

A CONTRIBUIÇÃO DA **VEGETAÇÃO** PARA MELHORIA  
DO **MICROCLIMA URBANO**:  
ESTUDO DE CASO EM SUPERQUADRAS DE BRASÍLIA

---

Renata Godinho Cordeiro de Andrade

A contribuição da **vegetação** para redução de **ilhas de calor urbanas**: Estudo de caso em **Brasília**.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**RENATA GODINHO CORDEIRO DE ANDRADE**

A CONTRIBUIÇÃO DA **VEGETAÇÃO** PARA MELHORIA  
DO **MICROCLIMA URBANO**:  
ESTUDO DE CASO EM SUPERQUADRAS DE BRASÍLIA

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. Marta Adriana Bustos Romero

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

Brasília, 2022

Universidade de Brasília

## FICHA CATALOGRÁFICA

ANDRADE, RENATA GODINHO CORDEIRO  
**A CONTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO PARA MELHORIA DO MICROCLIMA URBANO: ESTUDO DE CASO EM SUPERQUADRAS DE BRASÍLIA**  
(BRASÍLIA) 2022  
PPG-FAU/ UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2022  
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
1. Microclima                      2. Vegetação  
3. Brasília  
I. FAU/UnB                      II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, R. G. C. (2022) A CONTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO PARA MELHORIA DO MICROCLIMA URBANO: ESTUDO DE CASO EM SUPERQUADRAS DE BRASÍLIA

Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 107p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Renata Godinho Cordeiro de Andrade

TÍTULO: A CONTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO PARA MELHORIA DO MICROCLIMA URBANO: ESTUDO DE CASO EM SUPERQUADRAS DE BRASÍLIA.

GRAU: Mestre

ANO: 2022

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Renata Godinho Cordeiro de Andrade  
renatagodinhocordeiro@gmail.com

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por conduzir meus passos e me permitir chegar até aqui.

Aos meus pais, Tânia e Silvio, e meus irmãos, Daniel e Fernanda, por toda dedicação e incentivo.

Ao meu marido, João Victor, por me apoiar em todos os meus projetos e sempre acreditar que sou capaz.

À minha orientadora, Professora Marta Romero, pelo apoio, paciência e por todo o conhecimento compartilhado.

Ao colega, Pedro Dias Boa Sorte e à professora do curso de pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, Cristiane Ferreira, por toda a atenção e auxílio que me deram durante a pesquisa.

Aos colegas do LaSUS, por me acompanharem neste processo.

## RESUMO

O desenvolvimento e a combinação de elementos urbanos, como o grande adensamento, a morfologia e a impermeabilização do solo, fazem a cidade ser composta por microclimas diferentes dentro de seu perímetro, o microclima urbano. A vegetação é uma importante estratégia para a melhoria do microclima urbano. Nesse sentido, o objetivo desta dissertação é analisar a contribuição da vegetação para a melhoria do microclima urbano em Brasília, Distrito Federal. Este estudo busca identificar a influência de diferentes espécies arbóreas a partir da análise da distribuição da vegetação e levantamento das espécies, utilizando como estudo de caso as Superquadras 308 e 309 Sul. Para isso, inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica dos eixos conceituais desenvolvidos na dissertação: clima, microclima urbano e vegetação. Na segunda etapa é feita uma caracterização urbana e climática de Brasília e das Superquadras (SQS) que foram objetos de estudo, através de dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. A terceira etapa consiste no método de medição para registro de dados microclimáticos, considerando o período quente e seco, com medições a cada hora de 9 às 21 h, utilizando o equipamento termo-anemômetro para medir temperatura e umidade relativa do ar, além de medição da área foliar das espécies arbóreas utilizando o software ImageJ. Além das medições em campo, foram realizadas simulações computacionais por meio do *software* ENVI-met 5.0.1 a fim de simular o efeito microclimático das vegetações de diferentes espécies e diferentes formas de distribuição. Os resultados mostram que o acréscimo da vegetação promove a diminuição da temperatura do ar em todos os cenários. Mais especificamente, no cenário da SQS 309 com a implantação da espécie arbórea Ipê Roxo (*Handroanthus impetiginosus*) houve uma diminuição de até 0,4°C nos horários de 09 h e 21 h, quando comparado com o cenário com a espécie Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*). Já na SQS 308 o cenário da espécie Ipê Roxo também possui temperaturas mais amenas se comparado ao cenário da espécie Copaíba (*Copaifera langsdorffii*), com diminuição de até 0,3°C nos horários de 09 h e 21 h. Esses resultados comprovam não apenas a importância da vegetação para amenizar o calor extremo do meio urbano, como também a importância do tipo de vegetação escolhida para melhoria deste microclima. Os resultados podem contribuir para a formulação de políticas públicas na implementação de estratégias de arborização urbana.

**Palavras-chave:** microclima, vegetação, Brasília

## ABSTRACT

The development and combination of urban elements, such as the great densification, the morphology and the waterproofing of the soil, make the city be composed of different microclimates within its perimeter, the urban microclimate. Vegetation is an important strategy for improving the urban microclimate. In this sense, the objective of this dissertation is to analyze the contribution of vegetation to the improvement of the urban microclimate in Brasília, Distrito Federal. This study seeks to identify the influence of different tree species from the analysis of vegetation distribution and survey of species, using Superquadras 308 and 309 South as a case study. For this, initially, a bibliographic review of the conceptual axes developed in the dissertation was carried out: climate, urban microclimate and vegetation. In the second stage, an urban and climatic characterization of Brasília and the Superquadras (SQS) that were objects of study is made, through data from the National Institute of Meteorology - INMET. The third step consists of the measurement method for recording microclimate data, considering the hot and dry period, with measurements every hour from 9 am to 9 pm, using the thermo-anemometer equipment to measure temperature and relative humidity, in addition to measuring of the leaf area of the tree species using the ImageJ software. In addition to field measurements, computer simulations were carried out using the ENVI-met 5.0.1 software in order to simulate the microclimatic effect of vegetations of different species and different forms of distribution. The results show that the addition of vegetation promotes a decrease in air temperature in all scenarios. More specifically, in the SQS 309 scenario, with the implantation of the tree species Ipê Roxo (*Handroanthus impetiginosus*), there was a decrease of up to 0.4°C at the hours of 09:00 and 21:00 h, when compared to the scenario with the Jacaranda species (*Jacaranda mimosifolia*). ). In SQS 308, the scenario of the Ipê Roxo species also has milder temperatures compared to the scenario of the Copaíba species (*Copaifera langsdorffii*), with a decrease of up to 0.3°C at 9 am and 9 pm. These results prove not only the importance of vegetation to alleviate the extreme heat of the urban environment, but also the importance of the type of vegetation chosen to improve this microclimate. The results can contribute to the formulation of public policies in the implementation of urban afforestation strategies.

**Keywords:** microclimate, vegetation, Brasília

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Justificativa	3
1.2.	Objetivos	6
1.3.	Estrutura do trabalho	7
2.	CLIMA URBANO	9
2.1.	O Clima Urbano: conceituação	10
2.1.1.	Escalas Climáticas	12
2.1.2.	Fatores e Elementos climáticos	14
2.2.	Microclima Urbano	15
2.3.	Ilha de Calor Urbana	17
2.3.1.	Monitoramento de Ilhas de Calor Urbanas	20
2.3.2.	Mitigação de Ilhas de Calor Urbanas	22
2.4.	Considerações finais do capítulo	23
3.	A VEGETAÇÃO URBANA	24
3.1.	O Bioma Cerrado	25
3.2.	Vegetação Urbana	26
3.2.1.	Temperatura e Umidade do ar	27
3.2.2.	Ventilação	32
3.3.	Índice de área foliar e DAF das espécies arbóreas	35
3.4.	Considerações finais do capítulo	38
4.	SIMULAÇÃO E A ANÁLISE DO MICROCLIMA URBANO	39
4.1.	Simulação Computacional e o Microclima Urbano	40
4.1.1.	Modelagem	41
4.1.2.	Dados climáticos	43
4.1.3.	Extração de dados e análise de dados	43
4.2.	Considerações finais do capítulo	45
5.	BRASÍLIA: TERRITÓRIO E CLIMA	46
5.1.	Caracterização Urbana de Brasília	47
5.2.	Caracterização Climática de Brasília	48
5.3.	A Vegetação em Brasília	53
5.4.	Escala Residencial: As Superquadras	55
5.4.1.	As Superquadras objetos de estudo	57
5.5.	Considerações finais do capítulo	62
6.	MATERIAIS E MÉTODOS	63
6.1.	Procedimentos Metodológicos	64

6.2. Levantamento das espécies arbóreas	66
6.3. Coleta de dados para cálculo da DAF	74
6.4. Medição dos dados microclimáticos	76
6.5. Simulação Computacional do Microclima	77
6.6. Considerações finais do capítulo	82
7.RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
7.1. Medição microclimática em campo	84
7.2. Simulação computacional do microclima	86
7.3. Análise comparativa dos resultados	93
8.CONCLUSÕES	95
8.1. Limitações do trabalho	97
8.2. Perspectivas para trabalhos futuros	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa termal de Brasília .....	5
Figura 2: Esquema de circulação de vento nos canyon urbanos .....	11
Figura 3: Esquema das escalas vertical e horizontal do clima.....	13
Figura 4: Capacidade de absorção e reflexão dos materiais urbanos. Setor Bancário Norte SBN em Brasília/ DF .....	16
Figura 5: Ilhas de calor urbana atmosférica.....	19
Figura 6: Qualidade ecológica das árvores .....	27
Figura 7: Temperaturas superficiais de diferentes superfícies urbanas .....	29
Figura 8: Diferenças de temperatura entre áreas expostas à radiação solar e áreas sombreadas por três tipos de árvores em Porto Alegre no verão.....	31
Figura 9: Diferenças de umidade relativa do ar entre áreas expostas à radiação solar e áreas sombreadas por 3 tipos de árvores em Porto Alegre no verão .....	31
Figura 10: Efeitos básicos da barreira vegetal .....	33
Figura 11: Barreira vegetal ao vento formada pela associação de vegetação com diferentes formas e portes .....	34

Figura 12: Quebra-ventos integrados à declividade do terreno .....	34
Figura 13: Projeção horizontal do dossel e distribuição das folhas relacionadas ao diâmetro .....	36
Figura 14: Barra de tarefas do ENVI-met 5.0.1.....	42
Figura 15: Ambiente do ícone SPACES do ENVI-met 5.0.1 .....	42
Figura 16: Barra de tarefas do ENVI-met 5.0.1.....	43
Figura 17: Barra de tarefas do ENVI-met 5.0.1.....	43
Figura 18: Barra de tarefas do ENVI-met 5.0.1.....	44
Figura 19: Ambiente do ALBERO do ENVI-met 5.0.1 .....	45
Figura 20: Zoneamento de Brasília.....	48
Figura 21: Zoneamento climático Brasileiro .....	49
Figura 22: Caracterização climática da Zona Bioclimática 4.....	50
Figura 23: Normais climatológicas período quente-úmido .....	51
Figura 24: Normais climatológicas período quente-seco .....	51
Figura 25: Rosa dos ventos de Brasília – Ventos por frequência de ocorrência .....	52
Figura 26: Rosa dos ventos para Brasília – Velocidades predominantes por direção ..	52
Figura 27: Croqui de Superquadra com faixa arborizada .....	56
Figura 28: Localização das áreas de estudo.....	57
Figura 29: Edifício de 4 pavimentos da SQS 308      Figura 30: Igrejinha presente na SQS 308.....	58
Figura 31: Edifício de 6 pavimentos da SQS 309      Figura 32: Circulação entre edifícios SQS 309 .....	59
Figura 33: Disposição dos edifícios e vegetação das superquadras 308 e 309 Sul .....	59
Figura 34: Vegetação da SQS 308 próxima ao lado      Figura 35: Vegetação da SQS 308.....	61
Figura 36: Vegetação da SQS 309      Figura 37: Vegetação da SQS 309 .....	61
Figura 38: Fluxograma de métodos .....	65
Figura 39: Espécies nativas do Cerrado encontradas nas SQS 309 e 308 <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 40: Espécies nativas do cerrado encontradas na SQS 308	66
Figura 41: Espécies nativas do cerrado encontradas na SQS 309	68

Figura 42: Espécies exóticas encontradas nas SQS 308 e 309	68	
Figura 43: Espécies exóticas encontradas na SQS 308	69	
Figura 44: Espécies exóticas encontradas na SQS 309	70	
Figura 45: Caule da espécie Copaíba utilizado para cálculo de LAD	72	
Figura 46: Cálculo da área foliar através do software ImageJ	72	
Figura 47: Pontos de medição microclimática nas superquadras	74	
Figura 48: Cenário 1 SQS 309	Figura 49: Cenário 1 SQS 308	76
Figura 50: Cenário 2 da SQS 309	Figura 51: Cenário 2 da SQS 308	76
Figura 52: Cenário 3 da SQS 309	Figura 53: Cenário 3 da SQS 308	77
Figura 54: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 309 às 09h do dia 05/10/2020	83	
Figura 55: : Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 309 às 15h do dia 05/10/2020	84	
Figura 56: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 309 às 21h do dia 05/10/2020	85	
Figura 57: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 308 às 09h do dia 05/10/2020	85	
Figura 58: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 308 às 15h do dia 05/10/2020	86	
Figura 59: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 308 às 21h do dia 05/10/2020	87	
Figura 60: Resultado da simulação computacional dos cenários 3 da SQS 309 do dia 05/10/2020	88	
Figura 61: Resultado da simulação computacional dos cenários 3 da SQS 308 do dia 05/10/2020	89	

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Formas de classificação do espaço	15
Quadro 2: Causas da ilha de calor da camada inferior da atmosfera (urban canyon)	21
Quadro 3: Revisão bibliográfica de autores sobre métodos de determinação do IAF	38

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Dados das espécies arbóreas selecionadas	73
Tabela 2: Resultado das medições microclimáticas na SQS 309	81
Tabela 3: Resultado das medições microclimáticas na SQS 308	82

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Comparação entre valores medidos e simulados para temperatura do ar na altura de 1,50 metros (INMET = 2,0 metros).	90
---	----

# 1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades desvinculado das questões ambientais vem acarretando sérios problemas em relação à qualidade ambiental. Essas relações entre a urbanização e o clima é tema de pesquisas de diversos autores (OKE, 1987; OLGAYAY, 1998; CARLOS E ASSIS, 1999; ROMERO, 2011; ROMERO *et al*, 2019), que evidenciam a importância de se pensar o espaço em seu contexto urbano e climático.

Grande parte dos problemas urbanos se dá pela falta de planejamento que leve em conta as questões ambientais com o espaço construído. Com o crescimento das cidades, grande parte da vegetação é removida para a construção de edifícios e vias. Considerando os materiais mais comumente utilizados nas áreas urbanas, como concreto e asfalto e suas características térmicas, além da alteração dos parâmetros de ventilação, surgem as alterações no clima local, ocasionando condições climáticas potencialmente mais quentes.

Um dos fenômenos de alteração climática que pode ser observado nas cidades é a ilha de calor urbana, que consiste no aquecimento das áreas urbanas em relação ao seu entorno rural. Segundo Romero (2001), a ilha de calor urbana é caracterizada por uma circulação de ar típica dos centros urbanos, fazendo a cidade parecer uma ilha quente rodeada por um entorno mais frio. À medida que se afasta do centro, as temperaturas tendem a diminuir.

Os materiais empregados na construção civil possuem alta capacidade de absorver calor, o que acaba determinando uma temperatura mais elevada no centro, pelos mecanismos de absorção e trocas de calor entre as massas construídas.

Segundo Monteiro (2008), questões como a necessidade de consideração do ganho de irradiância solar, a importância da ação do vento conjugada com a incerteza de sua ação e a impossibilidade de intervenções de controle efetivo, além da questão da aclimação dos indivíduos, são dificuldades que acabam por gerar a necessidade de estudos experimentais mais complexos do que em ambientes fechados, uma vez que se tem menor controle dos atributos climáticos. Devido a essas dificuldades apresentadas, existem poucos trabalhos que abordam o conforto térmico especificamente em espaços abertos.

A inserção da vegetação no ambiente urbano é uma estratégia que vai além de benefícios estéticos, é uma das principais estratégias para mitigar o aquecimento nas cidades. Segundo Akbari (1997), a ausência da vegetação, problema encontrado na maioria dos grandes centros urbanos, contribui para a formação do fenômeno ilha de calor urbana na medida em que prejudica mecanismos fundamentais para a amenização da temperatura nas cidades: o sombreamento, a filtragem da poluição, a direção dos ventos e o processo de evapotranspiração.

Segundo Ometo (1981), o sombreamento provocado pelas árvores aumenta a sensação de conforto do usuário e a qualidade do ar da cidade. Já a evapotranspiração, compreende as perdas associadas de água, que ocorrem pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração dos estômatos e cuticular da planta. Sendo assim, a transpiração das plantas também ajuda no controle da temperatura e umidade do ar.

Nesse contexto, muitos estudos que investigam o papel da vegetação no microclima urbano vêm sendo publicados no exterior, entre eles: Akbari (1997) e Shashua-Bra e Hoffman (2000) e no Brasil: Bueno-Bartholomei (2003), Abreu (2008), Labaki *et al* (2011), Sorte (2016) e Shinzato e Duarte (2017). Essas pesquisas avaliam o potencial microclimático das áreas verdes de acordo com o clima local e relacionam com a diminuição das temperaturas superficiais, da temperatura do ar e com a qualidade do ambiente construído. Segundo Bueno-Bartholomei (2003), as espécies arbóreas comportam-se de maneiras distintas quanto à radiação solar atenuada por elas.

Abreu e Labaki (2010), por exemplo, em um estudo que verifica a influência de determinados indivíduos arbóreos na melhoria dos microclimas urbanos e do ambiente construído na cidade de Campinas, comprovaram que espécies decíduas, como ipê-amarelo

(*Tabebuia chrysotricha*), proporcionam uma melhoria do microclima urbano durante todo o ano, em diferentes distâncias de sua base, enquanto que, espécies perenes como jambolão (*Syzygium cumini*) e mangueira (*Mangifera indica*), mesmo que, durante o ano inteiro, possuam condições confortáveis à sombra de suas copas, exercem maior influência na sensação térmica de seu entorno imediato durante o verão do que no período do inverno.

Outras pesquisas, como de Mascaró e Mascaró (2010), demonstram que algumas espécies arbóreas, como o jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*) e o cinamomo (*Melia azedarach*), podem reduzir a temperatura superficial das fachadas entre 2,3°C a 5,5°C. Já Sorte (2016), a partir da avaliação de espécies de hábito trepador, nativas do Cerrado, demonstra que a espécie *Arrebidaea pulchra* possibilita paredes verdes com menores temperaturas de ar e maiores valores de umidade relativa do ar, em comparação com as espécies *Banisteriopsis anisandra* e *Cissus erosa*.

Os estudos que quantifiquem a contribuição da vegetação para o microclima urbano, principalmente levando em consideração as diversas espécies vegetais e suas diferenças para o conforto térmico, são importantes contribuições científicas e sociais. Nesse sentido, os temas clima, microclima urbano e vegetação, devem ser inter-relacionados para que se obtenham projetos urbanos adequados ao ambiente em que estão inseridos.

## 1.1. Justificativa

Atualmente observam-se evidências claras do aumento da temperatura nos centros urbanos e dos impactos negativos que este aquecimento causa, como o aumento das chuvas, enchentes, períodos de seca, o fenômeno ilha de calor urbana, entre outros. Entende-se que é necessário compreender melhor o microclima urbano e sua relação com os materiais superficiais, visto os desafios de tentar amenizar esses impactos que o aquecimento causa no ambiente e no conforto térmico humano.

No Distrito Federal, alguns estudos como de Castelo Branco (2009) Baptista (2010), Vianna (2018) e Romero *et al* (2019) demonstram, através de sensoriamento remoto, medições e simulação computacional, o aumento da temperatura na região, assim como a presença de ilhas urbanas de calor.

Castelo Branco (2009), por exemplo, identificou diferenciações no microclima da Superquadra 108 Sul do Plano Piloto de Brasília através de medições em campo e simulações computacionais por meio do *software* ENVI-met. Constatou que as áreas verdes urbanas possuem grande influência no comportamento microclimático dos ambientes monitorados, principalmente no período da seca.

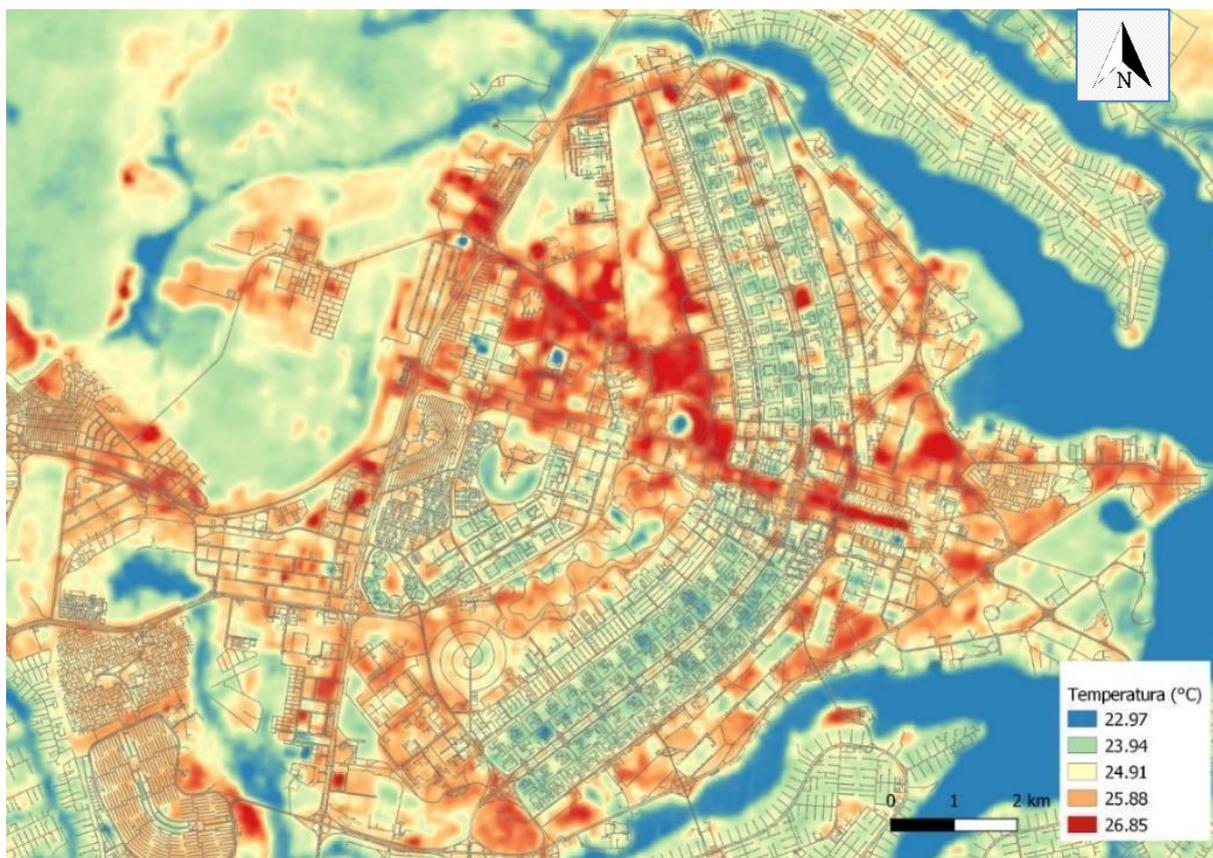
Baptista (2010), por sua vez, analisou a evolução da temperatura do DF utilizando técnicas de sensoriamento remoto por meio de imagens termais de satélite obtidas entre 1984 e 2001 e observou um aumento médio de 2 °C da temperatura de superfície. Ele salientou que a relação entre o aumento de temperatura e o crescimento urbano é verificada em diversas áreas do Distrito Federal.

Vianna (2018) analisou doze áreas amostrais do DF através de imagens termais de satélite, transectos, simulação no *software* ENVI-met e imagens da câmera termográfica. Essa análise permite identificar a relação entre materiais de superfície, temperaturas e fator W/H. Como resultado, Vianna (2018) mediu um aumento de cerca de 2 °C de 1990 aos dias atuais, sendo cerca de 1 °C ocorreu no ano de 2012 em diante. Comprova também que as áreas mais aquecidas incluem não só as regiões mais adensadas, mas também áreas de solo exposto ou vegetação rasteira seca e a presença ou ausência de vegetação diferencia a temperatura de áreas do Plano Piloto em 1 °C e nas áreas das Regiões Administrativas vizinhas de 1 a 3 °C.

Romero *et al* (2019) também realizou um estudo na região de Brasília, utilizando os métodos de medição com estações fixas, transectos móveis e sensoriamento remoto. Os dados de temperatura do ar, coletados em transecto móvel, e os dados de temperatura de superfície, obtidos nas imagens termais de sensoriamento remoto, mostraram maior aquecimento de áreas com predominância de solo exposto e superfícies pavimentadas e menor aquecimento de áreas densamente arborizadas. Além disso, por meio de técnica de georreferenciamento das imagens, detectou-se que as temperaturas das superfícies urbanas foram elevadas em 1 °C nas Superquadras da Asa Sul do Plano Piloto nos últimos 2 anos. Já nas Superquadras da Asa Norte do Plano Piloto, observou-se um aumento da temperatura de superfície de 0,5 °C também nos últimos dois anos.

A Figura 1 apresenta o mapa termal da cidade de Brasília, onde se vê a diferença de até 4°C entre setores da cidade.

Figura 1: Mapa termal de Brasília



Fonte: Landsat – 8. Disponível em: [http:// earthexplorer.ursg.gov](http://earthexplorer.ursg.gov)

Entende-se que os estudos para melhoria do microclima urbano são importantes desafios que visam amenizar os efeitos da urbanização. A vegetação é uma das principais estratégias, portanto torna-se necessário o desenvolvimento de estudos nesta área segundo afirma Abreu (2012) entre outros, tendo em vista a falta de diretrizes para projetos urbanos que se comprometam com a qualidade ambiental.

“Visto que as árvores se comportam de maneira distintas no microclima urbano, a quantificação dos benefícios para o bioclima térmico das diferentes espécies arbóreas comumente encontradas e suas disposições no ambiente construído é uma importante informação para o planejamento urbano que visa requalificar o microclima urbano. Esta proposta é capaz de introduzir uma transformação pequena e mudar a imagem da cidade com poucos gastos e grandes benefícios”. (ABREU, 2012, p. 2)

Hoje, no Brasil, existem diversos trabalhos voltados para o estudo da influência da vegetação na temperatura do ar em ambientes urbanos. (BUENO, 2003; ABREU, 2012; LABAKI et al, 2011 e SHINZATO E DUARTE, 2017). Entretanto, devido às diferenças físico-espaciais e climáticas existentes no país, além das inúmeras espécies vegetais existentes na flora brasileira, ainda é necessário avançar nos estudos desta área. Saber as proporções de vegetação dentro da configuração do tecido urbano, num contexto climático específico, é importante para que seja efetivada a sua contribuição para a melhoria do conforto ambiental.

Esta dissertação utiliza como contexto a cidade de Brasília –DF, conceituada como cidade-parque por Lucio Costa, destacando a importância dos espaços livres, onde a vegetação integra os diversos setores da cidade. Esta temática faz parte dos estudos empreendidos no grupo de pesquisa “A Sustentabilidade na Arquitetura e Urbanismo”, registrado no CNPq, do qual fazem parte os pesquisadores do Laboratório de Sustentabilidade aplicada à Arquitetura e Urbanismo (LaSUS da FAUUNB), entre os quais destacamos a dissertação de Silva (2009), Castelo Branco (2009), Sorte (2016) e Medeiros (2008). Esses estudos analisaram a relação entre a vegetação e o microclima urbano e comprovaram que, onde há presença arbórea, a temperatura do ar é mais amena. Como forma de complementar a pesquisa, essa dissertação busca analisar a relação entre as espécies arbóreas e seu potencial de melhoria do microclima urbano a partir do estudo das Superquadras 308 e 309 da Asa Sul.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo geral é analisar a contribuição da vegetação para melhoria do microclima urbano de duas Superquadras de Brasília.

Os objetivos específicos são:

- Verificar a contribuição do “cinturão verde” proposto por Lucio Costa para melhoria do microclima urbano das Superquadras 308 e 309 Sul.
- Avaliar a intensidade dos efeitos microclimáticos de diferentes espécies arbóreas encontradas nas Superquadras 308 e 309 Sul.

### 1.3. Estrutura do trabalho

Esta dissertação divide-se em oito capítulos: 1) Introdução, 2) Clima Urbano, 3) A Vegetação Urbana, 4) Simulação e a análise do microclima urbano, 5) Brasília: Território e Clima, 6) Materiais e Métodos, 7) Resultados e discussões e 8) Conclusões.

O capítulo 1 é introdutório e expõe as premissas da pesquisa, como tema, problemática, justificativa e objetivos. No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica do Clima Urbano, abrangendo o clima, microclima e ilha de calor urbana. O capítulo 3 apresenta a revisão bibliográfica da vegetação, com a caracterização da vegetação do cerrado e os principais estudos sobre a relação da vegetação urbana e o microclima urbano. O capítulo 4 trata do método de simulação computacional como forma de análise do microclima urbano. Conceitua-se, aborda a aplicabilidade e detalha as etapas do *software* ENVI-met. No capítulo 5 apresenta-se informações urbanas e climáticas da cidade de Brasília e das superquadras estudadas nessa dissertação. O capítulo 6 descreve os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa. Detalha-se passo a passo dos procedimentos propostos, com explicação sobre as ferramentas, cenários, configurações, parâmetros avaliados e forma de tratamento dos dados. No capítulo 7 apresenta-se e discute-se os resultados obtidos. Por fim, no capítulo 8 são feitas as considerações finais a respeito do estudo.

