

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

**EFEITO DO SOMBREAMENTO DE DUAS ESPÉCIES
ARBÓREAS NA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA E MICROCLIMA EM ESPAÇOS
ABERTOS NO CAMPUS DA UFMT**

EVERALDO NONATO DA CONCEIÇÃO

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS

**Cuiabá, MT
Agosto/2018**

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

**EFEITO DO SOMBREAMENTO DE DUAS ESPÉCIES
ARBÓREAS NA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA E MICROCLIMA EM ESPAÇOS
ABERTOS NO CAMPUS DA UFMT**

EVERALDO NONATO DA CONCEIÇÃO

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

Prof. Dr. CARLO RALPH DE MUSIS
ORIENTADOR

**Cuiabá, MT
Agosto/2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

D111e da Conceição, Everaldo Nonato.

Efeito do sombreamento de duas espécies arbóreas na atenuação da radiação ultravioleta e microclima em espaços abertos no campus da UFMT / Everaldo Nonato da Conceição. -- 2018

146 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Carlo Ralph De Musis.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Clima urbano. 2. Conforto ambiental. 3. Árvore de decisão. 4. Variáveis climáticas. 5. UV index. I. Título.

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

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

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: EFEITO DO SOMBREAMENTO DE DUAS ESPÉCIES
ARBÓREAS NA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA E MICROCLIMA EM ESPAÇOS ABERTOS
NO CAMPUS DA UFMT**

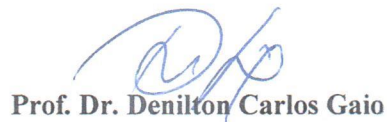
AUTOR: EVERALDO NONATO DA CONCEIÇÃO

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 24 de agosto de 2018, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis

Orientador

Universidade de Cuiabá - UNIC


Prof. Dr. Denilton Carlos Gaio

Examinador Interno

Instituto de Física – UFMT


Prof. Dr. Ivan Julio Apolonio Callejas

Examinador Interno

Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia
UFMT


Profa. Dra. Ângela Santana de Oliveira

Examinadora Externa

Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT


Prof. Dr. Jonathan William Zangeski Novais

Examinador Externo

Universidade de Cuiabá – UNIC/Cuiabá

DEDICATÓRIA



Ó Deus de bondade e infinita misericórdia que nos permitiu chegar neste momento para apreciar a vitória dos que lutam na idealização de um sonho. E este foi mais que um sonho, foi uma realização pessoal e profissional que dependeu do apoio incondicional da minha família.

Por isso, esta dedicatória é de exclusividade da minha esposa Kátia Maria que soube mais uma vez comandar as diretrizes da família com a minha ausência e dos meus filhos Lettícia Maria, Guilherme André, Celeste Maria e Gabriel André, os quais com seu apoio e compreensão fizeram esta caminhada ser mais doce e tranquila.



AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Orientador Dr. Carlo Ralph De Musis, grande companheiro e excelente pesquisador dotado de atributos profundos de várias áreas do conhecimento. Uma pessoa afetiva, atenciosa e comprometida com os trabalhos que assume em toda sua extensão;
- A Prof.^a Dr^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pela excelente condução do grupo de pesquisa da linha 2, e por fornecer os equipamentos de medição necessários a esta pesquisa. Meiga, expressa sempre as palavras em tom diminutivo, mas amoroso e com isso consegue conquistar a atenção e a afeição de seus alunos;
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, grande gestor e profissional da pesquisa científica, pela seriedade e comprometimento com este programa de pós-graduação;
- Aos professores doutores deste programa pelos desafios, pelos conhecimentos transmitidos e por considerar os alunos membros atuantes que fazem a diferença do programa, da pesquisa e por enxergar a potencialidade de cada um nas propostas e trabalhos apresentados;
- A Prof.^a Dr^a Ângela Santana de Oliveira, pelo apoio incondicional ao meu trabalho fornecendo equipamentos de medição sem o qual não seria possível sua execução. Doutora formada por este programa, tem aqui suas raízes e é multiplicadora envolvida com os trabalhos de pesquisa no IFMT;
- Ao Prof. Dr. Geraldo Aparecido Rodrigues Neves, observador metódico das tarefas e dos trabalhos envolvidos do programa e formatação de assuntos pertinentes a esta pesquisa. Profissional interessado em desvendar problemas, nos auxiliou nas instrumentações usadas nas medições;
- Ao IFMT, minha casa onde vivi longos 37 anos como professor o qual me ofereceu todas as oportunidades para realização da pós-graduação;
- Aos colegas do programa que em horas alegres e sérias repartiram a sabedoria e o conhecimento enriquecendo nossas discussões, em especial ao colega doutorando Gerson Kasuyoshi Kida pelo auxílio computacional, pelas análises deste estudo e pela amizade construída nos longos anos de pós-graduação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS.....	vi
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. JUSTIFICATIVA	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	4
2.1.1. Radiação Solar	4
2.1.2. Espectro Solar	6
2.1.3. Radiação Ultravioleta.....	9
2.1.4. UV-Índice e Dose	11
2.1.5. Fatores que Influenciam na Radiação Ultravioleta Solar (RUV)	15
2.2. CLIMA URBANO.....	18
2.2.1. Aspectos Climáticos da Cidade de Cuiabá	20
2.2.2. Estudos de Clima Urbano de Cuiabá	22
2.3. A VEGETAÇÃO E SUAS FUNÇÕES NO ESPAÇO URBANO	28
2.3.1. A Vegetação e Clima Urbano	28
2.3.2. Interação da Vegetação com a Radiação Solar	32
2.3.3. Dendrologia.....	40
2.4. IAF – ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	40
2.5. ARBORIZAÇÃO URBANA.....	45
2.5.1. <i>Mangifera indica</i> L. e <i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	45
2.6. ÁRVORE DE DECISÃO – MODELO CHAID.....	46
2.7. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT	48
3. MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	51
3.1.1. Contexto geográfico.....	51

3.1.2.	Locus.....	52
3.2.	CRITÉRIOS UTILIZADOS NA DEFINIÇÃO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS PESQUISADAS	52
3.3.	INSTRUMENTAÇÃO	58
3.4.	MEDIÇÃO.....	64
3.4.1.	Aferição das Estações Micrometeorológicas	64
3.4.2.	Arquitetura das Medições	66
3.4.3.	Medição das Variáveis Microclimáticas.....	67
3.5.	MODELO ESTATÍSTICO UTILIZADO NA ANÁLISE DO IAF E DO ÍNDICE UV-B	68
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	69
4.1.	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) DA MANGUEIRA E DO OITI.....	69
4.2.	CARACTERÍSTICAS DA RADIAÇÃO SOLAR, TEMPERATURA DO AR E UMIDADE DO AR	72
4.2.1.	Radiação Solar – Medição ao Sol	72
4.2.2.	Radiação Solar - Medição na Sombra das Espécies Arbóreas.....	78
4.2.3.	Temperatura do Ar ao Sol e na Sombra das Espécies Arbóreas.....	82
4.2.4.	Umidade Relativa do Ar ao Sol e na Sombra das Espécies Arbóreas	89
4.3.	RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (UV-B)	95
4.3.1	Radiação Ultravioleta ao Sol	95
4.3.2.	Radiação Ultravioleta à Sombra das Espécies Arbóreas	98
4.4.	ANÁLISE INFERENCIAL – MODELO CHAID	105
4.4.1	Índice de área Foliar – IAF	105
4.4.2	Índice da Radiação Ultravioleta – UV-Índex.....	107
5.	CONCLUSÃO	110
5.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
6.	BIBLIOGRAFIAS	112
6.1.	BIBLIOGRAFIAS CITADAS.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Espectro da radiação eletromagnética	5
Figura 2	Curva espectral da radiação eletromagnética solar	8
Figura 3	Corte esquemático do mapa físico de Mato Grosso, em destaque o relevo com a depressão cuiabana	20
Figura 4	Médias mensais de Temperatura do ar (°C), Umidade do ar (%) e Precipitação (mm) em Cuiabá para o período de 1981 – 2010	23
Figura 5	A complexa dinâmica da árvore e da sombra.....	32
Figura 6	Espectro da reflectância, transmitância, absorvância de folha típica ..	35
Figura 7	Propriedade espectral da folha do algodão americano (<i>Populus deltoides</i>)	36
Figura 8	Fator de reflectância e transmitância direcional hemisférica da folha de <i>Ligustrum japonicum</i> e <i>Cassia macranthera</i>	36
Figura 9	Relevo do <i>campus</i> Cuiabá – UFMT	49
Figura 10	a) Localização do município de Cuiabá no Estado de Mato Grosso, b) limites do município, a cidade de Cuiabá e a Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT	51
Figura 11	Ocupação da área do <i>campus</i> Cuiabá - UFMT. Cenário de 2010-2011.	52
Figura 12	a) Imagem da Mangueira com as principais dimensões, b) Imagem da copa vista sob o dossel (23/10/2016).....	55
Figura 13	a) Imagem do Oiti com as principais dimensões, b) Imagem da copa vista sob o dossel (23/10/2016)	56
Figura 14	Área de localização das espécies arbóreas em estudo	56
Figura 15	Simulação do sombreamento do ginásio sobre o Oiti. Imagens simuladas pelo programa SketchUp para as quatro estações do ano: Inverno, Primavera, Verão e Outono, às 8h, 12h e 17h.....	57
Figura 16	Conjunto de sensores integrados da estação micrometeorológica Vantage PRO2™ da Davis Instruments Corp. 2004.....	58
Figura 17	Estação complementar para medição da Radiação Solar e Radiação Ultravioleta	59

Figura 18	a) Piranômetro modelo LP02 da Hukseflux Brasil, b) Piranômetro modelo #6450 da Davis Instruments-EUA.....	59
Figura 19	a) Sensor UV modelo #6490 da Davis Instruments-EUA, b) Sensor UV modelo SU-100 da Apogee Instruments.....	60
Figura 20	a) Anemômetro modelo #9911 da Davis Instruments-EUA, b) Mapa de direção do vento	61
Figura 21	Termo higrômetro modelo #7346 da Davis Instruments.....	62
Figura 22	Console – Vantage PRO2 – Davis Instruments.....	63
Figura 23	Ceptômetro AccuPAR modelo LP-80 da METER Group	63
Figura 24	Datalogger 4 canais modelo UX120-006M – onset HOBO® Data Loggers	64
Figura 25	Gráfico das variáveis microclimáticas temperatura do ar, umidade do ar, radiação ultravioleta UV-B e radiação solar, após a calibração e ajustes das estações micrometeorológicas E1 e E3 com relação a estação referência E2	65
Figura 26	Coordenadas, altitudes, distâncias e posicionamento das estações micrometeorológicas E1, E2 instaladas sob a copa das árvores e E3 exposta à radiação direta do sol no terraço do PPGFA	66
Figura 27	Posicionamento da estação micrometeorológica E2 e os afastamentos da espécie Oiti com relação ao bloco de ginástica em planta baixa e vista de corte CC	67
Figura 28	IAF médio das espécies arbóreas, calculado pelo modelo modificado do método desenvolvido por Norman e Jarvis (1974), para o período de medição – Inverno, Primavera, Verão e Outono	71
Figura 29	Distribuição da radiação solar (W/m^2), para os períodos de medição: a) Inverno, b) Primavera, c) Verão e d) Outono. Dados coletados pela estação micrometeorológica E3, localizada ao Sol no PPGFA.....	73
Figura 30	Radiação global média e máxima (W/m^2) referente ao período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono, medida pela estação micrometeorológica E3 – estação exposta ao Sol	75
Figura 31	Características da radiação solar (W/m^2) horária medida ao Sol entre 8:00h e 17:00h nas estações Inverno, Primavera, Verão e Outono	76

Figura 32	Características da radiação solar média horária (W/m^2) medidas ao Sol e na sombra da Mangueira e do Oiti. Medida diária entre 8:00h e 17:00h para o período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono.	79
Figura 33	Radiação solar média (W/m^2) medida ao Sol e sob a copa das espécies arbóreas Mangueira e Oiti	80
Figura 34	Características da média horária por período de medição da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) medida ao Sol, na sombra da Mangueira e do Oiti. Medida diária entre 8:00h e 17:00h para o período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono.	83
Figura 35	Médias da Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) medidas ao Sol e sob a copa da Mangueira e Oiti e a atenuação da temperatura do ar devido ao sombreamento arbóreo	84
Figura 36	Características das variações da temperatura horária do ar ($^{\circ}\text{C}$) na sombra da Mangueira (TM), sombra do Oiti (TO) e ao Sol (TS) para todos os dias de medição	85
Figura 37	Características da média horária por período de medição da umidade do ar (%) medida ao Sol, na sombra da Mangueira e do Oiti. Medida diária entre 8:00h e 17:00h para o período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono.....	89
Figura 38	Médias da umidade do ar ($^{\circ}\text{C}$) medidas ao Sol e sob a copa da Mangueira e Oiti e a elevação da umidade do ar devido ao sombreamento arbóreo	91
Figura 39	Características da umidade do ar na sombra da Mangueira (UM), sombra do Oiti (UO) e ao Sol (US) em todo o período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono.....	92
Figura 40	Características da radiação solar e da radiação ultravioleta (UV-B) ao Sol para as quatro etapas de medição	95
Figura 41	Valores médios da radiação solar e da radiação ultravioleta (UV-B) em W/m^2 para todos os períodos de medição.....	96
Figura 42	Características da radiação UV-B ao Sol para todos os períodos de medição.....	97

Figura 43	Índices médios de radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti por período de medição	98
Figura 44	Atividade da radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti no período de medição Inverno	99
Figura 45	Atividade da radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti no período de medição Primavera	100
Figura 46	Atividade da radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti no período de medição Verão	101
Figura 47	Atividade da radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti no período de medição Outono.....	102
Figura 48	Índice de radiação UV-B em Cuiabá e capitais em outras regiões...	104
Figura 49	Árvore de decisão e classificação do IAF – modelo CHAID.....	106
Figura 50	Árvore de decisão e classificação do UV-Índice – modelo CHAID.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comprimento de onda da luz visível do violeta ao vermelho.....	5
Tabela 2	Divisão do espectro eletromagnético da radiação solar na atmosfera segundo a CIE	6
Tabela 3	Classificação da RUV pelo critério de proximidade baseado na classificação da radiação solar visível	10
Tabela 4	Características das espécies arbóreas estudadas conforme os critérios estabelecidos para sua escolha.....	54
Tabela 5	Valores médios do IAF medidos no período seco e chuvoso das espécies arbóreas Mangueira e Oiti, com a utilização do instrumento Accupar LP-80	69
Tabela 6	Índice de área foliar (IAF) e desvio padrão (DP), calculado pelo modelo de inversão da radiação fotossinteticamente ativa – RFA, para os períodos de medição: Inverno, Primavera, Verão e Outono.....	69
Tabela 7	Médias da radiação solar ao Sol, sob a copa da Mangueira e do Oiti e a atenuação proporcionada pelas espécies arbóreas.	78
Tabela 8	Temperatura do ar (°C) máxima, mediana e mínima, por período de medição, medida ao Sol e na sombra e a atenuação de temperatura do ar das espécies arbóreas em estudo	83
Tabela 9	Umidade do ar (%) máxima, mediana e mínima, por período de medição, medida ao Sol e na sombra e a elevação da umidade do ar pelas espécies arbóreas	90

LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS

ADC	Árvore de Decisão/Classificação
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CHAID	<i>Chi-squared Automatic Iteration Detector</i>
CIE	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DMI	<i>Danmarks Meteorologiske Institut</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Eq	Energia química
FENF	Faculdade de Engenharia Florestal
FVC	Fator de Visão do Céu
GEE	Gases de Efeito Estufa
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDA	Índice de Densidade Arbórea
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISA	Índice de Sombreamento Arbóreo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISS	Conjunto de Sensores Integrados
LAI	<i>Leaf Area Index</i>
MED	<i>Minimum Erythemat Dose</i>
MLB	<i>Mule LightBar</i>
nm	Nanômetro
OMS	Organização Mundial de Saúde
PAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PET	<i>Physiologically Equivalent Temperature</i>
PPGFA	Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental
REDEMET	Rede Meteorológica do Comando da Aeronáutica
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa
RG	Radiação Global

RUV/UVR	Radiação Ultravioleta Solar
SACZ	<i>South Atlantic Convergence Zone</i>
SEBAL	<i>Surface Energy Balance Algorithm for Land</i>
SED	<i>Standard Erythermal Dose</i>
SIM	Módulo Integrado do Sensor
UA	Unidade Astronômica
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
UR	Umidade Relativa do Ar
UTCI	Índice de Conforto Térmico Universal
UV-Índice	Índice da UV-B (0 a +14)
WHO	<i>World Health Organization</i>
WRC	<i>Word Radiometry Center</i>
λ	Comprimento de onda
f	Frequência de operação da onda
c	Velocidade da luz
E	Energia da onda eletromagnética
h	Constante de <i>Plank</i>
V	Velocidade de propagação da onda no meio
n	Índice de refração do meio de propagação da onda
τ	Transmitância
δ	Absortância
φ	Reflectância
CO ₂	Dióxido de Carbono
O ₂	Gás Oxigênio
O ₃	Ozônio
H ₂ O	Vapor d'Água
SO ₂	Dióxido de Monoenxofre
SO ₃	Trióxido de Monoenxofre
CH ₄	Metano
NO ₃	Nitrato
NO ₂	Nitrito
NH ₃	Amoníaco

NO	Óxido de nitrogênio
N	Nitrogênio
Pb	Chumbo
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
PFCs	Perfluorcarbono
HFCs	Hidrofluorcarbonetos
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CH ₂ O	Carboidrato

RESUMO

CONCEIÇÃO, E. N. **Efeito do sombreamento de duas espécies arbóreas na atenuação da radiação ultravioleta e microclima em espaços abertos no campus da UFMT**, Cuiabá, 2018, 146f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A radiação ultravioleta solar é importante para a biosfera agindo na formação e variação da atmosfera terrestre, vida das plantas e dos seres humanos. Para o homem, quando em excesso, oferece perigo à saúde afetando o conforto e bem-estar fisiológico dos transeuntes que trafegam em espaços abertos desprotegidos da radiação solar. Por isso, objetiva-se estudar o efeito do sombreamento arbóreo na atenuação das variáveis microclimáticas e da radiação ultravioleta solar abaixo da copa de duas espécies arbóreas, a Mangueira (*Mangifera indica* L.) e o Oiti (*Licanea tomentosa* (Benth.) Fritsch). Busca-se também identificar se o Índice de Área Foliar – IAF – influencia em sua variação e intensidade tendo como objeto de análise a árvore e a sazonalidade. Os espécimes foram escolhidos em virtude de serem estes os mais usados na arborização de Cuiabá-MT. A metodologia aplicada foi quantitativa com base nos dados da radiação global, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação ultravioleta solar e índice da radiação. Utilizou-se, para coleta de dados, três estações micrometeorológicas sendo duas delas posicionadas na sombra de cada espécie arbórea e uma exposta diretamente ao Sol. As medições ocorreram nas quatro estações do ano, efetuando-se as coletas de 15 a 25 dias entre 8h às 17h. Os espécimes arbóreos atenuaram a radiação solar de 90% a 95%, a temperatura do ar de 2°C a 2,5°C, a umidade relativa do ar aumentou de 2% a 6% e a radiação ultravioleta solar UV-B diminuiu de 95% a 99%. Para análise do IAF e do UV-Índice utilizou-se a classificação hierárquica do tipo CHAID Exaustivo e análise de variância não-paramétricas, nas quais identificou-se que ambos variam de acordo com a sazonalidade. Assim, pode-se concluir que o IAF, a árvore e a sazonalidade são fatores que influenciam na variação e intensidade das variáveis microclimáticas e da radiação ultravioleta solar na sombra desses espécimes arbóreos.

Palavras-chave: Clima urbano, conforto ambiental, árvore de decisão, variáveis climáticas, UV Índice.

ABSTRACT

CONCEIÇÃO, E. N. *Effect of shading of two tree species on the attenuation of ultraviolet radiation and microclimate in outdoors areas in the campus of UFMT*, Cuiabá, 2018, 146f. Thesis. (Doctorate in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

Solar ultraviolet radiation is important for the biosphere. It acts in the formation and variation of the terrestrial atmosphere, life of plants and human beings. Its excess presents danger to the people's health, affecting the comfort and physiological well-being of the passers-by who travel in open spaces unprotected from solar radiation. For that reason, this study aims at studying the effect of tree shading on the attenuation of microclimatic variables and solar ultraviolet radiation below the canopy of two tree species Mangueira (*Mangifera indica* L.) and Oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch). This study also aimed at identifying if the Leaf Area Index - LAI, would imply in its variation and intensity, having as analysis object the tree and the seasonality. The specimens were chosen for the reason that they are the most used in the afforestation of Cuiabá in the state of Mato Grosso. This study counted on a methodology of quantitative type based on data of global radiation, air temperature, relative air humidity, solar ultraviolet radiation and radiation index. Three micrometeorological stations were used for the data collection, two of them being placed in the shade of each tree species and one exposed to the sun. The measurements occurred during the four seasons of the year, collecting from 15 to 25 days between 8:00 AM and 5:00 PM. The tree specimens attenuated 90% to 95% solar radiation, air temperature from 2° C to 2,5° C, relative air humidity increased from 2% to 6%, solar radiation UV-B decreased from 95% to 99%. For the analysis of the LAI and the UV-Index, a hierarchical classification of the exhaustive CHAID type and analysis of non-parametric variance were used, in which both were identified according to the seasonality. Thus, it can be concluded that the LAI, the tree and seasonality are factors that influence the variation and intensity of the microclimatic variables and the solar ultraviolet radiation in the shade of these arboreal specimens.

Keywords: Urban climate, environmental comfort, decision tree, climatic variables, UV Index.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

Devido a ação do homem, a atmosfera do planeta está em um processo de mudança pela emissão de gases de origem antropogênica os quais alteram a sua composição química, suas propriedades térmicas e sua dinâmica. Estudos têm apontado redução da camada de ozônio na Antártida, o que despertou a preocupação da comunidade científica mundial quanto à possibilidade de aumentar a intensidade da radiação ultravioleta solar (RUV) não só naquela região, mas como em toda a superfície terrestre.

Em virtude da camada de ozônio nos trópicos ser mais delgada e a radiação solar mais intensa, o Brasil detém os maiores índices de RUV do planeta. Sob esta ótica, as autoridades devem se preocupar com a saúde da população em relação à prevenção do câncer de pele e cataratas nos olhos, bem como intensificar a atenção às áreas relacionadas com a agricultura e agropecuária, pois a RUV influencia no desenvolvimento das plantas e animais.

Mato Grosso, estado do Centro-Oeste do Brasil, é uma região onde a economia gira em torno do agronegócio e, por ser um estado tropical de clima quente-úmido, está sob o efeito desta radiação que pode afetar o seu desenvolvimento econômico, mas também social visto que a ausência de ações pode comprometer a saúde da população.

Sua capital, Cuiabá, é conhecida pelo rigor climático cujas características de clima tropical é acentuada pela localização geográfica. A cidade situa-se em uma depressão denominada de Cuiabana. Também está sob o efeito de altos índices de incidência da RUV que atingem valores preocupantes em quase todas as épocas do ano.

A Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, localizada em Cuiabá, é um lugar onde há pessoas que transitam nos espaços abertos entre blocos de estudos e outras que usam o local para práticas esportivas, lazer e caminhadas. Ficam expostas à incidência da RUV, pois os espaços abertos não proporcionam proteções adequadas que poderiam ser efetuadas pelo uso da arborização.

Destaca-se que a arborização da UFMT é pequena em relação aos espaços já ocupados por construções, vias de acesso, blocos, faculdades, institutos, estacionamentos, entre outros. Em decorrência do processo de expansão do *campus*, nota-se que hoje são poucas as árvores nativas, sendo que as existentes foram plantadas sem nenhum estudo e planejamento ambiental.

Além disso, os estudos que envolvem a RUV necessitam de equipamentos caros, tendo em vista que essas radiações eletromagnéticas são ondas cujo comprimento é muito pequeno (10nm a 380nm), com alto poder energético destituído de calor. Por isso, medir a RUV na superfície é extremamente difícil devido a sua pequena intensidade e a falta de equipamentos sensíveis e calibrados, o que dificulta e compromete as pesquisas.

1.2. JUSTIFICATIVA

A arborização contribui com uma série de fatores benéficos às cidades, proporcionando à população bem-estar e influenciando diretamente na saúde física e mental, pois ajuda a propiciar conforto ambiental pela modificação do microclima das cidades. Na sombra das árvores nota-se a atenuação da percepção térmica em virtude do dossel reduzir a incidência de Radiação Solar Global (RG) sobre a superfície da pele. A RUV, uma das bandas que compõe a RG, também é atenuada proporcionando maior proteção à saúde das pessoas. Nesse sentido, os espaços abertos podem ser melhorados com projetos que enfocam a arborização como um recurso a mais para se proporcionar o conforto ambiental no sistema urbano. Identificados os fatores que influenciam no microclima e na atenuação da RUV, pode-se propor soluções técnicas aos órgãos públicos e governamentais, baseados em respaldos científicos, para elaborar planejamentos de arborização de cidades, construção de parques, praças e jardins, bem como, a escolha dos espécimes arbóreos e seus traçados nas ruas e avenidas.

Diante do exposto, o objetivo geral desta pesquisa foi identificar os impactos proporcionados pelo sombreamento de dois espécimes arbóreos, a Mangueira (*Mangífera indica* L.) e o Oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch), na radiação ultravioleta solar e nas variáveis microclimáticas (radiação solar, temperatura do ar e umidade do ar).

Para alcançar esse objetivo geral foi necessário desenvolver objetivos específicos relacionados a seguir:

- Especificar dois espécimes arbóreos conforme a importância qualitativa das espécies para arborização no município de Cuiabá, Mato Grosso; selecionando dois indivíduos típicos encontrados na região;
- Comparar e desenvolver análise exploratória para as variáveis microclimáticas e a atenuação da radiação ultravioleta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

2.1.1. Radiação Solar

Denomina-se radiação eletromagnética à propagação dos campos elétrico e magnético na forma de ondas sujeitas aos fenômenos de reflexão, refração, difração e interferência. A radiação eletromagnética pode se propagar no vácuo com velocidade (c) constante igual a $2,997925 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Porém, quando se propaga em um meio físico as ondas alteram sua velocidade (ISHIMARU, 2017; HALLIDAY *et al.*, 1995).

