antonio Carlos, quando comparado também aos outros cenários hipotéticos. Nesta mesma praça o cenário com 100% grama obteve mais baixa umidade (4% menor que o cenário atual), em relação aos outros cenários simulados, principalmente no horário noturno. Isso pode ser explicado pela falta do sombreamento, devido à altura dessa tipologia e menor efeito da evapotranspiração desse caso, em relação aos demais.

Os mapas de umidade dos quatro cenários simulados foram agrupados nas Figuras 14, 15 e 16, que apresentam os resultados obtidos da umidade do ar ao nível do pedestre (1,50m do solo), para os horários de 8h, 13h e 18h, nas três praças estudadas. A faixa de umidade máxima comum, encontrada nas legendas das imagens, se refere a média entre as umidades mais altas encontradas nos cenários, para aquele horário específico em que se apresenta e o termo área de influência, se refere a quantidade, em metros quadrados, que as maiores umidades da média entre os cenários, foram capazes de alcançar, fisicamente, na área da praça.

Praça Parque Halfeld

Observa-se na Figura 14, que na praça Parque Halfeld, no horário das 08h, o cenário atual obteve uma mancha de ilha de frescor fisicamente maior, em comparação aos outros cenários. Também é possível perceber que atinge os mais altos índices de umidade para o local (91,1% como visto na tabela). Na parte nordeste da praça, que apresenta diminuição da umidade devido à presença do material asfáltico da avenida Rio Branco, a cobertura com 50% árvores e mais predominante, a cobertura 100% arbórea, foi capaz de reduzir essa influência na área da praça, devido a capacidade das árvores em melhorar a umidade do local pelo efeito da evapotranspiração.

O cenário com 100% grama apresentou uma mancha com umidade na faixa entre 43% e 49%, com pouca distribuição da mancha e dificuldade em aumentar a

umidade fora da área da praça. A cobertura com 100% de gramíneas é capaz de criar um ambiente climatologicamente ameno, porém somente no nível do solo. O cenário que explorou 50% de gramíneas e de árvores apresentou um aumento na mancha de frescor, menor em comparação aos outros, mais especificamente onde foram inseridas as espécies arbóreas.

Nos horários da tarde e da noite, a condição muda, apesar de, no cenário atual, a umidade se manter levemente maior em relação aos outros, a mancha de ilha de frescor consegue uma melhor dispersão nos cenários com 100% árvores. Isto se justifica novamente a existência da clareira em meio a praça, que nos horários ao entardecer, passa a promover o efeito contrário, devido a inércia térmica causada pela absorção do material exposto.

UMIDADE DO AR - PARQUE HALFELD

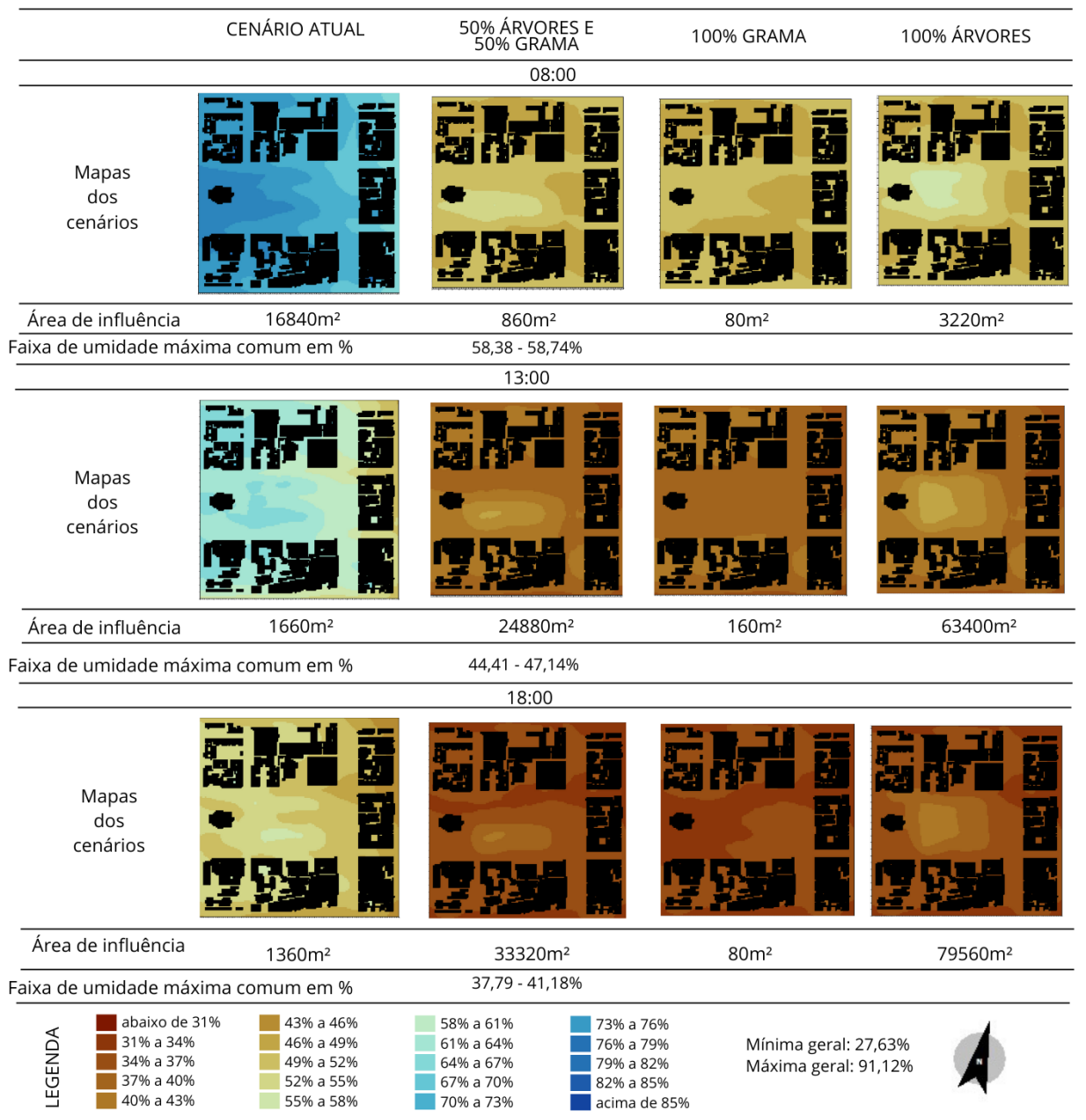


Figura 14 ⁷ - Mapas de umidade do ar da Praça Parque Halfeld por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

⁷ A área de influência se refere ao tamanho, por metro quadrado, que as umidades máximas, originadas da presença da vegetação, impactou na área de análise, de acordo com as variações das vegetações para cada cenário e horário.

Observa-se que, apesar da área de influência ser notoriamente maior nos cenários com 100% inserção de árvores, devido ao efeito da evapotranspiração das plantas associado ao sombreamento e do caminho da ventilação natural, o cenário atual, se tratando especificamente da praça Parque Halfeld, obteve umidades mais altas, algo que evidencia que a espacialização das vegetações é uma variável importante para análise e para mitigação da melhoria da umidade do ar.