Capítulo	Título	Conteúdo	Autores-chave/ Ano
1	Introdução	<ul style="list-style-type: none"> <li>Justificativa</li> <li>Problemática</li> <li>Objetivos</li> <li>Estrutura do trabalho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Romero (2001)</li> <li>Monteiro (2008)</li> <li>Akbari (1997)</li> <li>Ometo (1981)</li> <li>Abreu e Labaki (2010)</li> <li>Mascaró e Mascaró (2010)</li> </ul>
2	Clima Urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clima Urbano</li> <li>Microclima Urbano</li> <li>Ilha de Calor Urbana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oke (1988)</li> <li>Givoni (1998)</li> <li>Romero (2001)</li> <li>Romero (2011)</li> <li>Romero (2015)</li> <li>Mendonça e Monteiro (2003)</li> <li>Lombardo (1988)</li> <li>Baptista (2003)</li> <li>Voogt e Oke (2003)</li> <li>Gartland (2010)</li> </ul>
3	A Vegetação Urbana	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bioma Cerrado</li> <li>Vegetação Urbana</li> <li>Índice de área foliar e DAF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rivero (1986)</li> <li>Shashua-Bar e Hoffman (2000)</li> <li>Bueno (2003)</li> </ul>

A contribuição da **vegetação** para redução de **ilhas de calor urbanas**: Estudo de caso em **Brasília**.

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abreu (2008)</li> <li>• Mascaró (2010)</li> <li>• Abreu (2012)</li> <li>• Labaki <i>et al</i> (2011)</li> <li>• Shinzato e Duarte (2017)</li> </ul>
4	Simulação e Análise do Microclima Urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulação Computacional e o Microclima Urbano</li> <li>• Modelagem</li> <li>• Dados climáticos</li> <li>• Extração e análise de dados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silva (2009)</li> <li>• Shinzato (2009)</li> <li>• Shinzato e Duarte (2017)</li> <li>• Chen <i>et al</i> (1997)</li> <li>• Bruse (2000)</li> <li>• Shinzato e Duarte (2012)</li> <li>• Silva (2016)</li> <li>• Sorte (2016)</li> </ul>
5	Brasília: Território e Clima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterização urbana</li> <li>• Caracterização climática</li> <li>• A vegetação em Brasília</li> </ul>	As Superquadras
6	Materiais e Métodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamento das espécies arbóreas</li> <li>• Coleta de dados para cálculo da DAF</li> <li>• Medição dos dados microclimáticos</li> </ul>	Simulação computacional do Microclima
7	Resultados e Discussões	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medição microclimática em campo</li> </ul>	Simulação computacional do microclima
8	Conclusões	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conclusões</li> <li>• Limitação do trabalho</li> </ul>	Perspectivas para trabalhos futuros

# 1. CLIMA URBANO

Este capítulo apresenta a investigação teórica acerca do primeiro eixo que fundamentou o trabalho: o clima urbano. O capítulo apresenta a conceituação de clima urbano e divide-se em dois subtemas que abrangem o eixo central: microclima urbano e ilhas de calor urbanas.

Para conceituação do clima e microclima urbano, análise das escalas e identificação das características principais do tema, reuniu-se pesquisas dos autores: Oke (1988), para conhecimento da dinâmica do clima, a partir da sua obra chamada *Boundary Layer Climates*; Givoni (1998), que apresenta os fatores para formação do clima urbano; Romero (2001), Romero (2011) e Romero (2015), para relação das escalas e do desempenho climáticos com o ambiente urbano, além da conceituação de fatores e elementos climáticos; e Mendonça e Monteiro (2003), com a conceituação do clima e a classificação por meio do Sistema Clima Urbano.

A conceituação e investigação acerca da ilha de calor urbana foi baseado nos estudos de Lombardo (1988), Baptista (2003), Voogt e Oke (2003), Gartland (2010), Romero (2011) e Romero *et al* (2019). Para análise dos meios de monitoramento e formas de mitigação das ICUs foram revisados os estudos de Romero *et al* (2019), Gartland (2010) e Mirzaei (2015).

## 2.1. O Clima Urbano: conceituação

O clima urbano pode ser compreendido como a modificação do clima local que ocorre devido à urbanização. A expansão das cidades, redução da cobertura natural do solo, uso do solo e ocupação trazem alterações significativas ao clima, que está estritamente relacionado às características ambientais do local em que está instalado.

O clima urbano é diferente do encontrado em uma área não construída, isso se dá, de acordo com Romero (2001), devido ao clima local em uma cidade ser influenciado pelos materiais constituidores da superfície urbana, muito diferentes dos materiais das superfícies não construídas. Os materiais urbanos possuem uma capacidade térmica mais elevada que a dos materiais das áreas do entorno e são melhores condutores. A superfície urbana apresenta um aspecto mais rugoso que as superfícies não construídas, acarretando maior fricção entre a superfície e os ventos que a atravessam. Ao mesmo tempo, as superfícies das edificações atuam como refletoras e radiadoras que, em seu conjunto, aumentam os efeitos da radiação incidente.

“Da análise do aspecto do solo construído ou modificado por ação do homem destaca-se o processo de urbanização que ao substituir por construções e ruas pavimentadas a cobertura vegetal natural, altera o equilíbrio do microambiente. Isto produz distúrbios no ciclo térmico diário, devido às diferenças existentes entre a radiação solar recebida pelas superfícies construídas e a capacidade de armazenar calor dos materiais de construção. O tecido urbano absorve calor durante o dia e o irradia durante a noite. A isto se deve acrescentar o calor produzido pelas máquinas e homens concentrados em pequenos espaços da superfície terrestre”. (ROMERO, 2001, p.35)

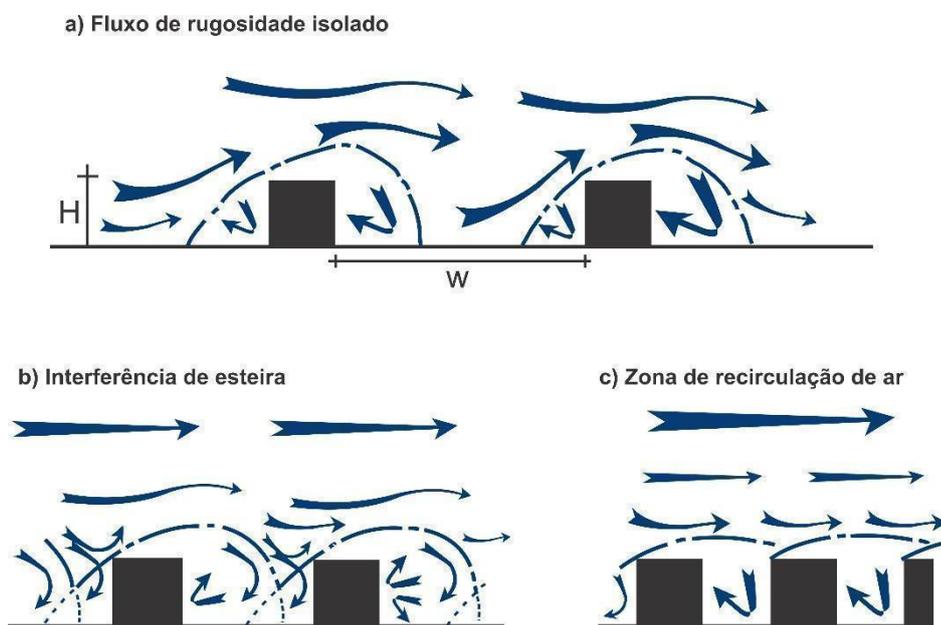
Segundo Givoni (1998), o clima de uma região é determinado pelo modelo de variações de diversos elementos combinados. Ainda segundo Givoni (1998), os principais fatores morfológicos que contribuem para a formação do clima urbano são: a localização da cidade dentro da região, o tamanho das cidades, a densidade da área construída, a cobertura do solo, a altura dos edifícios, a orientação e largura das ruas, a divisão dos lotes, a existência de parques e áreas verdes e detalhes especiais no desenho dos edifícios.

A primeira documentação acerca do tema clima urbano veio de Londres em 1818. Segundo Gartland (2010), o estudo, realizado por Luke Howard detectou um “excesso de calor

artificial” na cidade, em comparação com o campo. Mais tarde, Emilien Renou fez descobertas similares em Paris, durante a segunda metade do século XIX, seguindo de estudos em Viena por Wilhelm Schmidt e nos Estados Unidos, na segunda metade do século XX por Mitchell (1953, 1961).

Oke (1988), em um estudo sobre planejamento, enumera as principais inter-relações entre o clima e a cidade, que são: aquecimento urbano, proteção contra ventos, dispersão de poluentes e acesso ao sol. Em relação ao *canyon urbano*, entendido como corredores de edificações altas e concentradas separadas por ruas, Oke (1988) discute as relações dimensionais entre os edifícios e os efeitos do clima, fator decisivo na interação do espaço construído com o clima, especialmente a razão altura/ largura (Figura 2). Para o autor, essa razão configura um fator de obstrução que impede as trocas térmicas por onda longa para o céu, alterando a taxa de resfriamento da massa urbana e se tornando um dos principais causadores da ilha de calor urbana.

Figura 2: Esquema de circulação de vento nos canyon urbanos



Fonte: Adaptado de Oke (1988, p. 267)

No Brasil, o estudo pioneiro sobre o clima urbano foi de Monteiro na década de 1970. Monteiro (2015) trouxe o conceito de Sistema Clima Urbano (S.C.U.), que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. O autor apresenta um modelo teórico que busca

compreender a organização climática de uma cidade. O S.C.U. apresenta três canais de percepção humana: o canal I de conforto térmico, canal II de qualidade do ar e canal III impacto meteórico, que, respectivamente, se associam aos níveis de resolução do sistema: termodinâmico, físico-químico e hidrometeórico.

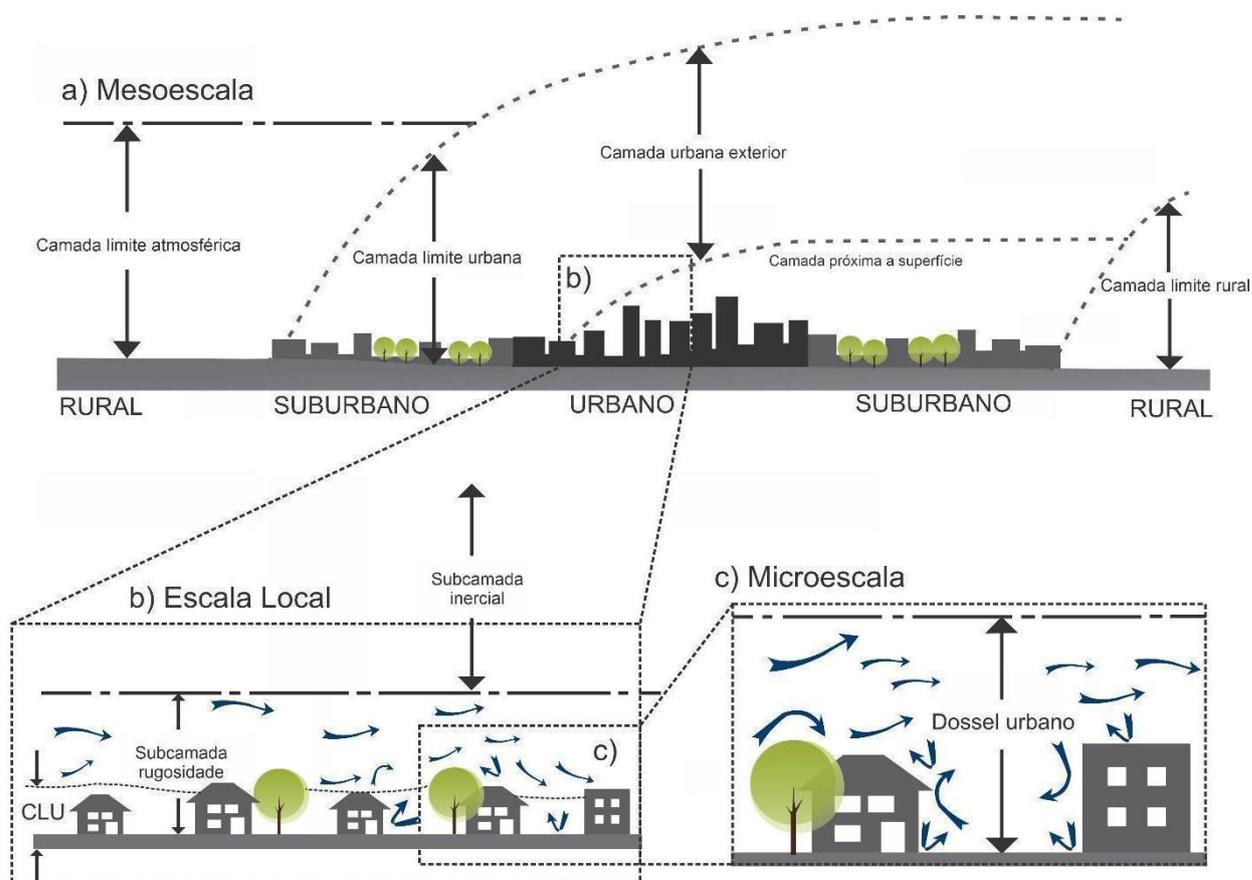
Romero (2011), também no Brasil, realizou um estudo sobre a relação entre radiação solar e geometria urbana, a qual interfere na temperatura do ar. Descreveu que os elementos climáticos: vento, som, água, vegetação, materiais que compõem a superfície urbana e o mobiliário urbano influenciam na urbanização. Salientou ainda que, dentre os elementos climáticos, as condições do vento são as mais modificadas pela urbanização.

### 2.1.1. Escalas Climáticas

Para a delimitação do objeto de estudo sobre o clima urbano, diferenciando os meios de observação, as formas de representação e análise dos dados, é importante a definição das escalas climáticas.

Oke (2006) considera duas escalas do clima, a horizontal, junto ao solo e a vertical, que se refere à altura das camadas de cobertura urbana (Figura 3). A *boundary layer* ou camada limite urbana, evidencia os diversos níveis de estudos da escala climática, sendo que no âmbito da microescala localiza-se a *Urban Canopy Layer* (UCL), que é definida como a camada urbana no nível das coberturas das edificações e a *Urban Boundary Layer* (UBL) camada mais próxima da superfície urbana que recebe toda a sua influência térmica.

Figura 3: Esquema das escalas vertical e horizontal do clima



Fonte: Adaptado de Oke (2006, p. 3)

Portanto, se a análise do clima urbano, de acordo com Oke (2006), envolve as dimensões horizontal e vertical, faz-se necessário considerar as alturas em que as temperaturas são medidas. Romero (2011), por exemplo, considera que os instrumentos de medições em alturas menores fornecem dados referentes ao microclima, enquanto em alturas maiores representam o clima local, já que registram as temperaturas após estes de misturarem.

Romero (2011) integra e reorganiza as quatro escalas climáticas de análise horizontais, propostas por Oke (1988), diferenciando-as em: a macroescala das grandes estruturas urbanas, escala intermediária da área/setor ou do sítio, e duas microescalas das dimensões específicas: a do lugar e a dos edifícios. A autora utiliza um método de análise do clima de um ambiente urbano baseado na observação em aproximações sucessivas, como em um zoom que se inicia com uma visão panorâmica da grande massa urbana e termina no detalhe do edifício. (Quadro 1).

Quadro 1: Formas de classificação do espaço

Autor	Escala 1	Escala 2	Escala 3	Escala 4
Abrami	Território: espaço da organização	Ambiente: espaço do recurso	Sítio Espaço produtivo	Lugar Espaço coletivo
Gregotti	Nível geográfico sobre o território	Nível topográfico sobre o circundante - o sítio	Nível do objeto	
Morais	Nível da região	Nível do local	Nível do sítio	
Tricart	Cidade inteira	Grupo de quarteirões	Quarteirão, grupo de blocos com características comuns	Escala da rua, incluindo as áreas construídas e os espaços vazios que as rodeiam
Monteiro	Macroclima Metrópole-área metropolitana	Mesoclima Subúrbio ou bairro de metrópole Cidade grande	Topoclima Bairro Subúrbio de cidade Pequena cidade	Microclima Setores habitacionais Grandes edificações Habitação
Oke		Mesoescala Inclui os elementos que influenciam o clima de uma cidade	Escala local Inclui tamanho e espaçamentos das edificações	Microescala Inclui os elementos individuais, tais como árvores, edifícios.
Romero	Escala das grandes estruturas urbanas	Escala do Setor/Área/Sítio	Escala do Lugar	Escala do Edifício

Fonte: Romero (2011, p. 133)

### 2.1.2. Fatores e Elementos climáticos

Romero (2001) diferencia os fatores climáticos em: fatores climáticos globais e fatores climáticos locais. Para a autora, “os fatores climáticos globais são aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao clima, ou seja, radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos e massas de água e terra”. (ROMERO, 2001, pág. 3). Já os fatores climáticos locais “são aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao microclima, como a topografia, a vegetação e a superfície do solo natural ou construído.” (ROMERO, 2001, pág. 11).

Em relação aos elementos climáticos, são definidos como “aqueles que representam os valores relativos a cada tipo de clima, ou seja, a temperatura, a umidade do ar, as precipitações e os movimentos do ar” (ROMERO, 2001, pág. 2). Ainda segundo Romero (2001), os elementos e fatores climáticos atuam em conjunto, sendo que cada um deles é o resultado da conjugação dos demais.

A partir do conhecimento sobre os fatores e elementos climáticos, pode-se compreender a formação e as diferenciações do microclima urbano, que produzem diferentes consequências em relação à variação de temperatura e à percepção sensorial do espaço. Os materiais urbanos, por exemplo, são capazes de alterar significativamente o microclima urbano.

Segundo Silva (2013), todos os materiais e os elementos ambientais são estudados enquanto sua propriedade física, seus índices de especularidade, seu albedo e seu

comportamento para agregar conforto ambiental. Viana (2018) destaca que, a relação desses materiais com a radiação solar a ser absorvida, determinará a quantidade de calor sensível a ser dissipado, por convecção, para o ar, atuando assim, no microclima urbano. Dessa maneira, há que se considerar a especificidade de cada material e sua influência nas temperaturas da cidade.

Entende-se, portanto, que o microclima é a menor escala climática e a de menor abrangência, entretanto, a mais mutável. Para Silva (2013), é a escala de interesse dos estudiosos do clima urbano e o seu impacto na cidade, pois tem relação íntima com a escala local e a escala do usuário.

## **2.2. Microclima Urbano**

A partir do estudo sobre clima da cidade, de maneira mais abrangente, chega-se ao estudo sobre o clima de um recorte urbano, que se denomina microclima urbano. A combinação de elementos da cidade, faz com que ela seja composta por microclimas diferentes dentro de seu perímetro urbano.

Monteiro e Mendonça (2003) descrevem o microclima como a formação de condições climáticas na escala intra-urbana, derivadas diretamente da heterogeneidade, tanto do sítio, quanto da estruturação, morfologia e funcionalidades urbanas, gerando, paralelamente ao clima da cidade, bolsões climáticos intra-urbanos diferenciados, como ilhas de calor, topoclimas e microclimas

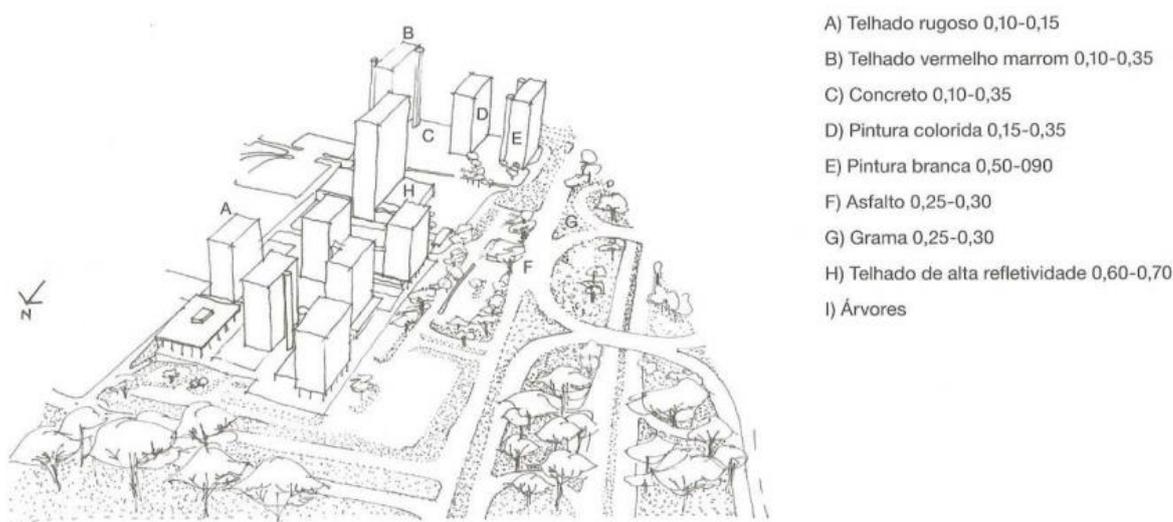
Para Duarte e Serra (2003) cada cidade é composta por um mosaico de microclimas diferentes, os mesmos fenômenos que caracterizam o mesoclima urbano existem em pequenas escalas por toda a cidade, como pequenas ilhas de calor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais no fluxo dos ventos. Ainda segundo os autores, esse mosaico pode ser criado intencionalmente, através do projeto dos espaços externos.

A geometria urbana e os materiais superficiais são fatores importantes para criação dos microclimas urbanos. A geometria urbana é capaz de influenciar o microclima urbano através da alteração do fluxo de ventilação, absorção de energia e emissão de radiação de onda longa. Os estudos sobre geometria urbana e microclima, de acordo com Werneck (2017), podem ser explorados por meio do fator visão do céu (FVC), medida da fração do céu visível em um ponto de observação no espaço urbano, quantificando assim o grau de obstrução gerado pelo entorno. “Esse aspecto atua, principalmente, nas alterações de trocas térmicas com o céu, dificultando o resfriamento das superfícies” (WERNECK, 2018, p. 21).

Romero (2011) afirma que as trocas térmicas dependem da estrutura urbana e todo calor absorvido pelas estruturas urbanas irregulares e de elevada densidade fica retido, razão pela qual provoca um aumento da temperatura urbana, ao se converter em calor sensível.

“A radiação solar, refletida pelos edifícios de uma densa estrutura urbana, sofre ainda fenômenos múltiplos de reflexão, sendo apenas uma pequena parte refletida para o céu. O aumento da capacidade de absorção de radiação, em razão da forma urbana, traduz-se em uma redução da refletividade do espaço urbano, que se denomina redução do albedo efetivo” (ROMERO, 2011, p. 74 e 75).

Figura 4: Capacidade de absorção e reflexão dos materiais urbanos. Setor Bancário Norte SBN em Brasília/ DF



Fonte: Romero (2011, p. 75)

Oke (1988) enumera dois aspectos relevantes: o albedo dos materiais de superfície e o acesso solar. O albedo da superfície, ou refletância solar, é a fração da radiação solar refletida por ela. A geometria urbana influencia a forma como a radiação solar atua nas superfícies, alterando o valor do albedo das superfícies urbanas. Isto pode ocorrer, por exemplo, devido à reflexão da radiação ou ao sombreamento pelos volumes edificadas. As superfícies urbanas apresentam diversos albedos devido a interação dos materiais com a radiação.

Segundo Silva (2009), toda a configuração urbana e, principalmente, sua conformação por materiais urbanos, contribuem na formação dos microclimas diferenciados no contexto da cidade.

“No meio urbanizado, por exemplo, quanto maior a área de concreto, asfalto e pavimentação (materiais com maiores coeficientes de absorção da radiação solar e emissão de energia térmica), e menor a cobertura vegetal, maiores são os ganhos de calor da massa edificada e maior é, também, a emissividade desta massa para o espaço urbano, o que contribui para temperaturas mais elevadas, incremento de ilha de calor e, conseqüentemente, temperaturas mais elevadas no espaço urbano”. (SILVA, 2009, p. 11)

### **2.3. Ilha de Calor Urbana**

O fenômeno ilha de calor urbana consiste no aquecimento de áreas urbanas, mais densamente ocupadas, em relação ao seu entorno. Gartland (2010) destaca que ilhas de calor são formadas em áreas urbanas e suburbanas porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do sol do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas.

Segundo Romero (2011) entre as causas da formação das ilhas de calor, pode-se destacar:

“A elevada capacidade de armazenamento calorífico dos materiais das edificações (sempre maior que o solo natural), a produção do calor antropogênico, a diminuição da umidade do ar devido à pavimentação do solo, a redução na velocidade do ar originada pela rugosidade da superfície, o aumento da absorção da radiação solar e conseqüentemente diminuição do albedo, entre outras”. (ROMERO, 2011, p.100).

Gartland (2010) diz que a magnitude e a importância das temperaturas de superfícies urbanas em uma ilha de calor não eram totalmente compreendidas até serem visualizadas do alto, no século XX. Satélites e aeronaves especialmente equipados podem mapear as

temperaturas da superfície terrestre e já mostraram pontos de calor bastante distinguíveis em áreas urbanas bem como em seus arredores por todo o mundo.

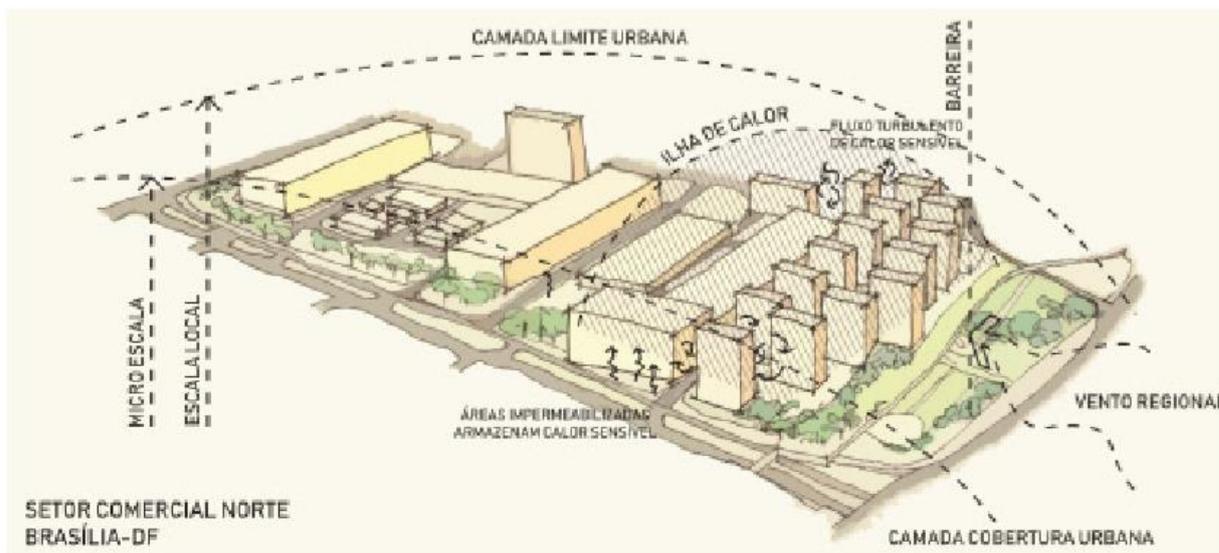
No Brasil, Lombardo (1988) realiza o primeiro estudo sobre ICU, onde analisa o uso do solo e os parâmetros naturais da cidade de São Paulo. Segundo a autora, as condições climáticas de uma área urbana extensa e de construção densa são totalmente distintas daquelas dos espaços abertos circundantes, podendo haver diferenças de temperatura, de velocidade do vento, de umidade, de pureza do ar, entre outros. Lombardo (1988), em seu estudo sobre ICU em São Paulo, verificou, através de imagens satélites, que a ilha de calor formada na capital paulista se localizava em regiões de alta concentração de edifícios e com pouca vegetação. Também constatou que as diferenças entre a zona rural e a central chegam a ser superiores a 10°C, além de confirmar a relação entre ilha de calor, concentração de poluentes, alteração na umidade relativa e precipitações.

Portanto, em uma cidade ou fração de cidade em que ocorre o fenômeno ilha de calor urbano as condições microclimáticas são caracterizadas por uma temperatura do ar mais elevada, umidade relativa mais baixa, alteração na velocidade dos ventos, chuvas, entre outros.

“Assim, o fenômeno das ICUs decorre do adensamento urbano, caracterizado por geometrias que barram os ventos e aumentam a taxa de absorção do calor; aumento do albedo (dada a constante impermeabilização do solo); além da ação antrópica de remoção de vegetação e conseqüente redução da evapotranspiração trazem também uma diminuição significativa da umidade relativa do ar”. (ROMERO et al, 2019, p. 13).

Voogt e Oke (2003) descrevem dois tipos diferentes de ICUs, com relação a sua forma, intensidade e localização do seu núcleo: a de superfície e a atmosférica. A ilha de calor de superfície se refere ao aquecimento relativo das superfícies urbanas, já a atmosférica, demonstrada na Figura 5, se forma nas camadas dossel urbano (próxima às superfícies da cidade) e limite urbana (situa-se acima do dossel).

Figura 5: Ilhas de calor urbana atmosférica



Fonte: Romero *et al* (2019, p.15)

Segundo Romero (2015), há cinco diferentes e independentes fatores que contribuem para o desenvolvimento da ilha de calor: diferença média de radiação entre a área urbana e as imediações, em particular a baixa taxa de esfriamento radiante durante as noites; a estocagem de energia solar na massa dos edifícios da cidade durante o dia cedida à atmosfera durante a noite; concentração de geração de calor pelas atividades que têm lugar na área urbana; baixa evaporação desde o solo e a vegetação na área urbana construída, quando comparada com a área rural aberta; fontes de calor estacionais: calefação no inverno, ar-condicionado no verão, tudo é cedido ao ar urbano. O Quadro 3 apresenta as várias hipóteses, segundo Romero *et al* (2019), de formação da ilha de calor, relacionadas com as características da urbanização que demonstram a importância da geometria urbana e da inércia térmica dos materiais de construção nas mudanças climáticas.

Quadro 2: Causas da ilha de calor da camada inferior da atmosfera (*urban canyon*)

Aspectos do balanço de energia alterados que causam anomalia térmica.	Características da urbanização que favorecem as mudanças no balanço de energia.
1. Aumento da absorção de radiação de ondas curtas.	Geometria do cânion: – aumento da área superficial e das múltiplas reflexões.
2. Aumento da radiação de ondas longas da abóbada celeste.	Poluição do ar: – maior absorção e reirradiação.
3. Redução da perda por radiação de ondas longas.	Geometria do cânion: – redução do fator de céu visível.
4. Fontes antropogênicas de calor.	Perdas de calor dos edifícios e do trânsito.
5. Aumento do acúmulo de calor sensível.	Materiais de construção: – aumento da admitância.
6. Redução da evapotranspiração.	Materiais de construção: – aumento da impermeabilização.
7. Redução do total de calor perdido por convecção.	Geometria do cânion: – redução da velocidade dos ventos.