Na presença de um meio, a velocidade de propagação da radiação eletromagnética (V) depende deste meio e é definida pela Equação (1).

$$V = \frac{c}{n} \quad (1)$$

em que n é o índice de refração do meio.

Com isso, pode-se, por exemplo, obter muitas informações da atmosfera terrestre analisando a radiação eletromagnética que a atravessa, e da superfície da Terra analisando os fenômenos de reflexão e absorção, os quais influenciam o clima (REBOUÇAS *et al.*, 2015; SANTOS, 2014).

No âmbito da Física Moderna, a natureza da radiação eletromagnética é dual, isto é, na interação da radiação com a matéria, ora apresenta propriedades ondulatórias, ora, propriedades corpusculares, de modo que o fóton (quantum de energia eletromagnética) obedece à equação de Planck:

$$E = hf \quad (2)$$

sendo h a constante de Plank ($6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$), f a frequência da radiação eletromagnética e E a energia de um fóton.

Sob a forma ondulatória a radiação eletromagnética é caracterizada pelo comprimento de onda (λ - distância entre duas cristas consecutivas de uma onda) e pela frequência (f - número de oscilações por segundo - Hz), dada pela Equação 3 (SANTOS, 2014; HALLIDAY *et al.*, 1995; VAREJÃO-SILVA, 2005).

$$c = \lambda f \quad (3)$$

A Figura 1 mostra o espectro eletromagnético para comprimento de onda entre 10m e 10^{-13} m, porém não há limites, o comprimento de onda pode-se estender para além desses valores.

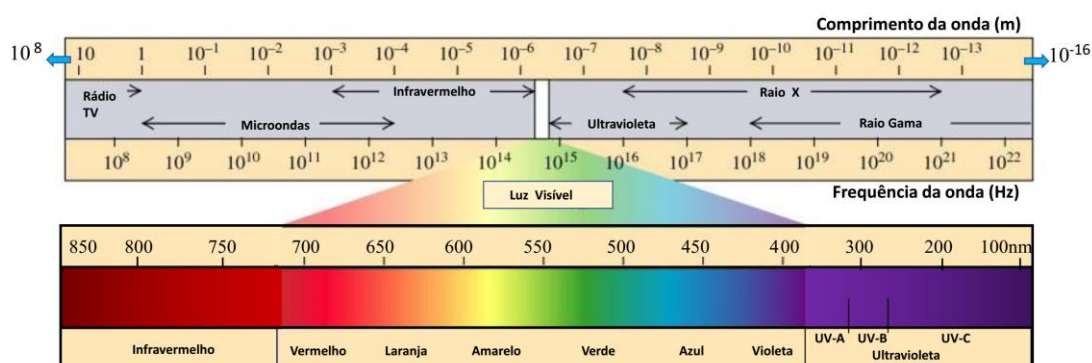


Figura 1 Espectro da radiação eletromagnética
FONTE: Ocultoreveladoaverdade, (2017)

São conhecidas radiações com comprimento de onda que variam desde 10^{-16} m - raios gama, até 10^8 m - ondas longas de rádio (HALLIDAY *et al.*, 1995). A vista humana consegue detectar a faixa de 360nm até 740nm, denominada luz visível, e interpreta as cores de violeta ao vermelho de acordo com os comprimentos de ondas (Tabela 1).

Tabela 1 Comprimento de onda da luz visível do violeta ao vermelho

Cor	Comprimento de onda (nm)
Violeta	360 – 420
Azul	420 – 490
Verde	490 – 540
Amarelo	540 – 590
Laranja	590 – 650
Vermelho	650 - 740

FONTE: HALLIDAY *et al.*, 1995

Os intervalos de transição entre os comprimentos de onda de cores vizinhas são aproximados e se dão de maneira gradual. As radiações com comprimentos de onda superiores a 740nm têm uma frequência menor do que a luz vermelha e são consideradas como radiação infravermelha. As radiações com comprimentos de onda

inferiores a 360nm são chamadas de radiação ultravioleta e apresentam frequências superiores à da luz visível (VAREJÃO-SILVA, 2005).

2.1.2. Espectro Solar

De acordo com o mapeamento completo do espectro solar, foram realizadas medidas em várias altitudes acima da camada da atmosfera e no solo. Com esses dados foram convencionadas as divisões do espectro eletromagnético da radiação solar na atmosfera (Tabela 2) pela Comissão Internacional de Iluminação (em Francês - *Commission Internationale de l'Eclairage* - CIE¹).

Tabela 2 Divisão do espectro eletromagnético da radiação solar na atmosfera segundo a CIE

Comprimento de onda	Símbolo	Faixa de comprimento de onda (nm)
Ultravioleta extremo	EUV	1 – 100
Vácuo ultravioleta	VUV	100 – 200
Ultravioleta distante	UV-C	200 – 280
Ultravioleta médio	UV-B	280 – 315
Ultravioleta próximo	UV-A	315 – 400
Visível	VIS	400 – 780
Infravermelho próximo	IR-A	780 – 1400
Infravermelho médio	IR-B	1400 – 3000
Infravermelho distante	IR-C	3000 – 10 ⁶

FONTE: (VILELA, 2010)

Ressalta-se que a divisão do espectro eletromagnético da Tabela 2 é simplesmente didática pois há publicações que indicam valores diferenciados entre as faixas de transição dos comprimentos de onda (VILELA, 2010).

O Sol já foi considerado um deus durante milênios e adorado por muitos povos da antiguidade. Entretanto, nos últimos quatrocentos anos, o conhecimento sobre o Sol desmistificou essa crença, com os trabalhos de Kepler (1571 – 1630) e Galileu (1564 – 1642).

¹ É uma organização técnica e científica e cultural onde debate em fórum internacional os assuntos relacionados à ciência, tecnologia e arte nos campos da luz e iluminação. Desenvolve normas básicas e procedimentos da metrologia nos campos da luz e iluminação. Publica normas e relatórios. Abrange temas como a visão, a fotometria, a colorimetria, envolvendo radiações naturais e artificiais como a radiação ultravioleta e infravermelha.

Quase toda a energia para a existência da vida, o planeta Terra recebe do Sol, fonte de energia radiante responsável pela dinâmica dos movimentos e reações químicas, físicas, térmicas, biológicas, etc. É considerado uma estrela de quinta grandeza com referência ao seu brilho, devido ter um valor de 4,83 para sua magnitude absoluta (LANGHI e NARDI, 2007). Sua composição química, segundo Silva (2006), é constituída por 92,1% de hidrogênio, 7,8% de hélio e 0,1% de outros elementos como: oxigênio, carbono e nitrogênio.

Compreender a dinâmica da interação radiação solar e o planeta Terra exige estudos de climatologia, biologia, urbanismo, meteorologia, engenharia ambiental, medicina, para o desenvolvimento de projetos e pesquisas que visem elaborar e implementar sistemas e mecanismos em benefício do ser humano.

O Sol emite radiações eletromagnéticas que, predominantemente, estão situadas na faixa de 220nm à 4000nm (99% dos comprimentos de onda da radiação emitida pelo Sol). Esta região é denominada de radiação de ondas curtas, e acima de 4000nm são denominadas de radiação de ondas longas (OLIVEIRA, 2013). O pico de emissão solar está situado na região visível entre 400nm a 780nm.

Com relação à energia total emitida pelo Sol, 52% está na faixa do infravermelho, 44% na faixa da luz visível e 4% na faixa do ultravioleta (VILELA, 2010; LEMON, 1965). Há autores, como Figueiras (1996), que atribuem 8% a 9%. Outros, como Bueno (1984), com 3% da energia total na faixa do ultravioleta.

Na literatura especializada encontra-se uma gama de valores atribuídos à energia irradiante que incide no topo da atmosfera, denominada de constante solar, que varia de 1338 a 1418W/m². Em outubro de 1981, este valor foi prontamente aceito e adotado pelo Centro Mundial de Radiometria – WRC (do inglês – *World Radiometry Center*) (SILVA, 2008). Estudos recentes mostram que o valor médio da irradiância solar é de 1366,1W/m², padronizada pela Sociedade Americana de Testes e Materiais (do inglês - *American Society for Testing and Materials* - ASTM) (VILELA, 2010).

O Sol irradia energia à temperatura de aproximadamente 5770K, cuja curva de irradiação se assemelha à de um corpo negro (Figura 2). A curva (b) da emissão radiativa do Sol no topo da atmosfera é diferente da curva (a) de emissão radiativa de um corpo negro à mesma temperatura, principalmente na região do ultravioleta, onde a diferença entre elas é mais acentuada. A curva (c) representa a radiação

eletromagnética recebida ao nível médio do mar, com a ausência quase completa da radiação ultravioleta para ondas com comprimentos de onda inferiores a 320nm (SANTOS, 2014; VILELA, 2010; VAREJÃO-SILVA, 2005).

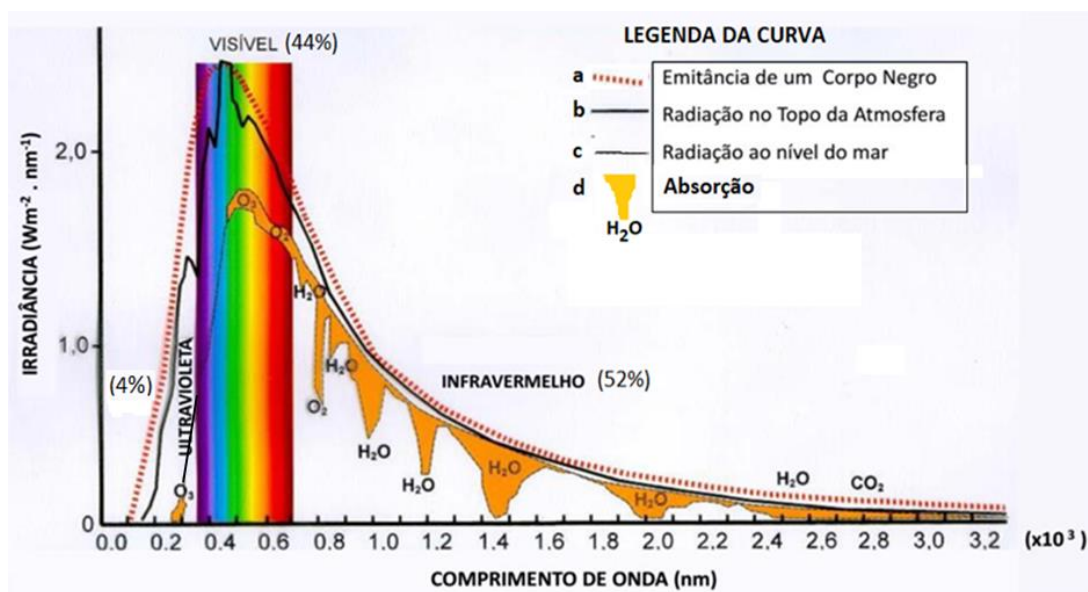


Figura 2 Curva espectral da radiação eletromagnética solar
FONTE: (ROBINSON, 1966)

Os picos de absorção (d), sob a curva de radiação ao nível do mar, ocorrem devido a determinados componentes atmosféricos que são: vapor de água (H_2O), oxigênio (O_2), ozônio (O_3) e o dióxido de carbono (CO_2) (SANTOS, 2014).

A radiação solar quando passa pela atmosfera da Terra modifica sua trajetória pelo processo de refração e reflexão por causa da interação com as partículas da atmosfera. A ação do ozônio, do gás carbônico e do vapor de água, em sua maioria cobre toda a região espectral do infravermelho, sendo que na região do espectro visível a ação é do ozônio e do oxigênio. Na região do ultravioleta, a ação preponderante é do ozônio (ECHER *et al.*, 2001; SILVA, 2008).

O fenômeno de reflexão acontece quando as ondas eletromagnéticas incidem sobre uma superfície e retornam para o meio de origem, mudando sua direção de propagação. Dessa forma, a energia incidente retorna ao meio de origem.

O fenômeno de refração da onda eletromagnética é atribuído às ondas eletromagnéticas que se propagam de um meio para outro com a mudança de sua trajetória e velocidade original.

O fenômeno da interferência se dá quando duas ou mais ondas luminosas, ao atingirem um anteparo, formam uma figura constituída de regiões iluminadas e escurecidas. Isso só acontece quando essas ondas são coerentes, isto é, possuem uma diferença de fase constante. Os máximos dessas regiões ocorrem nas posições do anteparo em que a diferença de fase dos raios de luz que interferem é nula (regiões iluminadas – interferência construtiva) ou 180° (regiões escuras – interferência destrutiva).

O fenômeno da difração está relacionado ao efeito de um raio de luz que ao atravessar uma fenda muito estreita difunde em diversas direções, possibilitando a incidência de raios de luz coerentes que formam franjas claras e escuras, devido a interferência luminosa (DARROZ, ROSA e ROSA, 2016).

2.1.3. Radiação Ultravioleta

Em 1777, o farmacêutico alemão, Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) observou em laboratório que amostras do cloreto de prata (AgCl), uma substância sensível à luz, se decompunham em velocidades diferentes ao serem expostas isoladamente a diferentes tipos de ondas da luz visível, sendo que a cor violeta produzia a reação mais rápida (FONSECA, 2010; FIGUEIRAS, 1996). Em 1801, o físico e químico alemão, Johann Wilhelm Ritter (1776 -1810) colocou uma amostra do cloreto de prata na região além do violeta e verificou que a decomposição da substância se tornava ainda maior. Nesse mesmo período, o cientista inglês William Hyde Wollaston (1766 -1828) chegou à mesma descoberta (FIGUEIRAS, 1996). A conclusão que chegaram é que, além do violeta, existe uma outra faixa denominada de ultravioleta composta de ondas cujo comprimento está entre 3nm a 300nm (FONSECA, 2010).

A radiação ultravioleta solar (RUV) é de grande importância por contribuir na estruturação da atmosfera terrestre e pela sua ação na biosfera. A RUV é mais energética que a radiação visível porque tem comprimento de onda mais curto (TAN *et al.*, 2017). Por isso, tem alto poder de penetração na matéria, sendo que, na pele humana provoca queimaduras extensas e profundas conforme o tempo de exposição. Também é responsável pela formação de uma camada ionizada utilizada para a comunicação via rádio através da ionosfera. Na mesosfera e na estratosfera atuam as ondas intermediárias as quais forçam reações fotoquímicas na formação da camada de ozônio (KIRCHHOFF, 1991; CORRÊA, 2015). Assim, a absorção da RUV pela

atmosfera influencia na temperatura e na fotoquímica que determinam as estruturas da estratosfera, mesosfera e termosfera inferior. Por outro lado, a RUV produz efeitos danosos à biosfera (ESTUPINAN *et al.*, 1996) como a redução do crescimento de plantas terrestres e aquáticas (algas), redução da pesca e o efeito sobre a pele humana causando queimaduras, câncer e cataratas aos olhos (TAN *et al.*, 2017; CORRÊA, 2015; PARK *et al.*, 2015). Outros fatores como nebulosidade, latitude, altitude, ângulo solar de zênite, influenciam na atenuação da RUV à medida que esta penetra na atmosfera (SINGH, 2015; PARK *et al.*, 2015; OLIVEIRA, 2013; ASSUNÇÃO, 2003).

Segundo Coulson (1975), a classificação da faixa espectral da RUV baseia-se em critérios de proximidades aos comprimentos de onda da radiação visível, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 Classificação da RUV pelo critério de proximidade baseado na classificação da radiação solar visível

Tipo	Classificação	Comprimento de onda (nm)
Ultravioleta próximo (<i>near ultraviolet</i>)	NUV	300 – 400
Ultravioleta médio (<i>middle ultraviolet</i>)	MUV	200 – 300
Ultravioleta distante (<i>far ultraviolet</i>)	FUV	100 - 200
Ultravioleta extremo (<i>extreme ultraviolet</i>)	EUV/XUV	10 - 100

FONTE: (ECHER, 1999)

A classificação da RUV adotada universalmente baseia-se nos critérios do seu efeito biológico. Dessa forma, as faixas do comprimento de onda são: a) UV-A de 320nm a 400nm; b) UV-B de 280nm a 320nm; c) UV-C menor que 280nm (TAN *et al.*, 2017; CORRÊA, 2015; OLIVEIRA, 2013; ROBINSON, 1966; PARK *et al.*, 2015).

A UV-A corresponde aproximadamente 6,3% do espectro solar. A absorção dessa energia pela atmosfera é muito fraca e a maior parte dessa energia atinge a superfície terrestre. As nuvens são as principais fontes de opacidade atmosférica nessa faixa por não permitirem a passagem da radiação UV-A em proporções apreciáveis. A radiação UV-B corresponde a 1,5% do espectro solar e por ser mais energético tem um efeito biológico em maior proporção na superfície da Terra. A energia é fortemente absorvida pela camada de ozônio, mesmo assim, parcela significativa dessa energia

atinge a superfície da Terra. A radiação UV-C corresponde a 1% da emissão solar (LOPO, 2013) e não chega na superfície terrestre devido sua absorção pela camada de ozônio e do oxigênio, atribuindo a esta faixa o efeito químico na formação da camada de ozônio (TAN *et al.*, 2017; KIRCHHOFF, 1995; FREDERICK e LUBIN, 1994; ROBINSON, 1966).

2.1.4. UV-Índice e Dose

As nomenclaturas e unidades usadas que fazem referência a RUV são expressas em índice UV (IUV ou UV-Índice) e em Dose, esta última designada pela CIE (CORRÊA, 2015). Ambas as nomenclaturas são as mais relevantes e utilizadas em todo o mundo. O índice UV foi estabelecido há mais de 20 anos como uma ferramenta para proteção solar e cuidados com a saúde. Logo após sua introdução, o monitoramento do índice UV começou em vários países, seja por novos instrumentos ou convertendo as medições dos instrumentos existentes em índices UV (SCHMALWIESER *et al.*, 2017).

O UV-Índice é um termo usado para conscientizar o público em geral sobre os riscos da exposição excessiva à RUV (CORRÊA, 2018). Conforme o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o índice representa o valor máximo da intensidade da radiação ultravioleta, por isso deve ser medida ao meio-dia solar, que na maioria dos casos, representa a hora em que ocorre a maior incidência da radiação global, e numa condição de céu claro, isto é, para ausência de nuvens.

O índice foi recomendado e desenvolvido pela Organização Mundial de Saúde - OMS (em inglês - *World Health Organization* – WHO) e padronizado pela Organização Internacional de Normatização (em inglês - *International Organization for Standardization* – ISO) e pela Comissão Internacional de Iluminação - CIE (OLIVEIRA *et al.*, 2013; CORRÊA, 2015). A ISO 17166:1999 estabelece as normas de ação de referência eritemica e a dose padrão eritematosa para o índice UV (SCHMALWIESER *et al.*, 2017).

O índice é uma classificação numérica, adimensional, com escala de 0 a +11, e está relacionada ao fluxo de UVR que induzem a formação do eritema (queimaduras) chamada irradiação eritemática (Quadro 1).

Quadro 1 Classificação dos índices UV e a Taxa de Dose Eritomatosa (TDE)²

UV-Índice	Classificação	Cor	Precaução	TDE (W/m ²)
< 2	Baixo		desnecessária	0 – 0,0625
3 – 5	Moderado		recomendada	0,0626 – 0,1375
6 – 7	Alto		muito recomendada	0,1376 – 0,1875
8 – 10	Muito alto		indispensável	0,1876 – 0,2625
11+	Extremo		extremamente indisp.	Acima de 0,2625

FONTES: (CORRÊA, 2015; OLIVEIRA, 2013; SILVA, 2010)

Quanto maior o valor do índice maior o potencial de efeitos nocivos para a saúde humana. Um caso específico é o índice UV da Dinamarca que está entre 0 e 7. O índice é calculado, medido e divulgado pelo Instituto Meteorológico Dinamarquês (em Dinamarquês - *Danmarks Meteorologiske Institut* - DMI) que aconselha a proteção contra a radiação UV do Sol quando o índice UV é maior do que 3. Uma regra que se aplica na Dinamarca, quando o índice UV é maior que 3, é observar se sua sombra é menor que sua altura ou quando o Sol está a uma inclinação de 45° (WULF e ERIKSEN, 2010).

Para o cálculo da IUUV³ (UV-Índice) fatores como declinação solar, nebulosidade, ângulo horário, são levados em consideração como parâmetros de entrada dos cálculos computacionais. As irradiâncias espectrais, designadas de Espectro de Ação Eritêmica, são calculadas com base na quantidade de ozônio, posição do Sol, tipo de superfície, cobertura de nuvens e aerossóis. Baseado na resposta biológica da pele humana – vermelhidão – as irradiâncias espectrais são ponderadas e integradas no intervalo espectral de 280nm a 400nm (UV-B e UV-A) dada pela Equação 4.

$$IUUV = C \int_{280}^{400} E_{\lambda} \varepsilon_{\lambda} d\lambda \quad (4)$$

onde E_{λ} (W/m²/nm) é a irradiância espectral na superfície, ε_{λ} é o espectro de ação eritêmica de referência, e C é a constante de conversão equivalente a 40W/m². Desse

² TDE – É a taxa de dose de radiação ultravioleta B capaz de produzir eritema cutâneo quando medido 24 horas após a irradiação.

³ Fonte INPE - <http://www1.cptec.inpe.br/buscasite.shtml#radiacaoultravioleta> – acessado em 03/06/2016.

modo, o IUV nada mais é do que o formato simplificado da irradiância eritêmica. Cada unidade de IUV corresponde a 25mW/m^2 (CORRÊA, 2015; KIGUTI *et al.*, 2009; SILVA, 2016; NA *et al.*, 2014). O índice também pode ser expresso em UV por hora a qual 1UV/h equivale a 90J/m^2 . Isso facilita estimar o tempo máximo que o indivíduo pode se expor ao Sol sem causar vermelhidão da pele (SCHMALWIESER *et al.*, 2017).

A Dose é designada pela Mínima Dose Eritêmica (em inglês – *Minimum Erythematous Dose* - MED), e significa a mínima exposição à radiação UVR que é suficiente para produzir vermelhidão na pele em uma margem de 24 horas após a exposição (MORISON, 2005), e equivale a 200J/m^2 (TURNBULL e PARISI, 2003). A unidade da Dose é J/m^2 e da Taxa de Dose Eritomatosa (TDE) é W/m^2 e expressam a energia e a potência, respectivamente, que atingem uma área de superfície unitária de um objeto irradiado (JAGGER, 1985; GABRITCH *et al.*, 2007).

Com o objetivo de padronização da Dose, um valor denominado Dose Eritêmica Padrão (do inglês – *Standard Erythematous Dose* - SED) tem sido proposto pela CIE como unidade efetiva eritêmica equivalente a 100J/m^2 . O termo SED é muito usado em dermatologia (WULF e ERIKSEN, 2010).

Assim, as medidas da UVR e da Dose não são apenas para relatar o índice para as pessoas, mas também usá-las para vários fins científicos (CORRÊA, 2018). Por exemplo, há pesquisas relacionadas às medições da radiação ultravioleta em vários países e continentes com o objetivo de mapear, quantificar e estudar o impacto da RUV na saúde e até em mudanças comportamentais da população.

Com relação à saúde, Singh *et al.* (2015) analisaram a variação da Dose eritêmica e o tempo de exposição para diferentes níveis de UV-B no continente Indiano e na Antártica. As medidas da intensidade da RUV foram feitas em MED/h. Verificaram que houve um aumento substancial da taxa MED em vários locais diferentes da Índia.

Nessa mesma linha de pesquisa, Janusz e Piotr (2018) analisaram tendências de Dose eritomatosa na estação polar Polish, Hornsund e Svalbard com dados homogêneos de 1996 a 2016 e dados reconstruídos de 1983-1995. Os resultados mostraram uma variabilidade significativa da Dose eritomatosa diária no final da primavera e no início do verão.

Ainda relacionado à saúde, Tan (2017) concentrou seu estudo em analisar e mapear a tendência de distribuição da taxa de Dose diária eritemática UV sobre a Malásia Peninsular em 2015. Os resultados apresentaram uma Dose diária máxima em abril de $7711,43\text{J/m}^2$, e a Dose diária mínima em dezembro no valor de $5518,13\text{J/m}^2$. O estudo constatou que há uma forte correlação entre a variação espacial e temporal da Dose diária eritomatosa por RUV com as estações das monções, radiação solar e ângulo de inclinação na Malásia Peninsular.

Outro fator importante relacionado a RUV é um monitoramento confiável que pode ajudar a população na mudança de hábitos e até de comportamento visando a saúde. Nesse sentido, Schmalwieser *et al.* (2017) mostraram uma visão geral do monitoramento do UV-Índex em vários lugares da Europa. Em função destes esforços, 57% da população europeia recebem informações de alta qualidade permitindo-lhes adaptar o comportamento diário com os cuidados de saúde, incluindo a prevenção do câncer de pele. Johnsen *et al.* (2018) estudaram a radiação UV com dados de 1995 a 2001 para oito locais de monitoramento na Noruega. Os resultados foram apresentados em UV-Índex baseado na normativa da CIE/1999. O risco de queimadura solar na Noruega é altamente dependente do tipo de pele. Pessoas com um tipo de pele que consegue facilmente ser queimado pelo sol pode representar baixo risco de queimadura solar para índices de UV abaixo de 3, e risco moderado para índices UV 3 e 4, e alto risco para índices UV 5 e 6, e risco muito alto para índices UV 7 e 8, e risco extremo para índices UV acima de 9.

Park *et al.* (2015) analisaram o impacto da radiação UV-A sobre a radiação eritomatosa e estimaram a UV-Índex na Coreia. As características da radiação ultravioleta foram analisadas utilizando dados biométricos coletados por um espectrômetro.