Praça Dr. João Penido

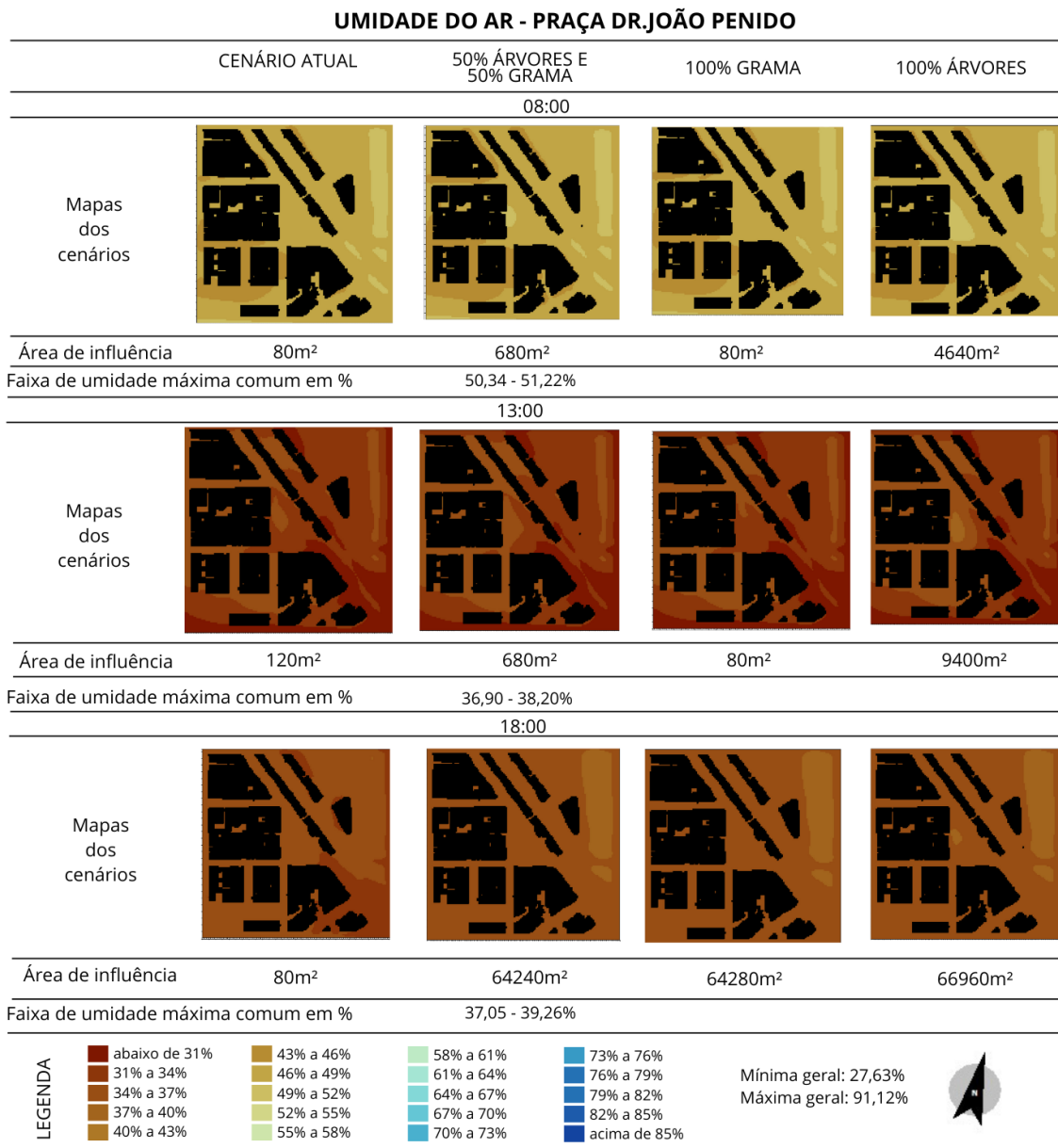


Figura 15⁸ - Mapas de umidade do ar da Praça Dr. João Penido por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

Sobre a área de influência da umidade para esta praça, é válido ressaltar que, a maior umidade vem, não somente das áreas de impacto direto das vegetações existentes e/ou inseridas, como também sofre influência do Rio Paraibuna presente próximo a borda superior direita da área representativa do cenário.

A Figura 15 mostra os mapas de umidade do ar, extraídos dos cenários parametrizados da Praça Dr. João Penido. A umidade relativa do ar no horário de 08h para cenário atual estabeleceu uniformidade entre 49% e 52%, similar ao cenário com gramíneas, na área da praça. No cenário com 50% de cada tipologia, a umidade variou de 49% a 55%, criando uma pequena mancha com umidade mais elevada no centro da área da praça. Já no cenário com a inserção de árvores, houve um aumento da mancha de umidade em relação ao cenário com 50%. O que mais uma vez, torna evidente que a utilização de árvores com dossel acima da altura do pedestre, possuem maior capacidade de criar um microclima com umidade do ar elevada.

Para o horário de 13h, os cenários atual, com 100% grama e 50% de cada tipologia, mantiveram a mesma variação de umidade relativa do ar, entre 31% e 43%, diferindo entre si somente com base na característica da mancha da variável. Como esperado, os cenários apresentam umidade mais elevada (43%) nos locais específicos de inserção das árvores, para o caso dos cenários hipotéticos e onde realmente existem espécies arbóreas, para o caso do cenário atual. O cenário com árvores, por sua vez, resultou em uma máxima umidade relativa do ar de 49%.

No horário de 18h, os quatro cenários obtiveram resultados aproximados, inclusive no que se trata da representatividade das manchas visíveis para umidade relativa. Os cenários com 100% grama e com inserção de 50% de cada espécie, obtiveram, na área da praça, umidade de 43% a 46%, com manchas semelhantes. O

⁸ A área de influência se refere ao tamanho, por metro quadrado, que as umidades máximas, originadas da presença da vegetação, impactou na área de análise, de acordo com as variações das vegetações para cada cenário e horário.

cenário atual, obteve um resultado de umidade inferior em relação aos outros, entre 37% e 40%, próximo ao entorno que possui via asfáltica e o caminho da linha férrea, que contribui também de certa forma para o acúmulo de calor na área. Mesmo que em menor área, o cenário com 100% inserção de árvores conseguiu criar um microclima com umidade mais elevada no centro da área da praça, variando de 46% a 49%.

Sobre a área de influência da umidade para esta praça, é válido ressaltar que, a maior umidade vem, não somente das áreas de impacto direto das vegetações existentes e/ou inseridas, como também sofre influência do Rio Paraibuna e da linha férrea, presentes próximo a borda superior direita da área representativa do cenário.

Praça Antônio Carlos

A Figura 13 mostra os mapas de temperatura do ar extraídos das simulações feitas na Praça Antônio Carlos. Atualmente essa praça passou por reforma, tendo sido suprimida toda sua área verde, algo que explica os resultados obtidos, principalmente nos horários do cenário atual.

UMIDADE DO AR - PRAÇA ANTÔNIO CARLOS

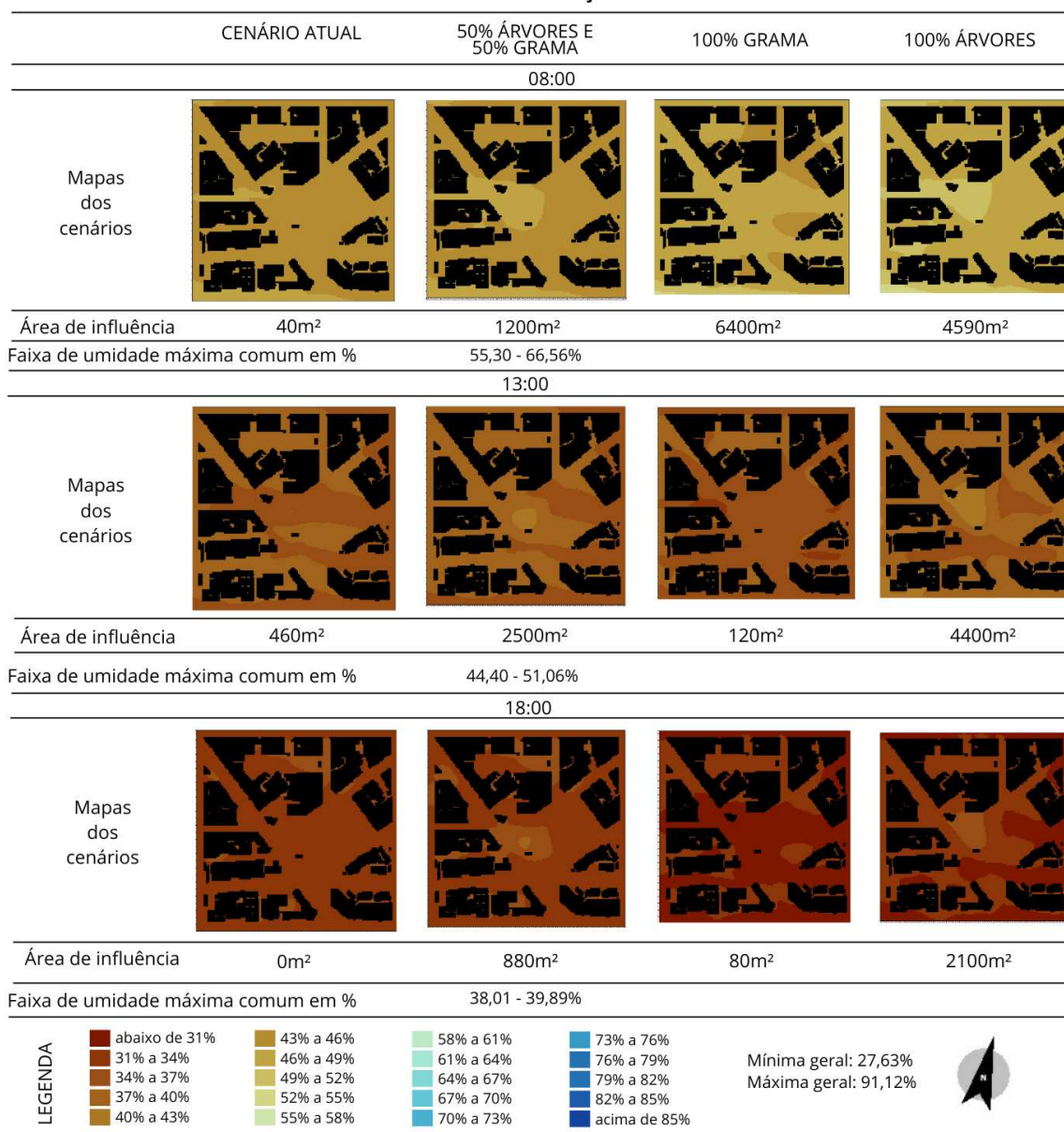


Figura 16⁹ - Mapas de umidade do ar da Praça Antônio Carlos por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

⁹ A área de influência se refere ao tamanho, por metro quadrado, que as umidades máximas, originadas da presença da vegetação, impactou na área de análise, de acordo com as variações das vegetações para cada cenário e horário.