Fonte: Romero *et al* (2019, p. 19)

O fenômeno das ICUs é maior durante a noite, quando, segundo Romero *et al* (2019), a camada de ar acima do solo é mais próxima da temperatura do solo, reduzindo as trocas de calor e, conseqüentemente, reduzindo a movimentação do ar no espaço urbano e favorecendo a concentração de poluentes na cidade.

Werneck (2018), em Brasília, investigou áreas destinadas ao comércio local com enfoque na mitigação de ICU com a utilização de imagens do satélite Landsat 8 e simulação computacional com o software ENVI-met. Os resultados mostraram que a estratégia que combinou pavimentos frios e sombreamento com arborização respondeu melhor à variação da temperatura média radiante.

### 2.3.1. Monitoramento de Ilhas de Calor Urbanas

De acordo com Romero *et al* (2019), a identificação das ICUs pode ser realizada por diversas abordagens que dependerão da escala, recursos e objetivo da análise. Gartlad (2010) exemplifica alguns métodos de medição e monitoramento, dentre eles, os mais comuns são:

- Estações meteorológicas fixas;
- Transectos móveis;
- Sensoriamento remoto;

Estações meteorológicas fixas são capazes de medir e registrar parâmetros meteorológicos e climáticos através de vários sensores de recolhimento de dados para o monitoramento ambiental. Entre os parâmetros que podem ser medidos estão: temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, umidade e temperatura do solo, precipitação, umidade da folha e radiação solar global. Essas estações podem ser encontradas em diversas cidades, podendo ser operadas por serviços meteorológicos, universidades, entre outros.

Os transectos móveis são geralmente utilizados como complementação às informações da estação fixa, para levantamento das variáveis climáticas. O método consiste na utilização de veículos em baixa velocidade, com equipamentos de medição para realizar o levantamento dos dados, podendo abranger diversos pontos da cidade em um percurso, mostrando as diferenças entre as variáveis medidas.

O sensoriamento remoto é o conjunto de técnicas e procedimentos tecnológicos que visa à representação e coleta de dados da superfície terrestre. Toda a informação é obtida por meio de sensores. Dentre os sensores mais utilizados em trabalhos científicos estão o Ikonos, Modis, Aster e a série Landsat. A partir dos dados obtidos pelos sensores, é possível identificar a temperatura superficial da malha urbana e fazer correlações com uso do solo, forma urbana, presença de áreas verdes e corpos d'água, entre outros.

Gartland (2010) descreve também a importância das simulações computacionais para análise da eficácia das medidas de mitigação de ilhas de calor urbanas.

“A medição dos efeitos de uma ilha de calor sobre um clima regional é de grande utilidade e interessante, mas não é um indicativo do quão eficaz seriam as medidas de mitigação para reduzir os impactos da ilha de calor. É aí que a simulação se faz necessária. Diferentes tipos de modelos vêm sendo utilizados para prever como as medidas de mitigação poderiam reduzir as temperaturas, o consumo de energia e a poluição do ar. Existem modelos específicos para observar edifícios individualmente, cânions urbanos e áreas urbanas mais extensas”. (GARTLAND, 2010, p.37).

Para Silva (2013), o uso dessas simulações computacionais auxilia na identificação do impacto no microclima urbano advindo de diferentes configurações urbanas determinadas por

edifícios de diferentes alturas e superfície do solo revestida de arborização, grama e outros diferentes materiais urbanos. Entende-se, portanto, que através da simulação computacional é possível analisar os efeitos microclimáticos de diferentes cenários, como forma de prever medidas de mitigação mais apropriadas ao local.

### 2.3.2. Mitigação de Ilhas de Calor Urbanas

A mitigação do fenômeno ilha de calor urbana, segundo Gartland (2010), traz benefícios como: redução de temperaturas, economia de energia, melhoria da qualidade do ar, conforto humano e melhorias para a saúde, redução de enchentes, manutenção e redução de resíduos e benefícios estéticos.

Gartland (2010) sugere ainda possibilidades de intervenção para mitigar ilhas de calor, tais como: melhorar a forma de utilização dos terrenos, das propriedades térmicas dos materiais de revestimento, de pavimentação e de cobertura e suas respectivas aplicações, do emprego da vegetação e arborização para arrefecimento das áreas urbanas e, finalmente, das ações que podem ser desenvolvidas na comunidade.

Mirzaei (2015) revisou estudos sobre modelagem do efeito das ilhas de calor urbana e as estratégias de mitigação deste fenômeno. De acordo com sua pesquisa, as estratégias de mitigação mais estudadas são a ventilação urbana e os materiais de recobrimento do solo. Em relação às escalas dos modelos, essas variam de acordo com os objetivos das pesquisas, sendo elas:

- Escala do edifício (*Building Energy Models*): limitada à análise do edifício isolado. Investigam as respostas do envelope do edifício frente aos cenários futuros de mudanças climáticas.
- Microescala (*Microclimate Models*): analisa os impactos da orientação das edificações, materiais de superfície, ruas tipo cânion, vegetação, entre outros atuantes no conforto térmico do pedestre e na ventilação urbana.
- Escala da cidade: investigação da variação da ICU em larga escala. A modelagem da ICU nessa escala é uma das aplicações do sensoriamento remoto, por meio das imagens térmicas tomadas por satélites.

## **2.4. Considerações finais do capítulo**

Este capítulo foi dedicado à revisão teórica do tema clima urbano, sua conceituação, escalas de análise, fatores climáticos globais e locais, elementos climáticos, microclima urbano e ilhas de calor urbana.

Foram apresentados os estudos pioneiros sobre clima urbano no mundo e no Brasil, além das escalas climáticas, com destaque para a microescala, objeto de estudo desta pesquisa.

Em relação ao microclima urbano, foram apresentados estudos com a conceituação e os principais fatores que o influenciam: a geometria urbana e os materiais superficiais. A partir do recorte urbano, chega-se ao estudo das ilhas de calor urbanas (ICUs), sua conceituação, causas, formas de monitoramento e mitigação. Dessa forma conclui-se que o crescimento das cidades resulta em alterações na paisagem urbana e, conseqüentemente, no clima urbano, o qual origina-se microclimas mais quentes e fenômenos climáticos como as ICUs.

A seguir analisaremos a estratégia da vegetação para melhoria dos microclimas urbanos.

## 2. A VEGETAÇÃO URBANA

Este capítulo apresenta o segundo eixo de sustentação da pesquisa: a vegetação. Inicialmente é feita uma breve descrição do mapa de vegetação e, mais especificamente, da vegetação do cerrado e sua utilização no meio urbano. Logo após, é feita uma análise do impacto da vegetação no microclima urbano, a partir da investigação dos estudos de Rivero (1986), Shashua-Bar e Hoffman (2000), Bueno (2003), Abreu (2008), Mascaró (2010), Abreu (2012), Labaki *et al* (2011) e Shinzato e Duarte (2017). A partir dos estudos destes autores que comprovam a influência da vegetação no microclima urbano, faz-se uma análise da caracterização da vegetação urbana e sua influência na temperatura do ar, umidade e ventilação. Por fim, apresenta-se a conceituação e as principais formas de cálculo do Índice de área foliar (IAF) e Densidade de área foliar (DAF) de espécies arbóreas.

## 2.1. O Bioma Cerrado

O sistema de classificação climática de Köppen, um dos mais abrangentes e, ainda hoje, amplamente utilizado, teve como base o mapa mundial de vegetação de De Candolle (1855). Segundo Sá Júnior (2009), o mapa mundial de vegetação aceitou a vegetação natural como a melhor expressão do clima de uma região. Sorte (2016) descreve que esse conjunto de interações entre o clima de uma região e vegetação natural, definem os biomas. “As diferenças nas superfícies dos continentes, tais como a composição do solo e a altitude, afetam os ecossistemas dentro de cada bioma” (SORTE, 2016, p. 54).

Brasília está inserida no Bioma Cerrado, caracterizado por climas tropicais de caráter subúmido, com duas estações bem definidas: uma seca, que ocorre no outono/inverno, de maio a setembro, outra chuvosa, que ocorre na primavera/verão, de outubro a abril. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, Brasília apresenta categoria Aw, Cwa e Cwb. O clima da região se estabelece em dois tipos de clima predominantes:

- Megatérmico ou tropical úmido: com o subtipo clima de savana, inverno seco e chuvas máximas de verão. Presente na maior área do Cerrado.
- Mesotérmico ou temperado quente: com inverno seco (tropical de altitude) e temperatura média do mês quente maior que 22 °C. Presente no sul de Minas Gerais e no Mato Grosso do Sul.

Unesco (2002) descreve que o bioma do Cerrado abrange 200 milhões de hectares compreendendo quatorze fisionomias que dominam a paisagem do Brasil central. A savana refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo, sem a formação de dossel contínuo. “Matas de Galeria se desenvolvem ao longo dos rios e córregos, Matas Secas medram sobre solos mais ricos, bem como vegetação de transição nas bordas com outros biomas. Sua flora é rica, com mais de 11.000 espécies de plantas vasculares com um grande número de espécies endêmicas” (UNESCO, 2002, p. 6).

Além da savana, Ribeiro e Walter (2008) destacam que o cerrado também apresenta fisionomias florestais e campestres. Segundo os autores, o campo designa áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, faltando árvores na paisagem. Já as formações florestais do Cerrado englobam os tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas, com a formação de dossel contínuo.

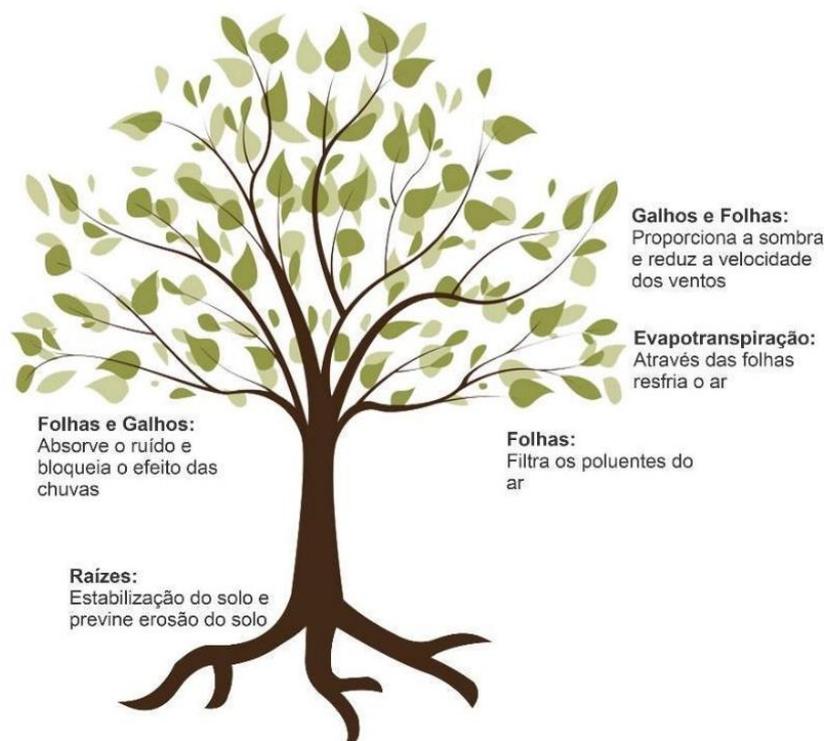
Para o uso em arborização urbana, segundo Sorte (2016), apesar da diversidade encontrada na flora do cerrado, seu envolvimento e uso pela população é pouco difundido, ficando restrito, na maioria das vezes, às comunidades tradicionais. Sua presença nas obras arquitetônicas é escassa.

### **3.2. Vegetação Urbana**

A arborização urbana contribui significativamente no microclima das cidades, sendo uma das principais estratégias para mitigação das ilhas de calor urbana. Segundo Abreu (2008), as principais modificações causadas pela ausência de indivíduos arbóreos nas cidades são: maior incidência de radiação solar direta, aumento da temperatura do ar, redução da umidade, modificação da direção dos ventos, aumento da emissão de radiação de onda longa, alteração dos ciclos de precipitação. Essas alterações causam desconforto térmico à população urbana, que, a fim de combater o calor, aumenta os gastos energéticos com climatização.

Ainda segundo Abreu (2008), além dos benefícios em relação do microclima urbano, a vegetação é capaz de absorver o som; filtrar e purificar o ar pela fixação de poeiras e gases tóxicos e pela reciclagem de gases através da fotossíntese; reduzir a velocidade do vento; proteger contra a erosão do solo e ajudar na retenção e absorção das águas da chuva, diminuindo a ocorrência de enchentes e enxurradas, pela retenção, na copa, de grande quantidade de água que, lentamente, se infiltra no solo (Figura 6).

Figura 6: Qualidade ecológica das árvores



Fonte: Adaptado de Abreu (2008, p.9)

Segundo Mascaró (2010), essas contribuições da arborização urbana variam com o tipo de clima local, recinto urbano onde estão plantadas, período do ano, tipo de vegetação, seu porte, idade, manutenção, formas de associação dos vegetais e também com relação às edificações próximas e ao espaço urbano que as contém.

Além dos benefícios climáticos, as árvores ainda têm um impacto social importante. Algumas pesquisas, como de Akbari & Taha (1992), comprovam que a presença de árvores numa região residencial pode aumentar os valores de propriedades em 3 a 20%, sendo fator determinante para decisão de onde viver.

### 3.2.1 Temperatura e Umidade do ar

Diversos estudos comprovam que a cobertura vegetal exerce influência importante no microclima urbano, funcionando como termorregulador (SHASHUA-BAR E HOFFMAN 2000; BUENO, 2003; ABREU, 2008; LABAKI *et al*, 2011; SHINZATO E DUARTE, 2017). Os benefícios da vegetação em relação ao microclima podem ser indiretos, através da evapotranspiração que mitiga as superfícies e o ar adjacente devido à troca de calor; e diretos,

através do sombreamento que reduz a conversão de energia radiante em calor sensível e diminui a temperatura de superfície.

Em relação à evapotranspiração das árvores, esse fenômeno se dá devido às suas propriedades no balanço de energia. Shinzato e Duarte (2017) relatam que, dependendo do processo de evapotranspiração e das condições climáticas locais, a cobertura vegetal diminui os picos de temperatura durante o dia. Ainda segundo as autoras, sendo um fenômeno físico de mudança da fase líquida para vapor da água presente em condições naturais, a evapotranspiração necessita de uma energia equivalente a 590 calorias disponíveis a cada grama de água pura, que se encontra na condição de zero grau centígrado e a uma atmosfera de pressão.

Ainda segundo Shinzato e Duarte (2017), o processo de evapotranspiração está diretamente ligado à resistência estomática que relaciona a quantidade dos estômatos nas folhas com uma adequada condição no solo (disponibilidade de água) e na atmosfera (disponibilidade de luz).

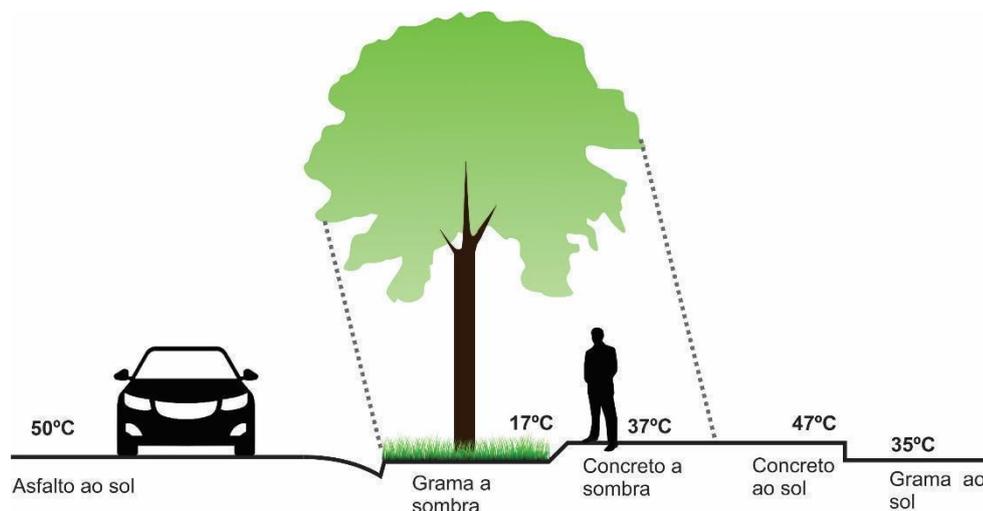
As folhas absorvem, refletem e transmitem a energia incidente em quantidades diferentes segundo os comprimentos de onda da radiação. Rivero (1986), destaca que a absorção das folhas é alta. Uma pequena quantidade de radiação é transmitida por transparência através da folha e o restante, entre 15 % e 30 % é refletida. Da energia absorvida, uma parte se transforma em energia química potencial para fotossíntese e outra em calor latente, ao evaporar-se a água é eliminada pela folha através da transpiração. Já a absorção, de acordo com Mascaró (2010), depende principalmente da pigmentação das folhas, que absorvem em média 50% de radiação de onda curta e 95 % da radiação de onda longa.

Shinzato (2009) destaca que as folhas desenvolveram alguns mecanismos para evitar o *stress* térmico em ambientes com temperaturas elevadas, por meio de altos valores de albedo ou da diminuição da área de superfície voltada para a direção dos raios solares. “Os valores de albedo para as folhas variam entre 0.25 – 0.30. No entanto, devem-se considerar algumas adaptações ecológicas para espécies em ambientes de climas quentes e secos, com baixos índices pluviométricos, que podem resultar em albedos mais elevados”. (SHINZATO, 2009, p. 76)

Em relação ao sombreamento, “cuja principal finalidade é amenizar o rigor térmico da estação quente no clima subtropical e durante o ano na região tropical, diminui as temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas da edificação, assim como a sensação de calor dos usuários, tanto pedestres quanto motorizados”. (MASCARÓ, 2010, p. 32).

Ainda segundo Mascaró (2010), os efeitos do sombreamento das árvores no resfriamento passivo das ruas dependem, principalmente, da extensão da área sombreada pelas árvores e pode ser quantificado por meio das medições de temperatura de superfície de materiais expostos e protegidos pelas copas das árvores. (Figura 7)

Figura 7: Temperaturas superficiais de diferentes superfícies urbanas



Fonte: Adaptado de Mascaró (2010, p. 40)

Em um estudo sobre a vegetação urbana de Shashua-Bar e Hoffman (2000) no complexo urbano de Tel-Aviv, utilizou-se um modelo baseado na análise estatística realizada em 714 observações experimentais coletadas a cada hora para avaliar a temperatura do ar no interior da área verde estudada, ou seja, a área sombreada sob a copa das árvores e a temperatura do ar do ambiente não arborizado adjacente ao local. Os resultados indicaram que as áreas sombreadas por árvores são capazes de afetar os registros da temperatura do ar, uma vez que estas atenuam o aquecimento do solo pela radiação solar direta, incluindo o efeito secundário da temperatura do ar junto a essas áreas circundantes. Da mesma forma, o efeito da umidificação do ar se mostra proporcional ao do resfriamento. Constatou-se que o efeito amenizador climático de pequenas áreas verdes pode ser sentido até um raio de 100 metros distante das mesmas.

Bueno-Bartholomei (2003), em um estudo na cidade de Campinas, São Paulo, avaliou a atenuação da radiação solar por diferentes espécies arbóreas e o conforto térmico proporcionado pelas mesmas, por meio de dados experimentais de radiação solar incidente, temperaturas do ar e de globo, assim como valores de umidade relativa. As espécies analisadas

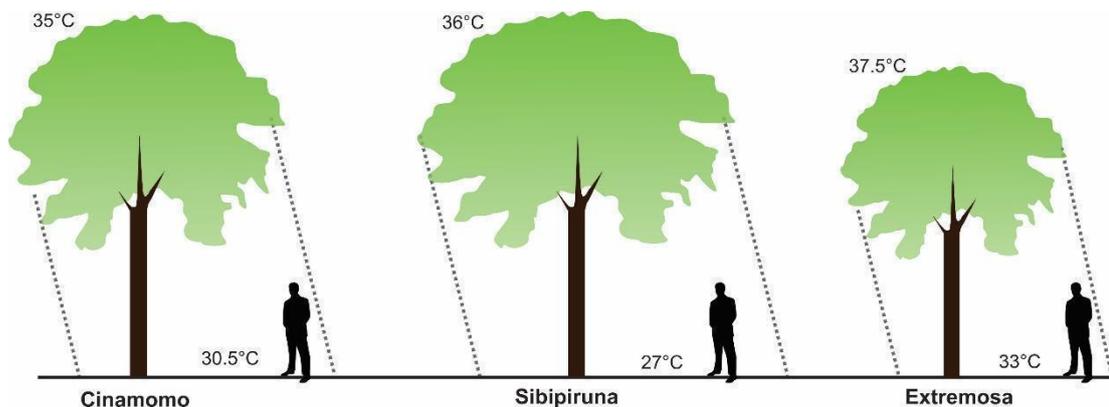
foram: Cassia (*Senna spectabilis*), Aroeira salsa (*Schinus molle*), Pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*), Jambolão (*Cecropia peltata*), Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), Cedro-rosa (*Cedrela fissilis*) e Ficus (*Ficus benjamina*). Os resultados mostraram que a “pata-de-vaca” teve um dos melhores desempenhos quanto a atenuação da radiação solar e melhoria do conforto térmico.

Labaki et al. (2011), em um estudo sobre a atenuação da radiação solar pelo uso de vegetação arbórea em São Paulo, observou uma diminuição de 92,8% na incidência de radiação solar, causada por um Jambolão (*Cecropia peltata*), uma árvore de folhas persistentes, 70,2% por um Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) e 29,9% por um Cedro-Rosa (*Cedrela fissilis*), todos na estação de inverno e sem folhas.

Abreu (2012) analisa as espécies Ipê Amarelo (*Tabebuia chrysotricha*), Jacarandá mimoso (*Jacaranda mimosaeifolia*), Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.), Pinheiro (*Pinus palustris* L.) e Pinheiro (*Pinus coulteri* L.) – isoladas, Mirindiba Bagre (*Lafoensia glyptocarpa* L.), Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa* F.), Espatódea (*Spathodea campanulata* P.Beauv.), Tipuana (*Tipuana tipu* F.) – isoladas e agrupadas –, Flamboyant (*Delonix indica* F.) e também, Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.) – agrupadas, com o objetivo de quantificar a contribuição dos indivíduos arbóreos e agrupamentos para a melhoria do microclima de Campinas. Observou-se que a espécie Sibipiruna possui o melhor comportamento no microclima devido às características relacionadas à espécie, tais como Cobertura Verde e Índice de Área da Planta e também àquelas relacionadas ao ambiente como disposição no espaço.

Mascaró (2010) destaca a pesquisa PREAMBE (2001), que efetuou uma comparação do desempenho térmico entre espécies vegetais durante as estações críticas do ano e observou a influência dos conjuntos arbóreos no microclima de cada recinto analisado. A Figura 8 mostra as diferenças de temperatura entre áreas ao sol e áreas em sombra projetada por espécies arbóreas mais utilizadas em Porto Alegre, no verão.

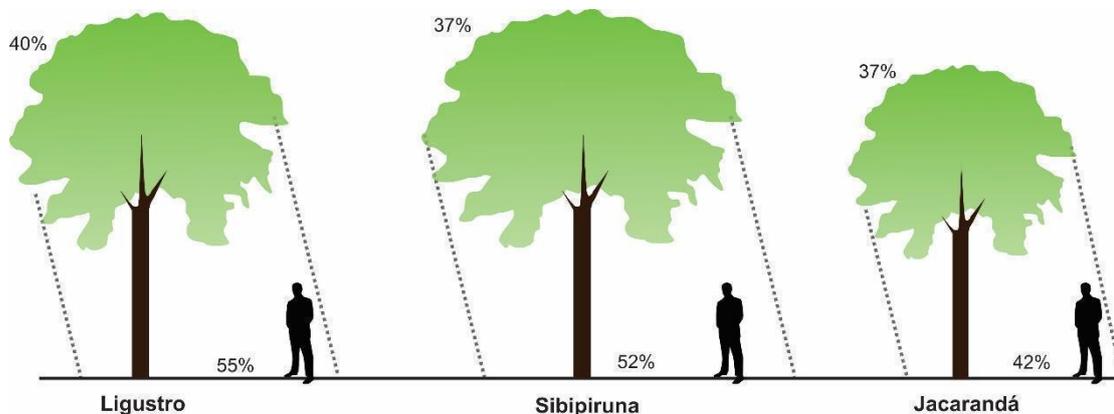
Figura 8: Diferenças de temperatura entre áreas expostas à radiação solar e áreas sombreadas por três tipos de árvores em Porto Alegre no verão



Fonte: Adaptado de Mascaró (2010, p. 4)

Paralelamente, observou-se que a presença da árvore provoca um aumento da umidade relativa do ar em todos os recintos (Figura 9). Comprovou-se com medições *in loco* em dois recintos arborizados: Praça Bozano e Rua Duque de Caxias, em que a umidade manteve a média de 65%, valor médio de conforto para a latitude -30°, Porto Alegre. Em um recinto caracterizado pela falta de arborização, a Rua Sete de Setembro, a umidade manteve-se na faixa de 25% a 50%. Dessa forma, os recintos dotados de arborização são mais favoráveis a uma ambiência agradável.

Figura 9: Diferenças de umidade relativa do ar entre áreas expostas à radiação solar e áreas sombreadas por 3 tipos de árvores em Porto Alegre no verão



Fonte: Adaptado de Mascaró (2010, p. 4)

Ainda segundo Mascaró (2010), a fim de analisar a alteração da umidade relativa do ar provocada pela árvore, deve-se observar a copa, pois copas muito densas retêm mais água e aumentam a densidade relativa do ar sob elas e, principalmente, o tipo de folhas.

“O tipo de folhagem da árvore é importante para se obter um controle da umidade do ar nos diferentes recintos. Para locais onde o percentual de umidade não atinge 65%, são indicadas espécies arbóreas com folhas pequenas, claras e lisas, pois possuem um processo de evapotranspiração acelerado, produzindo mais umidade no ar. Onde o percentual de umidade do ar for superior a 65%, são indicadas espécies dotadas de folhas grandes e rugosas que retêm o teor hídrico na superfície foliar e reduzem o efeito convectivo do vento, evitando o aumento da umidade no ambiente”. (MASCARÓ, 2010, p. 43)

Para Abreu (2008), o aumento da umidade do ar proporcionado pela vegetação ocorre de três maneiras: evapotranspiração física direta das chuvas, transpiração fisiológica das plantas – inversamente proporcional ao grau higrotérmico do ambiente – e a clorovaporização do vapor de água durante a assimilação clorofílica de CO<sub>2</sub> atmosférico, por meio da ação dos raios solares.

### 3.2.2. Ventilação

A vegetação também influencia significativamente a ventilação, através do controle do fluxo do vento, o que afeta significativamente o conforto humano. Mascaró (2010) destaca os fatores que determinam o desempenho da vegetação com relação à ventilação, sendo eles: a permeabilidade e perfil do recinto, a orientação com relação aos ventos predominantes, densidade da ocupação e gabarito das edificações. Ainda segundo o autor, as características das espécies arbóreas como: o porte, a forma, a permeabilidade, o período de desfolhamento e a idade, também são fatores determinantes de sua influência para as condições de ventilação de um local.

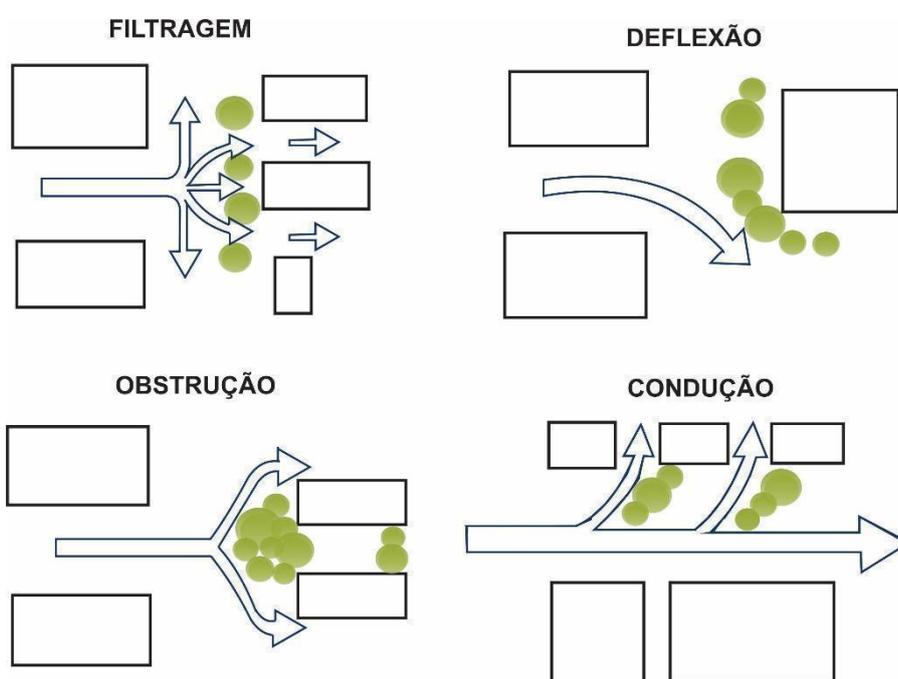
Mascaró (2010) cita os quatro efeitos básicos da vegetação em relação ao vento (Figura 10):

- **Canalização**: fenômeno que se produz de maneira significativa quando há um corredor de árvores bem definido e relativamente estreito, ou seja, com largura menor que 2,5

vezes sua altura média. Neste fenômeno há uma intensificação da velocidade dos ventos, que podem atingir velocidades superiores a 3,5m/s.

- **Deflexão**: a vegetação funciona como defletora do vento através da sua posição e distância da árvore ao edifício ou espaço aberto a ser ventilado, dessa forma, influencia na trajetória do vento, variando a orientação e intensidade.
- **Obstrução**: bloqueio da passagem do vento através da vegetação, reduzindo sua velocidade e atenuando seus efeitos na diminuição da temperatura do ar. Podem ser mais eficazes que barreiras sólidas.
- **Filtragem**: capacidade da vegetação de barrar resíduos transportados pelo vento e reduzir a sua velocidade, já que velocidades do vento iguais ou superiores a 3,5m/s podem dificultar o deslocamento de pedestres, gerar ruídos e transportar pó. Além disso o uso de barreiras de vegetação possibilita relativo isolamento dos usuários no interior desses espaços.