Os índices da RUV são diferentes para cada região devido à posição geográfica e aos fatores climáticos. Corrêa (2018) apresentou um método para estimar a UV-Índex e a Dose eritomatosa a partir de estimativas de medição da radiação PAR e cálculos de transferência radiativa. Usou dados coletados em São Paulo (Brasil), Paris (França) e Arica (Chile) sob condições de céu claro. O método é baseado em uma regressão polinomial de 2º grau para calcular o UV-Índex e Dose eritomatosa. Os resultados reproduziram a série de dados da UV-Índex brasileira e francesa com alta

precisão (<5%). O método foi testado em Arica (Chile) e os resultados foram satisfatórios mostrando uma diferença absoluta de $\pm 0,5$ no UV-Índex. Concluiu que a equação baseada nas medidas PAR fornece resultados precisos para estimativas de UV-Índex devido à natureza das interações atmosféricas. Ou seja, absorção fraca e espalhamento forte bem representado em modelos de transferência radiativa nesta faixa espectral visível.

2.1.5. Fatores que Influenciam na Radiação Ultravioleta Solar (RUV)

Segundo Wulf e Eriksen (2010), o índice RUV varia com a altura do sol, a cobertura da nuvem, a espessura da camada de ozônio, a altura acima do nível do mar, a superfície do solo, reflectividade (albedo) e conteúdo atmosférico de aerossóis que espalham a RUV em particular. Destes, os dois primeiros têm a maior influência.

De acordo com Echer *et al.* (2001), Kerr e Fioletov (2008), Assunção (2003) e Oliveira (2013), a RUV, em seu caminho desde o Sol até à superfície da Terra, percorre longas distâncias e atravessa grandes quantidades de massas envolvendo a atmosfera terrestre, produzindo a absorção e o espalhamento da radiação. Fatores temporais, geográficos e meteorológicos modificam sua trajetória e seus valores, cuja disponibilidade de radiação na superfície estão condicionados a:

- Distância Terra - Sol – A órbita da Terra é elíptica dependendo do dia do ano seu raio vetor é maior ou menor que a distância média entre Sol-Terra cujo valor é de 149.597.890km ou 1UA - Unidade Astronômica. Durante a sua órbita elíptica anual em torno do Sol, a Terra está mais próxima do Sol no início de janeiro e mais longe do Sol no início de julho. A diferença na intensidade da radiação solar entre o máximo de janeiro e o mínimo de julho é quase 7% a todos os comprimentos de onda. Essa assimetria tem consequências para a distribuição geográfica da radiação UV, uma vez que o máximo ocorre durante o verão no hemisfério sul, e inverno no hemisfério norte. Enquanto que o mínimo ocorre durante o inverno no hemisfério sul, e no verão no hemisfério norte. Além disso, a radiação UV no hemisfério sul é reforçado por uma coluna menor de ozônio total (KERR e FIOLETOV, 2008);
- Declinação solar – Devido ao eixo de rotação da Terra ser inclinado, cerca de 23,45° em relação ao plano normal da eclíptica, o plano equatorial da Terra

muda à medida que a Terra se desloca em sua órbita. Por isso, os movimentos da Terra – translação e rotação – causam variações diárias e sazonais da radiação. Assim, a intensidade da radiação que incide em uma superfície horizontal depende do cosseno do ângulo zenital. O aumento do ângulo zenital faz com que a intensidade da radiação diminua por percorrer um caminho maior, passando por uma quantidade maior de gases atmosféricos, produzindo absorção e espalhamento;

- Ângulo horário – A medida que o Sol se eleva no horizonte, a radiação aumenta atingindo seu ápice ao meio dia solar. No verão, em torno de 20% a 30% do UVR total diário incide entre 11:00 e 13:00h, e 75% entre 9:00 e 15:00h na latitude 20° (DIFFEY, 1991);
- Altitude – A radiação tende a aumentar com a altitude devido à redução da coluna atmosférica constituída pela camada de ozônio, nuvens, moléculas de ar e aerossóis sobre a superfície de referência. Em geral, a cada 300m de incremento na altitude, há um acréscimo de 4% na radiação incidente. Segundo Oliveira (2013) e Diffey (1991), a cada 1km na altitude o aumento da RUV na superfície é de 6%. Com o aumento da altitude, a componente direta da radiação UV aumenta, enquanto a componente difusa diminui, uma vez que há menos moléculas de dispersão acima de uma superfície mais elevada. Em geral, os locais em altitudes mais elevadas recebem mais radiação UV do que aqueles perto do nível do mar. Gases que absorvem a radiação UV estão frequentemente presentes na troposfera. Além disso, pode haver aerossóis absorventes ou não que reduzem a radiação UV na superfície (KERR e FIOLETOV, 2008);
- Latitude – A radiação solar incidente decresce quando o local se afasta do equador. Quanto mais próximo dos polos maior será a massa atmosférica atravessada e, dessa forma, o fluxo energético é menos potente;
- Topografia – A quantidade de radiação que atinge a superfície da Terra depende do relevo por apresentar superfícies com faces orientadas para todas as direções, o que acarreta um recebimento maior ou menor da radiação;
- Absorção ou espalhamento – Os átomos, as moléculas e aerossóis têm a capacidade de absorver e espalhar a radiação. Geralmente, o espalhamento

depende do comprimento de onda, de modo que, comprimentos de onda menores são espalhados com muita intensidade. Assim, radiação com comprimentos de onda menores que 1000nm atravessam a atmosfera sem interagir com moléculas de ar seco (COULSON, 1975). Todavia, o vapor d'água (H₂O) é o principal absorvedor da radiação com efeito intenso na região do infravermelho, além dos gases atmosféricos (CO₂, O₂). Mas, na região do ultravioleta, seus efeitos são inexpressivos (Figura 2). Já o ozônio atenua ondas com comprimentos de onda maiores que 300nm e atua nos comprimentos de onda entre 180nm e 220nm. Não tem nenhuma ação na região do infravermelho, tendo pouca e estreita banda de absorção (4750nm, 9600nm e 14100nm);

- Aerossóis – Como particulados microscópicos sólidos ou líquidos em suspensão no ar, classificados em troposféricos e estratosféricos, os aerossóis pouco atenuam a RUV uma vez que as partículas são maiores que o comprimento de onda dessa banda (JAENICKIE, 1980);
- Nebulosidade – A presença de nuvens no céu afeta muito a irradiância de radiação infravermelha, mas pouco a de RUV. Se o sol estiver encoberto por nuvens a quantidade de UV-B ainda corresponderá a cerca de 50% daquela de um dia de céu claro. Deste modo, dias nublados também oferecem uma incidência maior de radiação UV-B (OLIVEIRA, 2013). As nuvens têm um impacto muito forte no balanço radiativo, pois podem reduzir a radiação solar em torno de 5% (ESTUPINAN, *et al.*, 1996; SABBURG e WONG, 2000). As nuvens apresentam um alto índice de reflectividade e seus efeitos podem ser considerados como o efeito de albedo, efeito de espalhamento e atenuador, dependendo da estrutura da nuvem e do ângulo zenital (SINGH *et al.*, 2015). Embora o céu esteja nublado, a distribuição da radiação nas três bandas (infravermelha, visível e ultravioleta) é significativa (GRANT e HEISLER, 1997);
- Albedo de superfície – Três efeitos podem resultar quando a radiação atinge a superfície: absortividade, reflectividade e transmissividade. A reflexão da radiação varia com as propriedades físicas da superfície, com o ângulo de elevação solar e com a intensidade de fluxos radiante direto e difuso. Também

é uma variável que depende da latitude, sazonalidade, cobertura do solo, cobertura de nuvens, temperatura e umidade do ar, e inclusive, da velocidade do vento. Um gramado reduz a radiação UV-B incidente de 2% a 5%, enquanto que a areia na praia reflete em torno de 10% a 15% estando embaixo de uma sombrinha. A neve reflete 85% a 90% da UV-B incidente, enquanto que a água do mar, 30%;

- Estação do ano – A irradiância (quantidade de energia por área) da UV-B diária, em torno de 20 graus de latitude, aumenta cerca de 25% no verão e diminui de 30% no inverno com base nos valores da primavera e do outono. Para maior latitude, por exemplo 40 graus, esses valores correspondem a +70% e -70%, respectivamente, verão e inverno.

2.2. CLIMA URBANO

Segundo Monteiro e Mendonça (2011, p. 19), “O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. O ambiente urbano e suas características ambientais e climáticas constituem o clima urbano. Nesse sentido, o clima urbano é específico para cada ambiente urbanizado e consiste nas modificações dos elementos que compõem a atmosfera ocasionadas pela inter-relação homem e clima. O balanço de energia, o balanço hidrológico, o relevo e os elementos da atmosfera, são modificados e a natureza da superfície do solo e a atmosfera também.

Ayoade (1986) descreve claramente esta relação nos dois sentidos, o homem influenciando no clima e o clima influenciando no homem. Aponta fatores positivos e benéficos como a chuva, e fatores negativos, como as enchentes, em relação ao impacto do clima e suas variações climáticas sobre a sociedade. Destaca a climatologia como um papel fundamental nos estudos do clima urbano, pois envolve os modelos de ajustamento pelas quais a sociedade funciona numa relação harmônica com o clima. Observa a vulnerabilidade pela qual a sociedade sofre, pelas causas climáticas e sua resiliência em se manter no espaço. Assim, a saúde humana, a disponibilidade de energia e o conforto, são os mais afetados pelo clima do que por outro elemento do meio ambiente. Os efeitos do bom clima sobre a saúde humana são benéficos, pois o ar fresco e puro, a temperatura amena, a umidade e radiação moderados, têm valores terapêuticos.

O clima também influencia em várias atividades humanas como a agricultura, a pecuária, a indústria de tecelagem, o turismo, o comércio, o sistema de transporte e a comunicação. Geralmente, um bom clima não irá prejudicar sua eficiência e utilização.

Atividades executadas ao ar livre como lazer, jogos, esportes, turismo, caminhadas, são extremamente vulneráveis às condições climáticas. O clima muitas vezes determina como construímos nossas casas e como nos vestimos. O homem passou a executar ações que se ajustam às condições do tempo e do clima nas construções, no trabalho, na moradia, no conforto térmico, etc. Por outro lado, inadvertidamente, sua interferência no clima tem um peso considerável de valor negativo presentes em todos os setores devido a urbanização, a industrialização, o desmatamento, as atividades agrícolas, a drenagem e a construção de represas e usinas de energia elétrica. Mas, o maior impacto do homem sobre o clima acontece nas áreas urbanas, de modo que o clima urbano se torna distinto por suas características específicas comparando-as com as áreas rurais. Aliás, a maioria dos estudos iniciais sobre o clima urbano baseou-se nas análises das diferenças entre a temperatura coletada em áreas urbanas com as áreas rurais (SILVA *et al.*, 2015).

Vários trabalhos enfocam o clima urbano considerando as mesmas perspectivas do conceito: efeito da cidade sobre o clima local. Monteiro (1976) em seu trabalho ‘Teoria do Clima Urbano’, foi o estimulador dos estudos geográficos de clima urbano no Brasil, servindo como suporte para vários trabalhos acadêmicos e, até hoje, é citado em todos os estudos de clima urbano. Ayoade (1986), em sua obra, apresenta os princípios fundamentais da climatologia com o foco acadêmico para atender os professores de geografia, ambiental, etc.

O histórico do clima urbano está apresentado em obras como as de: Landesberg (1981), Oke (1984) e Yoshino (1990). Os primeiros trabalhos apresentados sobre o tema foram conduzidos por Luke Howard (1772-1864) em Londres e Émilien Renou (1885-1902) em Paris (LANDSBERG, 1981). Depois, países como a Alemanha, Áustria e Suíça, investigaram o estudo do clima através das estações meteorológicas, que apesar de bem localizadas, entenderam não haver uma boa representatividade do clima local em espaços abertos. Por isso, introduziram técnicas de medições itinerantes começando a pé, depois de bicicleta (LANDSBERG, 1981), automóvel, avião,

helicóptero e, hoje em dia, por meio dos satélites. Alcoforado (1999) apresenta, em sua obra, um estudo da evolução histórica de clima urbano, o clima e o planejamento urbanístico ao longo do tempo, expondo as estratégias para o combate dos impactos negativos e delas absorver os elementos positivos. Outros estudos voltados para a arquitetura e o ambiente externo foram muitas vezes ignorados (OLGYAY, 1963; GIVONI, 1978).

2.2.1. Aspectos Climáticos da Cidade de Cuiabá

A altitude de Cuiabá varia entre 146m e 250m dentro da área urbana. A cidade está localizada em uma região chamada de Depressão Cuiabana (Figura 3) onde predominam relevos de baixa amplitude constituídos por: canal fluvial, planície de inundação, área alagadiça, colinas e morrotes (CUIABÁ, 2004).

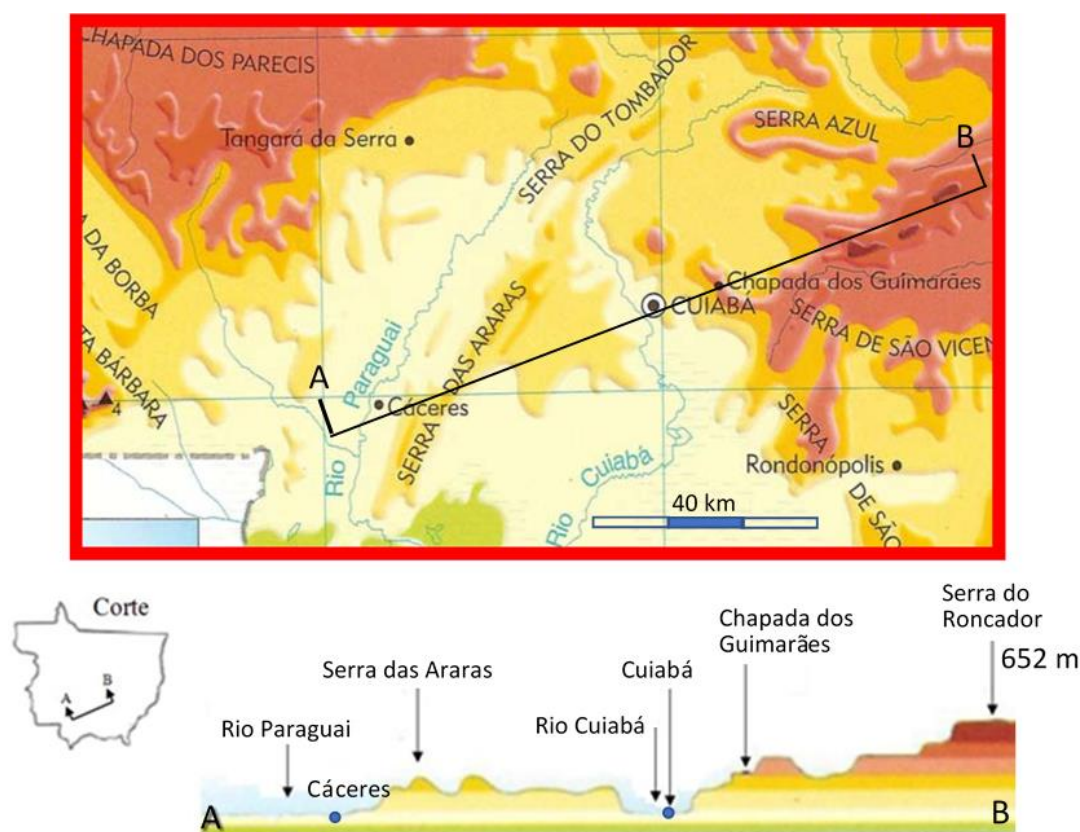


Figura 3 Corte esquemático do mapa físico de Mato Grosso, em destaque o relevo com a depressão cuiabana

FONTE: Adaptado de Moreno *et al.* (2006)

A cidade situa-se à margem esquerda do principal rio de mesmo nome “Cuiabá” e é cortada pelo rio secundário denominado de rio “Coxipó” e pelos córregos

da Prainha, Ribeirão da Ponte, Manoel Pinto, Moinho, Barbado, Gambá e São Gonçalo. O clima da região é do tipo 'Aw' pela classificação de Köppen-Geiger (1928), ou seja, tropical continental semiúmido com chuva no verão e seca no inverno. Possui duas estações bem definidas: uma seca de maio a setembro (outono-inverno) com 4 a 5 meses de duração e outra chuvosa de outubro a abril (primavera-verão) (MACHADO *et al.*, 2015).

Segundo Campelo Jr. *et al.* (1991), as duas estações são definidas como quente-seca e quente-úmida. Duarte (2000), em sua Tese de Doutorado, aponta três períodos distintos para região de clima tropical continental. Definido por: a) estação seca e mais fresca no inverno; b) estação de transição, também no período seco, um pouco mais quente e antecede o período de chuvas e c) uma estação úmida e quente durante as chuvas de verão.

As chuvas acontecem com maior intensidade no verão e, em menor intensidade no inverno. 80% do total de chuvas acumuladas durante o ano precipitam de outubro a abril, enquanto que 11% precipitam de maio a setembro. A média anual de chuva é de 1335mm. A variabilidade mensal média da precipitação atingiu o valor máximo em janeiro de 220,9mm, enquanto que a mínima ocorreu em julho com 14,6mm (MACHADO *et al.*, 2015).

Os ventos predominantes de Cuiabá são oriundos do Norte (N) durante grande parte do ano ocorrem com mais frequência de outubro a maio, seguidos pelos ventos do Noroeste (NO). No período do inverno os ventos são do Sul (S) ocorrem com mais frequência entre abril e setembro. Os ventos possuem ocorrência e velocidade média baixa, devido sua localização e variação sazonal do clima, mas podem atingir velocidades de até 129km/h (CAMPELO JR. *et al.*, 1991). A massa de ar continental age em Cuiabá durante o verão. Ela se caracteriza por fortes convecções de ar e a consequente formação de nuvens com grande desenvolvimento vertical. Segundo os estudos de Machado *et al.* (2015), a média anual máxima da velocidade dos ventos em Cuiabá foi de $2,0\text{m.s}^{-1}$, e para a velocidade mínima a média anual foi de $1,5\text{m.s}^{-1}$. A velocidade máxima ocorreu em outubro, e a velocidade mínima ocorreu em junho.

A temperatura do ar média é alta e controlada pela posição geográfica e altitude. Oscila entre 30°C e 36°C nas estações primavera e verão. O inverno em Cuiabá tem uma particularidade de ter alguns dias por ano com temperaturas que

chegam a menos que 20°C – friagem – e, em média, 8 dias anuais com temperaturas abaixo de 18°C. Nos meses de outubro e novembro as máximas atingem valores de 40°C com umidade relativa do ar de 18% nas horas mais quentes do dia (SANTOS *et al.*, 2014; OLIVEIRA, 2011).

A média anual da temperatura do ar para os estudos do clima de Cuiabá, com dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, de 1961 a 2011, foi de 26,9°C (MACHADO *et al.*, 2015). Nesse período, a máxima e a mínima oscilaram entre 32,8°C e 21,2°C, respectivamente. As temperaturas máxima e mínima apresentam o mesmo padrão da radiação solar atingindo valores máximos em novembro e mínimos em julho.

A umidade relativa anual (1961-2011) foi de 71,6% com valor máximo de 80% em fevereiro e a mínima de 56,7% em agosto. Os valores mais elevados da umidade relativa do ar ocorreram na estação chuvosa devido à massa tropical continental denominada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (em inglês – *South Atlantic Convergence Zone - SACZ*)⁴. O menor valor de umidade ocorreu na estação seca, devido ao deslocamento de sistemas atmosféricos associados a menor disponibilidade de água no solo, o que provocou uma diminuição na evapotranspiração e, como consequência, um aumento no fluxo de calor sensível (MACHADO *et al.*, 2015).

A variabilidade anual da radiação solar em Cuiabá correspondeu nesse período (1961-2011) a um valor máximo diário de 17,5MJm⁻²ano⁻¹ em novembro, e um valor mínimo de 13,5MJm⁻²ano⁻¹ em junho. A média diária anual foi de 15,6MJm⁻²ano⁻¹.

2.2.2. Estudos de Clima Urbano de Cuiabá

Os dados climatológicos de Cuiabá obtidos pela Rede Meteorológica do Comando da Aeronáutica - REDEMET, localizada no aeroporto Marechal Rondon, em Várzea Grande/MT, para o período compreendido de 1981 a 2010, evidenciam as médias mensais para as temperaturas médias, máximas e mínimas, precipitações e umidades relativas do ar para a cidade de Cuiabá.

A Figura 4 mostra as variações climatológicas médias mensais observadas em Cuiabá no período de 1981 a 2010.

⁴ SACZ – é caracterizado por uma nebulosidade semi-estacionária direcionada do Noroeste (NW) para sudoeste (SE) associada a uma zona de convergência de umidade que se estende para a troposfera durante vários dias estendendo da Amazônia ao Oceano Atlântico Sul. (RAO, *et al.*, 1996)

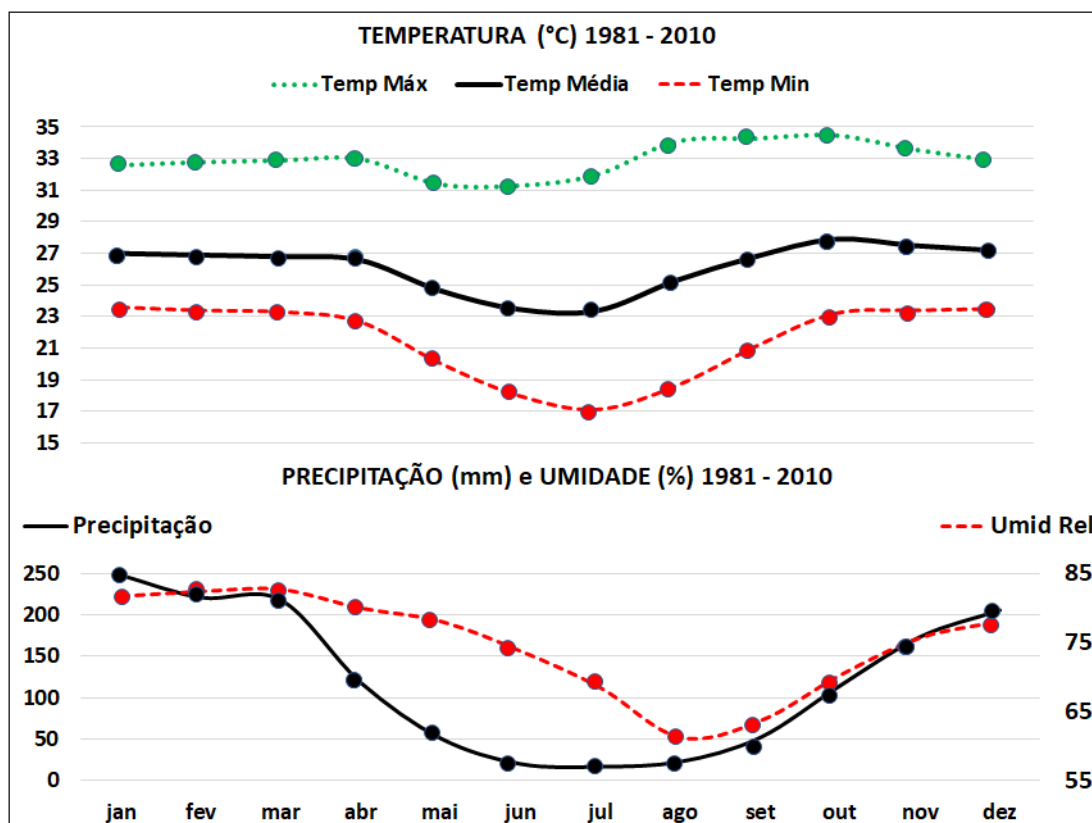


Figura 4 Médias mensais de Temperatura do ar (°C), Umidade do ar (%) e Precipitação (mm) em Cuiabá para o período de 1981 – 2010

FONTE: 9º Distrito de Meteorologia – INMET (2018)

De acordo com a Figura 4, a maior temperatura do ar foi de 34,5°C (outubro), e a menor temperatura foi de 17,1°C (julho), com médias mensais oscilando entre 23,4°C (julho) a 27,9°C (outubro). A média da temperatura do ar do período foi de 32,95°C para máxima, 21,5°C para mínima e 26,13°C para a média. Os meses mais quentes do período foram setembro e outubro, e o mês mais ameno foi julho.

Já a umidade relativa do ar variou entre 61,3% (agosto) e 82,7% (março) com uma média do período de 74,7%. Os meses com baixa umidade relativa do ar foram agosto e setembro, e com elevada umidade relativa do ar janeiro a abril. Como se verifica, os meses de maior umidade do ar são os meses em que ocorreram as maiores precipitações (acima de 200mm). O mês de maior precipitação foi janeiro (247,5mm) e com a menor precipitação julho (16mm). A precipitação total do período foi de 1454,5mm.

Outros estudos trazem algumas de muitas questões que envolvem períodos climatológicos de Cuiabá.

Silva e Tarifa (2017) fizeram uma análise secular (1912 a 2012) da temperatura do ar no clima de Cuiabá e Várzea Grande. O tratamento estatístico temporal dos dados foi apoiado nas concepções da ritmanálise e do holorrítmo⁵. Os dados da temperatura média do ar foram coletados junto ao INMET e as falhas foram preenchidas pela análise de regressão. A temperatura média anual do ar para o período foi de 25,8°C e os resultados mostraram a existência de três ciclos quentes. O primeiro ciclo de 1912 a 1919 com temperatura média anual do ar de 27,4°C, o segundo ciclo de 1950 a 1960 com temperatura média anual do ar de 26,4°C, e o terceiro ciclo de 1980 a 2012 com temperatura média anual de 26,7°C. Também existiram ciclos com temperatura média anual do ar abaixo de 25,8°C nos períodos de 1920 a 1940 e de 1960 a 1970.

Maitelli (1994) investigou os efeitos da urbanização na temperatura e umidade do ar da cidade de Cuiabá-MT, localizada em área tropical continental. Os estudos combinaram três abordagens: análise estatística de série temporal referente ao período de 1920-1992.