Para novamente contextualizar, é válido recordar que, a praça Antônio Carlos passou por reforma recente na época em foi realizada a presente pesquisa, sendo transformada em uma praça para shows e eventos, teve grande parte de sua área verde suprimida, além de ter recebido bastante área de material urbano do tipo concreto cinza, que é um tipo de material com baixa taxa de albedo e emissividade, conseqüentemente um material que absorve mais a radiação deixando o ambiente mais quente, além de menos úmido, devido a supressão das vegetações.

Além disso, esta praça está situada em uma área urbanizada que, apesar de próxima as outras duas praças. A Praça Antonio Carlos se encontra em uma área que é funil de tráfego urbano, com isso, grande parte dos veículos são direcionados para a área onde ela se encontra, tornando o ar próximo com temperaturas ainda mais elevadas.

Dessa maneira, os resultados obtidos para a praça foram diferentes em relação aos obtidos nas anteriores, principalmente no que diz respeito ao cenário atual. O impacto positivo do cenário com 100% árvores se torna ainda mais perceptível, É possível verificar também que, além da mancha visível de ilha de frescor nos gráficos, ser maior e mais dispersa, a mesma é capaz de atingir melhores faixas de umidade.

Os cenários do horário das 13h e das 18h, apesar de obterem resultados de umidades que se mantiveram mais baixas, novamente o cenário com 100% árvores se destaca por aumentar a umidade do cenário no local próximo a área de estudo (cerca de 10%) e em uma área maior se comparado aos outros cenários, principalmente ao cenário atual, com destaque para a dispersão da ilha na área onde há a passagem de linha férrea.

Assim como nos resultados obtidos para temperatura, os cenários com inserção de 100% grama, apresentaram os piores desempenhos também para a variável umidade, com resultados mais extremos se comparado aos cenários hipotéticos e mais ainda aos cenários como estão atualmente.

Analisando as três praças, com relação a mancha da ilha de frescor, é possível observar que, nas praças Parque Halfeld e Antonio Carlos, as faixas de umidade máxima comum são mais baixas no horário das 18h, justificado pelo efeito da inércia térmica dos materiais que absorveram calor durante todo o dia e a noite começa a dissipar. Este resultado, porém, foi diferente para a praça Dr. João Penido, que teve uma piora nas faixas de umidade no horário da tarde, especificamente na parte mais a sudeste da área, onde se encontra a linha férrea e via de fluxo alto de trânsito no horário vespertino.

O resultado obtido, pode ter sido um impacto de uma variável não controlada. De acordo com o relatório de sustentabilidade da MRS (2023), neste ano houve um incidente na Ferrovia do Aço, algo que impactou diretamente as emissões por parte da empresa, principalmente por conta da necessidade do aumento do fluxo de trens durante o dia, mesmo sendo uma variável de certa maneira rara, é um fator que deve ser considerado devido ao impacto que gera para o meio ambiente e para o caso da presente pesquisa, um aumento na emissão de calor devido a maior quantidade de trens que passaram pelo local na época da pesquisa, evidenciando a necessidade de um aumento da área verde também próximo as linhas férreas, devido a maior dificuldade em dissipar o calor vindo dessa fonte de calor.

Destaca-se que, mesmo que os cenários com 100% árvores, tenham obtido umidades mais elevadas entre os cenários hipotéticos, a Praça Antonio Carlos obteve os melhores resultados, nos três horários analisados. O resultado mais impactante na praça, pode ser relacionado a morfologia de entorno, tanto em relação a área aberta, com edificações mais distantes se comparada as outras praças, como também devido ao alto índice de calor direcionado para a região, de origem das avenidas Getúlio Vargas, Itamar Franco e Travessa Dr. Prisco, que possuem trânsito intenso de veículos.

O cenário com 100% inserção de gramíneas da Praça Antônio Carlos apresentou o pior desempenho, no horário de 18h, enquanto os demais se mantiveram com desempenho melhor em relação ao resfriamento da área da Praça. No horário das 18h, o cenário citado chegou a uma umidade de 27,6%, sem conseguir influenciar

sua própria área de cobertura com a faixa de umidade máxima comum, se mantendo com baixa umidade na área e ao redor.

4.2 ÍNDICE DE CONFORTO UTCI

A Tabela 3 apresenta os dados obtidos de índice de conforto (UTCI), (mínimas – verde claro e máximas – verde escuro) para os três horários analisados, no dia 25 de setembro de 2023, para o cenário atual e para os casos alternativos com as diferenciações de massa vegetativa. Os dados apresentados em negrito são os medidos *in loco* para a situação atual. Para os demais cenários, os valores apresentados correspondem aos dados resultantes das simulações geradas. De acordo com Rossi, Krüger e Bröde (2012), a faixa de UTCI que representa o conforto térmico, vai de 18°C a 26°C. Na tabela 3, foram destacados os horários que obtiveram o nível de conforto adequado à sensação térmica.

		UTCI (C°)								
	Data	Hora	Cenário atual		100% Árvores		100% Grama		50% árvore 50% grama	
			Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
PQ HA	25/9/2023	08:00	23,5	26,7	21,1	25,0	21,7	25,0	21,7	25,0
	25/9/2023	13:00	27,3	43,4	24,4	42,5	25,2	42,6	24,6	42,6
	25/9/2023	18:00	28,8	45,4	25,8	43,9	27,2	44,0	26,1	44,0
PD JP	25/9/2023	08:00	26,3	39,4	25,8	39,2	26,3	39,4	26,3	39,2
	25/9/2023	13:00	29,7	44,8	29,5	44,1	29,7	44,8	39,3	44,1
	25/9/2023	18:00	26,4	32,2	26,1	31,4	26,4	32,2	26,4	30,9
PA C	25/9/2023	08:00	22,9	26,3	22,3	26,6	23,4	26,8	22,9	26,3
	25/9/2023	13:00	25,5	42,2	25,5	42,8	26,6	43,3	25,5	42,2
	25/9/2023	18:00	27,1	43,5	27,8	45,8	28,6	46,1	26,9	43,5

Legenda: PQHA - Parque Halfeld; PDJP – Praça Dr. João Penido; PAC – Praça Antonio Carlos.

Tabela 3 - Dados extraídos de UTCI para todos os cenários. Fonte: A autora, 2024.

Os quatro cenários foram analisados considerando a presença de vegetação nas praças para o cenário atual em comparação aos cenários hipotéticos, conforme descrito nos Materiais e Métodos. Para análise do desempenho das massas vegetativas utilizadas, foi identificada a extensão da influência da temperatura e

umidade do ar, por meio da influência espacial das médias de sensação térmica em cada cenário, nos três horários analisados.

O menor índice de conforto foi obtido para o horário de 08h, no cenário com 100% inserção de árvores, tido como estado de conforto térmico dentro das faixas de UTCI. O maior índice ocorreu no horário de 18h no cenário com 100% grama, que dentro das faixas de conforto UTCI se apresenta como extremo estresse para calor.

Praça Parque Halfeld

A Figura 17 apresenta os resultados do índice UTCI nos quatro cenários para os horários de 8h, 13h e 18h na Praça Parque Halfeld. No horário da manhã (8h), o cenário atual apresentou resultados de sensação térmica variando de 24°C a 26°C, considerado nível de conforto térmico adequado, de acordo com a faixa de UTCI apresentada por Rossi, Krüger e Bröde (2012). Os cenários parametrizados com situações hipotéticas de 100% espécies arbóreas, 100% espécies gramíneas e 50% de cada, demonstraram sensação térmica geral abaixo de 24°C.

Para o horário de 13h, no cenário atual, a sensação térmica se elevou até a faixa entre 38°C a 40°C dentro da praça e no seu entorno. Mais uma vez, os locais próximos à vegetação arbórea se destacam pela sensação térmica com menor estresse por calor. Este comportamento também pode ser observado nas outras simulações com árvores. A simulação com a grama registrou um aumento do stress térmico do ambiente simulado em relação à situação atual.

Às 18h, o índice UTCI permanece em condições similares ao horário das 13h, percebe-se o aumento da área de sombreamento, tanto pelas vegetações como pelas edificações no entorno, o que demonstra a importância de a faixa de sombreamento estar bem planejada para melhor atender aos usuários.

Resultados similares foram encontrados nos estudos de Neves e Bonatto (2019), que realizaram simulações no Envi-met para comparação de um cenário atual com mais dois, com inserção de vegetação em área edificada. Observações parecidas também foram feitas por Adário *et al.*, (2019), que obtiveram melhores resultados de

conforto, em áreas onde existiam a implantação de árvores. Os autores afirmam a melhoria do conforto propiciado pelas árvores em dias quentes e secos, como o escolhido para realização da simulação do presente artigo.