Figura 10: Efeitos básicos da barreira vegetal

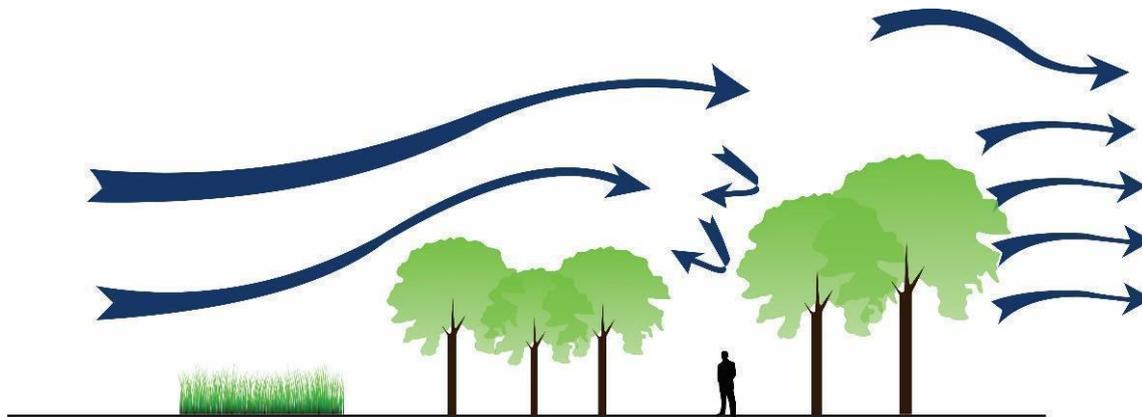


Fonte: Adaptado de Mascará (1996, p. 83)

Ainda segundo Mascará (2010), em determinados períodos a incidência do vento pode ser indesejável ou insuficiente para o condicionamento térmico do ambiente, sendo necessário

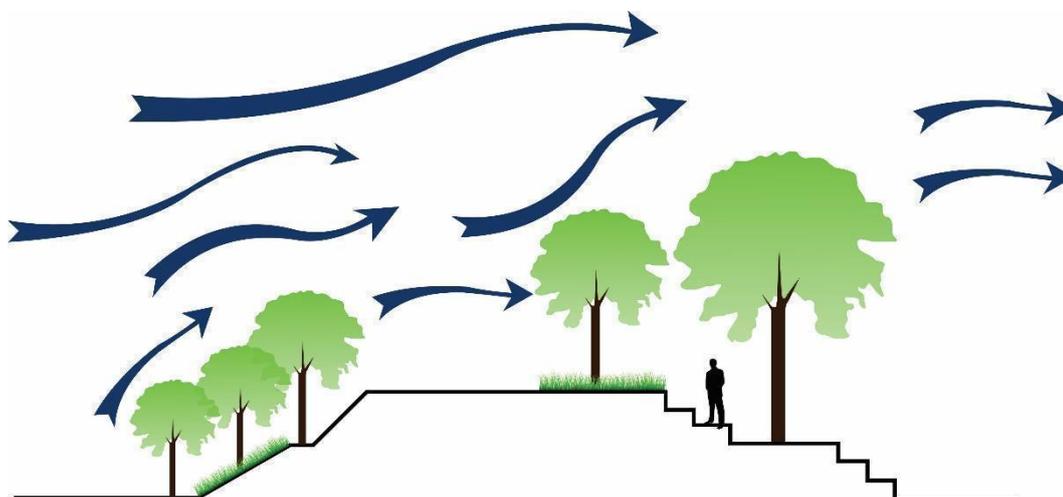
controlá-lo com quebra-ventos, utilizando-se da heterogeneidade das plantas ou ainda as integrando com a topográfica. (Figura 11 e Figura 12)

Figura 11: Barreira vegetal ao vento formada pela associação de vegetação com diferentes formas e portes



Fonte: Adaptado de Mascaró (2010, p. 48).

Figura 12: Quebra-ventos integrados à declividade do terreno



Fonte: Adaptado de Mascaró (2010, p. 48).

Alguns pesquisadores comprovam a importância da vegetação no controle das correntes de ar, através das características de filtragem, obstrução, redirecionamento ou redução da

velocidade do vento. Boutet (1987), por exemplo, constatou a eficiência dos agrupamentos arbóreos em mais de 50% da velocidade do vento em relação aos espaços abertos.

Já de acordo com Vogt e Oke (2003), quando a velocidade do vento é baixa, as correntes de ar penetram nas copas das árvores, mas quando a velocidade do ar é alta, o fluxo de ar tende a circunda-las, portanto, o efeito da vegetação como obstáculo é parcial.

### **3.3. Índice de área foliar e DAF das espécies arbóreas**

O índice de área foliar é um importante índice das espécies arbóreas. Para Bruse (2000), alguns parâmetros do banco de dados podem ser considerados iguais para quaisquer espécies, devido à sua pequena variabilidade, como albedo, densidade de área de raízes e resistência estomatal. Entretanto, deve-se obter o Índice de Área Foliar (IAF) de cada espécie, base para o cálculo da Densidade de área foliar (DAF), informação importante para simulação.

O Índice de Área Foliar (IAF), também conhecido como Leaf Area Index (LAI), é, de acordo com Meir *et al* (2010) a razão entre a área foliar do dossel e sua respectiva projeção sobre o solo ( $m^2$  da folha por  $m^2$  da área do solo). É um importante parâmetro para verificar a interação entre atmosfera e superfície do solo por meio da troca de energia das folhas das árvores.

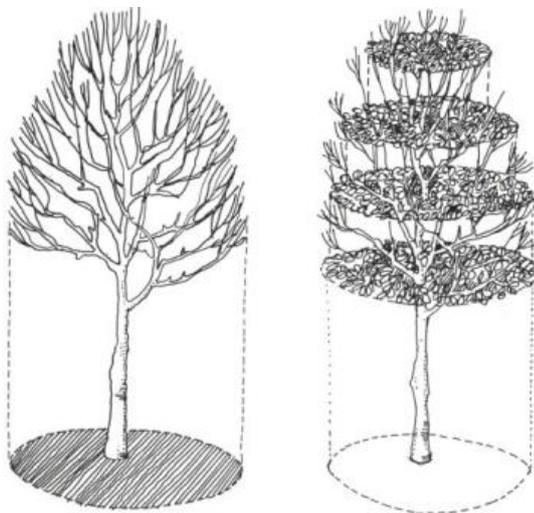
Ometo (1981) descreve que o IAF é um índice que influencia diretamente na interceptação e absorção da luz na copa, assim como no balanço das trocas de calor e taxas de evaporação com a atmosfera. Ainda segundo o autor, à medida que a cultura vai crescendo aumenta o número de folhas e, dessa maneira, a superfície foliar, influenciando na fotossíntese e estimulando cada vez mais a evapotranspiração, resultando em acréscimo de matéria seca, que sintetiza todas as relações planta-meio.

Dessa forma, Chen *et al* (1997), destaca que o IAF é uma característica estrutural chave dos ecossistemas florestais devido ao papel das folhas no controle de muitos processos biológicos e físicos.

Segundo Shinzato e Duarte (2012), o Índice de Área Foliar é uma variável adimensional, que varia dependendo do tipo de espécie, crescimento da planta e estágio de desenvolvimento. Está relacionada ao processo de interceptação de chuva e fluxo de carbono. Este parâmetro

descreve como as folhas são organizadas (Figura 13) e os valores de IAF que variam de 1 a 10 ( $m^2/m^2$ ).

Figura 13: Projeção horizontal do dossel e distribuição das folhas relacionadas ao diâmetro



Fonte: Shinzato e Duarte (2012, p.2)

Silva (2016) em uma pesquisa bibliográfica realizada em artigos de periódicos (Quadro 3), revela que as principais formas de obter os valores de IAF ocorrem a partir de quatro métodos básicos:

- Diretamente, através da medição da área foliar e de sua contagem por unidade de área (método destrutivo);
- Diretamente, a partir de instrumentos, como o LAI-2000 (Li-Cor, Nebraska, USA) e o TRAC (ThirdWave Engineering, Ottawa, Canada);
- Indiretamente com o uso de imagens obtidas com lentes grandes angulares *fisheye* e pós tratamento com programas específicos, como o WinSCANOPY (Regent Instruments Inc., Quebec, Canadá), HemiView (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK), Gap Light Analyser - GLA (Cary Institute of Ecosystem Studies, New York, US), Hemisfer 1.53 (Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Zurique, Swiss) e CAN-EYE (INRA - Institut National de la Recherche Agronomique, France), entre outros;
- Indiretamente por imagens aéreas, através de sensoriamento remoto ou, escaneamento aéreo a laser.

Quadro 3: Revisão bibliográfica de autores sobre métodos de determinação do IAF

AUTOR	MÉTODOS
Bréda (2006); Gower <i>et al.</i> (1999); Shinzato <i>et al.</i> (2014)	Direto destrutivo
Behera <i>et al.</i> (2010); Bréda (2006); Cutini <i>et al.</i> (1998); Gower <i>et al.</i> (1999); Shinzato <i>et al.</i> (2014)	direto por instrumentos
Behera <i>et al.</i> (2010); Bréda (2006); Demarez <i>et al.</i> (2008); Gower <i>et al.</i> (1999); Jonckheere <i>et al.</i> (2004); Lalic e Mihailovic (2004); Meir, Grace e Miranda (2010); Shinzato <i>et al.</i> (2014); Van Gardingen <i>et al.</i> (1999); Zhang, Chen e Miller (2005)	Indireto por imagens hemisféricas
Bréda (2006); Carlson e Ripley (1997); Chen <i>et al.</i> (2006); Gower <i>et al.</i> (1999); Jonckheere <i>et al.</i> (2004); Meir, Grace e Miranda (2010); Shinzato <i>et al.</i> (2014)	Indireto por sensoriamento remoto

Fonte: Silva (2016, p.28)

Dessa forma, após o resultado do IAF de cada espécie vegetal é possível obter o valor do DAF. Segundo Weiss *et al.* (2004), o DAF é definido como a área de um lado da folha por camada horizontal de volume, ou seja, em uma capa previamente definida, são medidos o volume ocupado da copa nesse trecho e a soma da área de todas as folhas nesse espaço. Levando em consideração um indivíduo arbóreo, o DAF irá variar de acordo com a camada analisada, pois a copa geralmente muda de forma conforme sua altura.

Sorte (2016), avalia o “desempenho térmico de paredes verdes compostas por diferentes espécies vegetais, de hábito trepador, nativas do Cerrado. A avaliação foi realizada por meio de simulação computacional com o *software* ENVI-met.” (SORTE, 2016, pág.17). Os dados de IAF foram coletados utilizando o método direto e destrutivo, cada indivíduo foi reduzido a 1 m de caule principal e todas as folhas foram removidas para medição em um *scanner* de área foliar modelo CI-202. Utilizou-se a média entre elas para obtenção de área foliar. “O valor de DAF então se deu por uma razão da área total foliar sobre o volume do tronco de pirâmide.” (SORTE, 2016, pág. 76). Os resultados demonstraram que a espécie *Arrebideaea pulchra* possibilitou paredes verdes com menores temperaturas e maiores taxas de umidade relativa do ar.

### **3.4. Considerações finais do capítulo**

Este capítulo teve como objetivo apresentar e discutir o papel da vegetação no microclima urbano, a partir da investigação de estudos sobre o tema.

Inicialmente, faz-se uma breve descrição da vegetação do cerrado, a partir da classificação climática de Köppen. Em seguida, destacou-se, dos principais efeitos que a vegetação provoca no microclima urbano, a alteração na temperatura do ar e umidade do ar. Esses benefícios se dão, principalmente, através da evapotranspiração e do sombreamento que as árvores provocam. Posteriormente foram analisados os benefícios da vegetação em relação à ventilação.

Em todos os estudos apresentados observou-se diferenças dos efeitos que cada espécie arbórea provoca no microclima, desde a diferença entre temperaturas do ar, umidade e velocidade do vento. Essa diferença se dá, principalmente, pelo tipo de folhagem, tamanho e formato da copa, posição no ambiente e pelo Índice de área foliar (IAF), base para cálculo da DAF.

O IAF é apresentado no capítulo como um importante parâmetro para verificar a interação entre atmosfera e superfície do solo por meio da troca de energia das folhas das árvores. Posteriormente, apresenta-se os principais métodos para obtenção dos valores de IAF e o estudo de Sorte (2016), utilizada como base para o cálculo desta pesquisa, que utiliza o método direto e destrutivo.

Dentre todos os estudos apresentados no capítulo, nota-se também que a grande maioria utiliza de medições em campo e simulação computacional para obtenção e análise dos dados microclimáticos. Esses são métodos amplamente utilizados na área acadêmica e que possuem resultados satisfatórios. O próximo capítulo apresenta a descrição do método de simulação para análise do microclima urbano.

## 4. SIMULAÇÃO E A ANÁLISE DO MICROCLIMA URBANO

Este capítulo trata do método de simulação computacional como forma de análise do microclima urbano, assim como a evolução nos estudos sobre o microclima urbano e a vegetação. Na primeira parte do capítulo, conceitua-se o processo de simulação computacional e aborda a sua aplicabilidade ao apresentar estudos de caso que utilizaram este programa e obtiveram bons resultados. Utilizou-se os estudos de Silva (2009), Shinzato (2009) e Shinzato e Duarte (2017). Na segunda parte descrevem-se as etapas de modelagem, criação de arquivo climático, extração e análise de dados da simulação no ENVI-met 5.0.1. Por fim, destaca-se o Albero do ENVI-met, onde é possível editar e inserir os dados sobre vegetação, que possibilita ao programa diferenciar os resultados climáticos de acordo com as espécies vegetais e suas características particulares. Para isso foram agrupados os estudos de Chen *et al* (1997), Bruse (2000), Shinzato e Duarte (2012), Silva (2016) e Sorte (2016).

## 4.1. Simulação Computacional e o Microclima Urbano

A simulação computacional é um método de estudo do clima urbano que permite analisar cenários e avaliar estratégias para melhoria do microclima.

Dentre os programas existentes para simulação computacional, destaca-se o ENVI-met, programa bastante utilizado nos estudos sobre microclima urbano. A utilização do programa para avaliar a relação da arborização urbana com o microclima urbano mostrou-se bastante aceita na área acadêmica (SILVA, 2009, SHINZATO, 2009 e SHINZATO E DUARTE, 2017).

Segundo Silva (2013), o programa oferece diversos parâmetros ambientais, pois opera por meio de uma plataforma tridimensional onde avalia as interações entre a vegetação, o solo e o ar. Considera, dentre diversos parâmetros: temperatura, umidade, radiação e ventilação. O tipo de cálculo inclui: radiação de onda curta e longa, fluxo de sombreamento, reflexão e irradiação do edifício e a vegetação.

Silva (2009) analisa o desempenho ambiental da arborização urbana inserida na via pública em Teresina – Piauí através de simulações computacionais realizadas no ENVI-met. A pesquisa demonstra que o espaço público das vias possui seu microclima diferenciado de acordo com a quantidade e conformação de arborização.

Shinzato (2009) analisa os efeitos da vegetação nas condições microclimáticas urbanas em São Paulo, através de simulações no ENVI-met e por meio de medições em campo. Os resultados mostraram que o efeito da vegetação é local e não ocorre uma influência significativa muito além dos limites das áreas verdes. Em relação à intensidade do efeito da vegetação, a diferença média entre as temperaturas do ar nas áreas verdes arborizadas e as ruas adjacentes é de 1,5°C. Já o sombreamento pelas árvores de copa densa (LAI = 10), mostrou diferença média de 23°C nas temperaturas superficiais do solo, embaixo da copa.

Shinzato e Duarte (2017) investigam o impacto da vegetação nos microclimas urbanos em São Paulo, abaixo do dossel, em função das interações solo-vegetação-atmosfera. Utilizou-se os métodos de medições com o registro de dados microclimáticos por duas estações meteorológicas e o levantamento de dados de estações fixas externas, além das variáveis do dossel arbóreo e do solo; e de simulação computacional, após a calibração entre dados medidos

e simulados pelo modelo ENVI-met 3.1 simulou-se, de um mesmo cenário, variando-se as características do dossel. Dois métodos não destrutivos indiretos foram utilizados para estimar o índice de área foliar (IAF): com o equipamento LAI-2000 e pós-processamento de fotos hemisféricas. Conclui-se que, dentre todas as variáveis medidas e simuladas, os valores da temperatura radiante média são os mais impactados sob o dossel da vegetação arbórea, influenciando diretamente o conforto térmico.

Segundo Shinzato (2014) o *software* ENVI-met se mostra eficiente na análise da contribuição da vegetação no microclima urbano, já que considera não apenas o efeito de sombreamento das árvores, mas também o processo fisiológico de fotossíntese e abertura dos estômatos.

“Em relação à vegetação, este modelo determina a temperatura média nas folhas por meio do cálculo do balanço térmico que considera a condição climática e fisiológica da planta. O cálculo do fluxo de radiação inclui sombreamento, absorção e re-emissão da radiação por outras partes da planta”.  
(SHINZATO, 2014, p. 76)

## **4.2. Etapas da simulação computacional no ENVI-met**

A simulação computacional no *software* ENVI-met 5.0.1 segue as seguintes etapas: (1) Modelagem do cenário; (2) Inserção dos dados climáticos da área de estudo; (3) Simulação computacional; (4) Extração e análise dos dados simulados.

### **4.2.1. Modelagem**

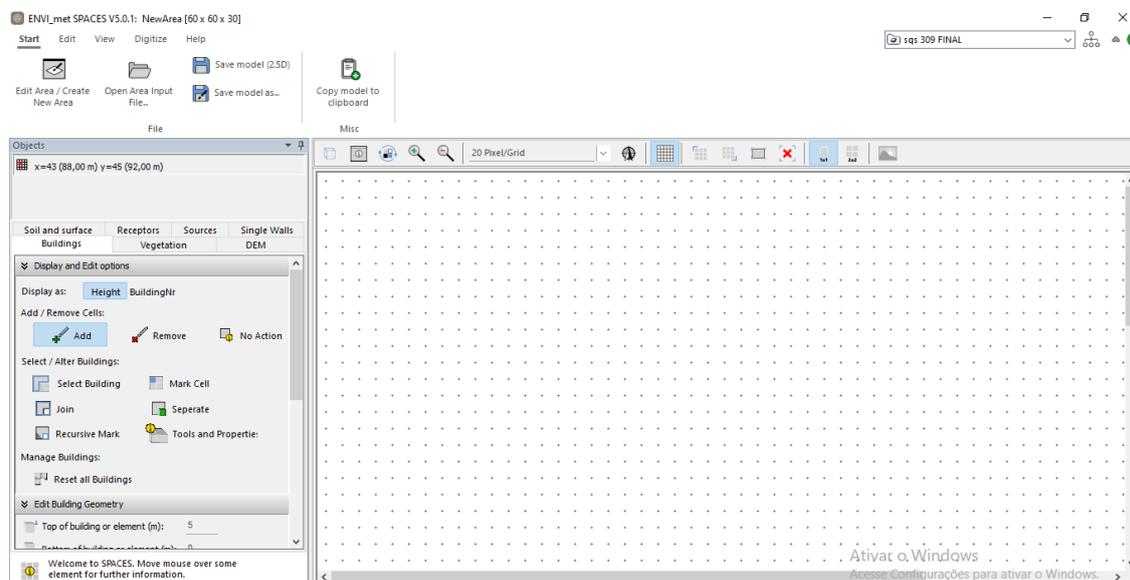
A modelagem do cenário que será simulado é feita pelo ícone “SPACES”, localizada na aba do “Headquarter” do ENVI-met 5.0.1 (Figura 14).

Figura 14: Barra de tarefas do ENVI-met 5.0.1



Após iniciar o “SPACES” (Figura 15) deve-se entrar no ícone “Edit Settings/ Create new area” na aba “Model Settings” onde é possível inserir a cidade e país da área de estudo, longitude e latitude do local, fuso horário, altitude em relação ao nível do mar e grau de rotação do norte. Além disso, edita-se a malha de modelagem que possui três dimensões (x, y e z). Essa malha determina o tamanho da área em que o cenário será modelado. Ainda nas configurações da área, deve-se editar o valor de nesting.

Figura 15: Ambiente do ícone SPACES do ENVI-met 5.0.1



Inserir-se uma imagem satélite da área de estudo e, a partir desta imagem, realiza-se a modelagem do cenário. O tipo de solo, materiais de cobertura do solo, altura e material da fachada é definido buscando o mais próximo possível da realidade dentro das opções encontradas no banco de dados do programa. O banco de dados disponibiliza opções de espécies arbóreas, mas também é possível editar ou criar novas espécies através da aba “ALBERO”.

## 4.2.2. Dados climáticos

Os dados climáticos da área devem ser inseridos no programa para que seja possível iniciar a simulação. Para isso, cria-se um arquivo climático a partir da aba ENVI-guide (Figura 16).

Figura 16: Barra de tarefas do ENVI-met 5.0.1



Segundo SILVA (2020), existem dois métodos para inserção de dados climáticos: Simple Forcing e Full Forcing. No método Simple Forcing é necessária a coleta, pelo próprio pesquisador, de cada dado climático da cidade onde localiza-se a área de estudo, sendo: velocidade e direção do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar mínimas e máximas para o dia simulado; dessa forma, o software forçará o comportamento dos parâmetros climáticos durante um dia inteiro. Já no método Full Forcing é possível utilizar um arquivo climático já configurado, por exemplo, em formato “EPW” (Energy Plus Weather), para a cidade onde localiza-se a área de estudo, sendo que esta opção diminui as chances de erro, visto que não há a necessidade de que o próprio pesquisador insira os dados individualmente.

## 4.2.3. Extração de dados e análise de dados

A simulação computacional é feita a partir do ícone ENVI-core (Figura 17).

Figura 17: Barra de tarefas do ENVI-met 5.0.1



Após selecionar a pasta onde todos os arquivos criados foram agrupados e inserir o arquivo climático, também previamente criado, inicia-se a simulação.

Para a extração dos dados climáticos simulados utiliza-se o ícone “LEONARDO” (Figura 18).

Figura 18: Barra de tarefas do ENVI-met 5.0.1

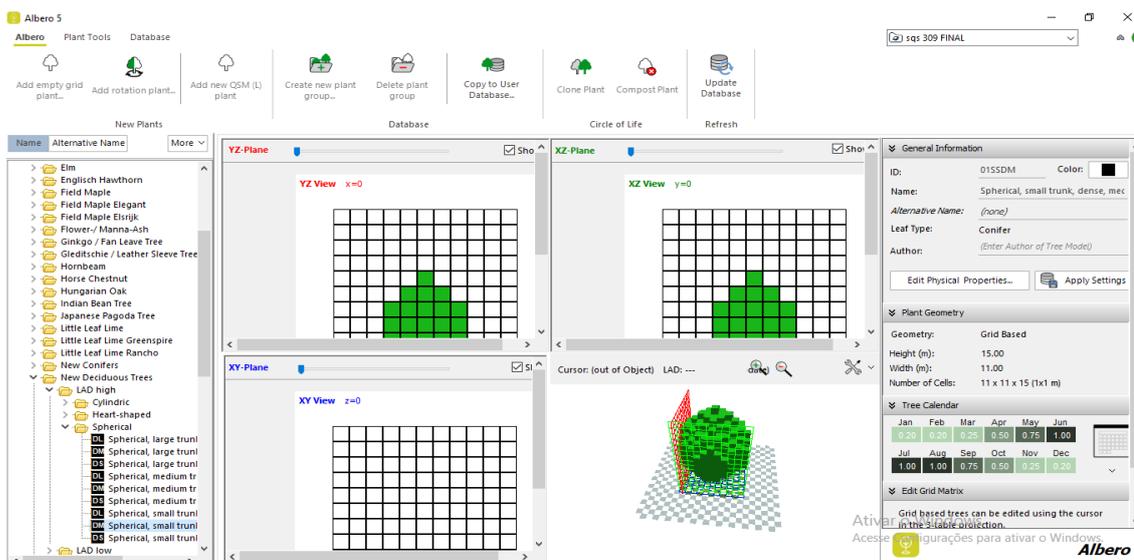


É possível extrair dados como temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante e velocidade dos ventos. Dentro do “LEONARDO” gera-se mapas de cada dado extraído, de acordo com a necessidade do pesquisador. É possível editar as legendas, o que facilita a representação do dado e a leitura do resultado da pesquisa.

#### 4.2.4. Configuração das espécies arbóreas no ENVI-met

Para análise da contribuição microclimática de cada espécie vegetal, o *software* possui um banco de dados, denominado “ALBERO” (Figura 19), onde é possível inserir parâmetros fisiológicos e morfológicos de cada espécie. A nova atualização do *software* (ENVI-met 5.0.1.) inclui diversas espécies arbóreas em seu banco de dados, o que facilita as pesquisas na área.

Figura 19: Ambiente do ALBERO do ENVI-met 5.0.1



Dentro do “ALBERO” é possível criar uma espécie vegetal do início ou editar uma espécie preexistente. É possível editar altura, largura da copa, capacidade de fixação de CO<sub>2</sub>, albedo da folhagem, profundidade e diâmetro das raízes e densidade de área foliar (DAF), parâmetros importantes para análise da vegetação no microclima urbano.

### 4.3. Considerações finais do capítulo

A primeira parte deste capítulo teve como objetivo apresentar um panorama das pesquisas que utilizaram o programa ENVI-met para simulação computacional nos estudos sobre o microclima urbano. A partir desta revisão bibliográfica pode-se comprovar a eficiência do *software* nos estudos sobre a relação da arborização urbana com o microclima urbano.

Posteriormente destacaram-se as etapas a serem seguidas dentro do programa ENVI-met 5.0.1 para extração e análise de dados microclimáticos. Destacou-se também o ícone “ALBERO”, onde é possível editar o banco de dados existente de espécies vegetais. Para que a simulação seja o mais real possível, e para que seja analisada a contribuição de cada espécie vegetal encontrada nas áreas de estudo, é possível inserir, no “ALBERO” os parâmetros fisiológicos e morfológicos de cada espécie.

O próximo capítulo apresenta o contexto urbano e climático de Brasília e, logo a seguir, destaca as superquadras objetos de estudo desta pesquisa.

## 5. BRASÍLIA: TERRITÓRIO E CLIMA

Este capítulo apresenta informações gerais sobre a cidade de Brasília e, mais especificamente, sobre as áreas de estudo. A primeira parte do capítulo trata do contexto urbano de Brasília, com dados do IBGE e estudos do Plano Piloto de Lucio Costa. A segunda parte do capítulo apresenta as características climáticas de Brasília, com classificação segundo Köppen-Geiger, caracterização climática pela ANBT (2004) e dados do INMET (2020). Em seguida, apresenta-se um estudo sobre a vegetação urbana em Brasília. Por fim, a terceira e última parte do capítulo traz um estudo mais detalhado sobre as superquadras objetos de estudo: SQS 308/309.

## 5.1. Caracterização Urbana de Brasília

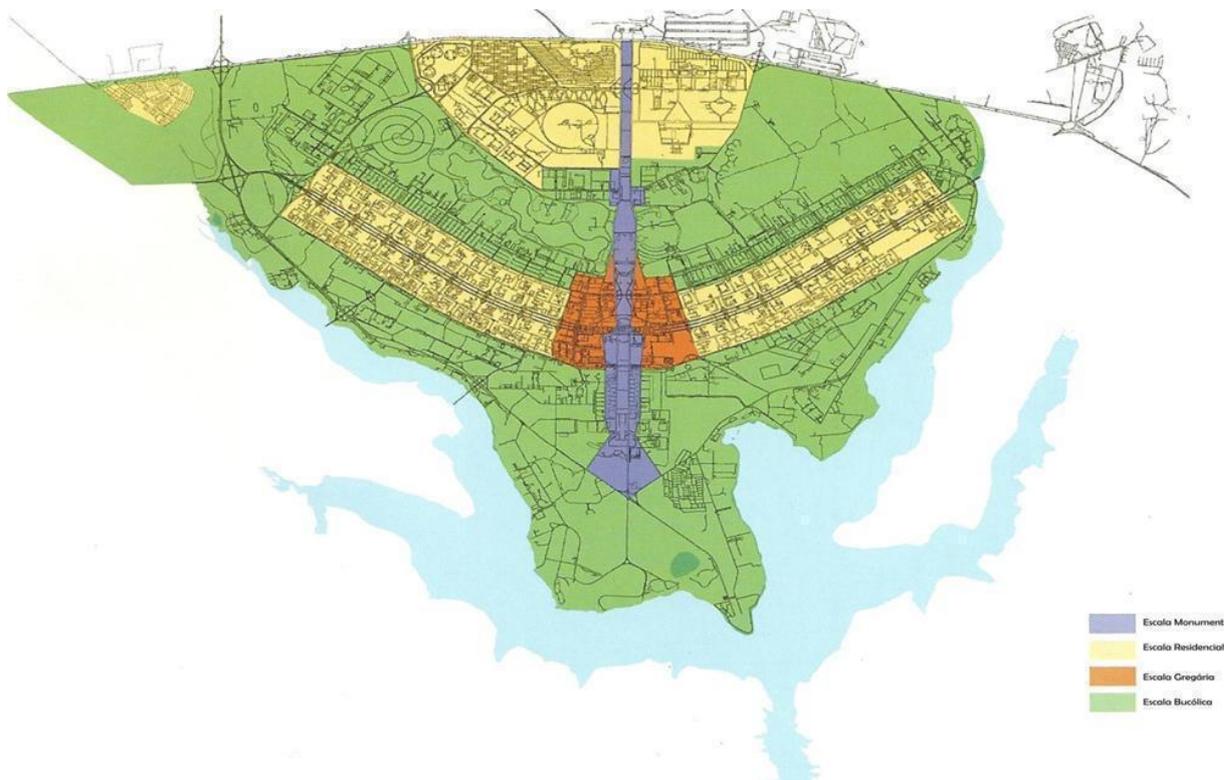
Brasília localiza-se no Centro-Oeste brasileiro, na região geográfica denominada Planalto Central, entre os paralelos 15°30' e 16°03' e os meridianos 47°18' e 48°17' (oeste de Greenwich), a uma altura de aproximadamente 1.070 metros acima do nível do mar. Inaugurada em 1960, tornou-se um dos grandes polos atratores de população no Brasil. Hoje, Brasília e o Distrito Federal tem um dos maiores índices de crescimento populacional do país, com uma população de aproximadamente 3.015.268 pessoas (IBGE, 2019).