Machado *et al.* (2015) caracterizaram um padrão sazonal e interanual das variáveis meteorológicas em Cuiabá com os dados meteorológicos de 1961 a 2011 fornecidos pelo INMET. Os resultados apontaram variações anuais e sazonais de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção do vento e precipitação. Apontaram duas estações do ano distintas, uma chuvosa de outubro a abril e outra seca de maio a setembro. Observaram que 89% das precipitações do período ocorreram na estação chuvosa. A velocidade do vento não teve padrão sazonal. Apresentaram dados médios anuais da radiação global (15,6MJ/ m² ano), temperatura do ar (27,9°C) e umidade relativa do ar (71,6%).

Com outros temas, destaca-se o trabalho de Callejas *et al.* (2016) que concentraram os estudos no balanço energético, conforto térmico, contaminação atmosférica, qualidade do ar, etc., objetivando avaliar a sazonalidade e a variação do balanço energético em áreas de alta densidade populacional em Cuiabá durante as

⁵ É uma abordagem teórico-prática que tenta entender a totalidade dos ritmos que controlam o tempo meteorológico local e regional, trabalhando as inter-relações entre os fatores físicos, biológicos e sociais. Através da apreensão e o entendimento de todos os ritmos, aponta uma teoria e um método capaz de desvendar de forma mais objetiva (teórico-prática) a lógica dos processos naturais e a lógica dos processos socioeconômicos que, na maioria das vezes, são tratados de forma isolada. Assim, parece possível conhecer as relações de qualidade-quantidade, continuidade-descontinuidade, mecânico-orgânico, ciclos biológicos ligados à vida no sentido cósmico e a vida social.

estações seca e úmida. Assim, foram determinados os fluxos de temperatura do ar, da umidade do ar, do calor superficial, que contribuem significativamente na mudança do microclima urbano.

O estudo do clima urbano sob a ótica do balanço de energia, segundo Assis (2005), tem fornecido uma estrutura que possibilita desenvolver modelos genéricos, com variáveis termodinâmicas importantes do sistema, como também comparar resultados entre cidades que auxiliam no planejamento e nas diretrizes de seu desenvolvimento.

Dessa forma, Jesus *et al.* (2016) realizaram uma análise dos parâmetros da Lei Complementar nº102 – Uso e ocupação do solo no município de Cuiabá-MT com o comportamento das variáveis microclimáticas em relação ao meio urbano. Para isso, analisaram três pontos da avenida Historiador Rubens de Mendonça num período de 10 anos entre 2003/2004 a 2013/2014. Compararam dados de temperatura do ar e umidade do ar com as mudanças que ocorreram nesse período como recuos das edificações, presença de vegetação e permeabilidade. Assim, puderam afirmar que as condições climáticas estão ligadas ao uso e ocupação do solo e vegetação, e concluíram que há necessidade de adequar os espaços urbanos às diretrizes legais do planejamento urbano em busca de um ambiente autossustentável. Por isso, deve-se pensar a cidade crescendo com planejamento, promovendo a estabilidade social, econômica e ambiental. Um dos impactos que as cidades em desenvolvimento enfrentam é o aumento populacional, que gera desequilíbrio no meio ambiente e no microclima urbano, devido a ocupação do solo ocorrer sem o controle e planejamento.

Assim, com o objetivo de investigar o uso e a ocupação do solo vários estudos foram realizados, e a cidade de Cuiabá está inserida nesse contexto.

Macedo *et al.* (2016) investigaram quatro pontos da cidade de Cuiabá em dois momentos. Entre o ano de 2003 a 2004 e dez anos depois entre o ano de 2013 e 2014. Compararam a temperatura média anual entre os dois momentos com base nas imagens de ocupação do solo de 2003-2004 com a de 2013-2014 obtidos no banco de dados do programa Google Earth. A partir da análise dos dados, verificaram que as áreas arborizadas tiveram uma variação negativa de temperatura em comparação com as áreas construídas, asfaltadas e/ou solo exposto, que apresentaram um aumento da temperatura.

Estudo semelhante foi feito por Angelini *et al.* (2015). Desta feita, utilizando o sensoriamento remoto, obteve imagens com melhor resolução espacial, de poucos metros e até alguns quilômetros. Essa técnica requer poucos dados para estimar o balanço de energia, balanço de radiação e a evapotranspiração, independentemente do tipo de cobertura do solo. O algoritmo utilizado foi o SEBAL (em inglês – *Surface Energy Balance Algorithm for Land*) que possibilitou analisar os resultados relacionando o albedo e a temperatura da superfície de diferentes usos e ocupações do solo na área urbana de Cuiabá. Assim, as áreas construídas e de solo exposto apresentaram maiores valores de albedo de superfície, enquanto que áreas vegetadas e corpos d'água apresentaram menores valores de albedo de superfície. Quanto a temperatura da superfície, o período seco apresentou maiores quantidades de regiões com valores elevados de temperatura da superfície em relação ao período chuvoso.

Certamente, as variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar estão sempre presentes nos estudos de clima urbano. Assim, com o objetivo de analisar o comportamento termo-higrométrico de determinado ambiente, aponta-se outros estudos utilizando a metodologia dos transectos móveis.

Alves e Biudes (2011) caracterizaram espacialmente a temperatura do ar e a umidade relativa do ar na UFMT, *campus* Cuiabá, em dois períodos: abril e setembro em três horários 8h, 14h e 20h. Utilizaram a técnica dos transectos móveis para as coletas de dados. Os resultados apontaram que existem evidências na relação entre tipos de uso e ocupação do solo e a topografia, sobre a temperatura do ar e umidade relativa do ar, devido a influência de matas, corpos d'água, superfícies gramados, pavimentos e edificações.

Nessa mesma linha de estudo, Franco (2013) analisou diferenças de temperatura do ar e umidade relativa do ar entre três bairros: Boa Esperança, Santa Cruz e Jardim Universitário. Considerando apenas o uso e ocupação do solo, os dados coletados por meio de estações meteorológicas automáticas e transectos móveis, indicaram diferenças entre os pontos de coleta de temperaturas do ar de 0,9°C a 3,7°C, e de umidade relativa do ar de 1,8% a 10,6%. Luz (2013) realizou o mesmo modelo de estudo entre duas regiões de Cuiabá: UFMT e o Bairro Pedra 90. As medições ocorreram em dois períodos: agosto e outubro de 2011 e março e maio de 2012. Os dados apresentaram que o bairro Pedra 90, por estar bem afastado da área urbana

(15km do centro de Cuiabá), apresentou os melhores resultados, com temperatura do ar mais amena e maior umidade relativa do ar. A região da UFMT, dentro da área urbana (3,5km do centro de Cuiabá), apresentou valores altos de temperatura e baixa umidade. Essas diferenças nas variáveis climáticas de cada região são devidas à influência no microclima dos materiais que compõem a cobertura do solo.

Santos (2014) ao analisar o clima urbano de Cuiabá usando a metodologia de transectos móveis, concluiu em seu trabalho que o adensamento urbano e a vegetação são fatores determinantes na modificação do comportamento termo-higrométrico. É evidente a influência do fluxo de veículos automotores nos ganhos de calor do meio ambiente, enquanto que áreas vegetadas, apresentaram perda de calor para o meio produzindo queda de temperatura do ar e aumento da umidade relativa do ar.

Então, a vegetação é um fator que contribui para o microclima das cidades permanecer a níveis satisfatórios ao conforto e ao bem-estar da população. Os estudos envolvendo a vegetação com o clima urbano apontam os mais variados objetivos como monitoramento das áreas verdes de cidades para manter a qualidade do ar, evitar desastres naturais causados por erosões, diminuir a intensidade dos ventos e ruídos, diminuir a temperatura do ar e aumentar a umidade do ar.

Segundo Alves *et al.* (2017), a presença da vegetação contribui para a redução do desconforto térmico. Nesse contexto, o trabalho de pesquisa desses autores teve como objetivo demonstrar a importância e os efeitos positivos da arborização urbana. Foram coletados dados das variáveis microclimáticas de temperatura do ar e umidade do ar de 2013/2014 e de 2003/2004. Foram escolhidos vários pontos da cidade de Cuiabá para pesquisa. Os dados de 2013/2014 foram comparados com os dados de 2003/2004 para o mesmo ponto e perceberam, de um modo geral, que a temperatura média anual do ar aumentou de aproximadamente 0,6°C, e a umidade média anual do ar diminuiu de 4,2%. Concluíram, os autores, que provavelmente, isso ocorreu em função da remoção da vegetação pela substituição de áreas edificadas e pavimentadas.

Assim, o planejamento da arborização é necessário e indispensável, pois afeta diretamente o conforto térmico e a qualidade de vida dos habitantes, descreve Ribeiro (2015). Por isso, a autora realizou uma pesquisa com o objetivo de analisar a influência da vegetação arbórea no comportamento térmico de diferentes tipos de revestimento do solo como: concreto, asfalto e solo nu. Foram medidos a temperatura interna e

superficial dos revestimentos, temperatura do ar e umidade relativa do ar medidas diretamente sob Sol e sob o sombreamento arbóreo. As espécies arbóreas escolhidas foram a Mangueira (*Mangifera indica* L.) e Oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch). Os resultados indicaram que os revestimentos instalados sob a copa das árvores obtiveram os melhores desempenhos térmicos internos e que a temperatura do ar apresentou redução significativa nos locais sombreados.

Tocantins (2015) e Oliveira *et al.* (2013) estudaram, por sua vez, duas praças públicas de Cuiabá e observaram sua influência nas variáveis climáticas. Ficou evidenciado os benefícios da cobertura vegetal. Verificaram que pontos onde há predominância de árvores e vegetação rasteira registraram variáveis climáticas mais favoráveis que os pontos cobertos por asfalto ou concreto. Oliveira *et al.* (2013) observaram que a vegetação arbórea é um fator determinante no uso das praças públicas, principalmente na permanência de pessoas na praça.

Parques em Cuiabá também foram estudados, como exemplo, o Parque Massairo Okamura, em que Beserra Filho (2015) avaliou o microclima ao nível de pedestre e observou a importância de áreas verdes com cobertura arbórea que possibilitam um melhor conforto térmico para seus usuários. Constatou que os pontos do parque desprovidos ou insuficientes de arborização não atenuaram bem a radiação solar, por isso a temperatura do ar era elevada em comparação com as áreas arborizadas. Verificou que as áreas permeáveis, tipologia de edificações, materiais construtivos, muros e asfaltos, presentes no parque, interferiram na qualidade térmica do ambiente.

Existem muitos trabalhos sobre o clima urbano de Cuiabá, uns com objetivos semelhantes e outros com objetivos diferentes dos trabalhos aqui citados, os quais, abordam temas aplicados ao planejamento e legislação da cidade, ao conforto térmico, ilhas de calor e de frescor, uso e ocupação do solo, vegetação, etc.

2.3. A VEGETAÇÃO E SUAS FUNÇÕES NO ESPAÇO URBANO

2.3.1. A Vegetação e Clima Urbano

A radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, o movimento dos ventos, bem como a temperatura radiante, influenciam na percepção térmica do homem. Este por sua vez, possui mecanismos de regulação térmica para adaptar-se às

variações do clima: fisiológico e comportamental (ABREU-HARBICH *et al.*, 2012). Quando a transferência de calor entre o corpo humano e o meio ambiente produz nas pessoas uma sensação de conforto, pode-se denominar esse estado de “conforto ambiental” (NINCE, 2013).

Sabe-se que as árvores são seres vivos que têm um potencial extraordinário e benéfico para a população das cidades. Além de fornecer alimentos necessários à vida dos animais e seres humanos, elas estão intimamente ligadas ao seu conforto, saúde e bem-estar fisiológico (TAN, 2017; DOBBERT, 2015).

Assim sendo, a arborização das cidades assume propriedades diversas que podem modificar a temperatura do ar, aumentar a umidade do ar e reduzir a velocidade do vento (STREILING e MATZARAKIS, 2003). As árvores necessitam realizar a fotossíntese para seu desenvolvimento e crescimento, sendo que nesse processo, elas absorvem através dos estômatos o CO₂, e por isso, são consideradas como sumidouro de carbono e de poluentes atmosféricos (ABREU-HARBICH *et al.*, 2015; EMMANUEL *et al.*, 2007; LIN *et al.*, 2010; AKBARI, 2002).

Ainda com relação ao conforto térmico, as árvores podem influenciar significativamente na qualidade do ambiente urbano refletindo no conforto térmico humano (DOBBERT, 2015). Os resultados na pesquisa de Abreu-Harbich *et al.* (2015) mostram que o conforto térmico humano, expresso por PET (do inglês – *Physiologically Equivalent Temperature*), teve um valor significativo. Dessa forma, comprova-se o efeito térmico do sombreamento. Assim, a vegetação pode influenciar no microclima urbano, melhorar o conforto térmico humano e diminuir o potencial de perturbação para a saúde da população urbana (AKBARI, 2002; DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003; STREILING e MATZARAKIS, 2003).

Dobbert (2015) avaliou o conforto térmico e o bem-estar físico e mental das pessoas proporcionado pelo estudo da arborização urbana de Campinas. Baseou-se na utilização de modelos computacionais – ENVI-met e RayMan – e aplicação de questionários referentes à percepção térmica. Kulka (2014) também avaliou o conforto térmico de duas áreas verdes em Itapetinga/BA, buscando relacionar os dados climáticos com elementos da estrutura urbana. Para tanto, foram realizados monitoramento das variáveis microclimáticas do local e aplicação de questionários relativos à percepção térmica dos visitantes. O resultado mostrou que a estabilidade

térmica aumenta com a presença de áreas verdes. Nesse contexto, Baptista (2014) investigou o efeito do uso de diferentes espécimes arbóreos nas ruas de Piracicaba-SP no conforto térmico da população. Para isso, mediu a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura de globo e calculou o Índice de Conforto Térmico Universal – UTCI. Além disso, usou imagens termais e aplicou questionários de percepção térmica. Verificou que a presença de árvores influenciou diretamente nas variáveis climáticas estudadas apresentando diferenças significativas entre os pontos arborizados e não arborizados.

Nesse contexto, vários autores atribuem, em seus estudos, outras funções que a árvore exerce no clima urbano como uma alternativa natural para a redução da poluição atmosférica, ganhos energéticos e recomposição da vegetação natural (LAERA, 2005). E mais, na copa das árvores, a radiação solar incidente é refletida, transmitida e absorvida, e os ventos são atenuados, dessa forma, as copas são capazes de modificar os ambientes microclimáticos (STEVEN *et al.*, 1986).

Também em climas tropicais, as mudanças nas condições de vento e sombra, devido à presença de árvores, modificam o microclima e melhoram o conforto térmico humano (LIN *et al.*, 2010). Além disso, a copa das árvores controla a radiação solar tornando-se um regulador das mudanças climáticas (ABREU-HARBITCH *et al.*, 2012; MATZARAKIS, 2013; SHASHUA-BAR *et al.*, 2010; STREILING e MATZARAKIS, 2003; YILMAZ *et al.*, 2007). Assim, as árvores influenciam no desempenho da radiação solar em virtude da atenuação causada pelo dossel, diminuem a temperatura do ar e aumentam a umidade relativa do ar (ABREU-HARBITCH *et al.*, 2012; BUENO-BARTHOLOMEI e LABAKI, 2003; CORREA *et al.*, 2012; SHASHUA-BAR *et al.*, 2010; OLIVEIRA, 2011; GULYÁS *et al.*, 2006).

Também, a forma da coroa e a densidade do dossel influenciam na sombra das árvores, de modo que a quantidade de radiação filtrada e a quantidade de radiação interceptada dependem, não só do IAF, como da forma dos galhos e ramos. A qualidade da sombra da árvore também é influenciada pela individualidade dos troncos e das folhas, as quais devem ser consideradas. Estes elementos influenciam na atenuação da radiação (ABREU-HARBITCH *et al.*, 2012; SHASHUA-BAR *et al.*, 2010). A temperatura do ar local pode ser influenciada pelo índice de cobertura e de

área foliar (IAF) que são importantes características arbóreas (TSUTSUMI *et al.*, 2003; MORAES, *et al.*, 2013).

Os benefícios que a vegetação oferece nos espaços urbanos são inúmeros e o Quadro 2 resume alguns deles:

Quadro 2 Benefícios da vegetação no espaço urbano

Composição atmosférica
- Ação purificadora por fixação de poeira e materiais residuais; - Ação purificadora por depuração bacteriana e de outros micro-organismos; - Ação purificadora por reciclagem de gases através de mecanismos fotossintéticos; - Ação purificadora por fixação de gases tóxicos.
Equilíbrio solo-clima-vegetação
- Luminosidade e temperatura: ao filtrar a radiação solar, a árvore suaviza a temperatura do ar; - Umidade e temperatura: a vegetação conserva a umidade do solo atenuando a temperatura; - Redução na velocidade do vento; - Mantém a permeabilidade do solo e a fertilidade; - Abrigo à fauna existente; - Influência no balanço hídrico.
Níveis de ruído
- Amortecimento dos ruídos de fundo sonoro contínuo e descontínuo de caráter estridente, ocorrentes nas grandes cidades.
Estético
- Quebra da monotonia da paisagem das cidades causada pelos grandes complexos de edificações; - Valorização visual e ornamental dos espaços urbanos; - Caracterização e sinalização de espaços, constituindo-se em um elemento de interação entre atividades humanas e o ambiente.

FONTE: Lombardo (1990); Guzzo (1998) *apud* Gomes; Soares (2003)

A vegetação é um fator que influencia no microclima urbano pela sua atuação no controle de variáveis climáticas como a radiação solar, a temperatura do ar, e a umidade do ar. Além disso, intercepta a precipitação da chuva no solo e modifica a concentração da umidade na atmosfera. É uma barreira para os ventos, atenua a velocidade e modifica sua turbulência.

Como observado por Valladares *et al.* (2016), a sombra da árvore não é meramente uma falta de luz, vai além do sentido ecológico como um fenômeno que cria novas e complexas dinâmicas de comunidade e de ecossistemas. Nesse trabalho, os autores fizeram uma ampla revisão sobre a natureza da sombra e a complexidade ecológica e fisiológica da planta. Discutiram como a vegetação é afetada por mudanças do clima e os efeitos negativos dessa alteração. Observaram que a vida vegetal e animal, sob a copa das árvores, envolve um enfrentamento de uma ampla gama de

mudanças ambientais, pois as árvores têm muitas funções bioclimatológicas que interferem de modo positivo e negativo na vida dos seres vivos. Funções como: interceptação das chuvas, redutores de CO₂, diminuição da temperatura do ar de dia, incremento da temperatura do ar a noite, incremento da umidade do ar, protetor do vento e redutor da evaporação do solo, etc.

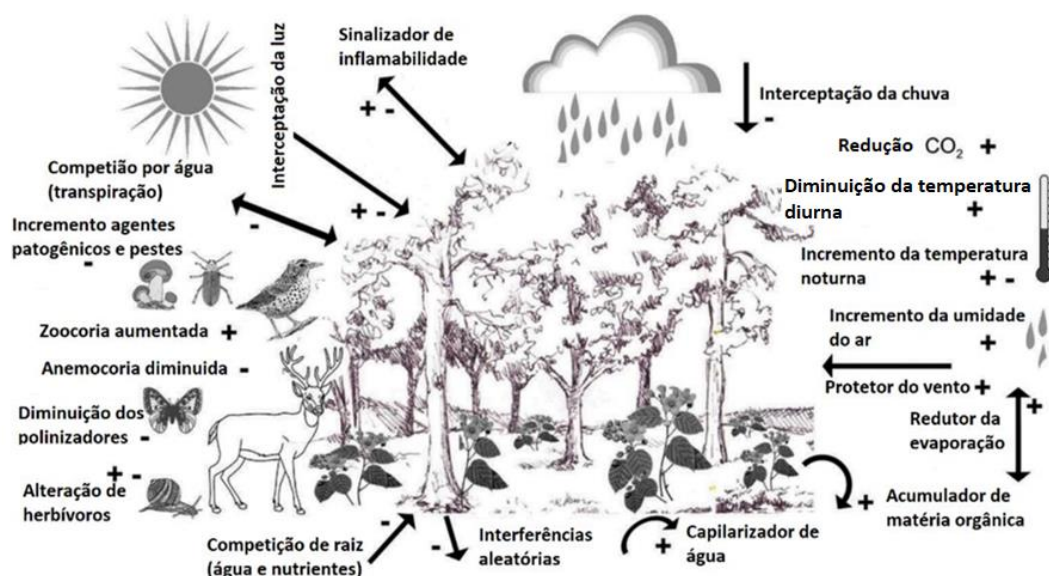


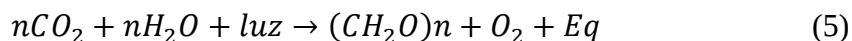
Figura 5 A complexa dinâmica da árvore e da sombra
FONTE: (VALLADARES *et al.*, 2016)

As árvores também são indicadores de possíveis doenças que ocorrem no ambiente e são mecanismos de interferências em processos biológicos desse ambiente (Figura 5).

2.3.2. Interação da Vegetação com a Radiação Solar

A árvore depende da radiação solar para seu desenvolvimento. Utiliza a faixa de onda visível para realizar a fotossíntese. A energia radiante visível é absorvida pelos cloroplastos e transformada em energia química a qual é empregada pelas células da planta para vários processos metabólicos (KLUGE, *et al.*, 2015).

A fotossíntese, nas plantas clorofiladas, se inicia com a absorção de luz (380nm a 780nm) principalmente no azul (436nm a 495nm) e no vermelho (566nm a 690nm). Assim, as cores que são refletidas ou transmitidas pelas folhas são o verde e o amarelo. Utilizando-se do CO₂ e H₂O do ambiente, produzem carboidratos (CH₂O), oxigênio (O₂) e energia química (Eq) conforme o número de moles – *n* (Equação 5).



Para o desenvolvimento e crescimento das plantas a água do solo passa por ela e é liberada para a atmosfera pelo processo de evapotranspiração. Por isso, ocupa um papel preponderante no ciclo da água e dessa forma modifica a umidade e temperatura do ar (KLUGE *et al.*, 2015; BUENO, 1998). A vegetação absorve aproximadamente 90% da radiação visível e 60% da infravermelha, o restante é transmitido ou refletido pelas folhas (RIVERO, 1986).

Quanto ao efeito da radiação solar ultravioleta, os estudos confirmam que as plantas são mais sensíveis à radiação UV-B (280nm a 320nm). Sua reação varia conforme o comprimento de onda. Segundo Chang (1968), Lange *et al.* (1981) e Varejão-Silva (2005), radiações com comprimento de onda:

- até 280nm (ultravioleta), provocam rapidamente a morte das plantas;
- de 280nm a 400nm (ultravioleta e violeta), são bastante nocivas até 320nm e acima desse limite provocam inibição do crescimento;
- de 400nm a 510nm (correspondem, aproximadamente, às cores índigo e azul), têm acentuada absorção pela clorofila e xantofila;
- de 510nm a 610nm (abrangendo praticamente as cores verde e amarela), exercem pouca influência no processo fotossintético;
- de 610nm a 720nm (coincidem aproximadamente com as cores laranja e vermelha), possuem acentuada ação fotossintética;
- de 720nm a 1000nm (infravermelho), interferem na elongação, floração, coloração dos frutos e germinação das sementes;
- acima de 1000nm, ao que se sabe, não exercem nenhum papel especial. Quando absorvidas são usadas nos processos bioquímicos.

As plantas evoluem com a radiação ultravioleta. A radiação UV-B é um fator ambiental na vida delas, pois tendem a se adaptar e a se defender do perigo da exposição à radiação ultravioleta, que também provoca estresse, pode causar efeitos morfogenéticos e modificar a arquitetura das plantas e a estrutura da vegetação (ROZEMA *et al.*, 1997). A radiação UV-B tem muitos efeitos diretos e indiretos sobre as plantas incluindo danos no DNA, proteínas e membranas. Isso altera a fotossíntese e transpiração afetando o crescimento, desenvolvimento e morfologia das plantas

(JANSEN *et al.*, 1998; CALDWELL *et al.*, 1998) produzindo um sistema defensivo como pigmentação e antioxidantes (MACKERNES, 2000).

A atenuação da radiação eletromagnética incidente numa folha se dá por três fatores: transmissão, absorção e reflexão. Considerando as características morfológicas e fisiológicas da folha, a transmissão, a absorção e a reflexão, variam de acordo com a espécie estudada. Nos comprimentos de onda da radiação visível a maior parte da energia que chega na folha é absorvida, e pouquíssima é transmitida através da mesma. A folha intercepta a luz solar, seja ela direta ou difusa, a qual interage com os pigmentos, a água e o espaço intercelular da folha. Nesse processo, parte da energia é absorvida, outra parte é refletida e outra parte transmitida. Assim, pode-se relacionar os três fatores pelo balanço de energia conforme a Equação 6 (COURA *et al.*, 2005; CARRIELO *et al.*, 2003).

$$\Phi_i = \Phi_t + \Phi_a + \Phi_r \quad (6)$$

O fluxo de energia incidente (Φ_i) é a soma dos fluxos de energia transmitida (Φ_t), absorvida (Φ_a) e refletida (Φ_r). Dividindo todas as variáveis da Equação 6 pelo fluxo incidente (Φ_i) temos os seguintes coeficientes: transmitância, absortância e reflectância cujos valores somados são iguais a 1 (Equação 7).

Assim temos:

$$1 = \tau + \delta + \varphi \quad (7)$$

A transmitância hemisférica espectral da folha (τ) refere-se à fração da radiação incidente que consegue atravessar a folha. A absortância hemisférica espectral da folha (δ) é a fração da radiação incidente que é captada pela folha e a reflectância hemisférica espectral da folha (φ) é a fração da radiação incidente que é refletida pela folha.

A Figura 6 apresenta o espectro da reflectância, transmitância e absortância de uma folha típica para o intervalo de comprimento de onda de 400nm a 1100nm. A curva mostra a reflectância e transmitância percentual como uma função do comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente. No espectro visível (400nm a 700nm) a reflectância é muito baixa em torno de 10%, atingindo um leve pico de reflexão em torno de 550nm na faixa da luz verde. A reflectância aumenta em

torno de 40% a 50% na faixa de 700nm a 1100nm e gradualmente diminui a partir de 1300nm para valores muito baixo para comprimento de onda em torno de 2700nm.