ÍNDICE DE CONFORTO - UTCI - PARQUE HALFELD

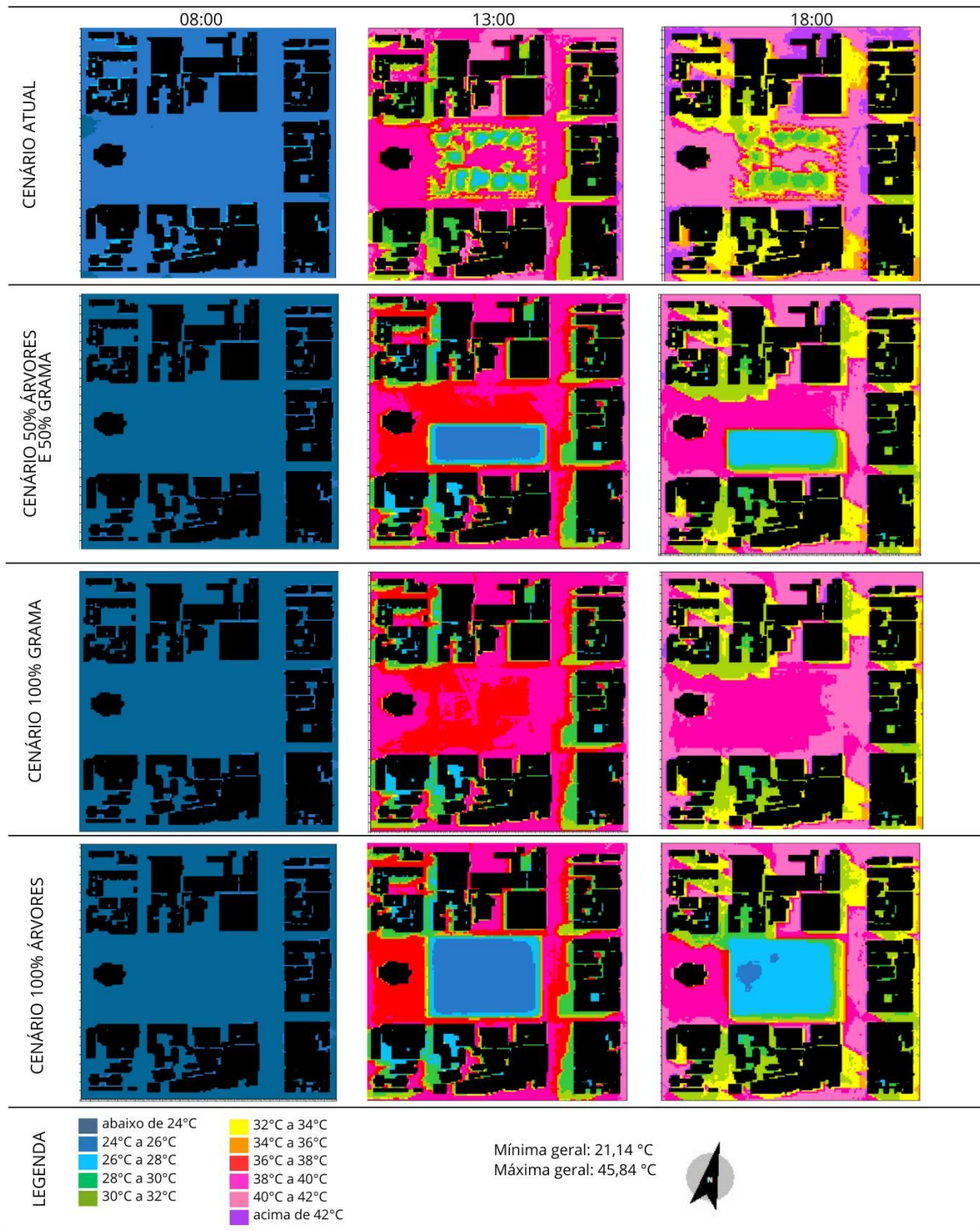


Figura 17 - Mapas de UTCI da Praça Parque Halfeld por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

Praça Dr. João Penido

A Figura 18 apresenta os resultados obtidos nos cenários através do Envi-met 5.5, para o índice de UTCI da Praça Dr. João Penido. É possível destacar novamente o fenômeno do sombreamento, que atrelado a evapotranspiração das plantas, tem capacidade de reduzir a sensação térmica próximo a localização das árvores. Em todos os cenários, nos horários da manhã e à tarde, a área com árvores na praça fica visivelmente destacada devido a redução do stress térmico. Vale destacar que a praça no cenário com 100% árvores, foi capaz de reduzir ainda mais a sensação da praça, O cenário com 100% grama obteve resultados opostos, elevando a sensação de conforto, devido a incapacidade de resfriar um ambiente urbano na altura do pedestre.

Os cenários de UTCI para o horário noturno, se mantiveram constantes, independente da tipologia vegetal ali presente em cada um deles, o cenário com 100% árvores, mesmo em meio a uma padronização, foi capaz de reduzir a sensação térmica no local.

ÍNDICE DE CONFORTO - UTCI - PRAÇA DR. JOÃO PENIDO

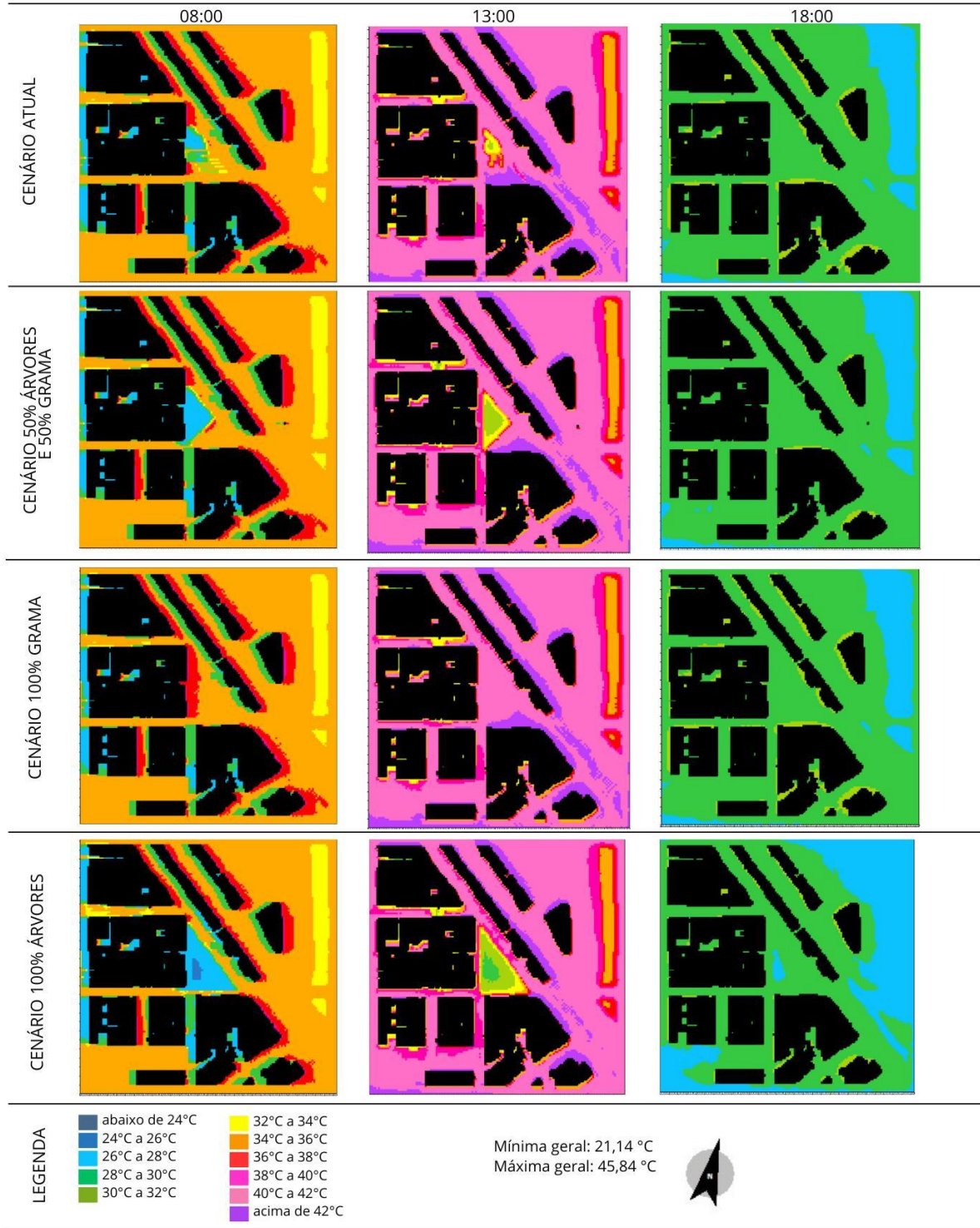


Figura 18 - Mapas de UTCI da Praça Dr. João Penido por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

Praça Antônio Carlos

A Figura 19 traz os resultados de UTCI obtidos na Praça Antônio Carlos. Nos cenários simulados para o horário de 8h, todos ficaram com sensação térmica na faixa de 24°C a 26°C. É interessante destacar, que essa praça em específico, obteve resultados diferentes das outras praças analisadas, onde nas melhores hipóteses, para a Praça Parque Halfeld e para a Praça Dr. João Penido, sempre se destacavam os cenários com 100% inserção de árvores.