Seu Plano Piloto, projetado por Lucio Costa, é um Patrimônio Mundial da Unesco e utilizou como guia os princípios do movimento modernista como a monumentalidade, ordem, forma e função com foco na coletividade. O traçado urbano da cidade parte de dois eixos perpendiculares, destinados respectivamente ao setor público e ao setor privado, com concentração de atividades mistas na intersecção dos dois elementos. Lucio Costa considerou ainda a topografia local e a orientação favorável.

Segundo Romero (2011), para a localização da nova capital do Brasil, buscou-se superar os problemas das cidades em planejamento, baseando a seleção do sítio em fatores econômicos e científicos, bem como nas condições do clima e a beleza do lugar.

A concepção urbana pode ser observada em quatro escalas distintas, baseadas na separação de funções: monumental, residencial, gregária e bucólica. A escala monumental é representada pelo eixo leste-oeste, onde se concentram as atividades administrativas, marcos visuais. A escala residencial, localizada no norte e áreas do Sul, concentra as superquadras, dispostas em blocos com edifícios residenciais, entrequadras com escolas, igrejas e áreas verdes públicas. A escala gregária situa-se em torno da intersecção de leste-oeste e norte-sul e é configurado pelos setores financeiro, comercial, hoteleiro, hospitalar, rádio e TV, compreende também espaços públicos, como a Praça do Povo. Por fim, a escala bucólica, caracterizada por incorporações de paisagens naturais e edificações espaçadas e de baixa densidade, como o Palácio da Alvorada. A Figura 20 indica o zoneamento de Brasília.

Figura 20: Zoneamento de Brasília



Fonte: Brasília: preservando o patrimônio da humanidade (2010)

Este estudo delimita-se na escala residencial, utilizando como recorte duas superquadras da Asa Sul e duas superquadras da Asa Norte, que serão estudadas com maior detalhe durante o trabalho.

## 5.2. Caracterização Climática de Brasília

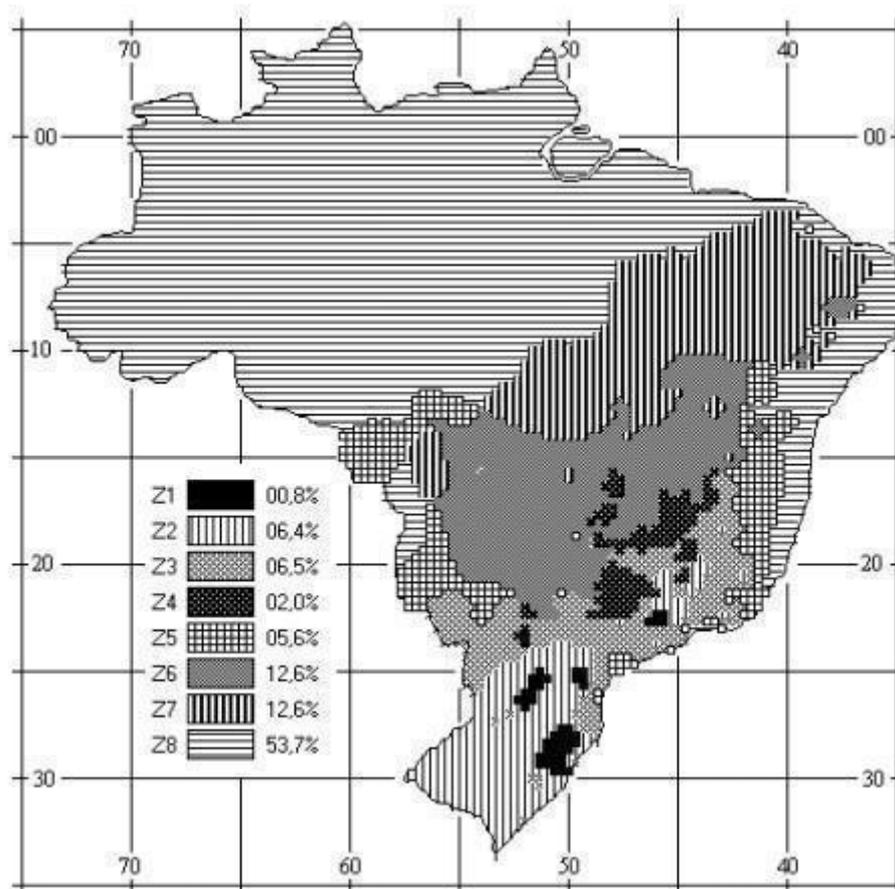
De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, Brasília apresenta um clima de categoria Aw, Cwa e Cwb, que equivalem ao clima mesotérmicos úmidos de verão quente e de verão fresco. Pode ser classificado como Tropical de Altitude e é marcado por estações do ano bem definidas:

- Período quente-úmido: verão chuvoso, de outubro a abril.
- Período quente-seco: inverno seco, de maio a agosto.

Em relação aos aspectos bioclimáticos, a ABNT (2004), na norma NBR 15.220 desenvolveu uma metodologia que subdividiu o Brasil em oito zonas bioclimáticas (Figura 21). A norma foca especificamente em diretrizes para habitação de interesse social e apresenta o

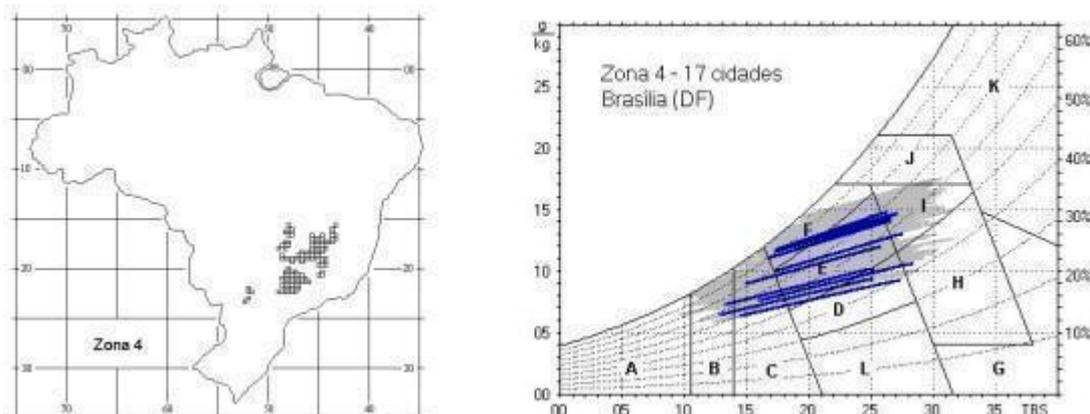
território brasileiro dividido em 8 zonas, relativamente homogêneas quanto ao clima. A partir dessas informações o clima de Brasília foi inserido na zona 4, conforme Figura 23. Para caracterizar o clima, a ABNT (2004) utilizou variáveis climáticas como médias mensais das temperaturas máximas, temperaturas mínimas e umidade relativa do ar.

Figura 21: Zoneamento climático Brasileiro



Fonte: ABNT (NBR15.220, 2004)

Figura 22: Caracterização climática da Zona Bioclimática 4



Fonte: ABNT (NBR15.220, 2004)

Dessa forma, o zoneamento bioclimático tem foco no desempenho térmico das edificações e dá recomendações arquitetônicas para o conforto térmico em Brasília –DF. Como este trabalho tem a dimensão do desenho urbano, Silva (2013) destaca que, para organizar uma caracterização macroclimática, é fundamental a consulta dos dados oficiais do clima urbano disponibilizados pelo INMET. “Nesse sentido, o INMET estabelece que os dados climáticos podem ser resumidos nas “normais climatológicas”. Para o DF, apenas a cidade de Brasília possui dados capazes de formatar as normais climatológicas”. (SILVA, 2013, p. 72)

Utilizou-se, portanto, as informações do INMET, com estação localizada no Setor Sudoeste e outra no Aeroporto Internacional de Brasília Juscelino Kubitschek. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), as Normais Climatológicas devem ser calculadas por meio de coleta de dados de um período longo e uniforme com duração mínima de trinta anos. Os gráficos referem-se aos períodos de 1981-2010 (Figura 23 e Figura 24).

Figura 23: Normais climatológicas período quente-úmido

Normal Climatológica INMET (1981- 2010)											
Mês	Pressão atmosférica (hPa)	Temperatura Média	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Precipitação Total (mm)	Evaporação total (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação Total (horas)	Nebulosidade (0-10)	Direção Resultante do Vento	Intensidade do vento (m/s)
Janeiro	885,4	21,6	26,5	18,1	209,4	139,8	76,2	150,9	8	N	3,4
Fevereiro	886	21,7	27	18	183	135	74,7	158,9	7	NE	3,1
Março	885,8	21,6	26,7	18,1	211,8	132,4	76,8	166,5	7	NE	3
Abril	886,8	21,3	26,6	17,5	133,4	150,3	72,2	204,6	6	E	3
Maio	887,8	20,2	25,9	15,6	29,7	174,1	66,2	239,5	5	E	2,9
Junho	889,3	19	25	13,9	4,9	203,8	58,7	254,3	4	E	3,1
Julho	889,7	19	25,3	13,7	6,3	255,2	52,7	268,9	3	E	3,4
Agosto	889,1	20,6	26,9	15,2	24,1	318,3	46,8	264,4	3	E	3,4
Setembro	887,5	22,2	28,4	17,2	46,6	308,3	50,3	210,5	5	E	3,3
Outubro	886,1	22,4	28,2	18,1	159,8	232,2	62,8	183,1	7	E	3,1
Novembro	885,2	21,5	26,7	18	226,9	144	74,5	139,9	8	NE	3
Dezembro	885,1	21,4	26,3	18,1	241,5	124	78	126,8	8	NW	3,2

Fonte: INMET (2020)

Figura 24: Normais climatológicas período quente-seco

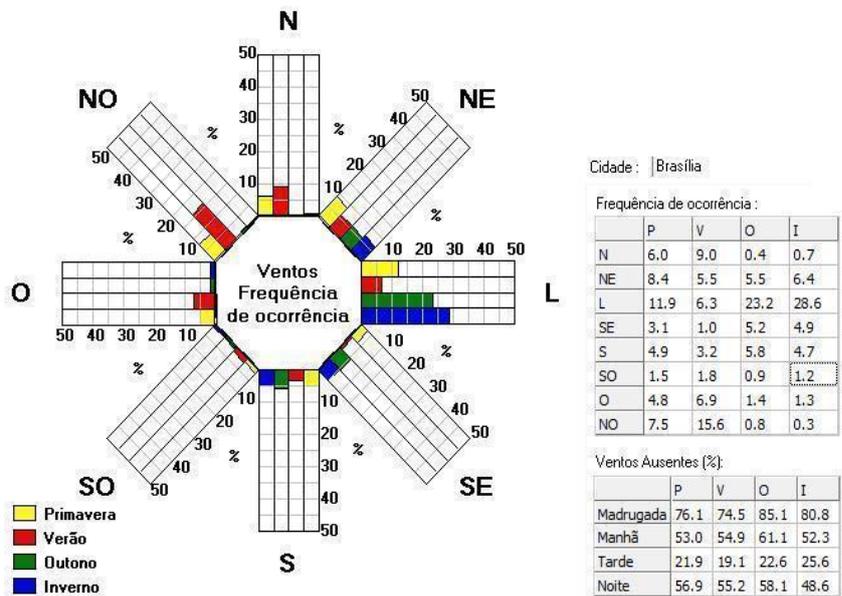
Normal Climatológica INMET (1981- 2010)											
Mês	Pressão atmosférica (hPa)	Temperatura Média	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Precipitação Total (mm)	Evaporação total (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação Total (horas)	Nebulosidade (0-10)	Direção Resultante do Vento	Intensidade do vento (m/s)
Janeiro	885,4	21,6	26,5	18,1	209,4	139,8	76,2	150,9	8	N	3,4
Fevereiro	886	21,7	27	18	183	135	74,7	158,9	7	NE	3,1
Março	885,8	21,6	26,7	18,1	211,8	132,4	76,8	166,5	7	NE	3
Abril	886,8	21,3	26,6	17,5	133,4	150,3	72,2	204,6	6	E	3
Maio	887,8	20,2	25,9	15,6	29,7	174,1	66,2	239,5	5	E	2,9
Junho	889,3	19	25	13,9	4,9	203,8	58,7	254,3	4	E	3,1
Julho	889,7	19	25,3	13,7	6,3	255,2	52,7	268,9	3	E	3,4
Agosto	889,1	20,6	26,9	15,2	24,1	318,3	46,8	264,4	3	E	3,4
Setembro	887,5	22,2	28,4	17,2	46,6	308,3	50,3	210,5	5	E	3,3
Outubro	886,1	22,4	28,2	18,1	159,8	232,2	62,8	183,1	7	E	3,1
Novembro	885,2	21,5	26,7	18	226,9	144	74,5	139,9	8	NE	3
Dezembro	885,1	21,4	26,3	18,1	241,5	124	78	126,8	8	NW	3,2

Fonte: INMET (2020)

A partir da análise dos gráficos do INMET, nota-se a presença dos dois períodos marcantes do ano, o seco e o chuvoso, sendo eles o inverno e o verão, respectivamente.

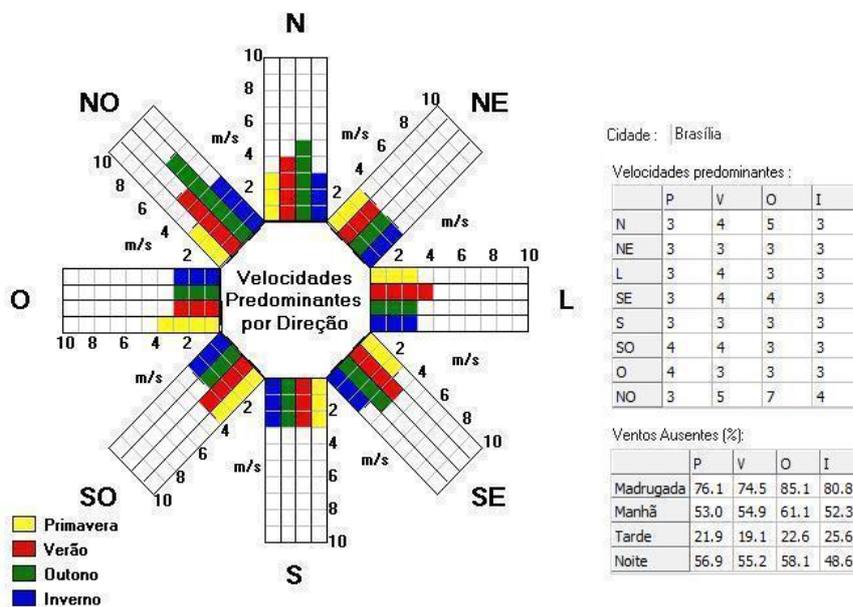
Em relação à ventilação, os ventos moderados e constantes sopram do Leste, sendo os ventos sudeste e leste mais constantes no inverno seco e os ventos noroeste no verão chuvoso (Figura 25 e Figura 26). Segundo Romero (2001), os ventos, apesar de moderados aparecem constantemente e, juntamente com a radiação solar e as chuvas, são os principais elementos a influir no espaço construído.

Figura 25: Rosa dos ventos de Brasília – Ventos por frequência de ocorrência



Fonte: Software Sol-Ar

Figura 26: Rosa dos ventos para Brasília – Velocidades predominantes por direção



Fonte: Software Sol-Ar

### 5.3. A Vegetação em Brasília

Segundo Medeiros (2016), na concepção urbanística de Brasília, embora fossem muito valorizadas as áreas verdes como indicador de qualidade de vida, não houve preocupação em manter a cobertura vegetal nativa.

“Uma consequência da expansão urbana na cidade tem sido a redução de áreas com vegetação nativa devido às intervenções que desconsideram completamente os elementos naturais do bioma do Cerrado, tanto nos espaços livres privados quanto públicos. Do ponto de vista ecológico, a urbanização ocorrida durante décadas no Distrito Federal causou o isolamento de áreas, afetando a flora e a fauna da região e trazendo prejuízos à biodiversidade”. (MEDEIROS, 2016, p.8).

Medeiros (2008), destaca que, em relação à paisagem das áreas residenciais da orla do Lago Paranoá, praticamente foi eliminado o ecossistema nativo do Cerrado, inserindo-se uma biodiversidade exótica, que requer cuidados incompatíveis com as condições ecológicas locais: regas diárias na época de seca, correção do ph do solo, adubação excessiva, uso de inseticidas, entre outros.

Já em relação à construção das Superquadras de Brasília, segundo Lima (2003), inicialmente, foram introduzidas plantas provenientes de outras regiões do Brasil e do mundo, sem se preocupar em resguardar as características do ecossistema existente. Com o passar dos anos começaram os problemas do uso de espécies exóticas em larga escala, como amarelecimento, queda das folhas, exsudações nos troncos e morte de grande número de indivíduos.

A solução, segundo Lima e Júnior (2010), foi utilizar espécies do Cerrado mais adaptadas às condições de solos e clima. Os procedimentos para seleção de novas espécies foram e têm sido a identificação destas na vegetação nativa regional, possibilidade de coleta de sementes, produção de mudas de viveiro e plantio nas áreas verdes da cidade para avaliação de seu comportamento.

Lima (2009), descreve que Brasília despertou polêmicas relativas à arborização do Plano Piloto, devido a questionamentos sobre a quantidade e qualidade das árvores, como

também aspectos de seu paisagismo, se correspondem ou não ao que foi proposto por Lucio Costa.

“Uma das questões versa sobre a variedade das espécies utilizadas nas cintas verdes das quadras, nem sempre correspondentes aos maciços homogêneos previstos pelo urbanista. A significativa morte de árvores, na década de 70, despertou o temor de que algumas espécies pudessem desaparecer, como as cássias, ocasionando perdas totais da arborização já consolidada”. (LIMA, 2009, pág.31).

Segundo Lima (2009), a arborização dos espaços livres das superquadras, em sua grande parte, foi realizada sem projeto. Dentre aquelas urbanizadas com projeto de Burle Marx as mais conhecidas são as SQS 114 e 308. Nessas quadras, houve a introdução de algumas espécies que não eram utilizadas na época, como a Tamareira e Palmeira Imperial na SQS 308.

Vianna (2018), descreve que os “cinturões verdes” das Superquadras foram planejados tendo em vista a redução da temperatura e do aumento da umidade relativa do ar abaixo do dossel urbano. Ainda segundo a autora, os grandes eixos viários são também beneficiados pela arborização de médio e grande porte, situada nas ilhas e canteiros.

Lima (2009) descreve que, normalmente a escolha de espécies usadas na arborização leva em consideração fatores como: disponibilidade de sementes; germinação e estabelecimento das plântulas; velocidade de crescimento das mudas em viveiro; principais características ornamentais e troca da folhagem; ocorrência de pragas significativas; local de utilização na área urbana e avaliação do comportamento da espécie cultivada nas áreas verdes. Dessa forma, a autora descreve que as espécies do bioma cerrado que se destacaram são de vegetação tipo mata-galeria, ou de matas, seja de afloramento calcário ou seca semi-decídua.

Já segundo Medeiros (2016), entre espécies do Cerrado com grande vocação paisagísticas e que poderiam ser utilizadas nos espaços livres, estão diversas espécies de palmeiras (*Attalea sp.*, *Butia sp.*, *Syagrus sp.*), canelas-de-ema (*Vellozia sp.*, *Barbacenia sp.*), ipês (*Tabebuia áurea*, *Tabebuia ochracea*, *Tabebuia roseo-alba*), pequi (*Caryocar brasiliense*), cagaita (*Eugenia desinterica*), jacarandás (*Dalgerbia longi*), perobas (*Aspidosperma sp.*), gomeira (*Vochyseia thyrsoidea*), quaresmeira (*Tibouchina candoleana*), imbiruçu

(*Pseudobombax tomentosum*), chuveirinho (*Paepalanthus sp.*), mamacadeira (*Brosimum gaudichaudii*) bromélias, entre outras.

Portanto, a utilização de espécies nativas do cerrado foi a solução encontrada para melhoria da arborização na cidade de Brasília e se mantém até os dias de hoje, já que, segundo Lima e Júnior (2010), a recuperação da flora original pode trazer diversas vantagens, tais como dar identidade à arborização da cidade, melhorar as taxas de sobrevivência no plantio, promover maior longevidade às árvores no meio urbano, diminuir custos de manutenção, além da possibilidade de proporcionar contato da população local com a vegetação nativa.

## 5.4. Escala Residencial: As Superquadras

As superquadras de Brasília, são figuras quadradas, de dimensões uniformes com quarteirões de 240m x 240m, com edifícios residenciais, ora com quatro pavimentos, ora com seis pavimentos, e uma faixa 20 metros de vegetação que envolvem a área, totalizando 280x280m. São construídas sobre pilotis, e possuem, além dos edifícios residenciais, escolas, igrejas, comércios locais e áreas verdes públicas.

Inicialmente, a cada conjunto de quatro Superquadras, surgiria a composição de uma Unidade de Vizinhança, estabelecendo-se uma área comercial entre elas. Entretanto, este princípio foi implementado somente em um conjunto, localizado na Asa Sul. O sistema viário é composto por retornos, popularmente conhecidos como “tesourinhas”, para acesso às Superquadras, sem cruzamentos ou sinais de trânsito.

De acordo com Lucio Costa as superquadras seriam emolduradas por uma longa cinta densamente arborizada, árvores de porte, prevalecendo em cada quadra determinada espécie vegetal (Figura 27), planejados com o intuito de reduzir a temperatura do ar e aumentar a umidade relativa do ar.

Figura 27: Croqui de Superquadra com faixa arborizada



Fonte: Costa, 1991, pág. 33

“Com chão gramado e uma cortina suplementar intermitente de arbustos e folhagens, a fim de resguardar melhor, qualquer que seja a posição do observador, e conteúdo das quadras, visto sempre num segundo plano e como que amortecido na paisagem. Disposição que apresenta a dupla vantagem de garantir a ordenação urbanística mesmo quando varie a densidade, categoria, padrão ou qualidade arquitetônica dos edifícios, e de oferecer aos moradores extensas faixas sombreadas para passeio e lazer, independentemente das áreas livres previstas no interior das próprias quadras”. (COSTA, 1991, pág. 30)

Segundo Brino (2016), as superquadras residenciais construídas na Asa Sul são constituídas, de um modo geral, por onze projeções de 12,5x85m, o que totaliza aproximadamente 11.687,5m<sup>2</sup>, ou 935 metros lineares.

“Dispostas ortogonalmente entre si, as superquadras se caracterizam por apresentar uma disposição complexa dos blocos. Apenas duas superquadras possuem uma implantação diferenciada, as quais apresentam todos os prédios orientados na mesma direção, este é o caso da SQS 105 (noroeste) e da SQS 207 (norte). Em todas as superquadras estão presentes casos de prédios isolados, pareados e em série. Mas destas as duas primeiras situações são as mais comuns e constituem quase a totalidade das faixas 100, 200 e 300, já nas superquadras da faixa 400 a predominância é dos blocos em série.” (BRINO, 2016, pág. 3)

### 5.4.1. As Superquadras objetos de estudo

Como objeto de estudo, foram definidas duas Superquadras do Plano Piloto de Brasília: as Superquadras 308 e 309 Sul. A Figura 28 mostra a localização das SQS no Plano Piloto.

Figura 28: Localização das áreas de estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth. Acessado em 30/04/2020

A Superquadra 308 Sul é considerada uma “quadra-modelo” por ter sido objeto de projeto de Lucio Costa, Niemeyer e Athos Bulcão. Segundo Castelo Branco (2009), a denominação de quadra modelo consiste no fato de, juntamente com as Superquadras 107, 108 e 307, compor a unidade de vizinhança que mais se aproxima do conceito original.

O projeto da SQS 308 foi desenvolvido com características repetidas em quase todas as quadras da Asa Sul. Segundo Machado (2007) essas características são: o verde envolvendo todos os edifícios, os caminhos curvilíneos, as torres de circulação externas ao corpo da edificação e, portanto, em área pública, e a definição de um tipo de edifício que se repete por toda a quadra. As Figuras 29 e 30 mostram fotos da SQS 308 com destaque para pontos importantes da área, que a diferenciam das outras SQS.

Figura 29: Edifício de 4 pavimentos da SQS 308



Figura 30: Igrejinha presente na SQS 308



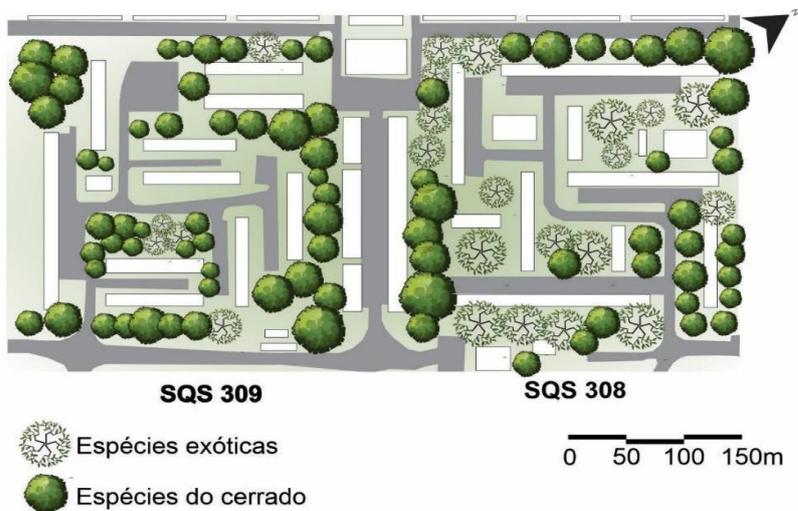
A SQS 309 segue as características das demais SQS, com edificações residenciais multifamiliares, de 6 pavimentos, com pilotis livres, liberando o chão para uso público indistinto. As Figuras 31 e 32 mostram fotos da SQS 309.

Figura 31: Edifício de 6 pavimentos da SQS 309    Figura 32: Circulação entre edifícios SQS 309



Ao analisar a vista superior da SQS 308 e 309 é possível perceber que a SQS 308 é mais densamente arborizada, com maior cobertura verde que a SQS 309. Em relação às espécies arbóreas a SQS 309 possui mais espécies nativas do cerrado, enquanto a SQS 308 possui mais espécies exóticas. Na Figura 33 vê-se a disposição dos edifícios e a distribuição vegetal das SQS objetos de estudo.

Figura 33: Disposição dos edifícios e vegetação das superquadras 308 e 309 Sul



Fonte: Elaborado pela autora

A contribuição da **vegetação** para redução de **ilhas de calor urbanas**: Estudo de caso em **Brasília**.

As Figuras 34 a 37 apresentam as fotos com destaque para as espécies arbóreas encontradas na área.

Figura 34: Vegetação da SQS 308 próxima ao lado



Figura 35: Vegetação da SQS 308

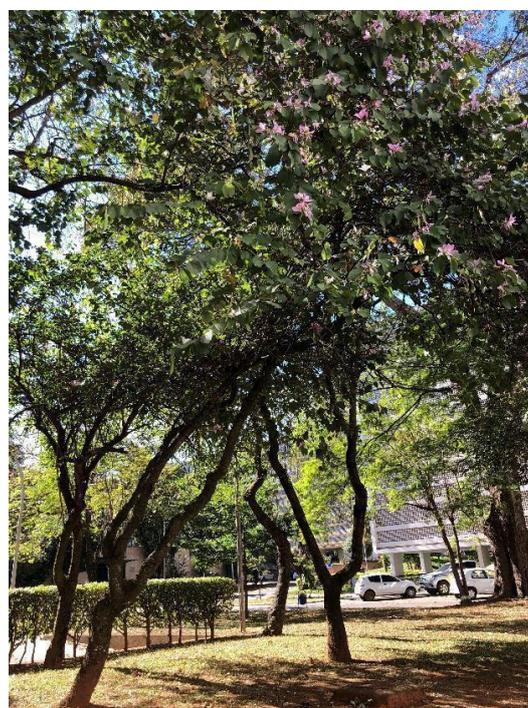


Figura 36: Vegetação da SQS 309



Figura 37: Vegetação da SQS 309



## 5.5. Considerações finais do capítulo

Este capítulo teve como objetivo apresentar o contexto urbano e climático da cidade de Brasília, local de estudo desta pesquisa. Em relação ao contexto climático, utilizou-se dados do INMET (2020) e ABNT (2004), além da classificação segundo Köppen-Geiger. Para contextualização urbana foram utilizados dados do IBGE e estudos de Lucio Costa, para entendimento da conceituação climática e das escalas urbanas de Brasília.

Dentre as escalas urbanas, destacou-se a escala residencial, que apresenta como caracterização a presença de espécies arbóreas diversificadas em sua moldura. Como objeto de estudo, foram analisadas as Superquadras 308/309 Sul.

Na próxima etapa do trabalho, serão realizados os levantamentos das espécies, medição em campo dos dados microclimáticos, cálculo do DAF e, por fim, a simulação computacional no ENVI-met, para análise da influência de cada espécie arbórea e da distribuição vegetal no fenômeno ICUs das Superquadras objetos de estudo.

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa de campo. O levantamento de dados foi dividido em quatro etapas: inicialmente foram levantadas as espécies arbóreas presentes nas superquadras objetos de estudo. Posteriormente calculou-se os dados de área foliar (IAF) e DAF das espécies selecionadas. Foram feitas as medições microclimáticas em campo e, por fim, a simulação computacional – apresentando detalhes do método e do software utilizado.

## 6.1. Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa foram organizados em duas etapas descritas a seguir.

### 1º Etapa: Levantamento de dados

Nesta etapa foram levantados os dados das áreas de estudo: relação das espécies arbóreas, medição das variáveis microclimáticas (temperatura do ar e umidade do ar) e dados físicos das espécies arbóreas - altura e cálculo da densidade de área foliar (DAF).

1. Inicialmente foi realizado o levantamento das espécies arbóreas existentes nas Superquadras 308/309 Sul. Foram analisadas todas as árvores e arbustos e criou-se um banco de dados com as espécies encontradas na área.