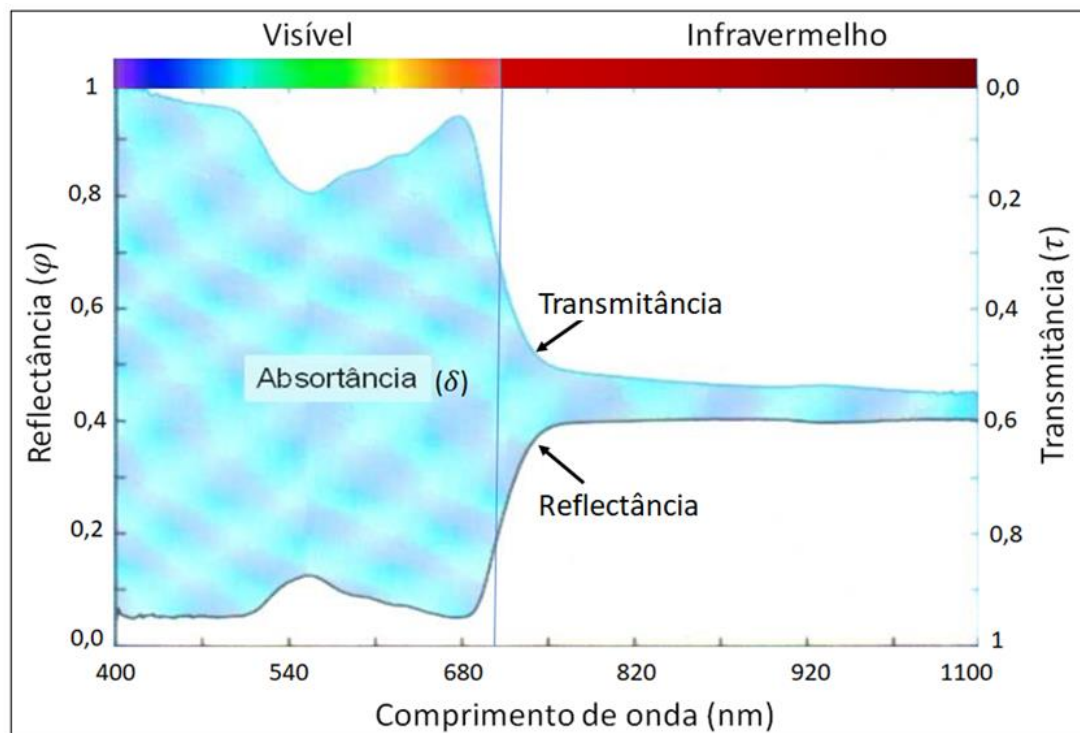


Figura 6 Espectro da reflectância, transmitância, absorptância de folha típica
FONTE: (LI-COR, 1990)

A região do ultravioleta é pouco explorada nos estudos da folha em relação à transmitância, absorptância e reflectância, pois os trabalhos de pesquisas enfocam mais a fotossíntese e o conforto térmico, que envolvem a faixa de comprimento de onda da luz visível e do infravermelho, respectivamente. Mas, existem trabalhos com esse objetivo.

A Figura 7 mostra o gráfico das curvas da reflectância, absorptância e transmitância, da folha do algodoeiro americano (*Populus deltoides*) na região da radiação ultravioleta, visível e infravermelho. Destaca-se na Figura 7 a curva espectral na região do ultravioleta ($<0,4\mu\text{m}$) em que a reflectância e a transmitância da folha são abaixo de 5%, enquanto que a absorptância é acima de 90%. Segundo Knipling (1970) e Grant *et al.* (2003), para curtos comprimentos de onda na faixa do ultravioleta - abaixo de 400nm - e longos comprimentos de onda na região do infravermelho distante - acima de 2000nm - a reflectância e a transmitância são relativamente baixas.

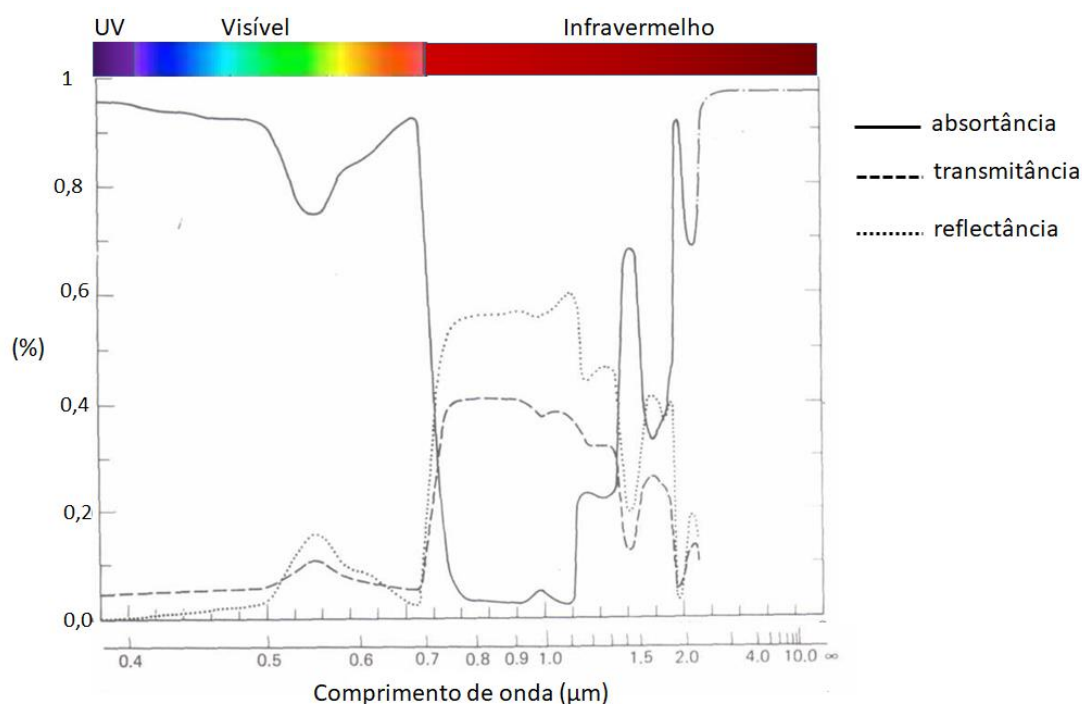


Figura 7 Propriedade espectral da folha do algodão americano (*Populus deltoides*)

FONTE: SERP 06 (2011 II) – www.ufrgs.br/leaa - PPG Sensoriamento Remoto/UFRGS

Coura *et al.* (2005) e Carrielo *et al.* (2003), com o mesmo objetivo, realizaram experimento com amostras de folha de ligustro (*Ligustrum japonicum*) e folíolos de fedegoso (*Cassia macrantera*) e os resultados estão plotados na Figura 8.

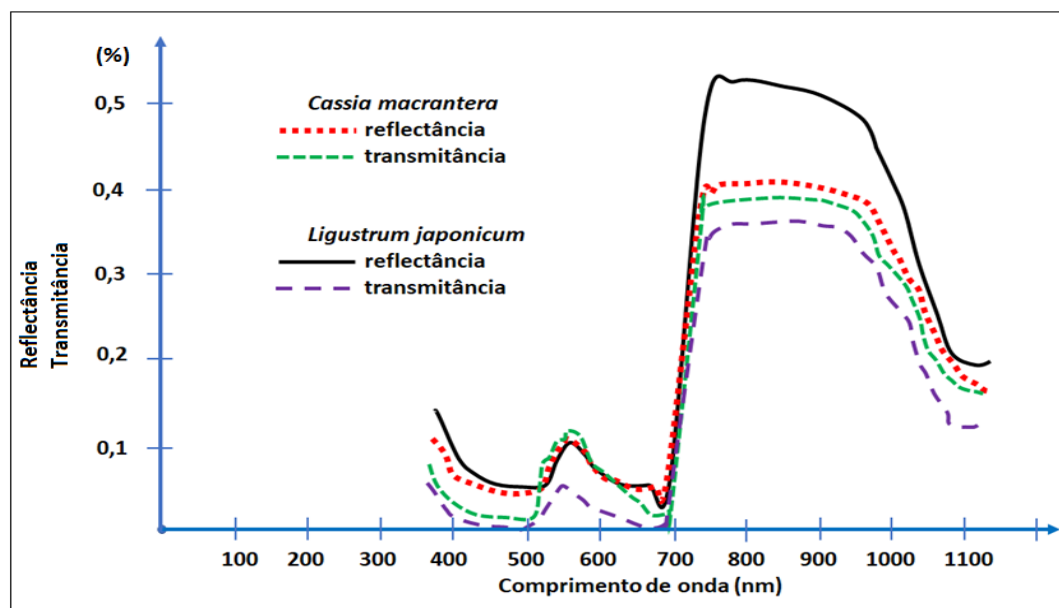


Figura 8 Fator de reflectância e transmitância direcional hemisférica da folha de *Ligustrum japonicum* e *Cassia macrantera*

FONTE: COURA (2005)

Os autores concluíram que a espessura das folhas teve grande influência na transmitância. Observaram que folhas mais espessas (*L. japonicum*) apresentaram valores de transmitância menores do que as folhas menos espessas (*C. macranthera*). Quanto a reflectância, observaram que a estrutura interna mais elaborada, apresentando parênquima lacunoso mais espesso das folhas de *L. japonicum*, resultaram em valores mais altos para a região do infravermelho próximo, e que na região do visível, as espécies possuíram comportamento espectral semelhantes, havendo uma pequena diferença na região do azul. Em relação à absorção, observaram que para a região do azul as espécies atuaram de forma semelhantes.

Em 25 espécies expostas à radiação solar, embora as espécies diferenciassem em forma, habitat, características epidérmicas, a transmitância, observada no trabalho de Robberecht e Caldwell (1978), foi geralmente acima de 10%. Os autores notaram que a radiação ultravioleta foi atenuada em torno de 95% a 99% em mais da metade das espécies. Em 16 espécies a atenuação da radiação ultravioleta permaneceu na faixa de 20% a 57%.

Outro estudo sobre a transmitância foi analisado pela medição da radiação UV-B na superfície do solo sob o dossel de florestas. Encontraram valores baixos da radiação UV-B em comparação com a radiação incidente. Sob copas fechadas a transmitância média da UV-B foi somente de 1% a 2%, e em copas danificadas em torno de 8% a 17% (BROW *et al.*, 1994).

Destaca-se que cada espécie tem uma particularidade para atenuar a radiação eletromagnética solar, sendo que, no estudo que envolveu a medida da atenuação (PAR) de 14 espécies arbóreas, os autores demonstraram uma atenuação na faixa de 70% a 92% (BUENO-BARTHOLOMEI e LABAKI, 2003).

Árvores coníferas de espécie decíduas no norte da Europa foram estudadas e as medidas indicaram uma redução significativa na radiação de ondas longas na sombra. A transmissividade da radiação solar direta de árvore com folha foi de 1,3% a 5,3%, e desfolhada de 40,2% a 51,9% (KONARSKA *et al.*, 2014).

Como já descrito que as plantas não estão imunes aos efeitos nocivos da radiação UV-B, o trabalho de revisão de Stapleton (1992) discutiu os tipos de danos que a radiação ultravioleta pode provocar, bem como, os mecanismos que as plantas usam para perceber e responder à radiação ultravioleta. Apontou a relevância ecológica

dada pela radiação ultravioleta na análise experimental de resposta das plantas a essa radiação. As plantas também podem aclimatizar-se às mudanças da radiação ultravioleta e ajustar as alterações nas concentrações de compostos absorventes da radiação (BARNES *et al.*, 2015, 2016).

O artigo de Grant e Heisler (1996) descreve diferenças entre a radiação visível (PAR) e a radiação UV-B que penetra na copa da árvore de uma área suburbana e discute a causa provável para as diferenças. Esse relatório descreve o trabalho que faz parte de uma série de estudos com o objetivo de medir e modelar os componentes da radiação solar com precisão suficiente para caracterizar a climatologia da irradiância solar dos ambientes urbanos, que são dominados por combinações de árvores e edifícios.

Embora as árvores atenuem a radiação ultravioleta solar incidente, o índice sob sua copa pode ser maior se considerar a influência da componente difusa da radiação. Medidas indicam que durante o verão, 60% da radiação ultravioleta solar eritêmica na sombra é devido a componente difusa, e apontam que, 19% a 82%, 39% a 80% e 45% a 92% da radiação ultravioleta difusa, que provoca queimaduras, estão presentes na sombra da árvore no período da manhã, ao meio dia e à tarde, respectivamente. Este percentual pode variar dependendo da nebulosidade (PARISI *et al.*, 2000).

Em complemento, estudos sobre o efeito da nebulosidade na quantidade de UVR que atinge os pedestres sob a cobertura arbórea foi efetuado por Grant e Heisler (2006). Em um dos resultados foi observado que a UV-B na sombra com o céu parcialmente nublado (4 octas) não é muito diferente daquele com o céu claro, mas diferenças podem ocorrer quando a nebulosidade estiver entre 5 a 7 octas. Isso é uma consequência do aumento da radiação difusa em função do aumento da nebulosidade.

Assim, Parisi e Turnbull (2014) procuraram conhecer a melhor sombra, que minimiza a radiação ultravioleta solar. Fizeram uma revisão dos aspectos da melhor sombra solar, e isso inclui a estrutura das árvores individuais e o conjunto delas. O artigo descreve os fatores que devem ser abordados, com a finalidade de garantir a qualidade e a eficiência do sombreamento, promovendo intervenções para aumentar a disponibilidade e o uso da sombra como fator de proteção e redução da exposição à RUV. Fatores como: reflectância do albedo, fator de visão do céu, vestimentas, fator

de proteção de árvores⁶, são avaliados para minimizar a exposição à radiação ultravioleta solar com o uso de elementos naturais e construídos.

Nesse sentido, Bhattacharya (2011) avaliou a penetração da RUV através do dossel de duas espécies arbóreas, a *Mangifera indica* L. e a *Lagerstroemia parviflora*. As medições aconteceram no período de março de 2008 a fevereiro de 2011 em Bengala (Índia). Foi observado uma redução de 80% a 90% da UV-B na sombra das árvores e entenderam que a UVR é menor à sombra de árvores de grande porte e alta densidade da copa. Verificaram que a variação da UVR de uma árvore para outra é devido a estrutura do dossel. Os estudos revelaram que a redução da UVR sob a copa é maior na sombra da *Lagerstroemia parviflora* em comparação com a *Mangifera indica*. A penetração da UVR através das folhas foi considerada insignificante para as duas espécies. Como a duração da folha na árvore depende da espécie e da época do ano, observaram que a árvore influencia na atenuação da radiação UV-B nas diferentes estações do ano.

Em relação à saúde, há um considerável número de estudos que relacionam a árvore com a saúde das pessoas. Fazem referência com a atenuação da radiação ultravioleta na sombra para oferecer a proteção contra o efeito maléfico da radiação, em sua maioria, o câncer de pele. Ysasi e Ribera (2013) estudaram a diferença entre a radiação global e difusa sob a sombra de dois tipos de árvores para verificar a importância desses componentes na exposição humana à radiação ultravioleta solar. Grant *et al.* (2002, 2004) estudaram o efeito da nebulosidade sobre a quantidade de UVR que atinge os pedestres sob a cobertura das árvores, e o modelo mostrou que os locais que as pessoas normalmente percebem como sombra e de baixa irradiância, podem realmente ser *locus* com alto índice de irradiação ultravioleta. Nowak *et al.* (2014) estudaram as árvores como elemento natural que elimina a poluição do ar pela interceptação de materiais particulados e absorção de poluentes gasosos através dos estômatos das folhas. Concluíram que a maior parte da remoção da poluição está em área rural, enquanto que o maior impacto deveria ser em áreas urbanas onde a poluição é maior e a saúde das pessoas é comprometida.

⁶ É um número adimensional que varia de 2 a 20 e depende dos seguintes elementos de influência como: densidade do dossel, altura do dossel acima da superfície, estação do ano, zênite solar, ângulo do sol e nebulosidade.

2.3.3. Dendrologia

A Dendrologia é uma ciência que auxilia no estudo da vegetação e clima urbano, pois estuda a árvore com o objetivo de identifica-las e classifica-las. Abrange a confecção de coleções, distribuição geográfica, ecologia, descrição de suas características e o emprego das mesmas e seus benefícios (SOUZA *et al.*, 2009).

A árvore é considerada como madura a partir do momento em que tem a sua primeira inflorescência e frutificação. Quando os primeiros frutos germinam é sinal de que a árvore está em pleno desenvolvimento e maturidade. Para chegar nessa fase a árvore passou por um processo de crescimento que pode ser constatado pelo tamanho do tronco, raízes e ramificações. A folha é outro elemento que indica se a árvore é adulta ou não, isto é, quando as medidas individuais e coloração de cada folha correspondem aos valores estabelecidos daquela espécie adulta. Outro fator importante é o IAF, parâmetro biofísico e estrutural da árvore que indica a densidade da copa, a morfologia e anatomia das plantas. O índice pode estimar a produtividade de um ecossistema vegetal, seu crescimento e desenvolvimento das folhas (MORAES *et al.*, 2013).

Quanto a saúde das plantas – Fitossanidade – deve ser observada se elas estão contaminadas com fungos, cupins ou se têm alguma doença específica da espécie e se sua morfologia está fora dos padrões. A *Mangífera indica* L. tem várias doenças como a Malformação floral e vegetativa ou Embonecamento (*Fusarium subglutinans*), Oídio (*Oidium mangiferae*), Morte-descendente (*Lasiodiplodia theobromae*), Antracnose (*Colletotrichum oesporioides*) e Podridões pedunculares em frutos (*Lasiodiplodia theobromae*, *Pestalotiopsis mangiferae*, *Alternaria alternata* e *Fusicoccum* spp.). Um ponto em comum a respeito dessas doenças é que todas são causadas por fungos (GALLI, *et al.*, 2012).

2.4. IAF – ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

Um das grandezas para avaliar as condições fisiológicas das plantas ou de uma cultura é o IAF (em inglês *Leaf Area Index* – LAI). O IAF representa a relação entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo (m^2/m^2). É um índice usado como parâmetro indicativo de produtividade das plantas e pode estimar a produtividade de um ecossistema vegetal (ANTUNES JR, *et al.*, 2009). Além disso, a

medição do IAF também está relacionada com a morfologia e anatomia da planta. É um indicador de grande importância sendo utilizada na investigação ecológica, competição com outras espécies, no seu crescimento e no desenvolvimento das folhas (MORAES *et al.*, 2013). O IAF influencia nas trocas de massas e energia de um ecossistema e na interceptação e na absorção direta da luz na copa, se correlacionando de forma direta com a qualidade do sombreamento arbóreo. O índice de área foliar pode ser entendido como um parâmetro que avalia a qualidade da arborização em termos de melhoria das condições bioclimáticas do ambiente (CALLEJAS *et al.*, 2012).

Os estudos sobre o IAF são aplicados em várias áreas do conhecimento, uma delas é a área de Ciências Ambientais. O clima urbano está inserido nesse contexto. Por isso, as pesquisas que envolvem a vegetação, são importantes para fornecer a qualidade ambiental para a população. Com esse objetivo, Oliveira *et al.* (2017) realizaram um estudo para identificar a influência da vegetação sobre o clima urbano. O IAF foi utilizado para monitorar a temperatura do ar e umidade do ar de áreas verdes para otimizar a qualidade de vida em grandes cidades como Recife/PE. Como resultado, notaram pouquíssima vegetação em diversas áreas do Recife e deduziram que quantidade diminuta da vegetação é crucial para provocar um aumento da temperatura superficial e desconforto para a população.

Nessa linha de pesquisa sobre o conforto térmico, Callejas *et al.* (2011) executaram um trabalho em áreas a céu aberto nas escolas estaduais de Cuiabá/MT. Nelas são desenvolvidas atividades para fins de recreação, educação física, convivência, dentre outras. O objetivo foi avaliar o impacto do sombreamento arbóreo nas condições termo-higrométricas ambientais com medições de temperatura de bulbo seco e úmido, de globo e o IAF. O resultado permitiu quantificar o impacto do sombreamento no microclima do pátio relacionando o IAF e o potencial de atenuação da radiação solar com as condições do microclima. Sobre o IAF, concluíram que é um elemento determinante das condições termo-higrométricas sob as copas das espécies estudadas. Em Callejas *et al.* (2012), os autores avaliaram vários índices arbóreos: Índice de Densidade Arbórea – IDA, Índice de Sombreamento Arbóreo – ISA, e Índice de área Foliar – IAF, relacionando-os com o microclima urbano. Dentre os índices avaliados perceberam que não houve a correlação do IAF com as condições termo-

higrométricas dos ambientes, mas identificaram a relação direta da melhoria das condições de conforto térmico, diminuição da temperatura do ar e elevação da umidade do ar a medida que o IAF se elevava.

Em adição, os índices IAF e ISA foram avaliados em duas praças públicas de Cuiabá/MT por Oliveira *et al.* (2010, 2013) com o objetivo de ponderar a influência da cobertura vegetal no microclima em espécies arbóreas de praças públicas. Como resultado concluíram que, no estudo de 2013, as espécies arbóreas melhoraram a qualidade ambiental em virtude da atenuação da radiação solar proporcionada pelo sombreamento de diversas espécies arbóreas das praças. O IAF foi calculado e seus valores estiveram entre $5,64 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ e $2,79 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$. No estudo de 2010, demonstraram que para cidades de clima quente espécies arbóreas com maiores índices de IAF melhoraram a qualidade ambiental dos espaços urbanos.

Dois métodos são usados para o cálculo do IAF. O direto – preciso, destrutivo, trabalhoso – e o indireto – menos preciso, necessita de aferição, mas é o método mais utilizado e prático. Os métodos destrutivos exigem o corte das árvores pela divisão da copa em três estratos para obter a amostragem das folhas de cada estrato (cerca de 20 a 30 folhas). Em seguida, mede-se a área foliar e as secam em estufa. Após este processo é determinado o IAF utilizando-se de aparelhos eletrônicos (*scanners*) e *softwares*. Este método é muito trabalhoso, e por vezes, inviável, apesar de eficaz. Ele não pode, por exemplo, ser utilizado em áreas protegidas. Dessa forma, o sensoramento remoto é uma alternativa para superar esse trabalho já que dispensa a necessidade de desfolhar ou arrancar uma árvore para saber seu IAF. Os métodos não destrutivos se baseiam principalmente na transmissão de luz que passa através do interior da copa das árvores e da estrutura do dossel. Eles utilizam fotografias hemisféricas e aparelhos como o ceptômetro para captar a radiação que passa através do dossel.

Também existem fórmulas para calcular o IAF a qual varia de acordo com o equipamento utilizado para sua medição. Quando o IAF é estimado por meio de modelos que utilizam os índices de vegetação, geralmente ele é medido em campo e correlacionado com o índice de vegetação. Só então, é gerada uma equação para estimá-lo. Geralmente, quanto maior o valor do IAF maior será o valor dos índices de vegetação (ALMEIDA *et al.*, 2015). O índice de vegetação mais utilizado atualmente

em comparação com o IAF é o NDVI. Em um estudo para estimar o IAF por meio de modelos de regressão gerados a partir do NDVI, Almeida *et al.* (2015) obtiveram um coeficiente de determinação de 0,73, o que demonstra um bom ajuste. Ou seja, é viável trabalhar com o IAF utilizando um índice de vegetação.

Da mesma forma, a partir dos valores de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) incidente e da RFA transmitida é possível determinar o IAF. Esta metodologia parte do princípio de que quanto maior a densidade foliar, maior será a fração da radiação solar absorvida pela planta e consequentemente, menor a fração da RFA transmitida. (ALMEIDA JR., 2017).

Destaca-se aqui, uma versão modificada do método desenvolvido por Norman e Jarvis (1974), a qual foi utilizada para este estudo no cálculo do IAF. Utiliza-se o método de inversão da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA). As variáveis consideradas para cálculos são:

- Razão de transmissibilidade do dossel (τ) – é a variável de maior influência na determinação do IAF. É definida pela razão entre a RFA_t transmitida próximo ao solo e abaixo do dossel e a RFA_i incidente medida acima do dossel;
- Ângulo zenital (Z) – é utilizado para descrever a trajetória da luz através do dossel e para determinar a interação do feixe de luz bem como a orientação das folhas;
- Fração da radiação direta (Fb) – parcela da radiação incidente que atinge diretamente o sensor;
- Distribuição angular das folhas (X) – é a razão entre o comprimento do eixo vertical pelo horizontal do formato esferoide do dossel, geralmente esse valor é igual a 1, e;
- Coeficiente de extinção (K) – descreve o quanto a radiação solar incidente é absorvida pelo dossel levando em conta o ângulo zenital e a distribuição das folhas.

Assim, o IAF é calculado pela Equação 8.

$$IAF = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2K} \right) Fb - 1 \right] \ln(\tau)}{0,86(1 - 0,47Fb)} \quad (8)$$

Vários trabalhos utilizaram esse modelo na estimativa do IAF. Zarate-Valdez (2012) estimou o IAF de um pomar de amendoeiras usando de fotografias hemisféricas e barra de luz (em inglês – *mule lightbar* – MLB)⁷ e imagens de satélites. O IAF foi calculado com base em pixels da imagem de satélite.

Silva (2010) estudou a produção de “forragem x manejo” em pastos de Capim-TIFTON-85, identificando o melhor momento para início e término do pastejo aliados aos conhecimentos das características morfogênicas e estruturais das plantas. Para esse procedimento, o IAF foi monitorado nas condições de pré-pastejo e durante o pastejo. Utilizaram o aparelho AccuPAR LP-80 para obter as medições PAR e estimaram IAF usando a Equação 8.