ÍNDICE DE CONFORTO - UTCI - PRAÇA PRESIDENTE ANTONIO CARLOS

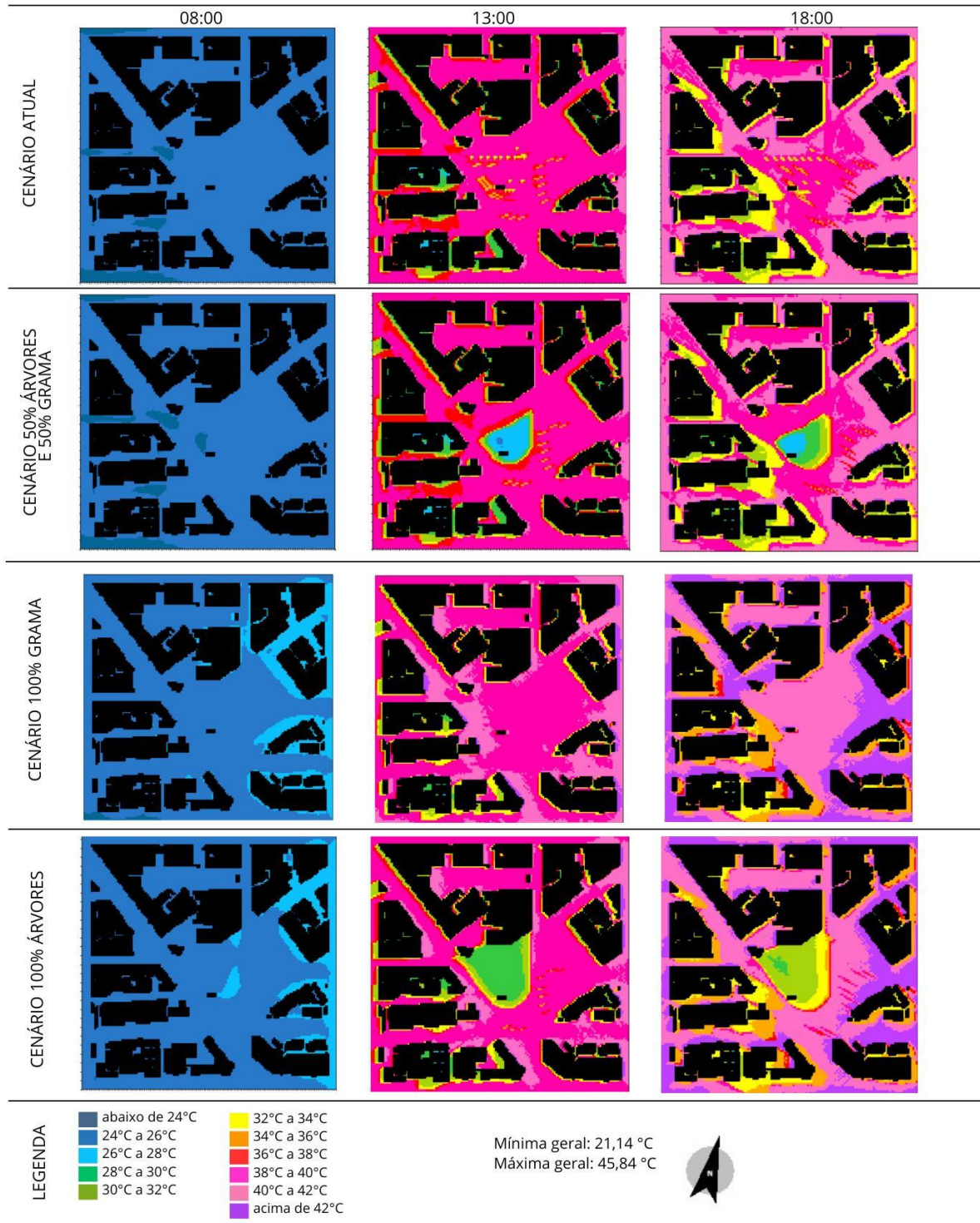


Figura 19 - Mapas de UTCI da Praça Antônio Carlos por horário (às 8h, 13h e 18h) e por cenário simulado (atual, 50%, grama e árvores). Fonte: A autora, 2024.

Na Praça Antonio Carlos, mesmo que os cenários com 100% inserção de árvores tenham sido capazes de, no horário das 13h e das 18h, englobar toda a área da praça, o cenário com 50% árvores conseguiu atingir mínimas de temperatura mais baixas em relação ao 100%, isto também aconteceu nos estudos de Zolch *et al.*, (2019). Onde os autores verificaram a importância de se deixar um corredor de ventilação entre as árvores, propiciando a passagem e livre circulação do vento natural, além disso a localização das plantas em relação ao espaço disponível também impacta na temperatura. Os autores citam a importância em se inserir as árvores na fachada do local que vai receber maior quantidade de raios solares, pois desta maneira é capaz de reduzir a incidência direta e minimizar o efeito causado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção serão apresentadas as considerações finais da pesquisa, obtidas por meio dos resultados e discussões, as limitações encontradas e sugestões de futuros caminhos para o trabalho na área.

A pesquisa foi desenvolvida com objetivo de comparar, por meio de simulação computacional, as condições térmicas de três praças localizadas no centro urbano de Juiz de Fora (MG), considerando quatro cenários com diferentes tipos de cobertura vegetal, sob condições de anomalia térmica ocasionada pelo período de *El Niño*. As simulações foram realizadas por meio de coleta *in loco* nas áreas de análise, em uma das semanas previstas pelo INMET para ocorrência de anomalia térmica (onda de calor). O dia escolhido foi o que apresentou maior intensidade da anomalia (temperatura mais alta somada a umidade mais baixa) entre os sete dias coletados. Também foram coletadas as características físicas das praças, que poderiam impactar seu microclima. Estas características também são variáveis necessárias para o tratamento dos dados climáticos no *software* Envi-met 5.5, como a presença (ou não) de edificações no entorno, os materiais dos revestimentos urbanos presentes e as tipologias e quantidade de área verde existente.

A simulação considerou quatro cenários: a situação atual; um cenário com inserção de 50% vegetação do tipo gramínea e 50% de vegetação do tipo arbórea na

área da praça; um cenário hipotético com 100% de vegetação gramínea; e um cenário, com toda a área da praça com 100% de vegetação do tipo árvore, nos horários das 08h, 13h e 18h.

Diante dos resultados expostos, constata-se que o aumento da área arbórea e/ou gramínea não ocasionou alteração relevante (acima de 1°C) da média da temperatura em relação à situação atual. Os mapas térmicos indicam que o sombreamento da vegetação arbórea (aliados às suas funções biológicas, como a evapotranspiração) promove alguma redução da temperatura do ar.

A espacialização da área verde nos cenários pode ter interferido no desempenho térmico, uma vez que os cenários com 100% árvores e com as espécies dividindo 50% da área, registraram aumento da umidade do ar nos três horários analisados, quando comparados aos cenários atual e com 100% inserção de grama. Em contrapartida, os cenários atuais do Parque Halfeld, exatamente como se encontram atualmente, apresentaram resultados de umidade melhores que todos os cenários hipotéticos.

Com relação ao conforto térmico, quase todos os cenários com 100% árvores para as três praças, nos três horários analisados, apresentam sensação térmica dentro da faixa de conforto térmico (18°C a 26°C). Além disso, praticamente todos os cenários (atual e hipotéticos) apresentaram um bom índice de conforto térmico para o horário de 8h na praça Parque Halfeld. Este resultado evidencia o cenário hipotético com inserção de 100% espécies arbóreas como o melhor para condicionar um ambiente urbano confortável para o meio, na altura do pedestre.

Em todas as praças, o cenário que obteve inserção de 100% árvores, apresentou os melhores resultados, a área de influência se dissipou mais na praça Parque Halfeld em relação as praças Dr. João Penido e Antonio Carlos, sendo ainda que esta última, obteve área de influência ainda menor que as outras. Com isso, os resultados indicam que o tamanho da praça também pode influenciar na sua capacidade de impactar a temperatura do ar no seu entorno imediato. Contudo, é importante ressaltar que diversos fatores estão condicionados a impactar diretamente

nas condições microclimáticas do entorno, principalmente quando as três praças são comparadas entre si. É válido dizer que, por mais que ambas as praças estejam ligeiramente próximas entre si e que todas estão sob a condição da ilha de calor urbano, cada localização se torna um outro microclima adaptado as variáveis existentes no entorno, como a presença de edificações, de outras áreas verdes próximas, da proximidade com o Rio Paraibuna e a linha férrea, das vias distintas e próximas com tráfego intenso e alto fluxo de calor aumentado no ar.

Contribuições, limitações da pesquisa e indicação para estudos futuros

Esta dissertação configura-se como mais uma contribuição aos estudos sobre o conforto térmico relacionado ao planejamento urbano, especialmente sobre os impactos da proporção de área verde no microclima urbano. Esta contribuição torna-se mais relevante considerando que foi desenvolvida em clima mesotérmico onde foram registrados poucos estudos com este perfil. Os resultados indicam que o planejamento adequado das áreas verdes, especialmente das áreas arborizadas, é capaz melhorar o conforto térmico dos usuários de espaços livres públicos especialmente.