2. Posteriormente, foram coletados os dados microclimáticos de temperatura e umidade do ar da área. As medições microclimáticas foram realizadas a cada hora entre 9 e 21 h, considerando o período mais quente do ano. Utilizou-se o equipamento portátil termo-higroanemômetro para medir temperatura e umidade relativa do ar.

3. Mediu-se a altura de um indivíduo adulto de cada espécie arbórea já selecionada. Já para a coleta da Densidade de área foliar (DAF) das espécies arbóreas, primeiramente foi calculado o valor da área foliar. Foi utilizado o método direto e destrutivo, baseado nos estudos de Sorte (2016). Cada indivíduo foi reduzido a 1 metro de caule principal e todas as folhas desse caule foram removidas e digitalizadas por meio de uma câmera digital, posteriormente as imagens foram inseridas no *software* ImageJ, programa de edição, processamento e análise de imagem desenvolvido pela *National Institutes of Health* (NIH), que realizou o cálculo da área foliar. O DAF foi calculado pela razão entre a média das áreas foliares e o volume do tronco da pirâmide.

### 2º Etapa: Simulação computacional

Nesta etapa foram realizadas simulações computacionais com o software ENVI-met 5.0.1, que utiliza modelos tridimensionais para simular o microclima urbano.

1. Levantamento dos dados de entrada do modelo ENVI-met (dados climáticos e de vegetação local).

2. Modelagem 3D das Superquadras no programa ENVI-met, com as especificações geométricas e características superficiais necessárias ao uso do modelo.

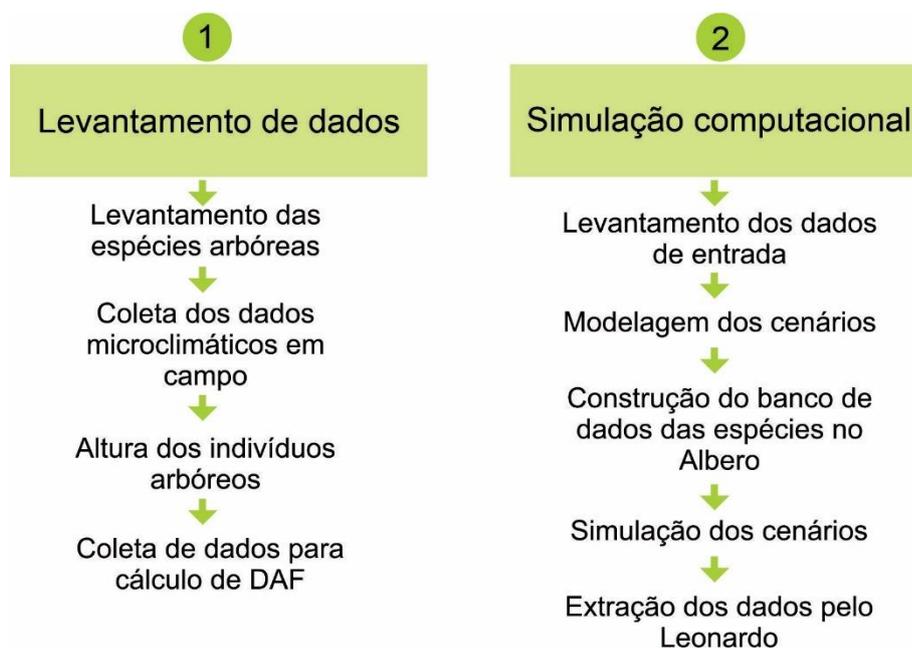
3. Construção de um banco de dados no programa ENVI-met com distinção entre cada espécie arbórea, denominado *Albero*, que tem como uma das principais variáveis o DAF

4. Simulação dos cenários propostos, como parâmetro para análise da contribuição microclimática da vegetação.

5. Também será utilizado o software *Leonardo*, como aporte para a representação dos resultados obtidos. Por fim, serão analisadas as contribuições das espécies arbóreas no microclima urbano utilizando como dado de saída a temperatura do ar.

Para demonstrar o percurso metodológico que foi desenvolvido na dissertação apresenta-se um fluxograma (Figura 38), nele foram resumidas todas as etapas do processo metodológico.

Figura 38: Fluxograma de métodos



Fonte: Elaborado pela autora

## 6.2. Levantamento das espécies arbóreas

O processo de levantamento das espécies arbóreas das Superquadras objetos de estudos iniciou no mês de junho de 2020 e finalizou-se no mês de agosto, tendo sido feitas diversas visitas para mapeamento e identificação das espécies. Foram consideradas árvores e arbustos. As espécies identificadas nas Figura 39 a 44, correspondem às espécies do cerrado e exóticas encontradas nas superquadras 308 e 309.

Figura 39: Espécies nativas do Cerrado encontradas nas SQS 309 e 308



Nome Popular: Mangueira

Nome científico: *Mangifera indica*

Família: *Anacardiaceae*

Características: Espécie de 35-40 m de altura e raio de copa próximo a 10 m. É a maior árvore frutífera do mundo.

Espécie nativa do cerrado

Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020



Nome Popular: Ipê Roxo

Nome científico: *Handroanthus avellanedae*

Família: *Bignoniaceae*

Características: Espécie com 20-35 m de altura e tronco com 60-80 cm de diâmetro.

Espécie nativa do cerrado

Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

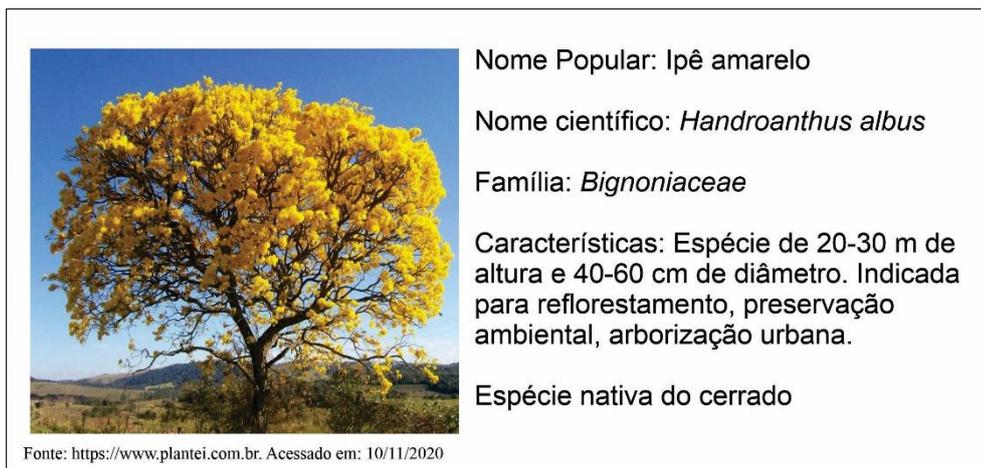
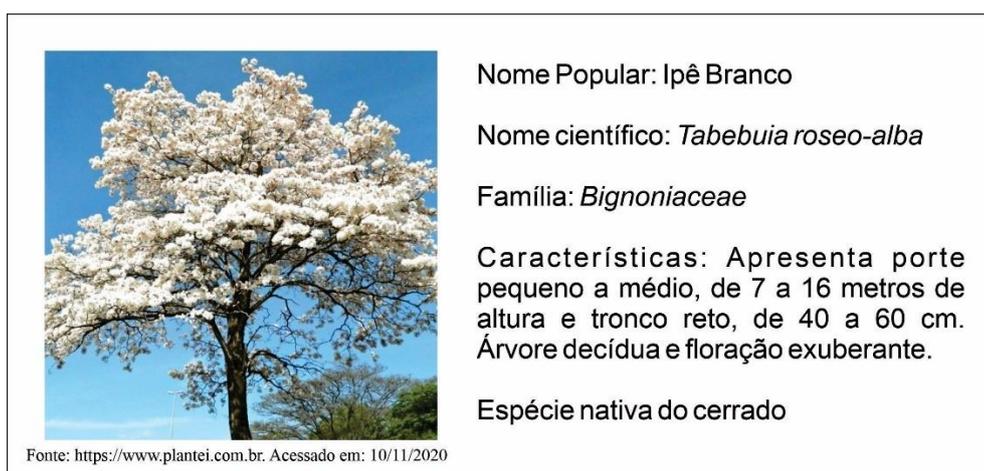
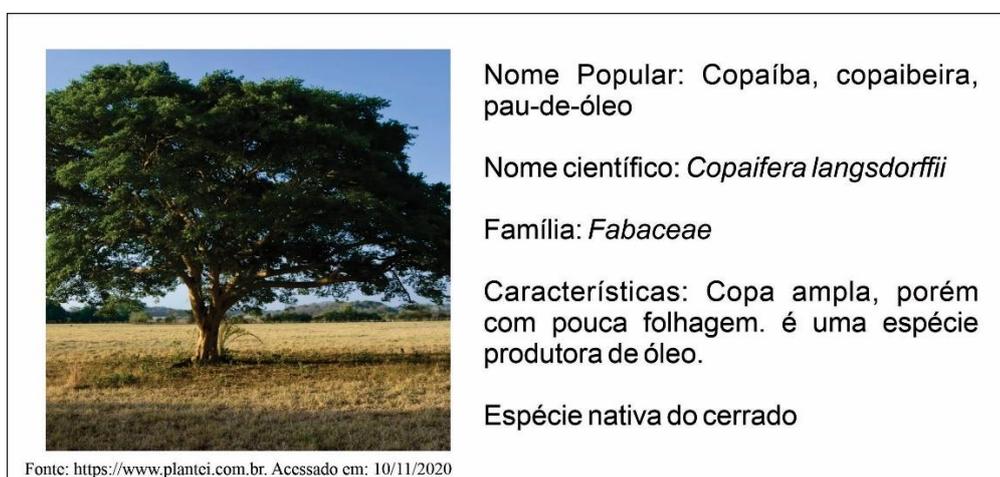


Figura 40: Espécies nativas do cerrado encontradas na SQS 308





Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Guanandi

Nome científico: *Calophyllum brasiliense*

Família: *Calophyllaceae*

Características: Altura de 20 a 30 m de altura, com diâmetro entre 40 a 60 cm. Copa arredonda.

Espécie nativa do cerrado



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Pata de vaca

Nome científico: *Bauhinia forficata*

Família: *Fabaceae*

Características: Porte médio alcança altura de 5 até 9 metros, tronco tortuoso com 40 cm de diâmetro.

Espécie nativa do cerrado



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Embaúba

Nome científico: *Cecropia Sp.*

Família: *Urticaceae*

Características: Altura de 10-15 m, dotada de copa corimbosa, com ramos eretos quase verticais. Tronco ereto e cilíndrico, fistuloso, de 20-30 cm de diâmetro

Espécie nativa do cerrado



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Pau-formiga

Nome científico: *Triplaris americana* L.

Família: *Polygonaceae*

Características: Árvore dioica que pode alcançar 20 metros de altura. Floresce de agosto a outubro. É uma planta perenifolia (cujas as folhas não caem antes de as novas já terem se desenvolvido).

Espécie nativa do cerrado



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Mulungu

Nome científico: *Erythrina velutina*

Família: *Fabaceae*

Características: Atinge dimensões próximas a 15 m de altura e 80 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo)

Espécie nativa do cerrado

Figura 41: Espécies nativas do cerrado encontradas na SQS 309



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Jacarandá Mimoso

Nome científico: *Jacaranda mimosifolia*

Família: *Bignoniaceae*

Características: A árvore Jacarandá Mimoso mede até 15 m de altura, com casca fina e acinzentada. Espécie pioneira de grande valor ornamental pelo porte e delicadeza de suas folhas, cor e abundância de suas flores

Espécie nativa do cerrado



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Ipê Rosa

Nome científico: *Handroanthus heptaphyllus*

Família: *Bignoniaceae*

Características: Possui o caule do tipo tronco, chegando a mais de 30 metros de altura e 90 cm de diâmetro. Folhas de coloração verde-escura, compostas, de distribuição oposta, medindo 6x10cm.

Espécie nativa do cerrado



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Ingá

Nome científico: *Inga edulis*

Família: *Leguminosae*

Características: Árvore de 10 a 15 metros de altura e com ramos longos e ramificados. Em cada vagem contêm muitas sementes envoltas por uma massa branca flocosa (alilo) que é a parte comestível.

Espécie nativa do cerrado



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Pequizeiro

Nome científico: *Caryocar brasiliense*

Família: *Cariocaráceas*

Características: Copa frondosa que pode chegar a 12 metros de altura. Suas folhas são grandes, cada uma composta por três grandes folíolos, cobertos por uma penugem e com as pontas entrecortadas.

Espécie nativa do cerrado

Figura 42: Espécies exóticas encontradas nas SQS 308 e 309

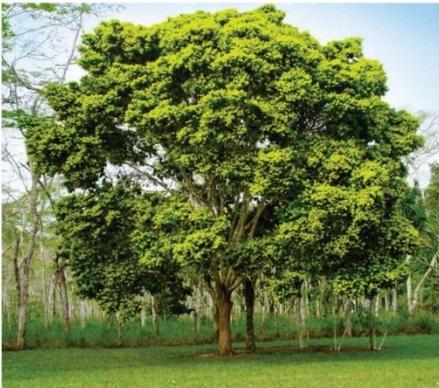
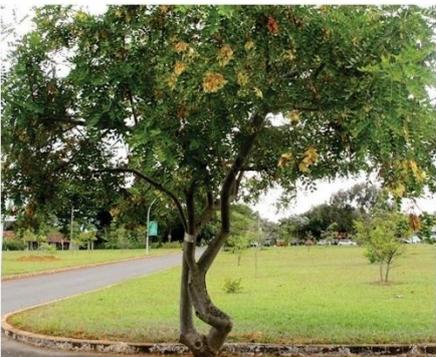
	<p>Nome Popular: Pau brasil</p> <p>Nome científico: <i>Caesalpinia echinata Lam</i></p> <p>Família: <i>Leguminosae</i></p> <p>Características: espécie arbórea com até 12 m de altura e 40-70 cm de diâmetro. Planta espinhenta com folhas compostas bipinadas de 10-15 cm de comprimento</p> <p>Espécie exótica</p>
<p>Fonte: <a href="https://www.plantei.com.br">https://www.plantei.com.br</a>. Acessado em: 10/11/2020</p>	

Figura 43: Espécies exóticas encontradas na SQS 308

	<p>Nome Popular: Sapucaia</p> <p>Nome científico: <i>Lecythis pisonis Cambess</i></p> <p>Família: <i>Lecythidaceae</i></p> <p>Características: Árvore com 20 ou 30 m de altura e tronco com cerca de 90 cm de diâmetro. Mas pode chegar a atingir 50m de altura e 1,50m de diâmetro do tronco, o qual é cilíndrico, reto e comprido.</p> <p>Espécie exótica</p>
<p>Fonte: <a href="https://www.plantei.com.br">https://www.plantei.com.br</a>. Acessado em: 10/11/2020</p>	

	<p>Nome Popular : Amendoim Bravo</p> <p>Nome científico: <i>Pterogyne nitens Tul.</i></p> <p>Família: <i>Fabaceae Leguminosae-Caesalpinioideae</i></p> <p>Características: Planta perenifolia, heliófita, espécie pioneira. Sua altura atinge até 20 metros e seu tronco até 60 cm.</p> <p>Espécie exótica</p>
<p>Fonte: <a href="https://www.plantei.com.br">https://www.plantei.com.br</a>. Acessado em: 10/11/2020</p>	



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Espatódea, Xixi de macaco

Nome científico: *Spathodea campanulata*)

Família: *Bignoniaceae*

Características: Atinge de 7 a 25 m de altura. Utilizada com frequência como planta ornamental. Tem raízes profundas.

Espécie exótica



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Flamboyant

Nome científico: *Delonix regia*

Família: *Fabaceae*

Características: Considerado uma das árvores mais belas do mundo, devido ao colorido intenso de suas flores. Frondosa, ela possui tronco forte e um pouco retorcido, podendo alcançar até 15 m de altura.

Espécie exótica



Fonte: <https://www.plantei.com.br>. Acessado em: 10/11/2020

Nome Popular: Mimosa

Nome científico: *Copaifera langsdorffii*

Família: *Fabaceae*

Características: arbusto a árvore perenifólia. As árvores maiores atingem dimensões próximas de 10 m de altura e 30 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), na idade adulta.

Espécie exótica

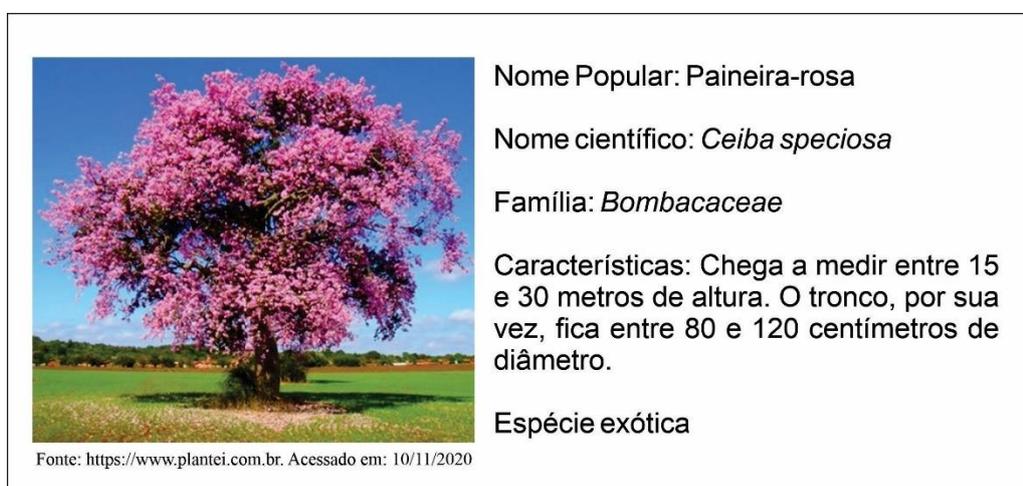
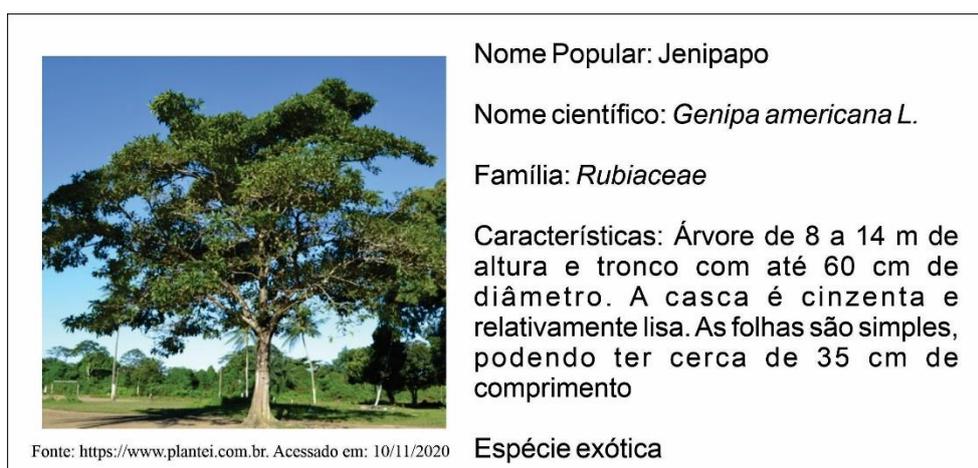


Figura 44: Espécies exóticas encontradas na SQS 309



Observou-se que a SQS 308 possui uma grande quantidade de espécies exóticas, sendo que, com o passar dos anos, foram inseridas algumas espécies nativas do Cerrado. Já na SQS 309, possui uma maior quantidade de espécies nativas do Cerrado e poucas espécies exóticas.

Após o levantamento das espécies arbóreas das superquadras 308 e 309 Sul foram selecionadas as espécies a serem estudadas na pesquisa. Buscou-se escolher espécies tombadas como patrimônio ecológico de Brasília. As espécies tombadas são: copaíba (*Copaífera langsdorffii*), sucupira-branca (*Pterodon pubescens*), pequi (*Caryocar brasiliense*), cagaita (*Eugenia dysenterica*), buriti (*Mauritia flexuosa*), gomeira (*Vochysia thyrsoidea*), pau-doce (*Vochysia tucanorum*), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), embiriçu (*Pseudobombax longiflorum*). São tombados também os seguintes gêneros: *Aspidosperma spp.* (perobas); *Dalbergia spp.* (jacarandás); *Tabebuia spp.* e *Handroanthus spp.* (ipês). A escolha baseou-se na quantidade de indivíduos de cada espécie presente em cada Superquadra, além disso, buscou-se estudar apenas espécies nativas do Cerrado.

A espécie ipê-roxo foi selecionada por estar presente em grande quantidade em ambas as superquadras objetos de estudo. Já a espécie copaíba possui alguns indivíduos apenas na SQS 308, enquanto a jacarandá possui alguns indivíduos apenas na SQS 309.

## 6.1. Coleta de dados para cálculo da DAF

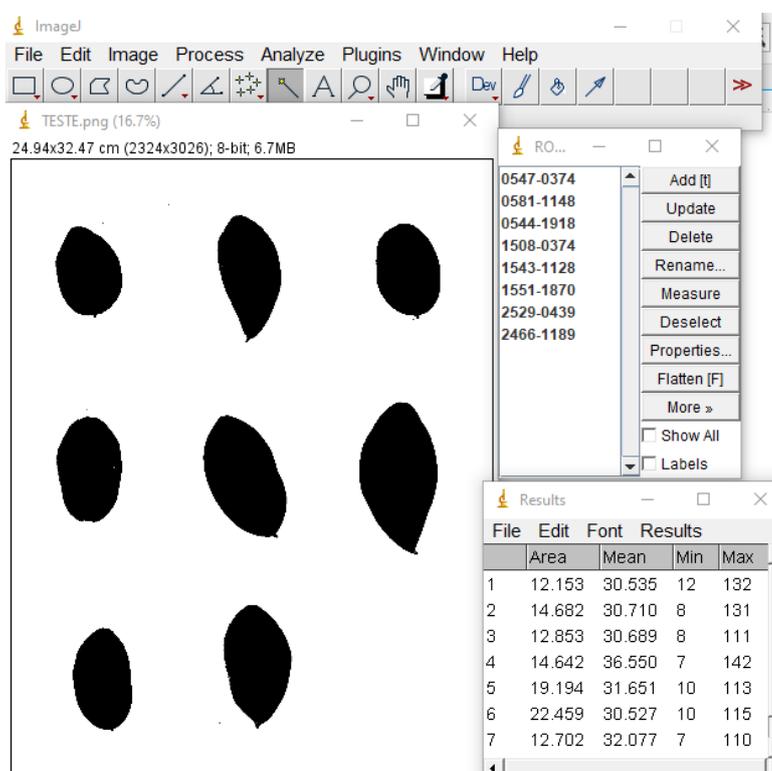
A DAF é um parâmetro composto pela área foliar e volume, expresso por  $m^2/m^3$ . Para cálculo deste parâmetro em uma camada definida pelo pesquisador, por exemplo entre 1 e 2 metros de altura da copa, são medidos o volume ocupado pela copa neste trecho e a soma da área de todas as folhas nesse espaço. Segundo Sorte (2016) levando em consideração um indivíduo arbóreo, a DAF irá variar de acordo com a camada analisada, pois a copa geralmente muda. Por limitações da pesquisa, não é possível calcular a DAF de toda a extensão da copa de cada espécie arbórea. Dessa forma, foi utilizado o método direto e destrutivo, baseados nos estudos de Sorte (2016), onde cada indivíduo foi resumido a 1 metro de caule principal, em vez de a árvore completa, levando em consideração que o caule é uniforme. (Figura 45)

Figura 45: Caule da espécie *Copaíba* utilizado para cálculo de DAF



Todas as folhas deste caule foram removidas e digitalizadas por meio de uma câmera digital. As imagens digitalizadas foram inseridas no *software* ImageJ que, através do processamento de imagem, realiza o cálculo da área de cada folha extraída do caule. (Figura 46).

Figura 46: Cálculo da área foliar através do software ImageJ



Para cálculo do volume baseou-se no método de Sorte (2016), onde o volume do caule principal foi mensurado considerando o espaço entre as folhas, como se fosse uma árvore. Esse volume foi extrapolado para um volume de tronco de cone, com altura correspondente a 1 metro.

Admitindo distribuição uniforme deste parâmetro ao longo da copa das árvores, calculou-se a DAF a partir da razão entre a área foliar sobre o volume do tronco da pirâmide.

O resumo das características dos espécimes arbóreas encontrados na área da pesquisa é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Dados das espécies arbóreas selecionadas

<b>ESPÉCIE</b>	<b>NOME CIENTÍFICO</b>	<b>ALTURA DA ÁRVORE</b>	<b>DAF (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)</b>
Ipê Roxo	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	8m	2,97
Copaíba	<i>Copaifera langsdorffii</i>	12m	1,55
Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	10m	0,82

### 6.3. Medição dos dados microclimáticos

A etapa de medição microclimática foi executada com o propósito de comparação com os resultados simulados. Para tal, foram realizadas medições dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, tendo como referência o período quente e seco da cidade de Brasília.

Para realização da pesquisa, foram utilizados dois termo-higrômetros, equipamento utilizado para medir a temperatura e umidade relativa do ar, ambos da mesma marca e previamente aferidos e disponibilizados pelo Laboratório de Sustentabilidade da Universidade de Brasília (LaSUS).

A coleta dos dados foi realizada no dia 5 de outubro de 2020, com medições de hora em hora, a partir das 9 h até às 21 h, feitas simultaneamente nas superquadras 308 e 309 Sul. O instrumento foi locado a 1,50 m do solo.

### 6.3.1. Escolha dos pontos de medição

Os pontos de medição foram escolhidos a partir de um estudo prévio das Superquadras, o qual foi possível identificar áreas representativas na identificação da influência das espécies arbóreas. Foram escolhidos dois pontos de cada Superquadra, um sombreado pelo indivíduo arbóreo analisado e outro exposto ao sol (Figura 47). O ponto sombreado localizado na SQS 308 abrange a espécie arbórea Copaíba, já o ponto sombreado na SQS 309 abrange a espécie Ipê Roxo.

Figura 47: Pontos de medição microclimática nas superquadras



Fonte: Elaborado pela autora

## 6.4. Simulação Computacional do Microclima

As etapas da simulação computacional desta pesquisa foram descritas e detalhadas a seguir: (1) Modelagem das áreas de estudo. (2) Criação do arquivo climático para o período quente-seco de Brasília. (3) Construção do banco de dados de vegetação. (4) Extração dos dados. (5) Análise dos dados.

#### 6.4.1. Modelagem

Cada uma das superquadras objetos de estudo desta pesquisa possui 240x240m, sendo que possuem uma faixa de 20 metros de vegetação que envolvem a área, totalizando 280x280m. Dessa forma, para modelagem no programa, inicialmente rotacionou-se a área para a forma mais ortogonal possível, o que facilita a modelagem. Em seguida, editou-se a malha quadriculada do SPACES para 70 x 70, onde cada grid corresponde a 4 metros. Modelou-se cada superquadra separadamente.

Após a aplicação da malha quadriculada, insere-se o valor do grau de rotação do norte (-45°). As áreas de estudo localizam-se no Distrito Federal, portanto, utiliza-se a latitude e longitude de Brasília, -15,78° e -47,93°, respectivamente.

Após a configuração da malha e do local, foram identificadas as áreas ocupadas por edificações, as superfícies de concreto e áreas com vegetação. Os materiais utilizados foram: pavimento de concreto cinza (*concrete pavement gray*) para calçadas, grama (*grass*) e parede de concreto (*concrete wall*) para as construções.