O modelo serviu também para auxiliar no desenvolvimento de um sistema embarcado para obtenção do IAF por inversão da RFA. Almeida Jr. (2017) desenvolveu um instrumento de baixo custo com dois módulos para medidas simultâneas do RFA, um módulo que faz a leitura da RFA transmitido pelo dossel e outro módulo externo que obtém a RFA incidente acima do dossel. O sistema foi capaz de reproduzir as medidas obtidas para o IAF, pois apresentou forte correlação com o ceptômetro comercial. Dessa forma, quanto menor for a atividade fotossintética, menor será o valor do IAF. Assim, ele possui uma relação inversamente proporcional com a entrada de luz pelo dossel.

Os valores do IAF podem variar de 0 (solo nú) a 7 ou 8 (florestas tropicais densas) (ALMEIDA JR., 2017). Segundo Montagu *et al.* (2003), o IAF em florestas plantadas por *Eucalyptus sp.* variaram de 2 a 9 com valores típicos entre 3 a 6. É provável que não foi estabelecido ainda uma tabela de classificação da densidade da copa baseando no IAF, por isso, alguns autores baseiam-se num índice que vai de 0 a 10, sendo o valor 10 atribuído a florestas tropicais altamente densas. Mas, valores acima de 10 foram encontrados nas medições efetuadas por Durante e Nogueira (2013) que encontrou um IAF para a Mangueira de $10,1\text{m}^2.\text{m}^{-2}$. Souza (2011, *apud* Azevedo *et al.*, 1999) encontraram valores de IAF para a Mangueira de $15,1\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ nas árvores individuais e de $13,3\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ para toda a espécie da área experimental. A parte experimental desta pesquisa foi conduzida no Campo Experimental de Bebedouro da

⁷ É um transecto móvel em que o medidor AccuPAR LP-80 é acoplado a um automóvel para percorrer o trajeto determinado efetuando as medições PAR.

Embrapa, no semi-árido do município de Petrolina-PE, durante o período de agosto a dezembro de 1998. O trabalho desses autores objetivou a determinação e a modelagem do IAF da cultura da Mangueira irrigada.

2.5. ARBORIZAÇÃO URBANA

2.5.1. *Mangifera indica* L. e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch

A *Mangifera indica* L. (Mangueira) pertence à família *anacardiaceae* e são reconhecidas duas espécies: indiana e asiática. Possui mais de 1000 variedades e é um atrativo para a fauna por causa de seu fruto, além de ser muito resistente às intempéries e viver por longos anos. Foi introduzida no Brasil pelos portugueses durante a colonização e no século XX vieram espécies procedentes da Flórida (EUA) que apresentam origem indiana.

É uma planta não decídua, frutífera, dicotiledônea, exótica, apresenta copa esférica e simétrica, variando de baixa a densa. Possui estrutura ereta e aberta que chega a 30m de altura e 25m de diâmetro. É de grande porte e suas folhas são moderadamente espessas, lanceoladas de aspecto verde musgo, aromáticas, subcoriáceas, simples e alternas. As folhas medem normalmente de 15 a 40 centímetros de comprimento e de 1,5 a 4,0 centímetros de largura. A face superior é plana e o pecíolo é curto, medindo normalmente de 2,5 a 10,0 centímetros. É considerada uma das frutíferas mais tolerantes a seca. Apresenta fruto do tipo drupa em torno de 100g até mais de 1kg. O tronco a partir das raízes é grosso com galhos que começam a distribuir em torno de 2m (CARDOSO *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 1996).

A Mangueira apresenta um crescimento intermitente, nunca contínuo, mas em ciclos curtos que se repetem várias vezes, em geral entre agosto e março na maioria das regiões brasileiras, e produzem os frutos no período de abril e agosto (SILVA, 2006). O período juvenil é de aproximadamente 3,5 anos. O florescimento da Mangueira é dependente de uma combinação de fatores climáticos, normalmente favorecido por uma associação entre uma diminuição na temperatura do ar e um estresse hídrico. A polinização é feita geralmente por insetos, tais como moscas e abelhas. No entanto, o processo da fecundação não é tão eficiente, sendo diretamente

afetado pelas condições climáticas, principalmente pela pluviosidade, temperatura e umidade relativa do ar (EMPRAPA)⁸.

A espécie *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti) pertence à família das *Chrysobalanaceae*. São árvores de grande porte, com tronco grosso e reto e ramificações alongadas. Possui copa frondosa e sua altura varia de 8 a 20m com diâmetro de até 25m. Tem formato arredondada e fechada de folhagem densa conferindo excelente área sombreada. As folhas são alternas, simples oblongas, fortemente branco, tomentosas em ambas as faces, de cor verde-escuro-brilhante na face superior e fosca na face inferior. As dimensões da folha é de 7 a 14 cm de comprimento por 3 a 5 cm de largura Floresce durante os meses de julho a agosto e seus frutos amadurecem de janeiro a março (ZAMPRONI *et al.*, 2016). É amplamente utilizada na arborização de cidades por sua adaptação às condições locais e devido às alterações climáticas promovido pelo sombreamento. O oiti é preferido para plantios em praças, jardins, ruas e avenidas, principalmente nas cidades do Norte e das regiões litorâneas do Brasil (MONTEIRO *et al.*, 2012).

2.6. ÁRVORE DE DECISÃO – MODELO CHAID

Uma importante técnica utilizada em análise de dados é a Árvore de Decisão/Classificação (ADC). São representações simples do conhecimento e um meio eficiente de elaborar uma construção de classificadores que estabelecem modelos de análise de dados e na sua classificação. São baseados em atributos de um conjunto de dados no sentido de desempenhar uma tarefa de classificação/previsão (SATO *et al.*, 2013).

Uma das principais características de uma ADC é o seu tipo de representação, ou seja, uma estrutura hierárquica que traduz uma árvore invertida que se desenvolve da raiz para as folhas. Em cada nível da árvore tomam-se decisões acerca da estrutura do nível seguinte até atingir os nós terminais. Trata-se então, de uma análise que se desenvolve do geral para o particular, no sentido de que cada novo nível de nós se limita a um atributo mais explicativo.

⁸ Características da Mangueira segundo a Agencia de Informação da Emprapa, cuja página http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01_17_24112005115221.html, foi visitada em 27/05/2018.

É um método de classificação supervisionado em que a variável dependente é explicada às custas de n variáveis independentes medidas em qualquer escala. Com isso, pode-se construir um modelo que a solucione ou que apresente a resposta ou solução da investigação proposta. É possível também com este modelo, escolher as variáveis explicativas que realmente nos interessam para descrever a situação deixando de lado as variáveis de menor relevância (SATO *et al.*, 2013).

A ADC é muito utilizada em setores como saúde, mineração, agricultura, etc. No contexto do sensoriamento remoto é usada no mapeamento do uso e cobertura do solo. Esta técnica foi estudada por Sato *et al.* (2013) com o objetivo de realizar uma classificação do uso e cobertura da terra na região da Floresta Nacional do Tapajós – Flona, com a utilização de imagens do satélite Landsat-5 obtida no ano de 2009.

Nessa linha de pesquisa Celinski (2008) também classificou a cobertura do solo. As imagens obtidas foram do satélite CBERS-2. Procurou discriminar por classes a cobertura do solo a fim de permitir a separação dos diferentes tipos de culturas presentes na região dos Campos Gerais-PR nas épocas de inverno e de verão. Os resultados demonstraram que o desempenho do classificador ADC promoveu uma metodologia simples para o nível de discriminação vegetal pretendido.

Já Santana (2015) estudou as árvores em potenciais a danos urbanos e a sua coexistência no ambiente urbano com o objetivo de reduzir o número de casos de danos ocasionados pelas árvores em áreas urbanas da cidade de Recife-PE. Para isso, um aplicativo foi criado para diagnosticar o grau de risco do indivíduo arbóreo para edificações e vias públicas. Os diagnósticos são construídos a partir de uma ADC utilizando variáveis como: posicionamento geográfico, variáveis biométricas da árvore – altura, diâmetro da copa, fitossanidade, etc. Os dados indicaram que o tripé metodológico utilizado: tecnologia, educação e mobilização, foram eficazes e eficientes.

O algoritmo CHAID (em inglês - *Chi-squared Automatic Interaction Detector*) é um dos métodos mais antigo de ADC. Tem por base os testes de Qui-Quadrado de Pearson entre as variáveis dependentes e independentes. Constitui um método estatístico extremamente eficiente para a segmentação ou crescimento de uma árvore.

O algoritmo realiza um conjunto de testes agregando as classes das variáveis explicativas de modo a descobrir o menor número de classes mais explicativas até

restarem apenas duas. Este processo se repete para a totalidade das variáveis explicativas e escolhe-se a melhor variável explicativa com a menor probabilidade de significância (*p value*) ajustada pelo método Bonferroni.

O teste estatístico utilizado pelo algoritmo depende da variável alvo. Para variável alvo contínua, implementa-se o teste Fisher, para variável nominal, o teste Qui-Quadrado de Pearson e para variável ordinal, o teste de rácio de verossimilhança (*likelihood-ratio*) é implementado.

Uma das vantagens deste algoritmo é parar o crescimento da árvore antes do problema de *overfitting* ocorrer, e a desvantagem é o fato de requerer grandes quantidades de dados para ser possível assegurar que a quantidade de nós folha seja significativa.

Nince *et al.* (2014) analisaram o conforto térmico dos usuários do *campus* Cuiabá da UFMT em diferentes tipos de revestimentos do solo – solo, asfalto, concreto e grama. Neste caso, foi utilizado o algoritmo CHAID para determinar a classificação de 21 variáveis independentes, sendo 8 perguntas pessoais, 8 perguntas de percepção e sensação térmica e 5 perguntas sobre as variáveis climáticas. A variável dependente foi o índice PET.

Em adição, Vericat *et al.* (2009) investigaram as variáveis ambientais que afetaram o crescimento de algumas espécies de *Pinus* na Catalunha-ES, usando um indicador de qualidade da estação com base no crescimento diametral. Relacionaram os índices de crescimento com uma série de variáveis ambientais utilizando o algoritmo CHAID. Este método forneceu uma visão mais completa do fenômeno.

2.7. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT

A UFMT, *campus* Cuiabá, localizada na cidade de Cuiabá, estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 10 b), é uma Instituição de Ensino Superior da Federação Brasileira criada pela Lei nº 5.647 de 10 de dezembro de 1970.

Apresenta uma área de 74 hectares caracterizada com um ambiente muito diversificado da superfície de solo e uso e ocupação do solo. As superfícies são constituídas por áreas verdes distribuídas em todo o espaço da UFMT. Possui uma lagoa com vegetação nativa na área do zoológico. Ao longo do seu perímetro passa o córrego do Barbado que alimenta a lagoa do *campus* e serve como drenagem de águas pluviais. Tem amplos estacionamentos e vias todas asfaltadas com calçadas

cimentadas. Existe também solo nu sem a presença de vegetação, áreas gramadas e ajardinadas. A altitude do *campus* varia de 165m a 185m (Figura 9) com vertentes orientadas de Leste-Oeste apresentando alguns cânions (ALVES, 2011).

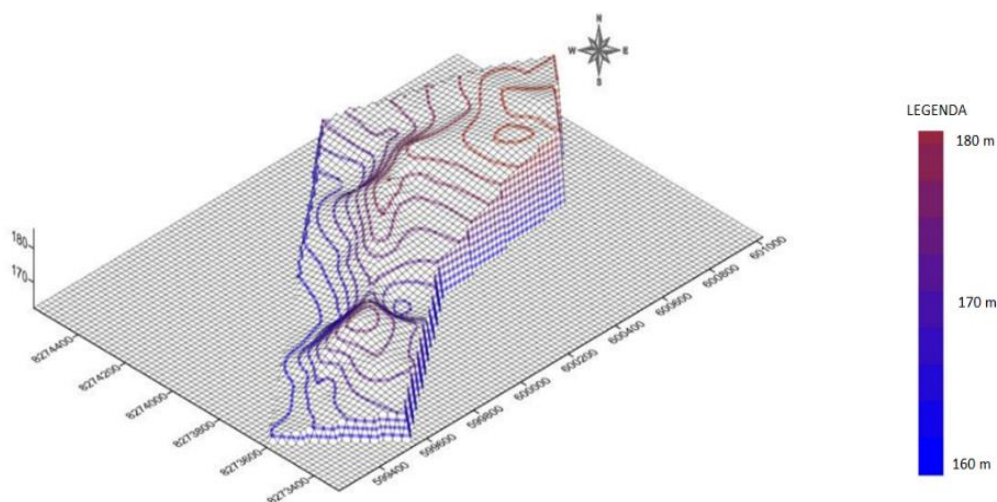


Figura 9 Relevo do *campus* Cuiabá – UFMT
FONTE: (ALVES, 2011)

Luz (2013) analisou e estimou a cobertura do solo urbano do *campus* da UFMT com os seguintes percentuais: vegetação arbórea com 41,3%; edificações e áreas pavimentadas com 38,46%; solo descoberto 17,65%; e superfície aquosa de 2,62%. Enfatiza que a grande quantidade de árvores é um dos motivos pelo qual as vias da UFMT são utilizadas para prática de esportes, caminhadas e corridas, pois serve como proteção solar aos passantes. Em uma entrevista realizada por Batista (2014) em um universo de 3.000 entrevistados nos finais de semana, 39% vêm a UFMT devido ao jardim zoológico, 33% por causa da área verde, 22% prática de esportes e 6% para outras atividades.

Estudos mais recentes sobre a quantificação e composição florística da UFMT, *campus* Cuiabá, foi realizado por Patrício (2017). Realizou um censo que contabilizou todos os indivíduos arbóreos com circunferência do tronco ao nível do solo $\geq 15,7$ cm. Identificou 190 espécies, dos quais a maior abundância foi do espécime *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti) - 8,9%; *Mangifera indica* L. (Mangueira) - 7,8%; *Jacarandá cupidifolia* (Jacarandá) – 6,3%; *Handroanthus impetiginosus* (Piúva ou Ipê Roxo) – 5,4% e; *Anadenanthera peregrina* (Angico) – 4,4%.

A *Licanea tomentosa* (Benth.) Fritsch, a espécie mais abundante do *campus* Cuiabá de acordo com Almeida Jr. (2005), é uma espécie de excelente adaptação às condições climáticas de Mato Grosso, atenuando o desconforto causado pelas elevadas temperaturas devido ao seu amplo sombreamento. Já a *Mangifera indica* L. é uma espécie frutífera e frondosa que de acordo com o Decreto Municipal de Cuiabá, nº5.144 (2012), não pode mais ser utilizada em arborização de ruas e logradouros públicos, por que podem ocasionar incidentes com veículos e pedestres. Entretanto, ainda existe essa espécie nos quintais, parques, jardins, praças públicas, ruas e avenidas da cidade de Cuiabá, como em outras cidades. É a segunda espécie mais abundante da UFMT, *campus* Cuiabá.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Contexto geográfico

Mato Grosso (Figura 10 a) é um Estado localizado na região Centro-Oeste do Brasil e ocupa uma área de 881.001km². Situa-se entre os paralelos 7°20'39" e 18°10'00" de latitude sul e os meridianos de 50°13'48" e 61°31'00" a oeste de Greenwich, faz parte da Zona Intertropical e por estar próximo à linha do Equador não há muita diferença sazonal entre as estações do ano.

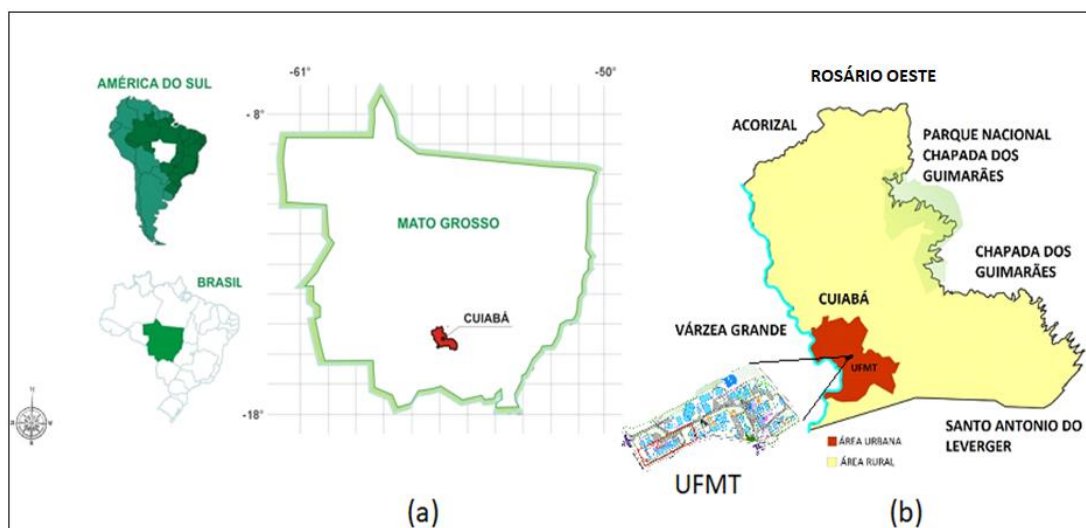


Figura 10 a) Localização do município de Cuiabá no Estado de Mato Grosso, b) limites do município, a cidade de Cuiabá e a Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

FONTE: a) Oliveira (2011) b) IPDU (2012)

A capital do Estado é Cuiabá, cuja cidade está situada entre as coordenadas geográficas de 15°10' e 15°50' de latitude sul e 50°50' e 50°10' de longitude oeste. O município de Cuiabá (Figura 10 b) possui uma área de 3.224,68km², sendo que a área urbana ocupa 251,94km² e a área rural ocupa 2.972,74km². Limita-se ao Norte com os municípios de Acorizal, Rosário Oeste e Chapada dos Guimarães, a leste com Chapada dos Guimarães, ao Sul com Santo Antônio de Leverger e a Oeste com Várzea Grande e Acorizal (IPDU, 2012).

Está inserida em três importantes ecossistema brasileiro: ao sul, o Pantanal, ao norte, a floresta Amazônica e ao seu entorno, o Cerrado. Cuiabá (1970 – 1980) era denominada de “Cidade Verde” devido a vasta arborização que existia nos grandes

quintais, no entorno da cidade, nas praças, ruas e avenidas. Hoje, a vegetação da cidade é encontrada principalmente em praças, bosques, nos domicílios, ruas e avenidas. A vegetação de Cuiabá consiste em cerrados remanescentes, cerradão, matas ciliares, mata semi-decídua, mata de encosta, vegetação exótica, plantas ornamentais e gramíneas (GUARIM, 1991).

3.1.2. Lócus

A Figura 11 apresenta uma vista aérea com os principais Institutos e Faculdades e as áreas verdes que integram a UFMT, *campus* Cuiabá.

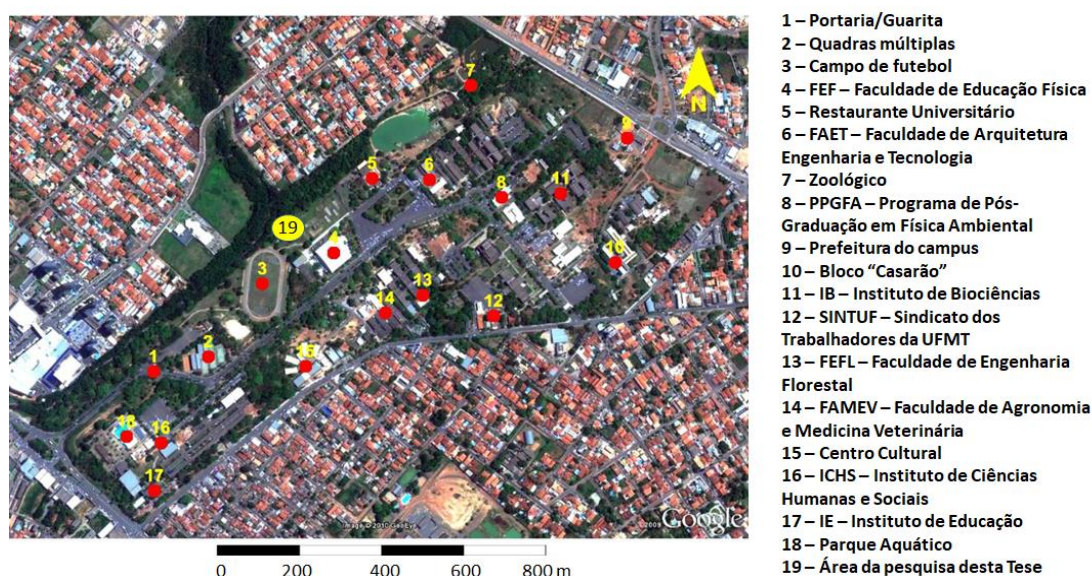


Figura 11 Ocupação da área do *campus* Cuiabá - UFMT. Cenário de 2010-2011
FORTE: (ALVES, 2011)

Destaca-se o número 19 pelo fato de ser a área de pesquisa desta Tese de Doutorado. É uma área aberta sem edificações, gramada, com mata ciliar por onde passa o córrego denominado de Barbado.

3.2. CRITÉRIOS UTILIZADOS NA DEFINIÇÃO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS PESQUISADAS

Seguindo o conceito fundamental da Dendrologia, alguns critérios para a escolha das árvores foram estabelecidos, de modo que foi possível escolher árvores maduras, bem desenvolvidas, sadias e com um bom sombreamento para o estudo.

Dessa forma, os critérios observados na escolha das espécies estudadas foram estabelecidos a seguir e especificados na Tabela 4:

- 1) Características morfológicas dos espécimes – De acordo com a Dendrologia, foram observados e analisados: tronco, raízes e ramificações, folhas, flores, frutos e sementes. As análises possibilitaram verificar as condições físicas dos espécimes e determinar sua maturidade, seu desenvolvimento, a fitossanidade das plantas e seu porte.
- 2) Características ambientais onde as espécies estão inseridas – Não deve haver sombreamento por parte de prédios e construções sobre as árvores pesquisadas em nenhuma hora do dia, e em quaisquer estações do ano, bem como sobreposição de sombras com as de outras árvores.
- 3) Localização - Devem estar localizadas em área adequada para as medições e com espaço suficiente para a colocação dos equipamentos em torno dela. A área sombreada deve ser regular, plana, sem pavimentação nas imediações e estacionamento nas proximidades. Não deve haver interferências de transeuntes e carros;
- 4) Tempo de exposição - As árvores devem ter um tempo de exposição ao Sol que atenda as medições entre 8:00h às 17:00h;
- 5) Características quanto a quantidade de árvores a serem pesquisadas - As árvores podem estar dispostas em grupos (*clusters*) e ou individualizadas. Optou-se por trabalhar com árvores individuais, pois estando em *clusters* as copas se misturam e as árvores poderiam ter múltiplas disposições. Seria muito difícil saber quem influenciou e o quanto.

Esses critérios foram estabelecidos e aplicados no trabalho de Tese de Doutorado de Bueno-Bartholomei (2000) e, a seguir, aplicados na pesquisa de Abreu-Harbich *et al.* (2012, 2015) na escolha de espécies arbóreas com o objetivo de estudar o conforto térmico.

A seleção das espécies arbóreas baseou-se nos seguintes aspectos: a) árvores mais utilizadas na arborização da cidade de Cuiabá/MT e do *campus* UFMT, segundo a quantificação da vegetação feito por Almeida Junior (2005) e Patrício (2017), respectivamente; b) árvores de amplo sombreamento que possa oferecer conforto térmico e proteção da radiação solar e da RUV à população; c) árvores que atenderam os critérios apresentados nos itens 1 a 5 (página 53). Para isso, buscou-se auxílio de um especialista da Faculdade de Engenharia Florestal (FENF) da UFMT, *campus* Cuiabá.

Tabela 4 Características das espécies arbóreas estudadas conforme os critérios estabelecidos para sua escolha

	Critérios	Mangueira	Oiti
Dendrologia	Altura aproximada (m)	18	18
	Fuste - Altura (m)	1,20	2,00
	Diâmetro do tronco à altura de 1,3m do solo (m)	0,89	0,80
	Cor do tronco	Marrom escuro	Cinza escuro
	Rugosidade do tronco	Semi rugosa	Rugosa
	Altura da copa (m)	16,8	16
	Morfologia da copa	Densifoliada	Densifoliada
	Forma da copa	Semi esférica	Globosa
	Diâmetro da copa (m)	17	15
	Densidade da copa	Densa	Densa
	Folhas	Verde-escura, Comprimento 15 a 40cm, larg 1,5 a 4cm	Verde-escura, Comprimento 7 a 14cm, larg 3 a 5cm
Aspectos	Porte	Grande	Grande
	Fitossanidade	Saudável	Saudável
	É desenvolvida?	Sim	Sim
	É adulta? (idade>3,5 anos)	Sim	Sim
	Já produziu flores e frutos?	Sim	Sim
IAF (m ² .m ⁻²)	Medido no período seco (agosto/2016)	5,54	4,98
	Medido no período chuvoso (fevereiro/2017)	5,88	5,50
Sombreamento	Prédios	Não há	Não há
	Outras árvores	Não há	Não há
O local da espécie	Espaço	Adequado para medições, regular e plano	Adequado para medições, regular e plano
	Área sombreada	Regular e plana	Regular e plana
	Cobertura do solo	Solo nu	Solo nu
	Transeuntes/Carros	Não há	Não há
Exposição	Tempo de Sol	8:00h às 17:00h	8:00h às 17:00h
Intervenções	Podas	Sem interv.	Sem interv.

Dessa forma, foram escolhidas duas espécies arbóreas para a pesquisa: Mangueira (*Mangifera indica* L.) e o Oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch.

São apresentadas na Figura 12 duas fotos da Mangueira em estudo, uma com vista para o sul (Figura 12 a), e outra da copa tirada com lente olho de peixe de 180° - (Figura 12 b). O espécime apresenta aproximadamente 18m de altura, diâmetro do tronco de 0,89m, diâmetro de sombreamento de aproximadamente 17m, altura das ramificações mais baixas a 1,20m da superfície. Possui uma estrutura robusta, folhas densas, troncos e galhos bem desenvolvidos.