Como citado no Capítulo 3 “Materiais e Métodos”, devido ao início e grande parte da pesquisa ter sido feito no Envi-met 3 Lite, houve uma limitação da área de estudo no entorno de cada praça de 300m x 300m, devido a essa ser a maior metragem que a versão gratuita do programa é capaz de simular. Esta situação configura-se como uma das limitações de pesquisa. Outra limitação observada foi o número reduzido de praças analisadas uma vez que um número maior de praças poderia permitir comparações mais representativas do impacto da morfologia das praças e de seu entorno nos resultados apresentados. Por fim, destaca-se como limitação o número de cenários alternativos simulados (100% árvores, 50% árvores e 100% gramíneas). Outros lay-outs de distribuição das espécies arbóreas podem contribuir para um entendimento mais amplo do impacto do planejamento destas espécies no meio urbano.

A partir das limitações de pesquisa foram observadas outras perspectivas de estudo que podem ser exploradas para auxiliar na análise e compreensão dos impactos da vegetação em praças urbanas:

- Selecionar um número maior de praças e correlacionar outros aspectos físicos e higrotérmicos presentes. Para determinar quais e de que maneira os elementos do entorno podem impactar diretamente na qualidade térmica do ambiente;
- Aumentar a área de simulação, para obter o máximo possível de entorno que possa exercer impactos diretos e indiretos no microclima da praça selecionada, tais como a presença (ou não) de outras áreas verdes, áreas azuis, vias, usos, edificações e/ou revestimentos urbanos;
- Analisar mais cenários hipotéticos diversificados e mistos de espécies vegetativas para uma mesma praça, a fim de verificar qual seria o melhor layout de área verde para melhorar as condições microclimáticas da praça.

Agradecimentos

A autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁRIO, J. L. MARQUES, A. C. SILVA, C. F. **Simulação computacional do microclima urbano da praça da estação na cidade de Juiz de Fora – MG**. XV ENCAC, XI ELACAC, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/337437954_SIMULACAO_COMPUTACIONAL_DO_MICROCLIMA_URBANO_DA_PRAÇA_DA_ESTACAO_NA_CIDADE_DE_JUIZ_DE_FORA_-MG>. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

ALBERTO, K. C. *et al.* **Praças de Juiz de Fora: catálogo de espaços públicos**, 2020. Juiz de Fora, MG: Editora UFJF / PROAC Publicações, 2020.

ALCHAPAR, N. L.; PEZZUTO, C. C.; CORREA, E. N. **Parâmetros urbanos morfo-materiais y su correlación con las temperaturas de aire en verano.** Ambiente Construído, v. 18, n. 4, pp. 199-213, 2018. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1590%2Fs1678-86212018000400301>>. Acesso em: 04 de mar. de 2023.

ANDREASI, W. A. **Tópicos avançados em conforto térmico.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/T%C3%83%C2%B3picos%20Avan%C3%83%C2%A7ados%20em%20Conforto%20T%C3%83%C2%A9rmico%20-%20Wagner.pdf>. Acesso em: 22 de fev. de 2023.

ARAÚJO, M. O. F. de. BARTHOLOMEI, C. L. B. **Emprego do universal thermal climate index (utci) na avaliação do conforto térmico da praça nove de julho, Presidente Prudente-SP.** XV ENCAC, XI ELACAC, 2019. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/download/4049/3049/12218>>. Acesso em: 11 de jul. de 2024.

BERARDI, U. JANDAGHIAN, Z. GRAHAM. J. **Effects of greenery enhancements for the resilience to heat waves: A comparison of analysis performed through mesoscale (WRF) and microscale (Envi-met) modeling.** Science of the Total Environment, vol. 747, Canadá, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720348294?via%3Dihub>>. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

BRUNDTLAND, G. H. **Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento.** - 2º edição, Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

BRUSE, M. SIMON, H. SINSEL, T. **Development and implementation of a high-resolution dynamical wall and roof model for ENVI-met.** Part 1: General model design and non-vegetated walls and roofs. Envi-met, 2023.

CLELAND, C. REIS, R. S. FERREIRA, HINO. A. A. F. HUNTER, R. FERMINO, R. C. PAIVA, H. K. de. CZESTSCHUK, B. ELLIS, G. **Built environment correlates of physical activity and sedentary behaviour in older adults: A comparative review between high and low-middle income countries.** Health Place, 57, 277-304. 2019

COSTA, M. F. **Psicofísica Clínica: Ciência Básica e sua Aplicação na Saúde.** Revista Psicologia e Saúde, [S. l.], v. 2, n. 1, 2010. DOI: 10.20435/pssa.v2i1.35. Disponível em: <<https://pssa.ucdb.br/pssa/article/view/35>>. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Condições atuais do ENOS. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 11 de jul. de 2024.

CRANK, P. J. MARINHEIRO, D. J. WEISS, G. B. TALEGHANI, M. **Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat**

mitigation strategies. Urban Climate, vol. 26, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.09.002>>. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

CUNHA, C. F. UNANUE, M. G. FILHO, A. F. C. **Árvores imunes ao corte no parque Halfeld, Juiz de Fora/MG:** um estudo de caso sobre políticas e valores de preservação. Paisag. Ambiente: Ensaios, São Paulo, v. 31, n. 45, e163941, 2020. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/163941/168015>>. Acesso em: 20 de nov. de 2023.

DESSI, V. **Evaluation of Microclimate and Thermal Comfort in Open Urban Space.** Proc. 18th Passive and Low Energy Architecture (PLEA) International Conference,, Florianópolis, 2001. pp. 373-377. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.589>>. Acesso em: 14 de fev. de 2024.

DUARTE, D. H. S. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano. Contribuições a uma abordagem interdisciplinar.** Tese (Livre docência) - Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-11052016-104104/publico//deniseduarte.pdf>>. Acesso em: 21 de jan. de 2023.

FANGER, O. P. **Thermal comfort:** analysis and application in environmental engineering. New York: McGraw-Hill, 1972.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise da sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil.** Boletim técnico da escola politécnica da USP, São Paulo, 2003.

FLORIANO, M. **Tarde com ventos de até 50km/h marca fim da onda de calor.** Temperatura deve ficar amena nesta quinta-feira, com alertas para pancada de chuva. Tribuna de Minas, Juiz de Fora, 2023. Disponível em: <<https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/27-09-2023/tarde-com-ventos-de-ate-50-km-h-marca-fim-da-onda-de-calor.html>>. Acesso em: 25 de ago. de 2024.

FLORINDO, Alex Antonio; BARROZO, Ligia Vizeu; CABRAL-MIRANDA, William; RODRIGUES, Eduardo Quieroti; TURRELL, Gavin; GOLDBAUM, Moisés; CESAR, Chester Luiz Galvão; GILES-CORTI, Billie. **Public open spaces and leisure-time walking in Brazilian adults.** International journal of environmental research and public health, 14(6), 553. 2017.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor:** como mitigar zonas de calor em áreas urbanas/Lisa Gartland; tradução Sílvia Helena Gonçalves. –São Paulo: Oficina de textos, 2010.

HUMPHREYS, M. A. **The variation of comfortable temperatures.** International journal of energy research, 1979. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.4440030103>>. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

IDB (Inter-American Development Bank). **Good practices for urban greening**. Washington: Environmental Division of Social Programs and Sustainable Development Department, 1997. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/Good-Practices-for-Urban-Greening.pdf>>. Acesso em: 20 de fev. de 2023.

INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). CPTEC (CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS). **Glossários**. Ministério da ciência, tecnologia e inovação, 2018. Disponível em: <<https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#30>>. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C. **Interferências do fator cor da pele na percepção térmica de transeuntes**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 83-96, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100125>>. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

LAMBERTS, R. GHISI, E. ABREU, A. L. P. CARLO, J. C. BATISTA, J. O. MARINOSKI, D. L. NARANJO, A. DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. 7° ed., UFSC, Santa Catarina, 2017. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

LEVIGARD, E. **Brasil vive 8° onda de calor em 2023 e temperaturas ficam altas até Janeiro**: Veja a previsão do fim de semana. O Globo, 2023. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2023/11/11/brasil-vive-8a-onda-de-calor-em-2023-e-temperaturas-ficam-altas-ate-janeiro-veja-a-previsao-do-fim-de-semana.ghtml>>. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

LIU, S. ZHAO, J. XU, M. AHMADIAN, E. **Effects of landscape patterns on the summer microclimate and human comfort in urban squares in China**. Sustainable Cities and Society, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103099>>. Acesso em : 11 de jan. de 2023.

MA, X. LEUNG, T. M. CHAU, C. K. YUNG, E. H. K. **Analyzing the influence of urban morphological features on pedestrian thermal comfort**. Urban Climate, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101192>>. Acesso em: 27 de jan. de 2023.

MAGALHÃES FILHO, L. C de A. **Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória**. Tese (Doutorado em Geografia) - Geografia, Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/TratInfEspacial_MagalhaesFilhoLC_1.pdf>. Acesso em: 22 de fev. de 2023.