Foram criados três cenários, descritos a seguir, para identificar a influência das espécies no microclima da área:

**CENÁRIO 1:** Este cenário foi construído para ser o cenário base, sem nenhuma espécie arbórea, como forma de identificar o microclima da área caso não houvesse presença de vegetação. Buscou-se inserir os materiais superficiais mais próximos da realidade, além da altura e material das edificações. (Figuras 48 e 49)

Figura 48: Cenário 1 SQS 309

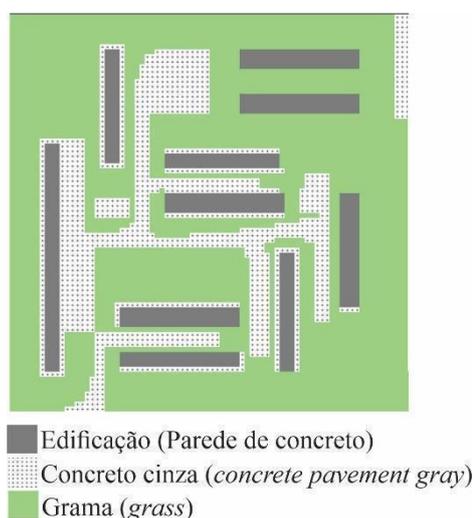
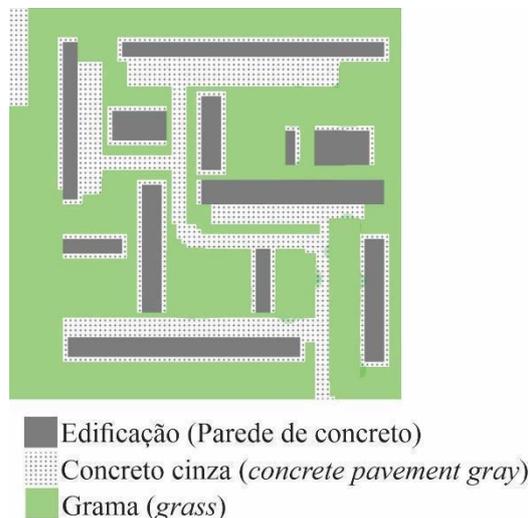
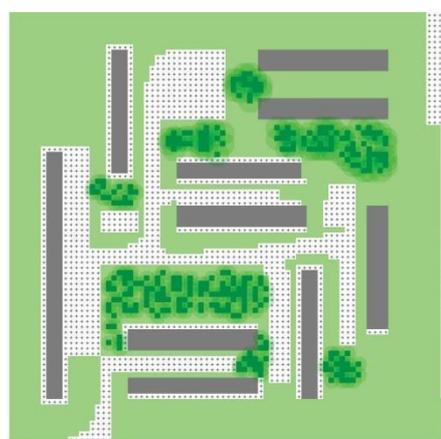


Figura 49: Cenário 1 SQS 308



CENÁRIO 2: Este cenário inclui as espécies arbóreas presentes no centro das superquadras. Buscou-se compreender se a cinta densamente arborizada, proposta em projeto por Lucio Costa, influencia ou não no microclima. Na SQS 308 a espécie Copaíba foi inserida. Já na SQS 309 inseriu-se a espécie Ipê Roxo. (Figuras 50 e 51)

Figura 50: Cenário 2 da SQS 309



- Edificação (Parede de concreto)
- Concreto cinza (*concrete pavement gray*)
- Grama (*grass*)
- Espécie arbórea Ipê roxo

Figura 51: Cenário 2 da SQS 308



- Edificação (Parede de concreto)
- Concreto cinza (*concrete pavement gray*)
- Grama (*grass*)
- Espécie arbórea Copaíba

CENÁRIO 3: Este cenário representa a realidade atual das Superquadras. Inclui-se as espécies arbóreas em toda a extensão da área, buscando seguir a localização das espécies encontradas nas superquadras. Devido às limitações de pesquisa, foram analisadas apenas as espécies Copaíba, Jacarandá e Ipê Roxo. Dessa forma, criou-se um cenário da SQS 308 incluindo a espécie Copaíba e outro incluindo a espécie Ipê roxo (ambas espécies encontradas na área). Já da SQS 309 um cenário inclui a espécie Jacarandá e outro também a espécie Ipê roxo (ambas também encontradas na área). (Figuras 52 e 53)

Figura 52: Cenário 3 da SQS 309

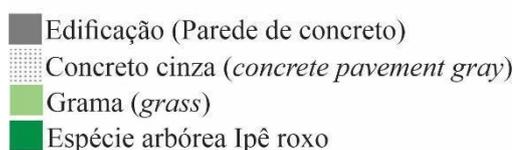
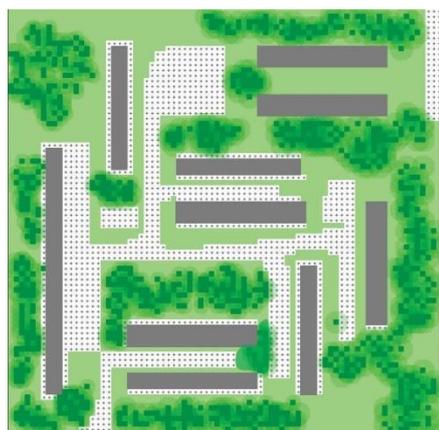
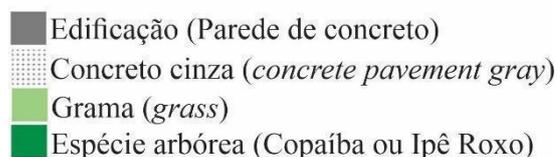
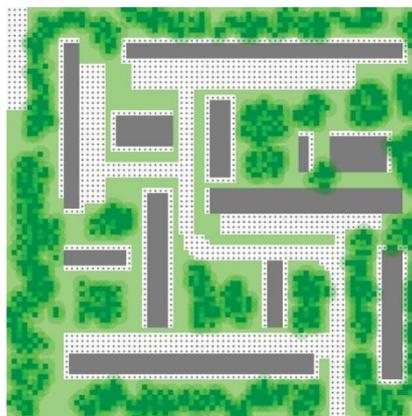


Figura 53: Cenário 3 da SQS 308



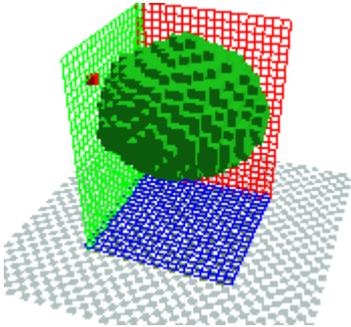
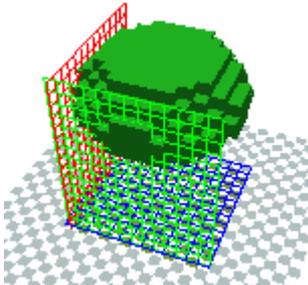
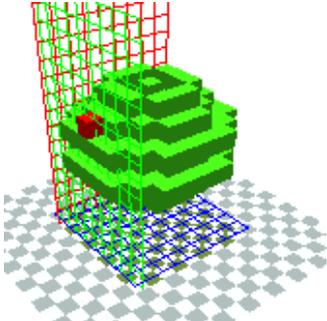
#### 6.4.1. Dados climáticos

Os dados climáticos foram configurados a partir de um arquivo climático de formato EPW (Energy Plus Weather), obtido através do site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC (labEEE). A partir deste arquivo, utiliza-se o método Full Forcing do ENVI-met, que força o comportamento do vento, temperatura e umidade em intervalos de 30 minutos para o período de até 1 ano.

#### 6.4.2. Construção do banco de dados das espécies arbóreas

O banco de dados de vegetação do ENVI-met possui espécies divididas pelo seu formato, sendo elas esféricas, cilíndrica e formato de coração. A partir das espécies já existentes no programa buscou-se inserir o máximo de dados possíveis para que o modelo fique o mais próximo das espécies encontradas nas superquadras objetos de estudo.

Dentro do Albero é possível editar altura, largura da copa, capacidade de fixação de CO<sub>2</sub>, albedo da folhagem, profundidade e diâmetro das raízes e o DAF. Devido às limitações de pesquisa foi possível obter e inserir os dados de altura e DAF.

ESPÉCIE ARBÓREA	ALTURA	DAF	IMAGEM 3D DO ALBERO
Copaíba	12m	1,55	
Ipê Roxo	8m	2,97	
Jacarandá	10m	0,82	

#### 6.4.4. Extração e análise dos dados

Os dados obtidos através das simulações computacionais são extraídos pelo *plugin* Leonardo e apresentados em forma de gráficos de manchas. Criou-se gráficos do mesmo dia da medição em campo, dia 05 de outubro de 2020, nos horários indicados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para registro de dados meteorológicos – 09 h, 15 h, 21 h. Esses gráficos permitem identificar a variação microclimática entre os cenários propostos.

#### 6.4.5. Validação dos dados

Segundo Silva (2020) a validação dos dados ocorre quando se faz a análise crítica dos resultados para verificação da margem de erro. Dessa forma, devido à falta de um sistema de validação do *software* ENVI-met, compara-se os dados simulados referentes a temperatura e umidade relativa do ar extraídos da simulação, os dados do INMET e os dados da medição em campo, no mesmo dia nos horários de 09 h, 15 h e 21 h.

### 6.5. Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou os métodos e materiais utilizados na pesquisa. No levantamento das espécies arbóreas das Superquadras, apresenta-se uma tabela com as espécies exóticas e as espécies do cerrado de cada Superquadra estudada. Após este levantamento, escolhe-se as espécies do cerrado que serão estudadas, são elas: Copaíba, Ipê Roxo e Jacarandá. Apresenta-se, então, o método para cálculo de IAF e DAF (método direto e destrutivo). Posteriormente, descrevem-se os pontos e forma que foi realizada a medição microclimática em campo, foram obtidos os dados de temperatura e umidade relativa do ar dos pontos da SQS 308 e da SQS 309. Por fim, apresenta-se os detalhes do método de simulação computacional, descrevendo a modelagem das áreas e dos cenários, o arquivo climático, o banco de dados de vegetação no Albero e a extração e validação dos dados.

## **7.RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Este capítulo expõe os resultados desta pesquisa e apresenta uma breve discussão destes resultados. Apresenta-se os resultados de temperatura do ar e umidade relativa do ar da medição microclimática em campo, feita no dia 05 de outubro de 2020 em dois pontos de cada SQS, sendo um ponto exposto ao sol e outro sombreado pela espécie Ipê Roxo (SQS 309), e Copaíba (SQS 308). Por fim, apresentam-se os dados de temperatura do ar extraídos da simulação computacional do microclima urbano de cada cenário, sintetizados em forma de gráficos e tabelas para melhor entendimento da contribuição das espécies arbóreas no microclima urbano.

## 7.1. Medição microclimática em campo

Os dados microclimáticos obtidos pela medição em campo foram registrados em gráficos que apresentam os pontos e horários de medição e as variáveis climáticas: temperatura do ar e umidade do ar.

Os gráficos apresentam os dados obtidos de temperatura do ar nos pontos das SQS 309 e SQS 308, respectivamente.

Gráfico 1: Resultado da medição de temperatura do ar na SQS 309

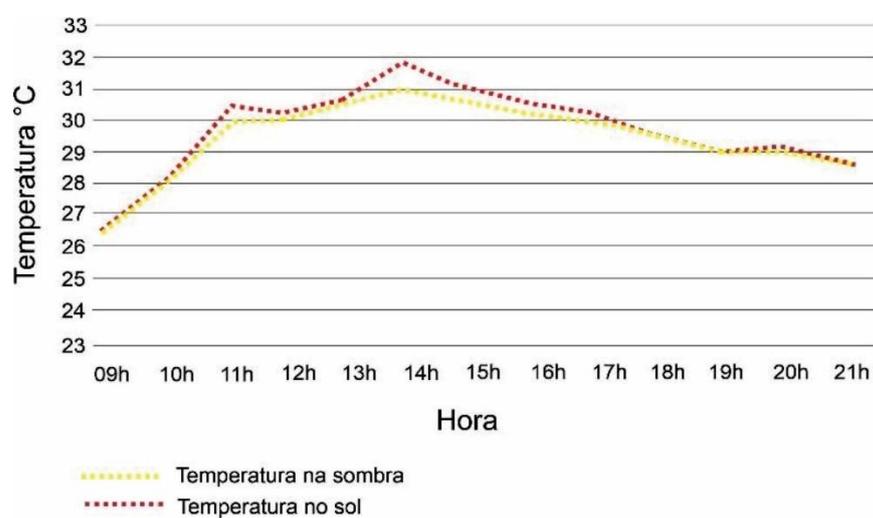
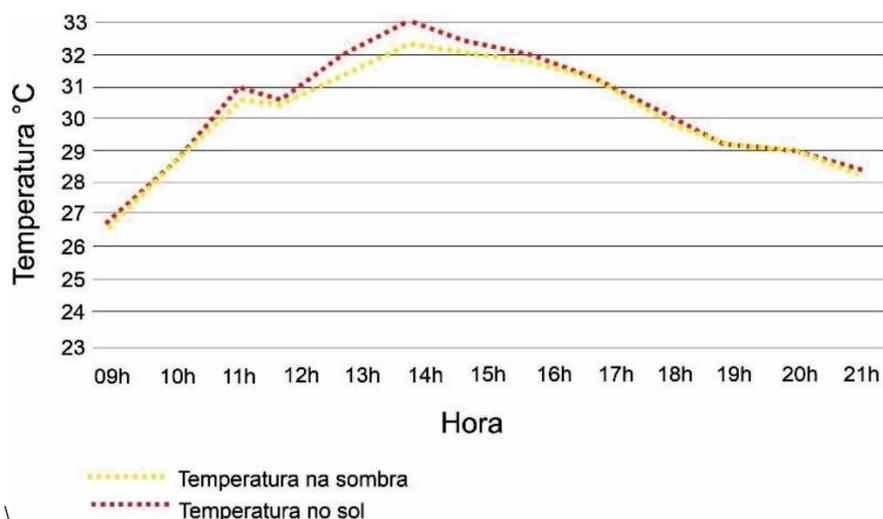


Gráfico 2: Resultado da medição de temperatura do ar na SQS 308



Observa-se que, na SQS 309 (Gráfico 1), a temperatura do ar na sombra possui valores mais baixos, com diferença de até 0,8°C se comparada com a temperatura do ar ao sol. Os horários com maior diferença estão entre 13 horas e 15 horas. Já na SQS 308 (Gráfico 2) a temperatura do ar no ponto exposto ao sol possui valores até 0,5°C mais altos que a temperatura do ponto na sombra. O horário com maior diferença foi entre 13 e 14 horas.

Quanto à umidade relativa ao ar (Gráficos 3 e 4) os resultados de ambas as superquadras se assemelham, com pequenas diferenças entre a medição do ponto exposto ao sol e do ponto na sombra. Os pontos da SQS 308 possuem valores de umidade mais altos que a SQS 309, esta melhoria do microclima pode ser atribuída ao maior número de árvores na superquadra, visto que a vegetação influencia nos dois mecanismos principais para a redução da temperatura do ar: o sombreamento e o processo de evapotranspiração.

Gráfico 3: Resultado da medição de umidade relativa do ar na SQS 309

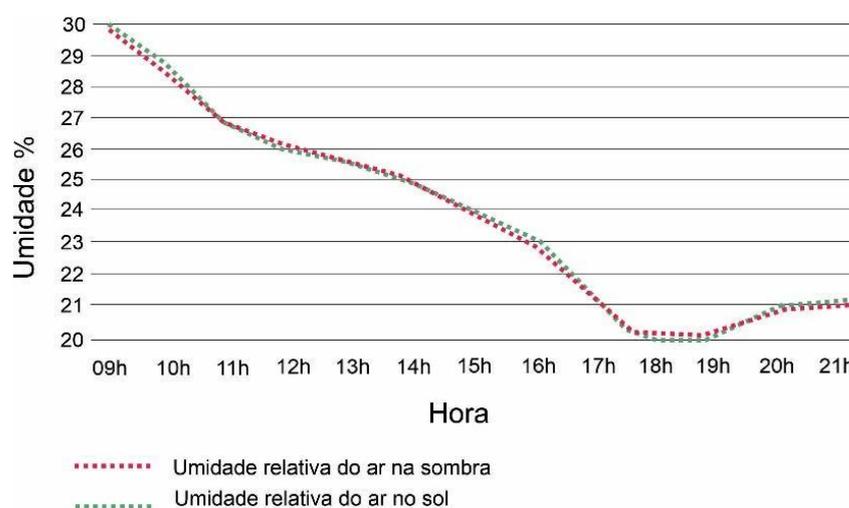
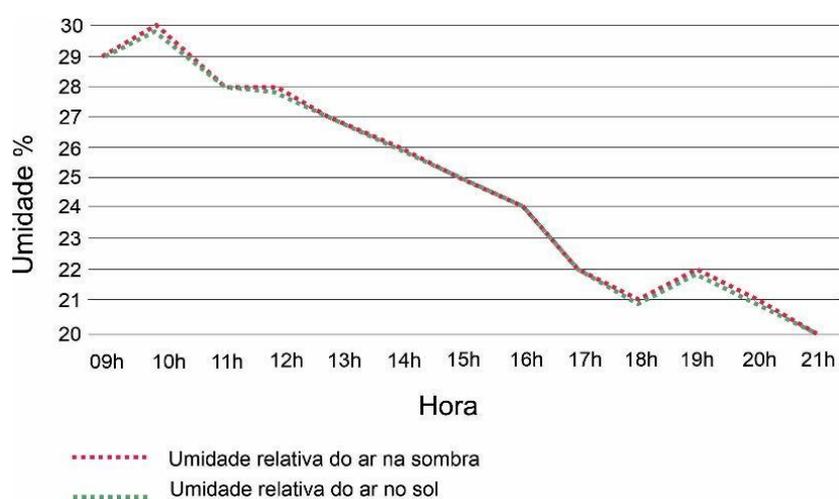


Gráfico 4: Resultado da medição de umidade relativa do ar na SQS 308



Ao comparar os resultados da medição em campo de ambas as SQS, observa-se uma diferença de temperatura do ar de até 1,5°C, sendo que o ponto da SQS 308 apresenta temperaturas mais altas que o ponto da SQS 309, principalmente nos horários de 13 h à 17 h. Provavelmente esta diferença se deu devido ao sombreamento que a espécie Ipê Roxo, localizada na área do ponto da SQS 309, proporcionou nestes horários.

Nota-se que o gráfico de umidade do ar não acompanha o padrão do gráfico de temperatura do ar. Às 9 horas da manhã, temos o maior valor de umidade do ar e durante todo o dia este valor cai consideravelmente, já o gráfico de temperatura inicia com temperaturas mais baixas, chega à valores mais altos no meio do dia e cai no final do dia. Este resultado não é comum e não se assemelha aos encontrados no banco de dados do INMET.

Para análise e comparação com os dados de simulação computacional utilizaremos apenas os dados de temperatura do ar.

## **7.2. Simulação computacional do microclima**

Este tópico apresenta os resultados das simulações realizadas via ENVI-met 5.0.1. Elas foram realizadas no mesmo dia da medição microclimática, dia 5 de outubro de 2020, período quente e seco de Brasília. Os gráficos foram gerados para três horários que seguem a recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para estudos de clima urbano: 09 h, 15 h e 21 h, representando os turnos manhã, tarde e noite, respectivamente.

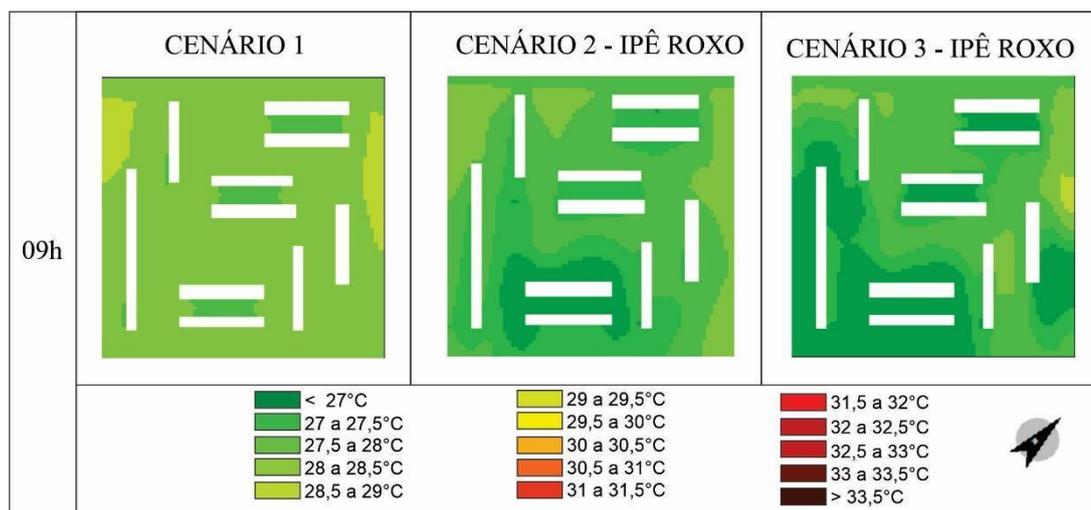
Utilizou-se uma legenda de 15 cores que possuem intervalo de 0,5° C entre elas para comparação dos 3 cenários de cada Superquadra. Já para análise dos cenários onde há alteração da espécie arbórea, utilizou-se legenda padrão do ENVI-met, onde é fixado a temperatura do ar de acordo com a mínima e máxima de cada cenário, essa escolha foi baseada na diferença de temperatura entre os dois cenários, já que a diferença chega a no máximo 0,4°C.

As figuras 54 a 56 são os cenários da Superquadra 309. Como explicado anteriormente, o cenário 1 possui apenas grama, no cenário 2 insere-se as árvores no centro da quadra e o cenário 3 insere-se as árvores em toda a extensão da quadra. Em um primeiro momento compara-se os 3 cenários com a mesma espécie arbórea, buscando identificar a influência microclimática da implantação das espécies apenas no centro da superquadra e a implantação em toda a extensão da superquadra. Para isto, utiliza-se na SQS 308 a espécie Copaliba e na

SQS 309 a espécie Jacarandá. Mais a frente, iremos comparar o mesmo cenário 3, apenas alterando a espécie arbórea. Na SQS 308 compara-se a espécie Copaíba e a espécie Ipê Roxo. Já na SQS 309 compara-se a espécie Jacarandá também com a espécie Ipê Roxo.

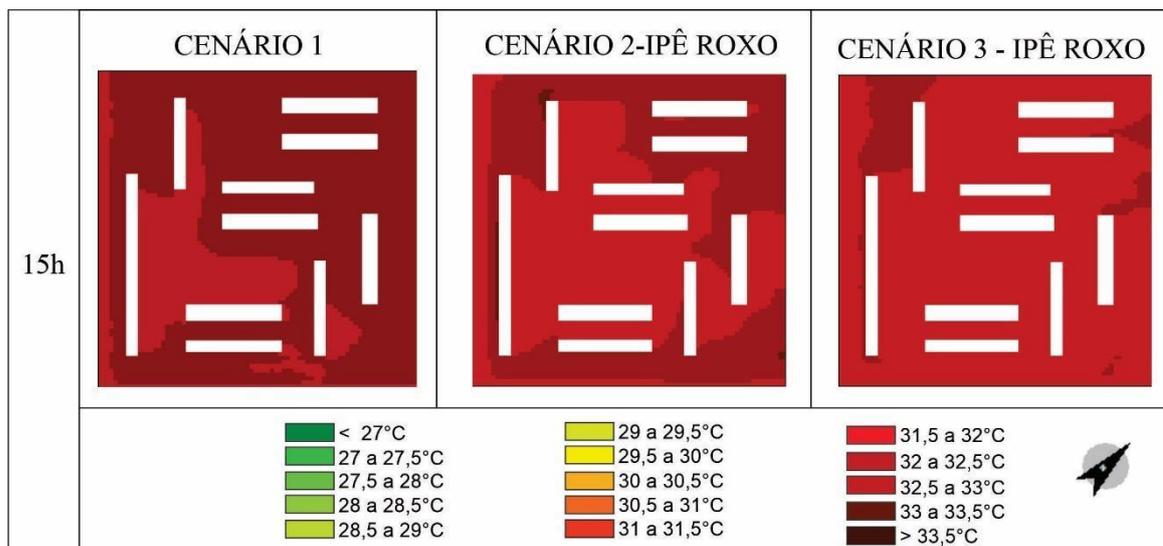
Às 09 h, observa-se que no cenário 1 quase toda a área possui temperatura entre 28 e 28,5°C, apenas algumas áreas entre as edificações possuem temperatura abaixo de 28°C, por serem zonas sombreadas. No cenário 2, com o acréscimo da vegetação no centro da quadra, há uma diminuição de até 2°C. Já no cenário 3 há uma diminuição de até 1°C se comparado com o cenário 2, sendo que há um aumento das zonas onde há amenização da temperatura do ar.

Figura 54: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 309 às 09h do dia 05/10/2020



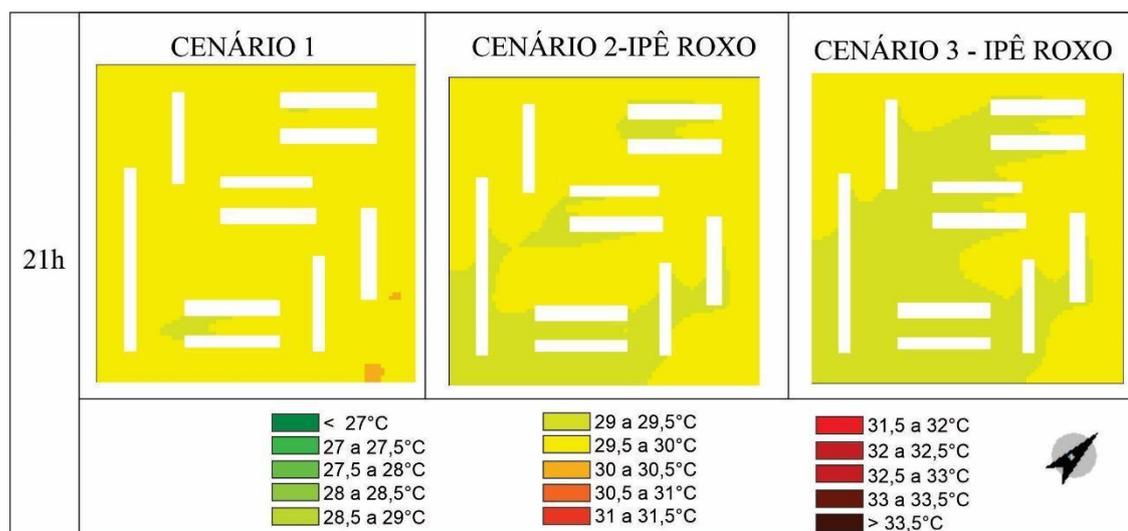
Às 15 h, o cenário 1 possui temperaturas entre 33 e 33,5°C, exceto na área sul da Superquadra, onde a temperatura varia entre 32 e 32,5°C. No cenário 2 há uma diminuição de 1,5°C no centro da superquadra, onde houve inserção da vegetação. No cenário 3 a temperatura em quase toda a extensão da SQS passa a ser de 32 a 32,5°C, com diminuição de até 1°C comparando com o cenário 1.

Figura 55: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 309 às 15h do dia 05/10/2020



Às 21 h, observa-se que há uma diferença de temperatura de até 1°C entre os cenários 1 e 2, sendo que o cenário 2 apresenta diminuição da temperatura. No cenário 3 há uma diminuição de 0,5°C se comparado com o cenário 2, entretanto é possível perceber que há mais áreas com temperatura mais amena, principalmente ao sul da superquadra.

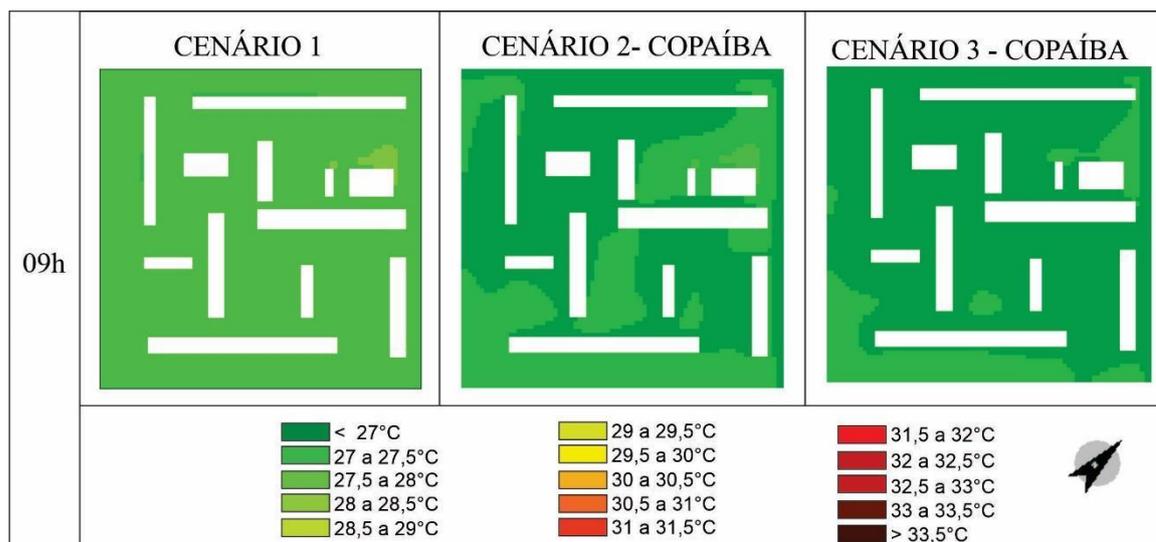
Figura 56: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 309 às 21h do dia 05/10/2020



As próximas figuras, 56 a 58 são os cenários da Superquadra 308.

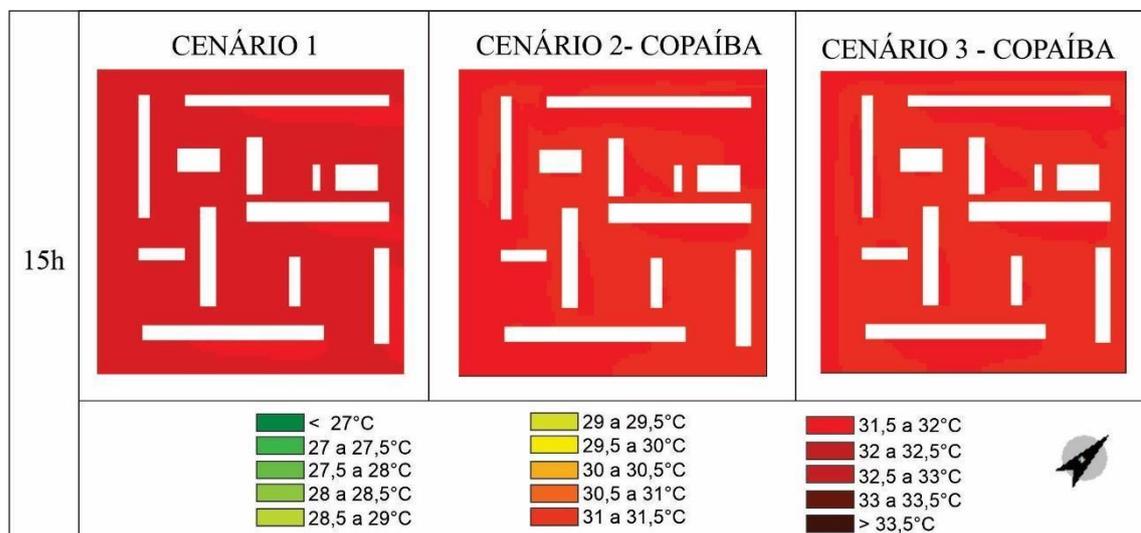
Às 09 h observa-se uma diferença de até 1,5°C entre os cenários 1 e 2, tendo o cenário 2 temperaturas mais amenas. O cenário 3 possui temperaturas que variam entre < 26°C a 27°C, com temperaturas de até 0,5°C mais baixas que o cenário 2.