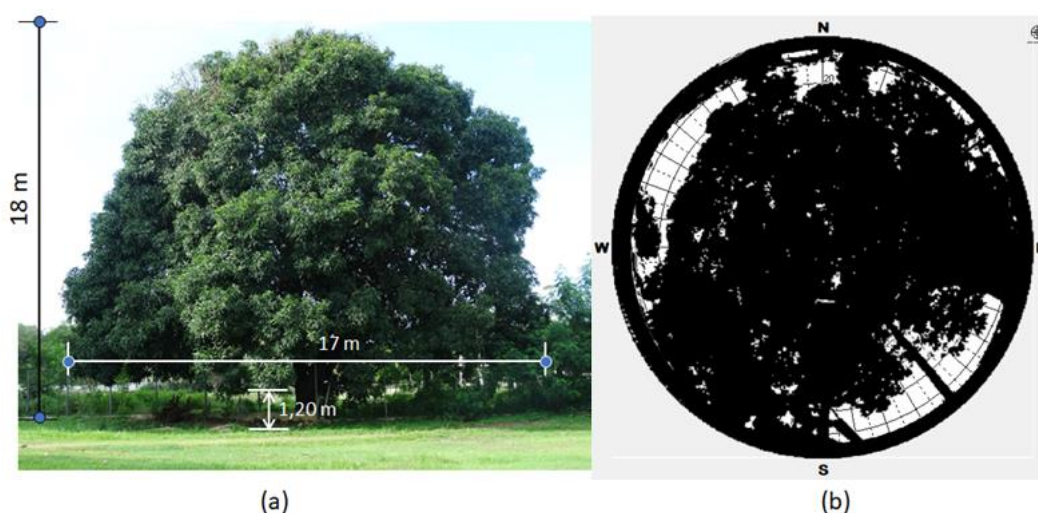


Figura 12 a) Imagem da Mangueira com as principais dimensões, b) Imagem da copa vista sob o dossel (23/10/2016)

A superfície do solo é plana com grama ao redor e poucos arbustos próximos da borda. Sob sua copa a superfície é de solo desnudo com algumas ervas daninhas e folhas secas. Pela Figura 12 b, é possível ver como as folhas da Mangueira formam uma copa fechada onde se vê pequena parte do céu. Essa imagem foi simulada no programa RayMan que calculou o fator de visão do céu de aproximadamente 8,2%. O IAF para esse período de medição, Primavera, foi de $5,09\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ (Tabela 6, p.69).

A Figura 13 apresenta duas fotos do Oiti em estudo, uma com vista para o sul (Figura 13 a) e outra da copa tirada com lente olho de peixe de 180° (Figura 13 b). A árvore apresenta 18m de altura, com diâmetro de sombreamento de aproximadamente 15m e altura do fuste de 2m. O tronco tem 0,80m de diâmetro. Os ramos periféricos estão, em média, a 3m do nível da superfície. A superfície ao redor do sombreamento é gramada com resquícios de solo nu em alguns pontos. Sob sua copa, a superfície é

de solo desnudo misturada com folhas secas. Pela Figura 13 b, é possível ter uma visão da densidade da copa. Essa imagem foi simulada no programa RayMan que calculou o fator de visão do céu de aproximadamente 10,7%. O IAF para esse período de medição, Primavera, foi de $4,25\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ (Tabela 6, p.69).

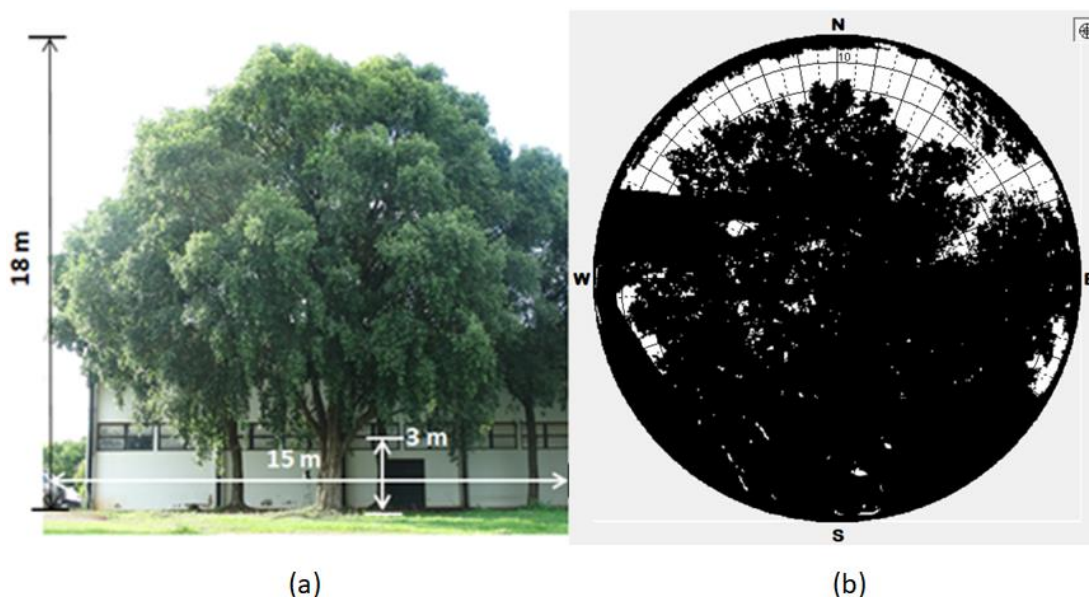


Figura 13 a) Imagem do Oiti com as principais dimensões, b) Imagem da copa vista sob o dossel (23/10/2016)

O local onde a Mangueira e o Oiti se localizam (Figura 14) se caracteriza por ser uma área ampla e aberta com gramado ao seu redor no período chuvoso. Há um campo de futebol, um córrego denominado de Barbado e uma mata ciliar. A Mangueira é a árvore mais isolada próxima ao campo de futebol, o Oiti está próximo do ginásio.



Figura 14 Área de localização das espécies arbóreas em estudo
FONTE: Google Earth (23/10/2016)

Um dos critérios na escolha das espécies arbóreas foi não haver influência de sombreamento pelos edifícios, construções e outras árvores. Devido a espécie Oiti estar próxima ao ginásio - planta baixa na Figura 27 - foi feita uma análise do sombreamento simulado através do programa SketchUp 2017⁹ (Figura 15).

SOMBREAMENTO	8:00h	12:00h	17:00h
INVERNO AGOSTO 2016			
PRIMAVERA NOVEMBRO 2016			
VERÃO FEVEREIRO 2017			
OUTONO MAIO 2017			

Detalhe A – Posição da Estação Micrometeorológica e simulação dos sombreamentos em Fevereiro/2017

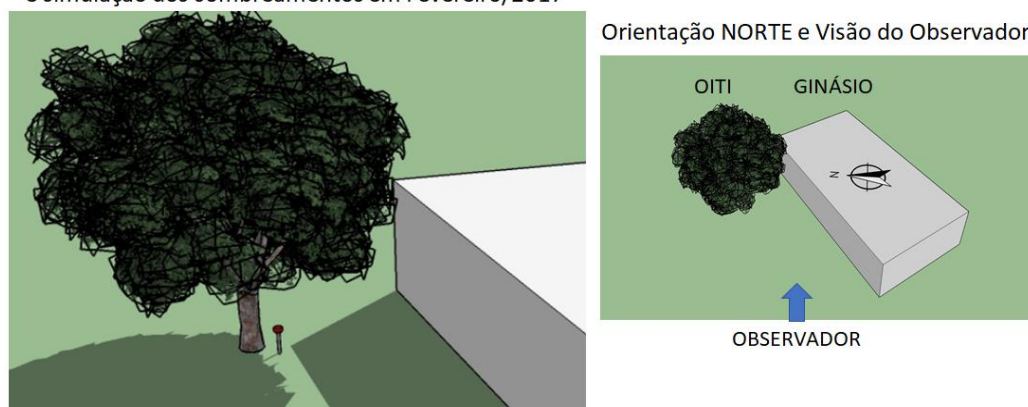


Figura 15 Simulação do sombreamento do ginásio sobre o Oiti. Imagens simuladas pelo programa SketchUp para as quatro estações do ano: Inverno, Primavera, Verão e Outono, às 8h, 12h e 17h.

⁹ SketchUp 2017 - É um programa em que o objeto simulado é referenciado por geolocalização, alinhado conforme o posicionamento real e desenhado em 3D com as dimensões reais, os aspectos e a inclinação solar. Além de ser uma boa ferramenta para modelagem, o SketchUp também pode ser usado para análises simples de insolação. Contudo, é preciso inserir as coordenadas do lugar onde a construção vai ser edificada.

Observa-se nas imagens simuladas na Figura 15 que não houve sombra do ginásio sobre o Oiti em nenhum período de medição entre 8:00h da manhã até às 17:00h da tarde. O período mais provável em que poderia haver o sombreamento sobre a árvore, seria entre os meses de novembro a fevereiro em que o sol está inclinado a -15° . Pode-se observar, que a sombra no mês de fevereiro, visto no “Detalhe A” ampliado na Figura 15, é a mais prolongada em direção ao tronco do Oiti, mas não chega a fazer sombra sobre o Oiti e nem sobre a estação micrometeorológica.

3.3. INSTRUMENTAÇÃO

Foram utilizadas nas medições três estações micrometeorológicas da Davis Instruments Corp. modelo Vantage PRO2™ (Figura 16). Cada estação é equipada com um conjunto de sensores destinados a medir: temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento, precipitação, direção do vento, radiação solar e radiação ultravioleta solar. Cada estação meteorológica possui um Conjunto de Sensores Integrados (ISS) com a função de medir as variáveis do tempo. O Módulo de Interface do Sensor (SIM) coleta os dados do tempo e os transmite via *wireless* para o *console* da Vantage Pro2 onde são armazenados em um *datalogger* para posterior coleta.

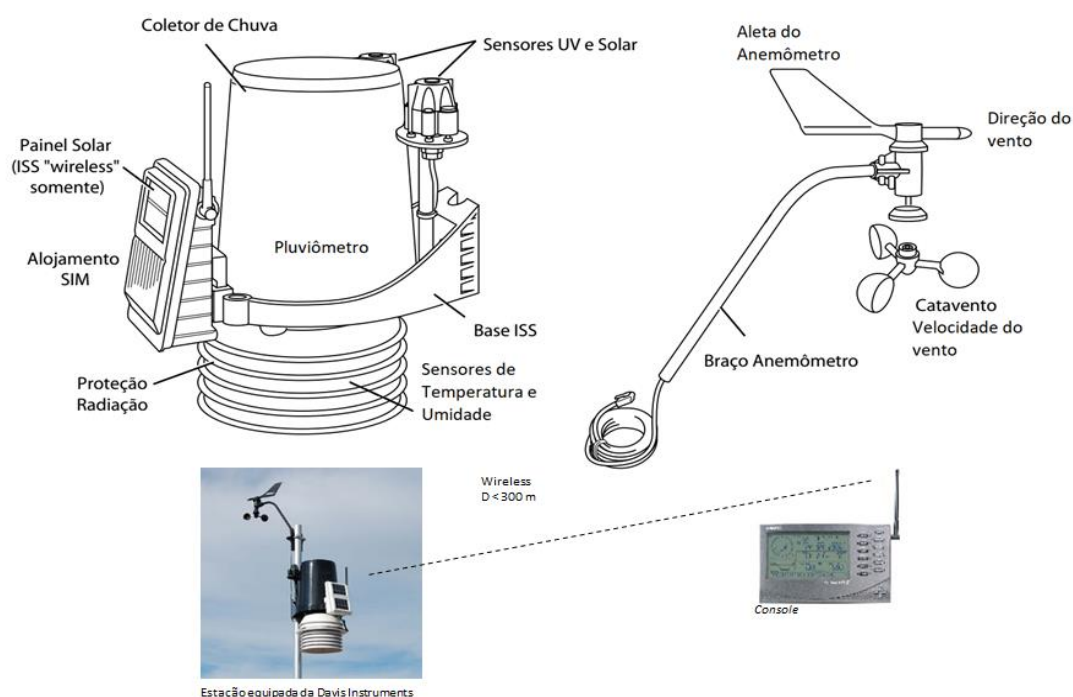


Figura 16 Conjunto de sensores integrados da estação micrometeorológica Vantage PRO2™ da Davis Instruments Corp. 2004.
FONTE: Manual de instalação da Davis™ - Vantage Pro2

A estação meteorológica na Figura 17 foi instalada em conjunto com uma das estações da Davis Instruments em substituição dos sensores de radiação solar e radiação ultravioleta que estavam avariados.

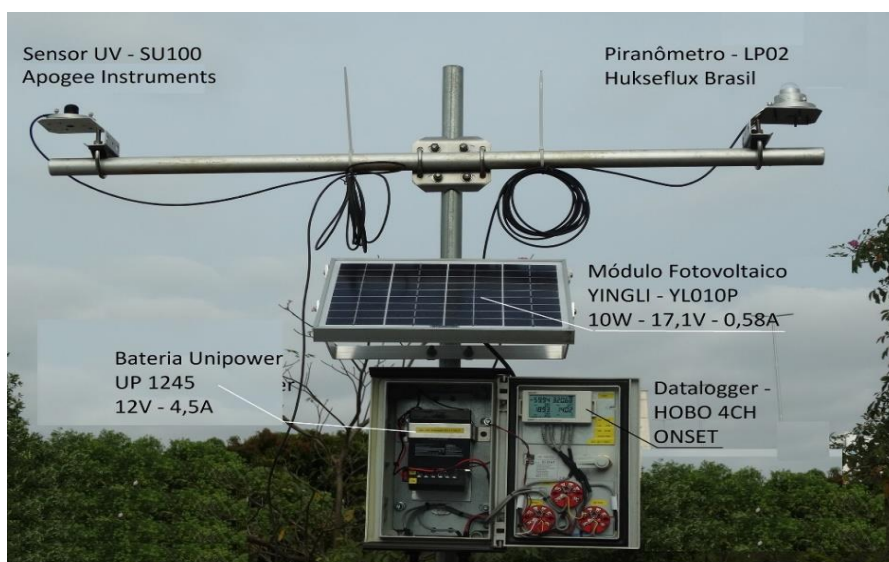


Figura 17 Estação complementar para medição da Radiação Solar e Radiação Ultravioleta

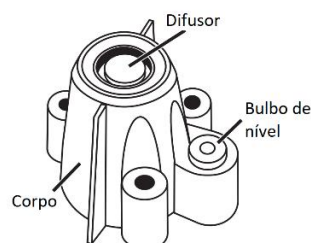
Os seguintes sensores foram utilizados para a coleta de dados das três estações:

- Piranômetro (Figura 18) – Mede a densidade de radiação solar global (RG - direta, difusa, refletida) na faixa que chega à superfície da Terra num campo de visão de 180°.



Sensor de Radiação Solar (RG)
tipo LP02 - Hukseflux

(a)



Sensor de Radiação Solar (#6450)
Davis Instruments

(b)

Figura 18 a) Piranômetro modelo LP02 da Hukseflux Brasil, b) Piranômetro modelo #6450 da Davis Instruments-EUA

FONTE: Manual de instalação da Hukseflux Brasil e da Davis™ - Vantage Pro2

Os piranômetros são sensíveis a porção do espectro solar entre 400nm a 1100nm. O modelo LP02 (Figura 18 a) mede a radiação solar entre 100W/m² a 1000W/m² em uma superfície plana em um ângulo de 180° de campo de visão chamada de radiação solar hemisférica. Pode ser empregado ao ar livre sombreado ou diretamente ao Sol ou em ambientes internos. O piranômetro modelo #6450 (Figura 18 b) detecta a radiação com comprimento de onda entre 400nm a 1100nm. Possui um corpo protetor da radiação térmica servindo como dissipador de calor por convecção, há também um bulbo com uma bolha de nível para nivelar o sensor com o plano horizontal e um difusor no topo do sensor com um anel de corte que oferece uma excelente resposta ao cosseno para ângulo zênite de zero a 90 graus. A saída dos dados da radiação global está na faixa de zero a 1800W/m² com uma precisão de $\pm 5\%$.

- Sensor UV (Figura 19) – É um instrumento de precisão que detecta a radiação ultravioleta na faixa de comprimento de onda entre 100nm a 380nm. O corpo protege o sensor da radiação térmica fornecendo um resfriamento por convecção minimizando o aquecimento interno do sensor. Tem um indicador de nível para nivelar o aparelho segundo o plano horizontal e uma estrutura de proteção ao toque no difusor. A oleosidade que pode ser adquirida devido ao toque do operador reduz a sensibilidade dos sensores ultravioletas.

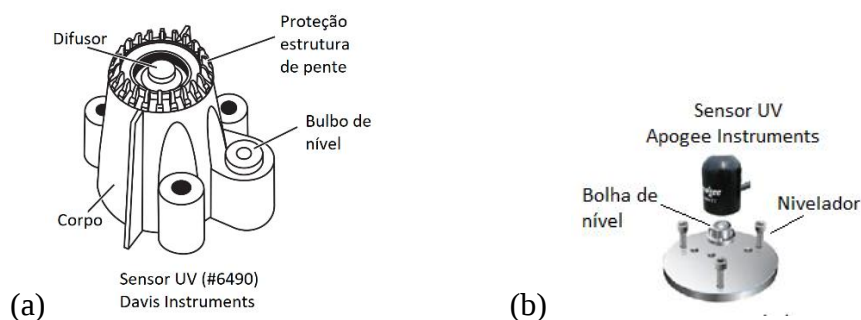


Figura 19 a) Sensor UV modelo #6490 da Davis Instruments-EUA, b) Sensor UV modelo SU-100 da Apogee Instruments

FONTE: Manual de instalação do sensor UV #6940 e do sensor UV SU-100

O sensor UV modelo #6490 mede a radiação UV direta e difusa. Responde apenas na radiação UV-B de 280nm a 360nm que causa queimadura e câncer de pele. É estável na presença de calor e umidade. Opera na temperatura entre -40°C a +65°C. Fornece dados de saída da radiação UV em Dose na faixa de

zero a 199 MEDs¹⁰ e em Índice (UV-Índice)¹¹ na faixa de zero a 16. O sensor UV tipo SU-100 da Apogee Instruments responde a radiação UV na faixa de 250nm a 400nm num campo de visão de 180° a uma temperatura entre -40°C a + 70°C e umidade entre zero a 100%. Fornece dados de saída da radiação UV em W/m², sua acurácia é de ±5%.

- Anemômetro (Figura 20 a) – É um instrumento que mede com precisão a velocidade do vento em m/s. O movimento das conchas é transmitido a um sistema de registro mecânico ou eletroeletrônico e independe da direção do vento. O sistema conta as rotações e a velocidade do vento é calculada com o auxílio de um dispositivo de contagem.

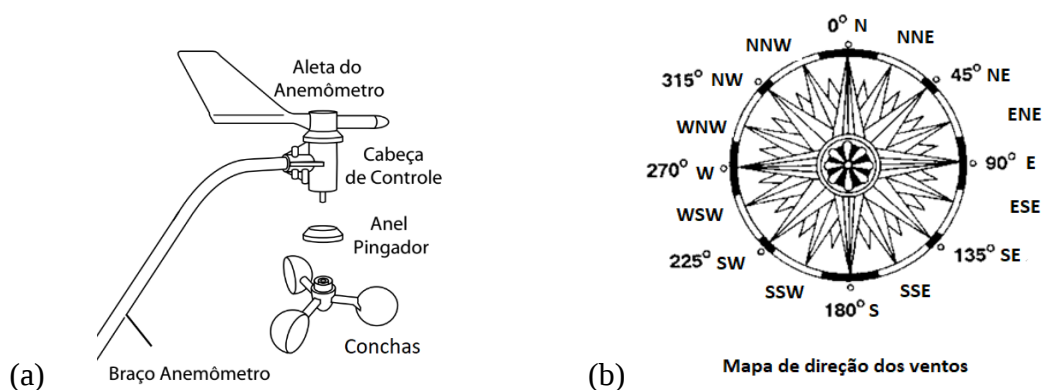


Figura 20 a) Anemômetro modelo #9911 da Davis Instruments-EUA, b) Mapa de direção do vento

FONTE: Manual de instalação da DavisTM - Vantage Pro2

O anemômetro possui uma aleta que gira conforme a direção do vento. A cabeça de controle aponta a origem do vento, assim a direção do vento é calculada por um potenciômetro que estabelece um valor de corrente conforme cada posição da aleta entre zero e 360 graus. Gera-se letras conforme o mapa de direção dos ventos (Figura 20 b) no intervalo de tempo e somente há registro se houver velocidade do vento. Para indicar a direção correta a aleta do anemômetro tem que ser ajustada para a direção Norte (N). A velocidade do

¹⁰ MED – (*Minimum Erythemat Dose*) – é definido como a quantidade de exposição solar necessária apenas para induzir uma perceptível vermelhidão na pele dentro de 24 horas após uma exposição solar. O grau de queimadura varia para o tipo de pele.

¹¹ Cada unidade de UV-Índice corresponde a 25mW/m² (CORRÊA, 2015).

anemômetro está na faixa de zero a 80m/s e a direção, indicada pela aleta do anemômetro, está entre zero e 359°.

- Termo-higrômetro (Figura 21) – Mede a temperatura do ar e a umidade do ar.

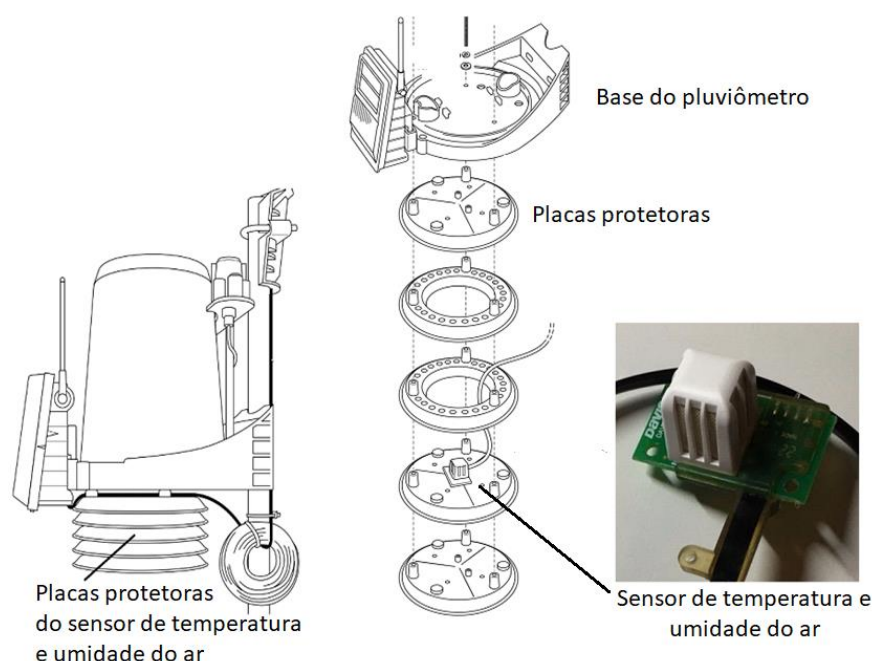


Figura 21 Termo-higrômetro modelo #7346 da Davis Instruments

FONTE: manual de instalação da Vantage Pro2

Localizam-se no interior das placas que os protegem contra radiação solar e outras fontes de aquecimento por radiação e por reflexão. Os sensores funcionam normalmente em ambiente com temperatura na faixa de -40°C a $65,5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,5\%$) com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$. Com relação a umidade relativa do ar, o sensor trabalha normalmente em ambiente interno com umidade entre 10% a 90% ($\pm 3\%$) e em ambiente externo entre 1% a 100% ($\pm 3\%$).

- *Console* (Figura 22) – É um aparelho para o qual são enviados, via *wireless*, os dados coletados pelos sensores do ISS e armazenados em um *datalogger*. Os valores são exibidos numa tela de cristal líquido conforme a escolha das grandezas e unidades. Fornece funções de gráficos, alarmes e um teclado de comando para configurar, visualizar, ajustar, atualizar, selecionar sensores e navegar.

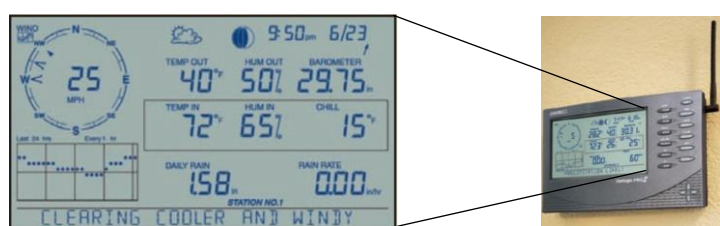


Figura 22 Console – Vantage PRO2 – Davis Instruments

FONTE: Catálogo “Instrumentos Meteorológicos de Precisão – 2005” – Davis Instruments

O *datalogger* do console pode ser conectado via cabo USB ao PC para a coleta de dados. Para isso, utiliza-se um software (WeatherLink®) que permite ao usuário armazenar, visualizar, exportar e imprimir os dados coletados pela estação. O console possui várias funções e dispõe de outros dados meteorológicos.

- Ceptômetro (Figura 23) – É um aparelho utilizado para medir a interceptação da luz em dosséis de vegetação para calcular o índice de área foliar (IAF). É constituído por um microprocessador *datalogger* que interpreta os sinais dos sensores calculando o valor médio de cada segmento especificado. Contém, ao longo de uma régua (1m), 80 sensores quantum independentes sensíveis a radiação com o comprimentos de onda entre 400nm a 700nm. Exibe o resultado da radiação PAR entre zero a 2,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Mede também a variável TAU (τ) que é definida como a razão entre a medida PAR sob o dossel com relação a medida PAR acima do dossel. Existe um menu para o operador navegar e selecionar itens dentro de cada menu.



Figura 23 Ceptômetro AccuPAR modelo LP-80 da METER Group

FONTE: Manual Ceptômetro 10242 – Decagon Devices, Inc.

- *Datalogger* – HOBO® – Onset (Figura 24) – É um registrador de dados com resolução de 16 bits e pode gravar até 1,9 milhão de medidas ou eventos. Possui 4 canais externos que aceitam uma variedade de sensores. Para este estudo foram utilizados dois canais, um para o piranômetro (LP02) e outro para o sensor UV (SU100).