MATTOS, C. DRUMOND, A. V. N. **Sensação térmica**: Uma abordagem interdisciplinar. Cad. Brás. Ens. Fís., v. 21, n. 1: p. 7 - 34, abr. São Paulo, 2004.

Disponível em:<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6437/5953>>. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

MRS. **Relatório de sustentabilidade 2023**. Relatório, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: < <https://www.mrs.com.br/wp-content/uploads/2024/05/MRS-Relatorio-de-Sustentabilidade-2023.pdf>>. Acesso em: 11 de set. de 2024.

NEVES, M. D. A. BONATTO, D. A. M. **As superfícies vegetadas como alternativas para cidades mais resilientes**. Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo - V.19 N.1 JAN./JUN. 2019 - ISSN 1809-4120 91. Disponível em:<<http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgau/article/view/11699/10386>>. Acesso em: 01 de fev. de 2023.

NOVAES, G. B. de A. MONTEIRO, L. M. **Calibração do ENVI-met para simulações termodinâmicas de espaços urbanos abertos em dias quentes**. EDIÇÃO ESPECIAL ENCAC - Ambiente construído 22 (4), Oct-Dec 2022. Disponível em : <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000400640> >. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. Taylor & Francis e-library. 2° ed. Vancouver. 1987.

OKE, T. R. **Towards a more rational understanding of the urban heat island**. 1968. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265561218_-1_-_TOWARDS_A_MORE_RATIONAL_UNDERSTANDING_OF_THE_URBAN_HEAT_ISLAND>. Acesso em: 06 de jan. de 2024.

OKE, T. R. GRIMMOND, C. S. B. **An evapotranspiration-interception model for urban areas**. Water resources research, vol. 27, n° 7, pages 1739-1755, 1991. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/T-Oke/publication/224001610_An_Evapotranspiration-Interception_Model_for_Urban_Areas/links/567266d608aecc73dc0c6102/An-Evapotranspiration-Interception-Model-for-Urban-Areas.pdf>. Acesso em: 22 de jan. de 2023.

OLESEN, B. W. PARSONS, K. C. **Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730**. Energy and Buildings, vol. 34, issue 6, pages 537-548, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877880200004X>>. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

PEREIRA, J. D. S. **As áreas verdes na qualidade térmica urbana: análise de cenários parametrizados em cidade de clima semiárido**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2020. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/7058>>. Acesso em: 07 de jan. de 2023.

PIMENTEL, F. O. **Clima Urbano: O uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora - MG**. Dissertação (Mestrado em

Geografia) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/5618>>. Acesso em: 18 de jan. de 2023.

REBOITA, M. S. RODRIGUES, M. SILVA, L. F. ALVES, M. A. **Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.], v. 17, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v17i0.41493. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13853>>. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

ROBBA, Fábio; MACEDO, Silvio Soares. **As Praças Brasileiras**. São Paulo: Emesp, 2002.

ROSSI, F.; KRÜGER, E. L.; BRÖDE, P. **Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba**, PR, com o índice UTCI. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 12, n.1, p. 41-59, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/NqKFbgQFSwQz85BNMMtQB5N/#>>. Acesso em: 15 de jan. de 2024.

SANCHES, F. de O. SANTOS, E. F. FERREIRA, R.V. FIRMINO, G.V. ALVES, M.O. **Contribuição ao estudo do clima urbano em Uberaba (MG)**. Revista Brasileira de Climatologia, ano 14, Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, 2018. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14062>> Acesso em 11 de out. de 2023.

SANT'ANNA NETO, J. L. AMORIM, M. C. T. SILVA, C. A. (Orgs.). **Clima e gestão do território**. Paço editorial, Jundiaí, 2016.

SHINZATO, P. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de São Paulo, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-12092014-115829/publico/SHINZATO_P_TESE_REV.pdf>. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

SILVA, M. F. da. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas: contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5791>>. Acesso em: 22 de jan. de 2023.

SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; Calmon, J. L.; CASTRO, L. O. da C. de O. **Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 175-185, jan. / mar. 2016. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067>>. Acesso em: 25 de out. de 2023.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA – SBAU. **Carta a Londrina e Ibiporã**. Boletim Informativo, v.3 , n.5, p.3, 1996.

TEIXEIRA, D. C. F. AMORIM, M. C. de C. T. **Ilhas de calor**: representações espaciais de cidades de pequeno porte por meio de modelagem. GEOUSP Espaço e Tempo (Online), [S. l.], v. 21, n. 1, p. 239-256, 2017. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.113406. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.113406>>. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

TORRES, S. C. **Forma e conforto**: estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Urbano) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/22459>>. Acesso em: 31 de jan. de 2023.

VEIGA, A. J. P.; MATTA, J. M. B. da; VEIGA, D. A. M. **Tipologia e usos das áreas verdes em Vitória da Conquista** – Bahia, Brasil. Revista Eletrônica Geoaraguaia. v.7, n.2, p. 17–31, 2017. ISSN 2236-9716. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/6972/4575>>. Acesso em: 12 fev. 2024.

WMO. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. WMO - No. 8. 2014. Disponível em:<https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407#.XDSYU1xKhPZ>. Acesso em: 15 de fev. de 2023.

ZOLCH, T. RAHMAN, M. A. PFLEIDERER, E. WAGNER, G. PAULEIT, S. **Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort**. Building and Environment, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318308096>>. Acesso em: 27 de jan. de 2023.

APÊNDICE A: Dados estatísticos de ANOVA e Teste Tukey da temperatura do ar na semana de coleta

8horas

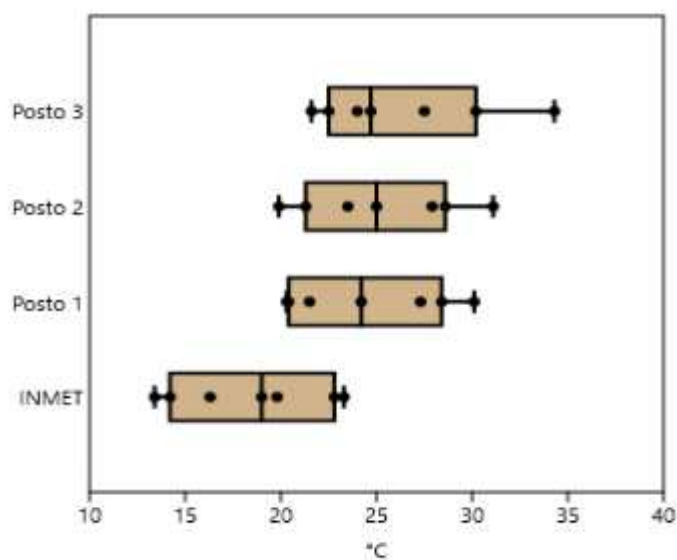
	Dias	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
08h	9/25	23,3	30,1	31,1	34,3
	9/26	19,0	27,3	28,6	30,2
	9/27	22,8	28,4	27,9	27,5
	9/28	19,8	24,2	25,0	24,7
	9/29	13,4	20,3	19,9	21,6
	9/30	14,2	21,5	23,5	24,0
	10/1	16,3	20,4	21,3	22,5

Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
INMET	7	128,8	18,40	15,45666667		
Posto 1	7	172,2	24,60	16,31333333		
Posto 2	7	177,3	25,33	16,62904762		
Posto 3	7	184,8	26,40	20,82666667		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	271,8867857	3	90,62892857	5,236720459	0,00635696857	3,00878657
Dentro dos grupos	415,3542857	24	17,30642857			
Total	687,2410714	27				

Teste Tukey

	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
INMET		0,04693	0,02274	0,00737
Posto 1	3,943		0,9875	0,8494
Posto 2	4,406	0,4634		0,9624
Posto 3	5,088	1,145	0,6814	

Box Plot



13horas

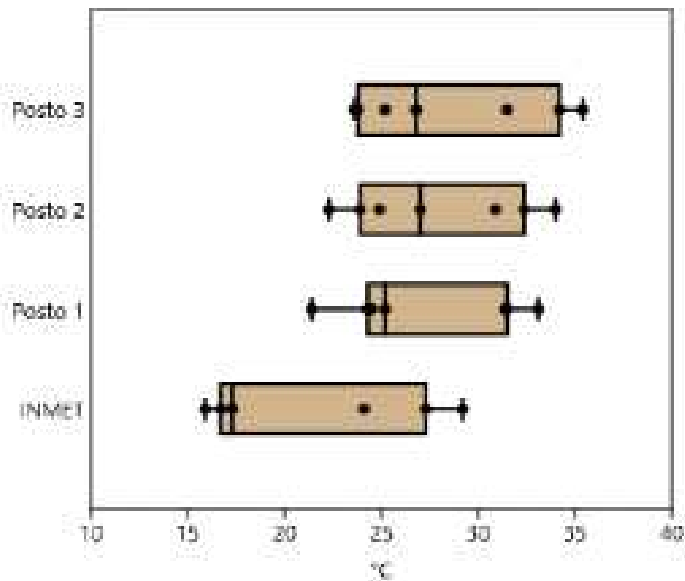
	Dias	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
13h	9/25	27,3	33,1	32,4	34,2
	9/26	24,1	31,5	34,0	35,4
	9/27	29,2	31,4	30,9	31,5
	9/28	17,3	25,2	27,0	26,8
	9/29	17,3	24,3	23,9	23,6
	9/30	16,7	24,5	24,9	25,2
	10/1	15,9	21,4	22,3	23,8

Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
INMET	7	147,8	21,11428571	31,38809524		
Posto 1	7	191,4	27,34285714	20,68952381		
Posto 2	7	195,4	27,91428571	20,6047619		
Posto 3	7	200,5	28,64285714	24,80619048		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	252,4582143	3	84,1527381	3,452824751	0,03233313002	3,00878657
Dentro dos grupos	584,9314286	24	24,37214286			
Total	837,3896429	27				

Teste Tukey

	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
INMET		0,1124	0,0731	0,04081
Posto 1	3,338		0,9963	0,96
Posto 2	3,644	0,3062		0,9925
Posto 3	4,035	0,6967	0,3905	

Box Plot



18horas

	Dias	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
18h	9/25	32,5	33,0	32,3	32,3
	9/26	29,4	29,5	29,3	29,3
	9/27	26,5	29,3	30,3	30,6
	9/28	17,2	25,0	22,8	23,1
	9/29	17,6	22,0	21,3	21,5
	9/30	18,7	23,7	22,9	22,8
	10/1	17,2	24,6	23,8	23,9

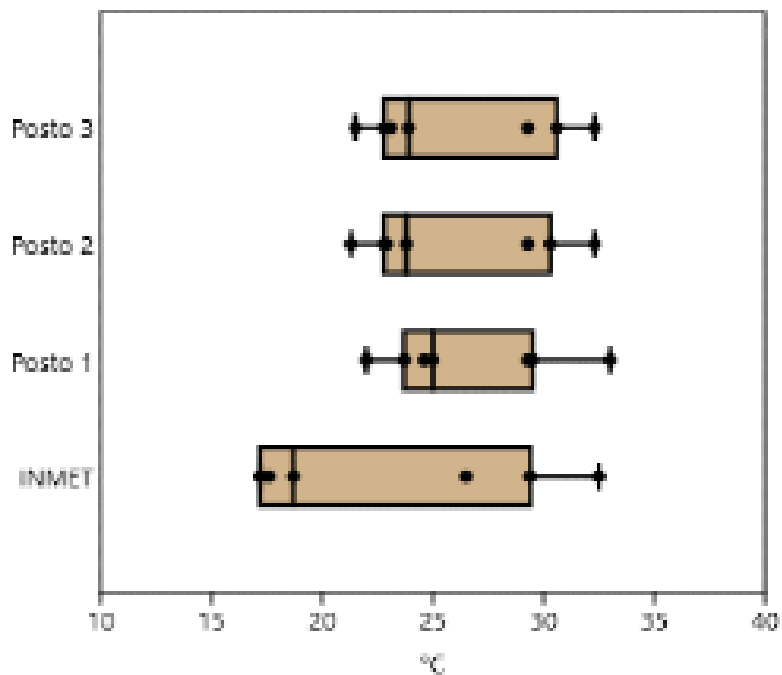
Anova: fator único					
RESUMO					
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância	
INMET	7	159,1	22,72857143	42,97904762	

Posto 1	7	187,1	26,72857143	15,44571429		
Posto 2	7	182,7	26,1	19,29666667		
Posto 3	7	183,5	26,21428571	19,12142857		
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	70,33142857	3	23,44380952	0,9683237449	0,4238642296	3,00878657
Dentro dos grupos	581,0571429	24	24,21071429			
Total	651,3885714	27				

Teste Tukey

	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
INMET		0,4412	0,5828	0,5564
Posto 1	2,151		0,9951	0,9973
Posto 2	1,813	0,338		1
Posto 3	1,874	0,2765	0,06145	

Box Plot



APÊNDICE B: Dados estatísticos de ANOVA e Teste Tukey da umidade do ar na semana de coleta

8 horas

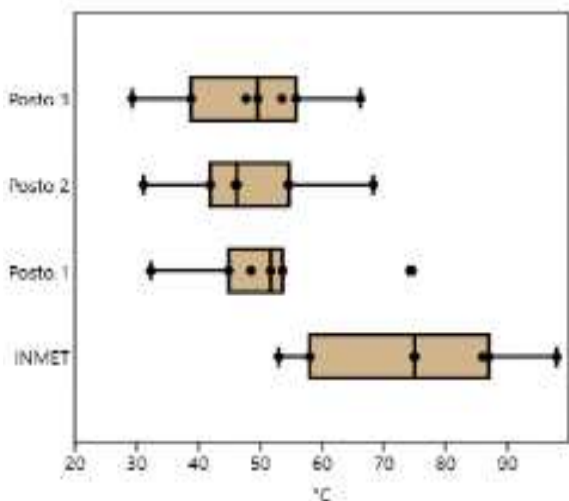
	Dias	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
8h	9/25	63,0	48,0	46,6	41,2
	9/26	96,0	58,9	55,1	52,4
	9/27	76,0	54,9	56,2	57,7
	9/28	95,0	61,7	56,0	59,6
	9/29	93,0	63,6	64,5	65,8
	9/30	93,0	63,6	64,7	63,5
	10/1	97,0	84,4	78,3	76,2

Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
INMET	7	532	76	260		
Posto 1	7	359	51,28571429	159,0247619		
Posto 2	7	342,7	48,95714286	137,1461905		
Posto 3	7	340,9	48,7	142,6466667		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3674,258571	3	1224,752857	7,010429181	0,001507554392	3,00878657
Dentro dos grupos	4192,905714	24	174,7044048			
Total	7867,164286	27				

Teste Tukey

	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
INMET		0,009347	0,004226	0,003867
Posto 1	4,947		0,9873	0,9828
Posto 2	5,413	0,4661		1
Posto 3	5,465	0,5176	0,05147	

Box Plot



13 horas

	Dias	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
13h	9/25	58,0	32,3	31,1	29,3
	9/26	75,0	48,5	41,9	38,8
	9/27	53,0	44,9	46,2	47,7
	9/28	87,0	51,7	46,0	49,6
	9/29	75,0	53,6	54,5	55,8
	9/30	86,0	53,6	54,7	53,5
	10/1	98,0	74,4	68,3	66,2

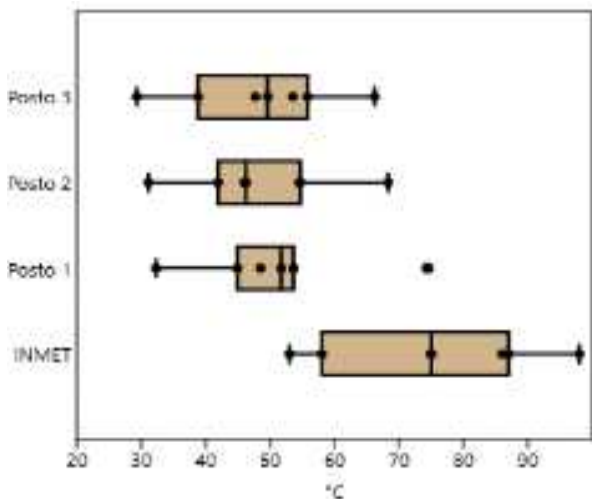
Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
INMET	7	532	76	260		
Posto 1	7	359	51,28571429	159,0247619		
Posto 2	7	342,7	48,95714286	137,1461905		
Posto 3	7	340,9	48,7	142,6466667		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3674,258571	3	1224,752857	7,010429181	0,001507554392	3,00878657
Dentro dos grupos	4192,905714	24	174,7044048			
Total	7867,164286	27				

Teste Tukey

	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
--	-------	---------	---------	---------

INMET		0,009347	0,004226	0,003867
Posto 1	4,947		0,9873	0,9828
Posto 2	5,413	0,4661		1
Posto 3	5,465	0,5176	0,05147	

Box Plot



18 horas

	Dias	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
18h	9/25	31,0	37,8	36,8	37,7
	9/26	56,0	56,4	56,9	55,9
	9/27	55,0	50,8	47,8	48,3
	9/28	81,0	49,5	54,3	53,4
	9/29	82,0	58,7	62,9	62,4
	9/30	81,0	61,5	62,8	63,2
	10/1	97,0	71,3	67,5	66,4

Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
INMET	7	483	69	508,3333333		
Posto 1	7	386	55,14285714	111,1961905		
Posto 2	7	389	55,57142857	110,732381		
Posto 3	7	387,3	55,32857143	99,79238095		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico

Entre grupos	979,1810714	3	326,3936905	1,572878768	0,2218775075	3,00878657
Dentro dos grupos	4980,325714	24	207,5135714			
Total	5959,506786	27				

Teste Tukey

	INMET	Posto 1	Posto 2	Posto 3
INMET		0,298	0,3241	0,3091
Posto 1	2,545		0,9999	1
Posto 2	2,466	0,07871		1
Posto 3	2,511	0,03411	0,0446	

Box Plot