Figura 57: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 308 às 09h do dia 05/10/2020



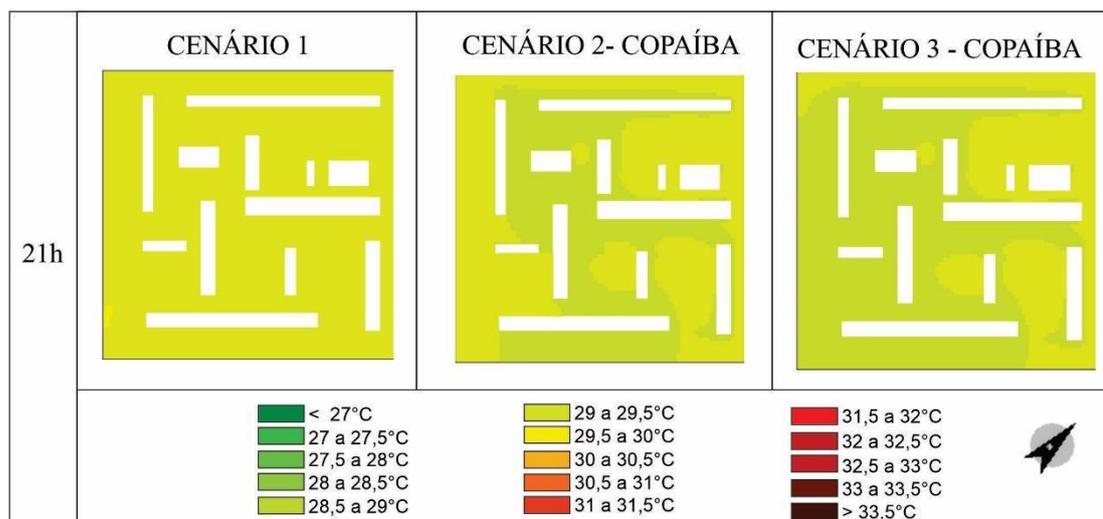
Às 15 h é possível observar que no cenário 2 há uma diminuição da temperatura no centro da quadra de até 2,5°C, onde foram inseridas as árvores. No cenário 3, as áreas da borda da superquadra diminuem em até 1°C, aumentando as zonas com temperatura do ar mais amena, se comparado com o cenário 2.

Figura 58: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 308 às 15h do dia 05/10/2020



Às 21 h há uma diminuição de temperatura de até 1°C no cenário 2, comparando com o cenário 1. Já no cenário 3 há um aumento das áreas com temperatura mais amena, com diferença de 0,5°C nas áreas da borda da superquadra.

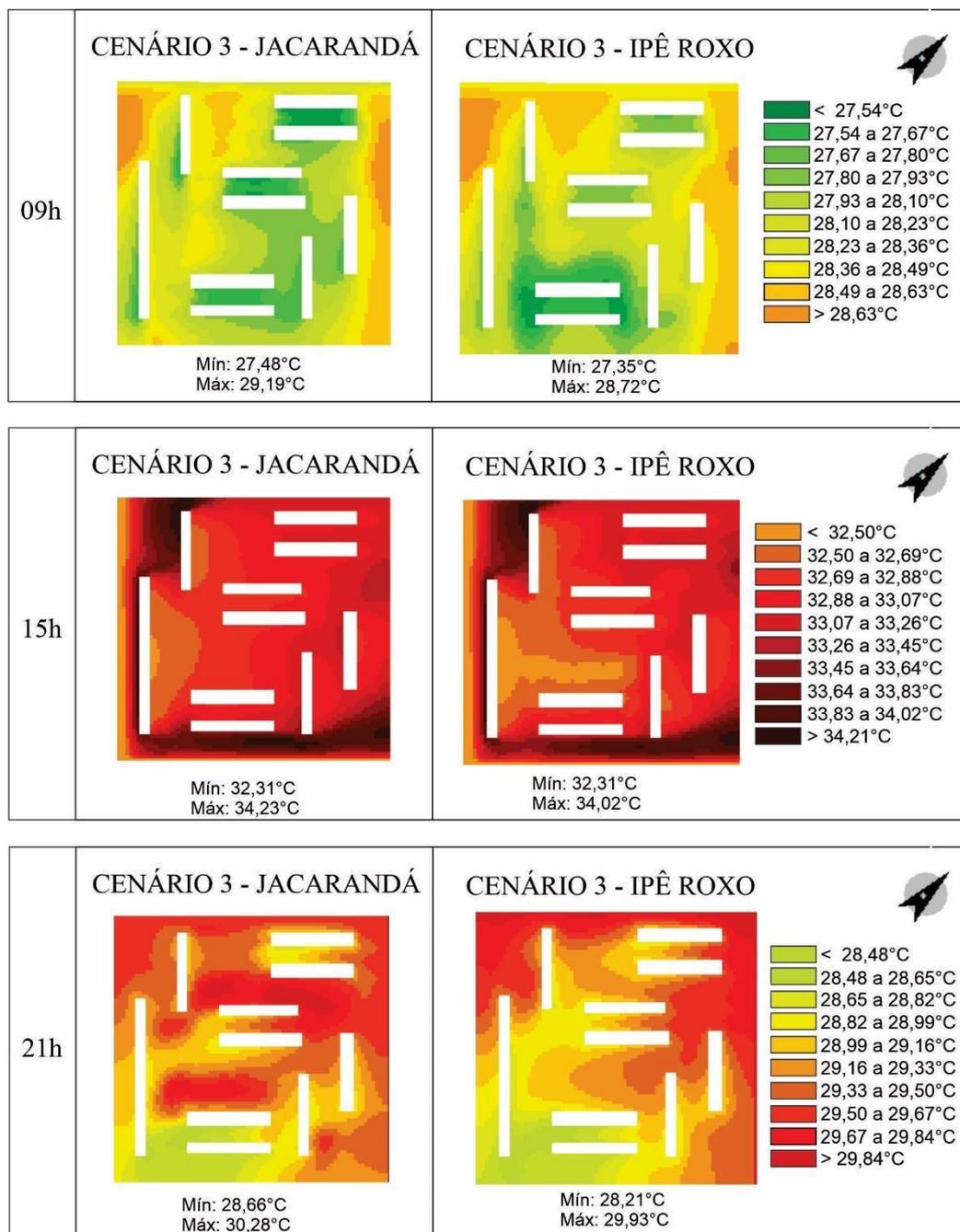
Figura 59: Resultado da simulação computacional dos cenários da SQS 308 às 21h do dia 05/10/2020



A Figura 60 apresenta os mapas dos cenários 3 nos horários de 09 h, 15 h e 21 h, onde há alteração da espécie arbórea, mantendo a disposição e a quantidade de indivíduos de cada espécie. Na SQS 309 compara-se o cenário com a espécie Ipê Roxo e outro cenário com a espécie Jacarandá.

Comparando os cenários onde há inserção da espécie Jacarandá com o cenário da espécie Ipê roxo nota-se que o cenário com a espécie Ipê roxo possui temperaturas mais amenas em todos os horários. Às 09 horas há uma diferença de temperatura do ar de até 0,4°C. Às 15 horas a temperatura do ar mínima se mantém, mas a temperatura do ar máxima diminui 0,2°C. Já às 21 horas a diferença é de 0,4°C.

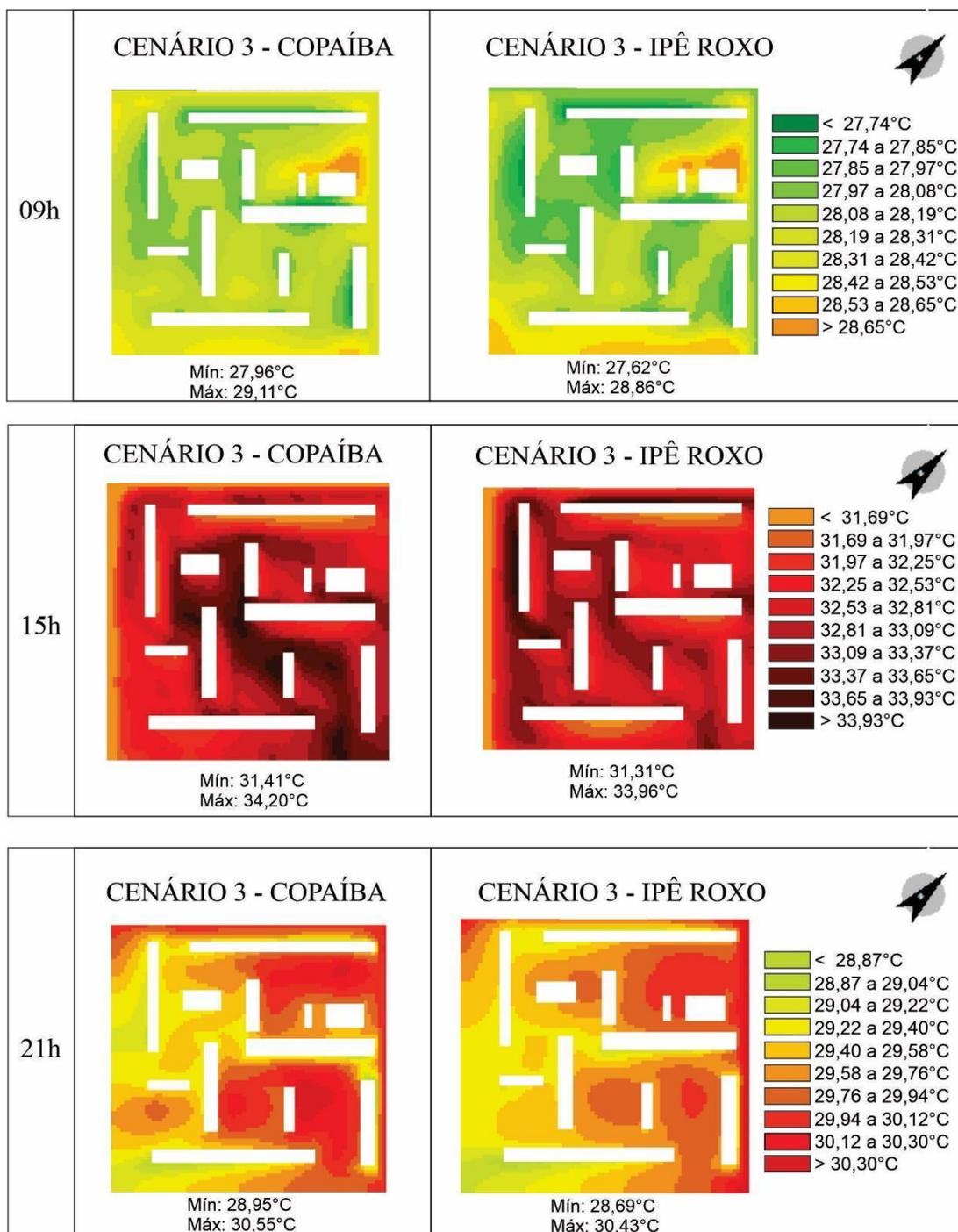
Figura 60: Resultado da simulação computacional dos cenários 3 da SQS 309 do dia 05/10/2020



A Figura 61 apresenta os mapas dos cenários 3 da SQS 308, nos horários de 09 h, 15 h e 21 h. O primeiro cenário inclui a espécie Copaíba, enquanto o segundo cenário inclui a espécie Ipê Roxo. Em todos os horários nota-se que o cenário com a espécie Ipê Roxo possui temperaturas mais baixas que o cenário com a espécie Ipê Roxo. Às 09 horas há uma diferença

de temperatura do ar de até 0,3°C. Às 15 horas a diferença é de 0,2°C. Já às 21 horas a diferença também é de 0,3°C.

Figura 61: Resultado da simulação computacional dos cenários 3 da SQS 308 do dia 05/10/2020

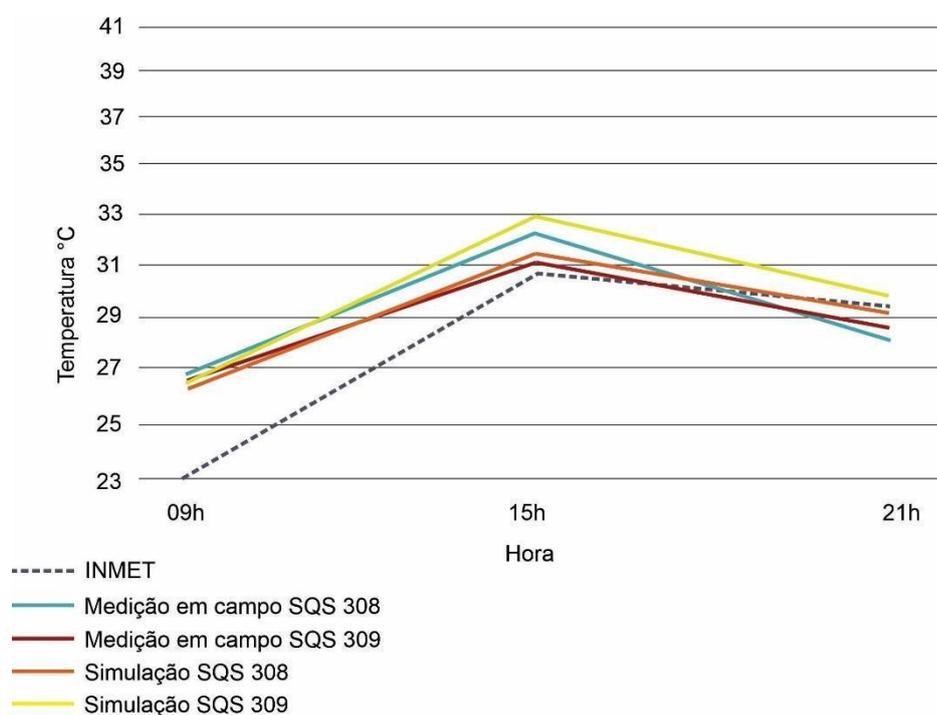


### 7.3. Análise comparativa dos resultados

Nesta etapa são extraídos os dados de medição em campo, simulação computacional e os dados do INMET como forma de análise comparativa dos resultados. Considerando as medições de temperatura do ar nos horários 09 h, 15 h e 21 h, observa-se, no Gráfico 1 que a diferença de temperatura do ar entre a medição em campo e a simulação é maior às 15 horas, com uma diferença de 2 °C. Nos demais horários os dados possuem resultados bastante próximos.

Em relação aos dados de INMET os horários de 09 h e 15 h apresentaram diferença de 3 °C.

Gráfico 5: Comparação entre valores medidos e simulados para temperatura do ar na altura de 1,50 metros (INMET = 2,0 metros).



	09h	15h	21h
INMET	23°C	30,7°C	30,1°C
Medição SQS 308	26,6°C	32,3°C	28,5°C
Medição SQS 309	26,5°C	31,1°C	28,8°C
Simulação SQS 308	26,2°C	31,3°C	29,3°C
Simulação SQS 309	26,8°C	32,9°C	29,7°C
$\Delta T$ máximo	3,8°C	2,2°C	1,6°C

Nota-se que os resultados da simulação e medição apresentam uma maior diferença nos horários de 12 h e 15 h, de até 1,2°C, o que é pouco significativa para o estudo. No horário de 9 h a diferença máxima é de somente 0,4°C. Já comparando com os dados do INMET os resultados apresentam uma diferença maior, de até 3,8°C. Entretanto, estes resultados ainda se encontram dentro do padrão para comprovação da confiabilidade do parâmetro de temperatura do ar nesta pesquisa, apresentando uma diferença máxima de 3,8°C.

## 8. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo analisar a contribuição da vegetação para melhoria do microclima urbano de duas Superquadras de Brasília. Após o levantamento das espécies arbóreas encontradas nas Superquadras 308 e 309 Sul, buscou-se analisar a contribuição de três espécies do cerrado encontradas na área. A escolha se baseou nas espécies tombadas e na quantidade de indivíduos presentes em cada SQS.

O estudo buscou demonstrar as diferenciações microclimáticas dentro de um espaço, resultante, principalmente, da influência da vegetação. Estas diferenciações afetam o conforto térmico dos espaços externos e a qualidade de vida dos usuários do espaço.

A investigação experimental por meio de medições em campo e simulação computacional constatou a influência das áreas verdes no comportamento microclimático dos ambientes monitorados, além de comprovar a diferença da influência de diferentes espécies arbóreas no microclima urbano.

O levantamento dos dados físicos das espécies arbóreas foi realizado pelo método indutivo e destrutivo, com a extração de 1 metro de caule de cada espécie. O cálculo de área foliar é feito pelo *software* ImageJ e o DAF pela razão da área foliar pelo volume. Foram levantadas também as alturas das espécies selecionadas, para inserção no banco de dados do Albero.

A medição em campo foi realizada no período quente e seco, com medições de hora em hora, a partir das 9 h até às 21 h. Foram levantados dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Os resultados demonstraram que há uma maior diferença de temperatura do ar entre o ponto sombreado e o ponto exposto ao sol da SQS 309, com diferença de até 0,8°C,

enquanto os pontos da SQS 308 possuem diferença de até 0,5°C. Estes dados foram levantados para validação posterior dos dados obtidos na simulação computacional

Para a simulação computacional utilizou-se como referência também o período quente e seco de Brasília. O programa ENVI-met mostrou-se eficaz para as análises realizadas nesta pesquisa. Observou-se que os resultados seguiram o padrão de curvas dos dados de medição em campo e dos dados do INMET.

O uso do Albero para editar as espécies arbóreas e inserir os novos parâmetros das espécies, o DAF e altura dos indivíduos, ocorreu de maneira adequada, o que demonstrou viabilidade na inclusão de novas espécies no programa e permitiu identificar a contribuição de cada espécie na área. Entretanto, a descrição correta dos dados de entrada e a inclusão do maior número de dados possível de ser levantado contribuiu para o êxito dos resultados.

Percebe-se que o acréscimo da vegetação apenas no centro das superquadras proporcionou diminuição da temperatura em todos os horários e em ambas as superquadras. Na SQS 309 há uma diminuição de até 2°C, no horário de 09 h. Já na SQS 308 há uma diminuição de até 2,5°C, no horário de 15 h.

Já ao inserir a vegetação na borda das superquadras há um aumento das áreas com temperaturas mais amenas, chegando a diminuir a temperatura do ar em até 1°C em ambas as SQS, se comparado com o Cenário 2. Esses resultados comprovam a hipótese de que o “cinturão verde”, proposto em projeto por Lúcio Costa, contribuiu significativamente para a melhoria do microclima das superquadras. Destaca-se que a vegetação na borda das superquadras, possivelmente também contribuem para a melhoria do microclima das vias adjacentes a ela.

Em relação à criação das espécies arbóreas no banco de dados do Albero, foram inseridos os dados que de IAF e alturas dos indivíduos selecionados. Estes foram os dados possíveis de serem obtidos, levando em consideração as limitações da pesquisa. As espécies criadas se aproximaram ao máximo possível das espécies existentes nas áreas, dessa forma iremos considerar o indivíduo criado no banco de dados como se fosse a espécie encontrada na área.

Ao comparar o cenário da SQS 309 com a espécie Jacarandá e o cenário da mesma SQS com a espécie Ipê Roxo percebe-se que há uma diferença de até 0,4°C, sendo que em todos os horários o cenário com a espécie Ipê Roxo possui temperaturas mais amenas. Na SQS 308 o cenário com a espécie Ipê Roxo também possui temperaturas mais amenas em todos os horários se comparado com o cenário com a espécie Copaíba, sendo que, nesta SQS, a temperatura do ar chega a ter até 0,3°C de diferença. Dessa forma, comprova-se que a indivíduo levantado

nesta pesquisa da espécie Ipê Roxo possui melhores resultados na melhoria do microclima urbano, levando em consideração os dados de temperatura do ar, se comparado com os indivíduos levantados das espécies Jacarandá e Copaíba.

Destaca-se também que a SQS 308 possui maior concentração de vegetação e mais sombra, o que contribui significativamente para o conforto térmico da área. Conclui-se, portanto que a SQS 308 é mais climaticamente confortável se comparada com a SQS 309.

Quanto aos aspectos paisagísticos e urbanísticos das Superquadras objetos de estudo, pode-se destacar que a SQS 308 é mais adequada que a SQS 309, pois apresenta melhor forma de distribuição dos edifícios, espaços verdes e percursos caminháveis. Nota-se também um desenho da SQS 308 com maior centralidade, o que permite melhor circulação entre os espaços.

Quanto à confiabilidade dos dados, realizou-se a comparação dos resultados entre os valores simulados, os valores medidos em campo e os dados coletados pelo INMET. Neste sentido, mostra-se que o *software* segue o padrão de variação de temperatura do ar conforme os demais dados obtidos.

## 8.1. Limitações do trabalho

As limitações deste trabalho estão relacionadas ao levantamento de dados das espécies arbóreas e ao *software* utilizado para simulação computacional ENVI-met 5.0.1. No primeiro caso, para calcular de maneira mais precisa os dados de IAF e DAF de cada espécie, seria necessário a utilização de instrumentos ópticos ou laser que fossem capazes de separar todas as informações de uma árvore em classes de volume, área e folha. Dessa forma, foi necessário utilizar do método direto e destrutivo, que analisa apenas 1 metro de caule de cada espécie.

Os demais dados que o Albero disponibiliza de cada espécie do seu banco de dados e que permite a alteração também não foram possíveis de serem levantados, como: a profundidade e diâmetro da raiz, fixação de CO<sub>2</sub> e albedo. Dessa forma, limitou-se a alterar os dados de DAF e altura da árvore de uma espécie preexistente no banco de dados do Albero, considerando a que mais se assemelha à realidade, e utilizou-se os demais dados desta espécie já definidos pelo programa.

Outra limitação desta pesquisa é o fato que o *software* ENVI-met 5.0.1 leva um longo tempo para realizar as simulações, sendo que neste estudo, demorou cerca de 4 horas reais para simular uma hora, o que levou cerca de 1.300 horas para simulação de todos cenários.

## 8.2. Perspectivas para trabalhos futuros

Para estudos futuros, sugere-se a análise de outras espécies encontradas nas Superquadras, previamente levantadas. Pode-se comparar a melhoria do microclima entre espécies do cerrado e espécies exóticas.

Sugere-se também realizar o levantamento dos demais parâmetros físicos das espécies arbóreas para obtenção de dados mais precisos na simulação computacional.

Recomenda-se a realização da simulação computacional para o período quente-úmido, para maior compreensão da contribuição da vegetação durante todo o ano.

Sugere-se também criar outros cenários para análise da influência das espécies no microclima urbano, como um cenário apenas com arbustos, outro com árvores de até 10 metros de altura, ou cenários com espécies de fácil implantação, como forma de identificar as melhores espécies para serem implantadas no meio urbano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma de Desempenho Térmico de edificações 15.220. Parte 3- Zoneamento Bioclimático Brasileiro, 2004.

ABREU, L.V. Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

ABREU, L. V. de; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.103117, out./dez. 2010.

ABREU, L.V. Contribuição das árvores para o bioclima térmico no desenho urbano em cidades tropicais: o caso de Campinas, SP. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2012.

AKBARI, H.; TAHA, H.; The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities . Energy, the International Journal, Oxford, v. 17, n. 2, p. 141-149, 1992.

AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; ROMM, J. J.; LLOYD A. C.; Painting the town White and green. Heat Island Group, 1997.

BAPTISTA, G. M. Ilhas de Calor. Scientific American Brasil. Revista Digital. Editora Moderna: São Paulo, ano 1, no. 2, pg. 24-31, 2010.

BEHERA, S. K; SRIVASTAVA, P.; PATHER, U. V.; TULI, R. An indirect method of estimating leaf area index in *Jatropha curcas* L. using LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. Agricultural and Forest Meteorology, v. 150, n. 2, p. 307-311, 2010

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; Influencia da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Campinas. Campinas, SP, 2003.

BOUTET, T. S.; Controlling air movement. 2 ed. USA: RR Donnelley & Sons Company, 1987. 318 p.

BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal Of Experimental Botany*. Lancaster, p. 2403-2417. jul. 2003. Disponível em: . Acesso em: 9 dez. 2013.

BRUSE, M. ENVI-met: User's guide for version 2.5. Mainz: Research&development; 2000. 37 p.

CARLOS, J. C.; ASSIS, E. S. Métodos climatológicos aplicados ao planejamento urbano – estudo de caso: Campus Pampulha UFMG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ANTAC, 1999.

CARLSON, T. N.; RIPLEY, D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote sensing of Environment*, v. 62, n. 3, p. 241-252, 1997. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425797001041>>. Acesso em: 11 dez. 2015.

CASTELO BRANCO, L. M. B. Microclimas urbanos no plano piloto de Brasília: O caso da Superquadra 108 Sul. Dissertação de mestrado. UNB. 2009

CHEN J. M.; RICH, P. M.; STITH T. G.; NORMAL, J. M.; PLUMMER S. Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102. 1997

COSTA, L. Brasília, cidade que inventei. CODEPLAN, DePHA. Brasília, DF. 1991.

CUTINI, A.; MATTEUCCI, G.; MUGNOZZA, G. S. Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management*, v. 105, n. 1, p. 55-65, 1998.

DEMAREZ, V.; DUTHOIT, S.; BARET, F.; WEISS, M.; DEDIEU, G. Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, n. 4, p. 644-655, 2008.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. *Ambiente construído*. Porto Alegre, v. 3, n. 2, p.7–20, abr./jun. 2003.

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

GIVONI, B. *Climate considerations in Buildings and urban Design*. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J.; NORMAN, J. M. Direct and indirect estimation of leaf area index, f APAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote sensing of environment*, v. 70, n. 1, p. 29-51, 1999

JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and forest meteorology*, v. 121, n. 1, p. 19-35, 2004.

LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. F.; ABREU, L. V. *Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. Mudanças Climáticas e o Impacto das Cidades. Fórum Patrimônio, Belo Horizonte, Vol 4, n 1, p 23 – 42, 2011.*

LALIC, B.; MIHAJLOVIC, D. T. An Empirical Relation Describing LeafArea Density inside the Forest for Environmental Modeling. *Journal of Applied Meteorology*. Boston, p. 641-645. abr. 2004.

LIMA, R. M. C. (2009). *Avaliação da arborização urbana do Plano Piloto. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM – 117/2009, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF.*

LIMA, S. C. *Arborização urbana de Brasília – Contribuição ao estudo de seu processo. 2003. 175f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de Brasília.*

LIMA, R. M. C e JÚNIOR, M. C. S. *Inventário da arborização urbana implantada na década de 60 no plano piloto, Brasília, DF. REVSBAU, Piracicaba – SP, 2010.*

LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Huci -tec/Lalekla, 1985.*

LOMBARDO, M. A.; *Ilha de calor de São Paulo. Ambiente: revista CETESB de tecnologia, v. 2, 1988.*

MASCARÓ, L. de. *Ambiência Urbana. Porto Alegre. Sagra: DC Luzzatto, 1996.*

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. *Vegetação Urbana. Porto Alegre: Masquatro, n. 3, 2010.*

MEDEIROS, J. M. Visões de Um Paisagismo Ecológico na Orla do Lago Paranoá. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2008.

MEDEIROS, J. M. M. Parques lineares ao longo de corpos hídricos urbanos: conflitos e possibilidades; o caso da orla do lago Paranoá – DF. 2016. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A. C. Photographic method to measure the vertical distribution of leaf area density in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*. p. 105-111. fev. 2010

MIRZAEI, P. A. Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, v. 19, p. 200–206, 2015.

MACHADO, M. P. Superquadra: pensamento e prática urbanística. 2007. 269 f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MONTEIRO, L. M. Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. São Paulo, 2008.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.) *Clima urbano*. 2ª edição, São Paulo: Contexto, 2015. 191p

OLGYAY, V. *Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos y Urbanistas*. Editora Gustavo Gili. 1ª Ed. Título original: *DESIGN WITH CLIMATE. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Barcelona, 1998.

OMETO, J.C. *Bioclimatologia vegetal*. Agronômica Ceres. São Paulo, SP. 1981

OKE, T. R. *Boundary Layer climates*. 2 ed. London: Methuen, 1988.

OKE, T. R. Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Instruments and observing methods. Report n. 81. World Meteorological organization. Canadá, 2006.

PAULA, C. C. M. de; CALLEJAS, I.; DURANTE, L.; ROSSETI, K.; SILVA, D. Pavimento poroso e vegetação: estratégias para melhoria microclimática em áreas urbanas. In:

Congresso LusoBrasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável, 7., 2016, Maceió. Anais.... Maceió: UFAL - PLURIS, 2016.

RIBEIRO, J. F. e WALTER, B. M. T (1998). Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M; Almeida, S. P. (Org.) Cerrado: ambiente e flora. EMBRAPA – CPAC, Planaltina.

RIVERO, R. Arquitetura e clima. Acondicionamento térmico natural. 2ed. Porto Alegre: D.C. Luzzatto, 1986.

ROMERO, M. A. B. Arquitetura do Lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília, 164p., São Paulo: Editora Nova Técnica, 2011.

ROMERO, M. A. B. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. Brasília: Editora Unb, 2001. 128p.

ROMERO, M. A. B. Arquitetura bioclimática do espaço público. 4ª reimpressão. Brasília: Editora Unb, 2015. 226p.

ROMERO, M. A. B.; BAPTISTA, G. M. de M.; LIMA, E. A; WERNECK, D. R.; VIANNA, E. O.; SALES, G. de L. Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2019 – 1ª edição / Editora ETB.

SÁ JÚNIOR, A. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais. Dissertação. Universidade Federal de Lavras, Julho, 2009.

SILVA, B. G. Simulação computacional de zonas climáticas locais do Distrito Federal: A contribuição da vegetação intraurbana. Dissertação de mestrado. UNB. 2020

SILVA, C. F. e. Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Teresina – PI. Dissertação de mestrado. UNB. 2009

SILVA. C. F. e. O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal. 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, W. D. Arborização de vias urbanas: potencial de sombreamento das espécies. Dissertação de mestrado – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação – UNESP. 2016

SHASHUA-BAR, L. & HOFFMAN, M. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. Energy and Buildings. 31. 221-235. 2000

SHINZATO, P. O Impacto da vegetação nos microclimas urbanos. – Dissertação de Mestrado – FAU USP. São Paulo. 2009

SHINZATO, P. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. Tese de doutorado. USP. 2014

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. 2017.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Microclimatic Effect of Vegetation for Different Leaf Area Index – LAI. PLEA 2012 – 28th Conference

SORTE, P. D. B; Simulação Térmica de Paredes Verdes Compostas de Vegetação Nativa do Cerrado. Dissertação de Mestrado – UNB. 2016

UNESCO. Vegetação do Distrito Federal: tempo e espaço. – 2.ed. – Brasília: 2002.

VAN GARDINGEN, P. R.; JACKSON, G. E.; HERNANDEZ-DAUMAS, S.; RUSSELL, G.; SHARP, L. Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology, v. 94, n. 3, p. 243-257, 1999.

VIANNA, E. O campo térmico urbano. Ilhas de Calor em Brasília-DF. Tese de doutorado. UNB. 2018

VOGT, J. A.; OKE, T. R.; Thermal remote sensing of urban climate. Remote Sensing Environment, v. 86, p. 370-384, 2003.

WERNECK, D. R. Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: Estudo de caso em áreas comerciais em Brasília-DF. Dissertação de mestrado FAU UNB. 2018

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J. R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. Agricultural and Forest Meteorology, v. 133, n. 1, p. 166-181, 2005.