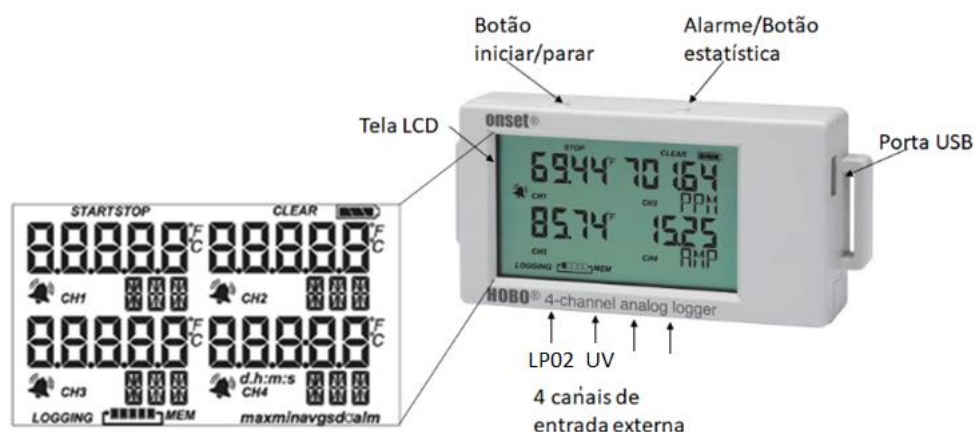


Figura 24 *Datalogger* 4 canais modelo UX120-006M – onset HOBO® Data Loggers

FONTE: manual HOBO® 4-Channel Analog Data Logger (UX120-006M)

3.4. MEDIÇÃO

3.4.1. Aferição das Estações Micrometeorológicas

As estações micrometeorológicas foram identificadas como Estação 1 (E1), Estação 2 (E2) e Estação 3 (E3). As estações E1 e E2 ficaram posicionadas lado a lado no terraço do PPGFA e distantes de 10m da E3. Todas estavam a 5m do nível do solo sem influência de sombra, barreira de vento, reflexão da radiação. A estação E2 foi escolhida como a estação de referência (somente para a aferição) por ela ser nova e adquirida recentemente para esta pesquisa, por isso, ela não teve interferências físicas e químicas que provocassem algum tipo de desgaste que prejudicasse o seu funcionamento. Além disso, a garantia e a calibração foram asseguradas pelo fabricante. Assim, as estações E1 e E3 foram fisicamente calibradas e ajustadas, e após efetuaram-se novas medições nos dias 24, 25 e 26 de julho de 2016, cujos dados foram coletados de 10 em 10 minutos e plotados conforme a Figura 25.

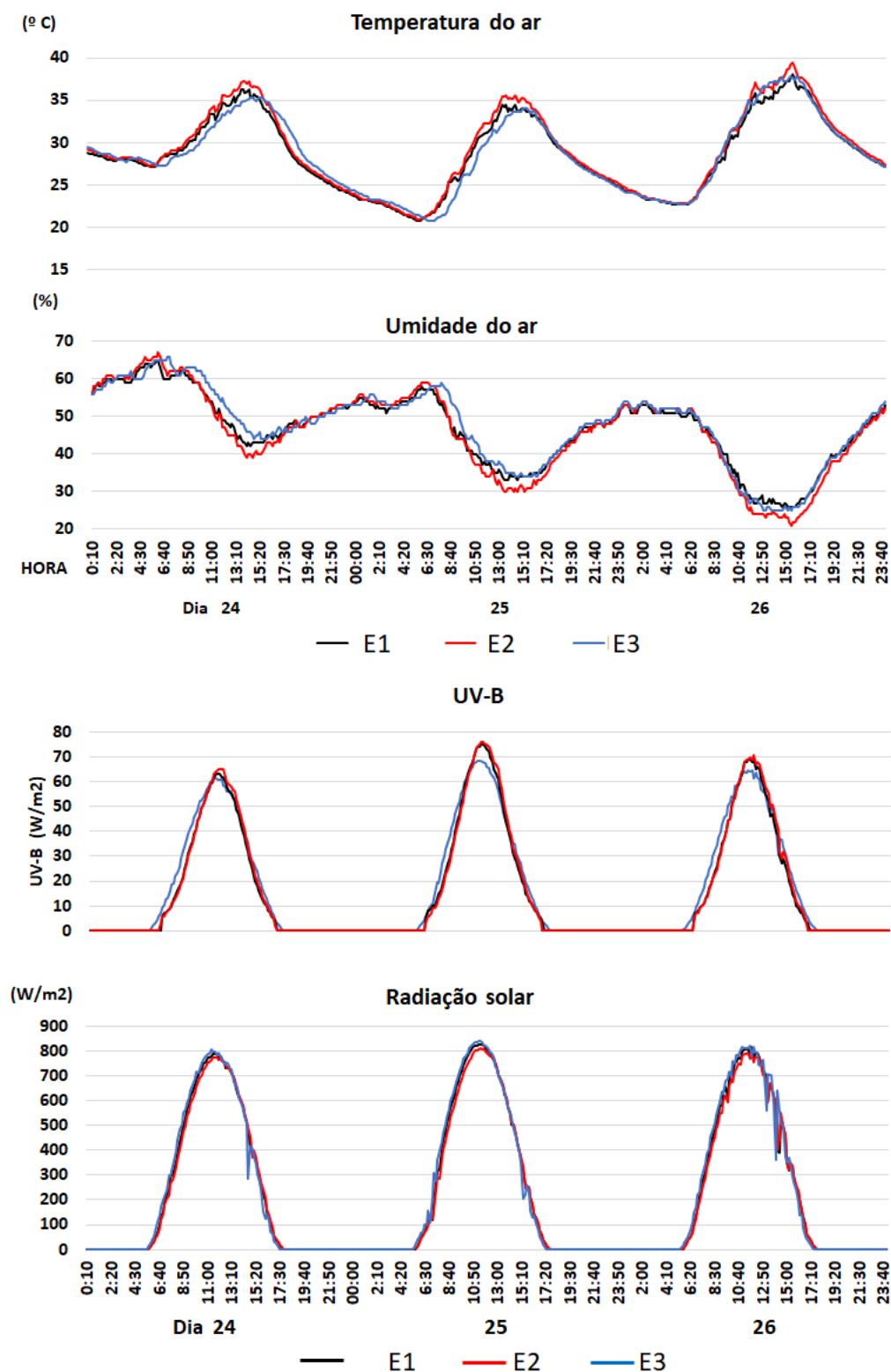


Figura 25 Gráfico das variáveis microclimáticas temperatura do ar, umidade do ar, radiação ultravioleta UV-B e radiação solar, após a calibração e ajustes das estações micrometeorológicas E1 e E3 com relação a estação referência E2

Os dados foram analisados e pode-se verificar que as estações micrometeorológicas E1 e E3 não necessitaram de novas correções. Para isso, pareando no tempo por estação, aplicou-se análises de variâncias (ANOVAs) de Escores de Van der Waerden (CONOVER, 1999) para as variáveis climáticas temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar e radiação ultravioleta UV-B, não detectando diferenças significativas, conforme apresenta o Quadro 3.

Quadro 3 – Resultados das ANOVAs pareadas para as estações micrometeorológicas

Fonte de variação	Nível de significância			
	Temperatura do ar	Umidade do ar	Radiação solar	Radiação UV
Estação	0,378	0,271	0,715	0,711

3.4.2. Arquitetura das Medições

Com a finalidade de medir as variáveis ambientais da pesquisa instalou-se na sombra de cada espécie arbórea uma estação micrometeorológica. A estação E1 foi colocada sob a copa da *Mangifera indica* L.(Mangueira), a estação E2 sob a copa da *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti) e a estação E3 (de referência) foi exposta à radiação direta do Sol (Figura 26).

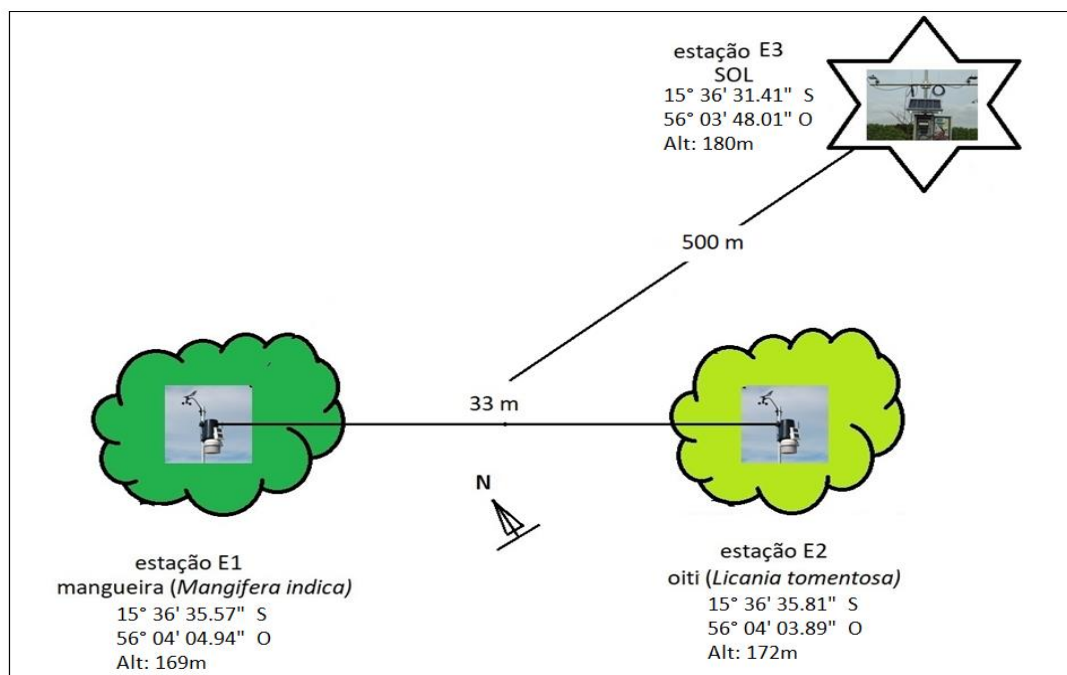


Figura 26 Coordenadas, altitudes, distâncias e posicionamento das estações micrometeorológicas E1, E2 instaladas sob a copa das árvores e E3 exposta à radiação direta do sol no terraço do PPGFA

As estações micrometeorológicas E1 e E2 foram posicionadas sob a copa de cada espécie, num raio de 1m afastado do tronco.

A Figura 27 mostra um exemplo do posicionamento da estação micrometeorológica instalada sob a copa do Oiti, bem como os afastamentos da árvore com relação ao bloco de ginástica mostrados em planta baixa e corte CC.

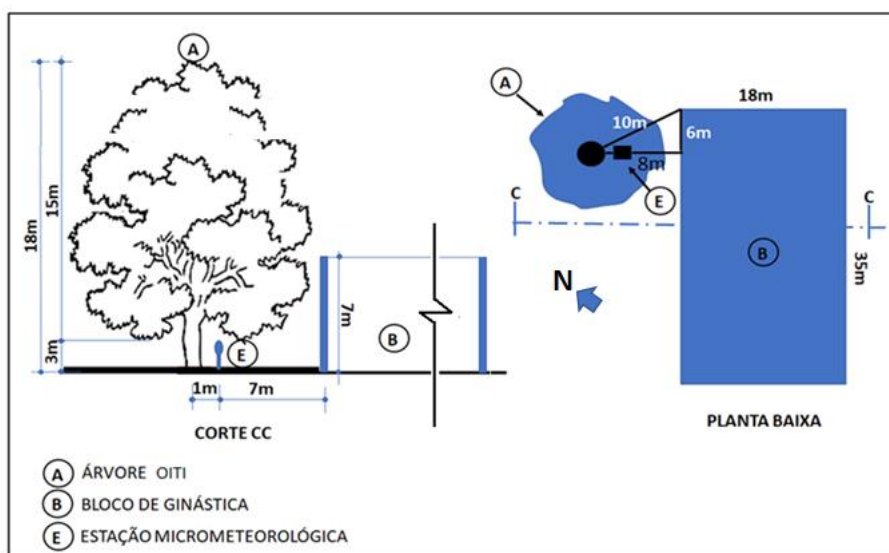


Figura 27 Posicionamento da estação micrometeorológica E2 e os afastamentos da espécie Oiti com relação ao bloco de ginástica em planta baixa e vista de corte CC

3.4.3. Medição das Variáveis Microclimáticas

As estações micrometeorológicas trabalharam de forma sincronizada e coletaram as seguintes variáveis micrometeorológicas: Temperatura do ar externa (Temp Out – °C), Umidade do ar externa (Out Hum – %), Velocidade do vento (Wind Speed – m/s), Direção do vento (Wind Dir – N ... O ... S ... L ...), Radiação solar (Solar Rad. – W/m²), Índice UV-B (UV-Índice – 0 a 16). As medições foram feitas sob a copa das árvores e ao Sol¹².

As medições se iniciaram no 1º de agosto de 2016 e se encerraram no dia 06 de junho de 2017. Foram realizadas quatro etapas de medição nas quatro estações do ano, denominados de período ou etapa de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono. Cada etapa de medição obteve 14 dias válidos, exceto o Outono, com 12 dias válidos.

¹² A expressão “ao Sol” quando referir-se às medições, dados, gráficos, etc., significa “exposição direta à radiação solar”. Por exemplo: medidas ao Sol – significa medidas feitas sob a incidência direta da radiação solar.

Os trabalhos de medição seguiram o cronograma conforme o Quadro 4.

Quadro 4 Período das medições – Inverno, Primavera, Verão e Outono

seco	INVERNO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
		1	1ª medição 23	
Dias válidos: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 22 e 23				
2016				
chuvoso	PRIMAVERA	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
		17	2ª medição 17	
Dias válidos: 17, 18, 19, 21, 30 e 31/Outubro - 1, 7, 8, 9, 11, 14, 16 e 17/Novembro				
2016				
chuvoso	VERÃO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO
		30	3ª medição 10	
Dias válidos: 30/Janeiro - 1, 3, 6, 8, 9, 13, 15, 22, 23 e 24/Fevereiro - 8, 9 e 10/Março				
2017				
seco	OUTONO	ABRIL	MAIO	JUNHO
		1	4ª medição 6	
Dias válidos: 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 18 e 19/Maio				
2017				

As medições foram diárias entre 8:00h às 17:00h, coletando dados em intervalos de 10 em 10 minutos, durante 15 a 25 dias. Dos 15 a 25 dias de medições, procurou-se obter no mínimo 12 dias de medições válidas para este estudo, ou seja, dias em que as medidas acontecessem com o céu limpo, com pouca interferência da atmosfera, como nuvens, por exemplo. Como não foi possível por causa da nebulosidade e chuvas regulares de cada estação do ano, foram considerados como dias válidos, os dias com céu limpo a parcialmente nublado (4 octas). Os dias válidos estão relacionados no quadro 4.

3.5. MODELO ESTATÍSTICO UTILIZADO NA ANÁLISE DO IAF E DO ÍNDICE UV-B

Neste estudo, foi utilizada a técnica da Árvore de Decisão/Classificação (ADC) para analisar os dados referente à radiação ultravioleta (UV-Índex) e para analisar os dados do Índice de Área Foliar (IAF). Destaca-se esta técnica pela fácil interpretação dos resultados, pois a classificação dos dados é obtida de forma explícita, simplificando sua interpretação. Assim, os resultados são fornecidos de forma rápida devido a eficiência computacional apresentado por essa técnica. A árvore de decisão recebe como dados de entrada n variáveis independentes e fornece o resultado com uma decisão indicando como resposta a variável mais significativa.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) DA MANGUEIRA E DO OITI

Durante as etapas de medição foram feitas medições do IAF em dois períodos considerados como seco e chuvoso. Para isso, utilizou-se o instrumento Accupar LP-80 (Figura 23). Os dias de medição foram nos meses de agosto/2016 e de fevereiro/2017, e procurou-se fazer em dias de céu claro quando o sol estivesse ao meio-dia solar. Os valores médios medidos estão na Tabela 5.

Tabela 5 Valores médios do IAF medidos no período seco e chuvoso das espécies arbóreas Mangueira e Oiti, com a utilização do instrumento Accupar LP-80

	Medição	Mangueira	Oiti
IAF	agosto/2016	5,54	4,98
(m ² .m ⁻²)	fevereiro/2017	5,88	5,50

Também foi possível com os dados da radiação solar incidente e da radiação solar abaixo da copa das árvores, calcular o IAF da Mangueira e do Oiti. Para isso, utilizou-se o modelo modificado de Norman e Jarvis descrito no item 2.4. que estimou o IAF das espécies arbóreas. Com os dados da radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) coletados ao Sol e coletados na sombra, o modelo calculou para cada hora do dia de medição entre 8:00h às 17:00h, um IAF horário. Com os dados horários foram calculados a média e o desvio padrão do IAF para cada período de medição mostrada na Tabela 6.

Tabela 6 Índice de área foliar (IAF) e desvio padrão (DP), calculado pelo modelo de inversão da radiação fotossinteticamente ativa – RFA, para os períodos de medição: Inverno, Primavera, Verão e Outono

PERÍODO DE MEDIÇÃO	MANGUEIRA		OITI	
	IAF (m ² .m ⁻²)	DP	IAF(m ² .m ⁻²)	DP
INVERNO	5,94	0,72	5,06	0,75
PRIMAVERA	5,09	1,75	4,25	1,84
VERÃO	4,96	1,57	4,57	1,53
OUTONO	4,88	1,59	3,44	1,13

Com esses dados pode-se fazer a seguinte análise. Os dados do IAF das Tabelas 5 e 6 indicam que a Mangueira possui aparentemente uma mesma variação do IAF

com relação a do Oiti, e que a densidade de área foliar dessas espécies são características de árvores que possuem IAF alto em comparação com os IAFs de florestas tropicais densas cujos valores estão entre 7 e 8. Porém, os valores encontrados estão abaixo de 7, mas estão dentro dos padrões normais de IAF para essas espécies, como constatado nos trabalhos a seguir:

Oliveira *et al.* (2013) mediram o IAF de vários indivíduos da espécie Mangueira e Oiti em duas praças de Cuiabá e encontraram IAFs entre $4,34\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ a $5,50\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ para a Mangueira e entre $4,05\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ e $5,99\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ para o Oiti. Segundo os autores, os maiores IAFs foram apresentados pelas espécies arbóreas com maiores sombreamentos devido às copas mais densas e volumosas.

Callejas *et al.* (2014) mediram os índices de IAF para a Mangueira e o Oiti em áreas externas de três escolas públicas urbanas de Cuiabá, sendo que os valores médios encontrados respectivamente para as escolas 1, 2 e 3, foram de 7,67, 6,96 e $6,85\text{m}^2/\text{m}^2$ para o Oiti e de 6,67 e $7,60\text{m}^2/\text{m}^2$ para a Mangueira. Observaram que para aferir a qualidade do sombreamento e a melhoria do conforto térmico proporcionado pelas árvores, o IAF é um parâmetro biofísico e estrutural da vegetação necessários para avaliar as características de cada espécie, pois o IAF é resultante das respostas ecofisiológicas das plantas às condições químicas, físicas e biológicas do solo que influenciam nas trocas de massa e energia de um ecossistema. Descrevem ainda, que quanto maior o IAF maior a interceptação da radiação solar pelas folhas e consequentemente o maior sombreamento. Isso favorece o resfriamento da atmosfera abaixo das copas.

Durante e Nogueira (2013) estudaram o efeito do sombreamento no ambiente interno de sala de aula. Mediram as variáveis ambientais e o IAF do Oiti e da Mangueira. Os IAFs encontrados foram, respectivamente, de $7,4\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ e $10,1\text{m}^2.\text{m}^{-2}$. Os resultados mostraram a significativa contribuição dos indivíduos arbóreos como mitigadores do microclima externo e interno das edificações, evidenciando a importância da arborização para cidades de clima quente.

Ribeiro (2016) ao analisar a influência do sombreamento arbóreo sobre diferentes tipos de revestimento do solo, mediu o IAF da Mangueira e do Oiti e obteve os índices de $4,52\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ e $4,82\text{m}^2.\text{m}^{-2}$, respectivamente, os quais foram utilizados como parâmetros na escolha dessas espécies para seu estudo. Os resultados mostraram

melhores desempenhos térmicos dos revestimentos nas áreas com sombreamento arbóreo do que aqueles revestimentos que estavam diretamente ao sol.

Observa-se também, neste estudo, que o IAF não foi constante para todos os períodos de medição. A Figura 28 mostra que ambas as espécies tiveram os maiores IAFs no Inverno ($5,94\text{m}^2/\text{m}^2$ e $5,06\text{m}^2/\text{m}^2$) e os menores no Outono ($4,88\text{m}^2/\text{m}^2$ e $3,44\text{m}^2/\text{m}^2$). Mas, na Primavera e no Verão, a Mangueira permaneceu praticamente estável, com pouca queda no IAF, enquanto que o Oiti teve uma queda na Primavera, um aumento no Verão, e uma queda acentuada no Outono.

Segundo a EMBRAPA (2010), o desenvolvimento das plantas depende muito dos fatores climáticos. O florescimento é fortemente afetado pelo clima. A temperatura do ar e a velocidade do vento são importantes no processo da evapotranspiração. A temperatura do ar também é importante na fotossíntese, atuando em enzimas responsáveis pelas reações bioquímicas. Todos esses fatores estimulam a brotação e o crescimento de folhas, isso implica que o IAF variou com relação aos fatores climáticos da época do ano.

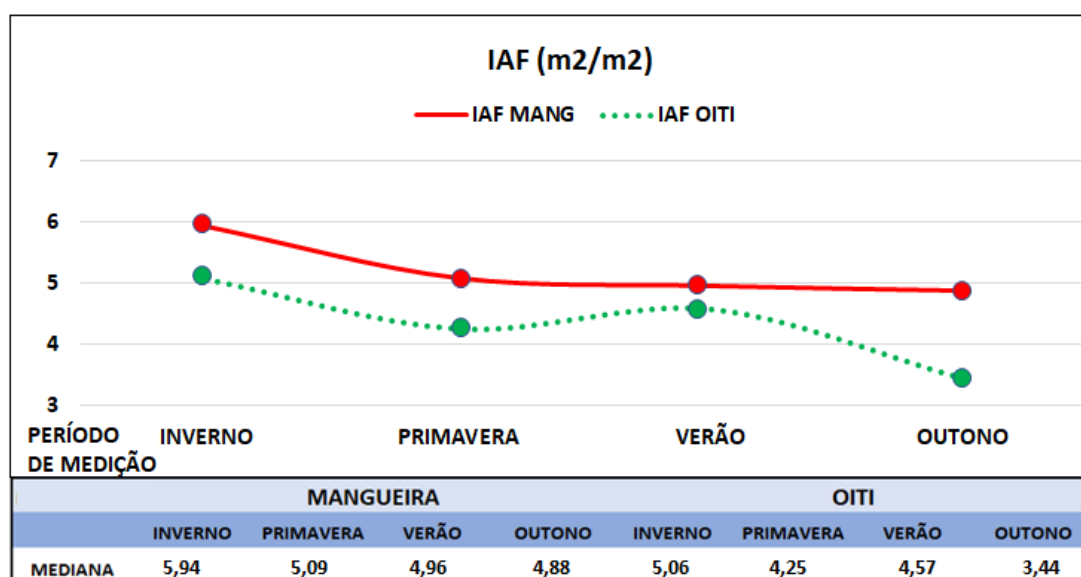


Figura 28 IAF médio das espécies arbóreas, calculado pelo modelo modificado do método desenvolvido por Norman e Jarvis (1974), para o período de medição – Inverno, Primavera, Verão e Outono

Com base nessas informações, conforme o gráfico do IAF na Figura 28, a Mangueira e o Oiti estavam com a copa mais densa no Inverno, que é o período de crescimento e de florescimento da Mangueira e do Oiti. As espécies desenvolvem-se bem antes da floração (CARVALHO, 2011; MONTEIRO *et al.*, 2012). Para isso, a

Mangueira necessita de temperaturas amenas, estresse hídrico e umidade relativa baixa, bem como abundante radiação solar que acontece no Inverno. A Mangueira nos períodos seguintes (Primavera, Verão e Outono) teve pouco desenvolvimento foliar, pois a etapa se concentrou no desenvolvimento dos frutos que amadurecem no Outono, entre abril e agosto. A tendência, nessa estação do ano é a derrubada das folhas que acontece em pequeno volume para a espécie Mangueira. Provavelmente essa queda nas folhas fez o IAF ser menor no Outono. Já o Oiti teve uma variação no IAF a qual foi maior no Inverno – época de floração, e no Verão – época da maturação dos frutos. No Outono o IAF foi menor por causa da queda acentuada de suas folhas.

Portanto, os valores de IAFs medidos neste estudo, correspondem em média aos valores aproximados encontrados nas referências citadas neste item. Dessa forma, pode-se dizer que a Mangueira e o Oiti foram árvores representativas de sua espécie e que possuíram todas as características de uma árvore desenvolvida e madura com estrutura do dossel adequado para fornecer um bom sombreamento em todas as épocas de medição. Os espécimes são árvores de copas densas, com características suficientes para interceptar a radiação solar no processo de absorção, reflexão e transmissão. Com isso, fornece um sombreamento de qualidade capaz de proporcionar melhoria no conforto térmico, modificações nas variáveis climáticas de ambientes internos e externos e melhorar o desempenho térmico de materiais e revestimentos de solo, por serem mitigadores do microclima das cidades (OLIVEIRA *et al.*, 2013; CALLEJAS *et al.*, 2012, 2014; RIBEIRO, 2016; DURANTE e NOGUEIRA, 2013; ABREU-HARBITCH *et al.*, 2012; MATZARAKIS, 2013; SHASHUA-BAR *et al.*, 2010).

4.2. CARACTERÍSTICAS DA RADIAÇÃO SOLAR, TEMPERATURA DO AR E UMIDADE DO AR

4.2.1. Radiação Solar – Medição ao Sol¹³

A Figura 29 mostra os oscilogramas que caracterizam o comportamento diário da radiação solar para todos os períodos de medição.

¹³ A expressão “ao Sol” significa uma ação feita sob a incidência direta da radiação solar

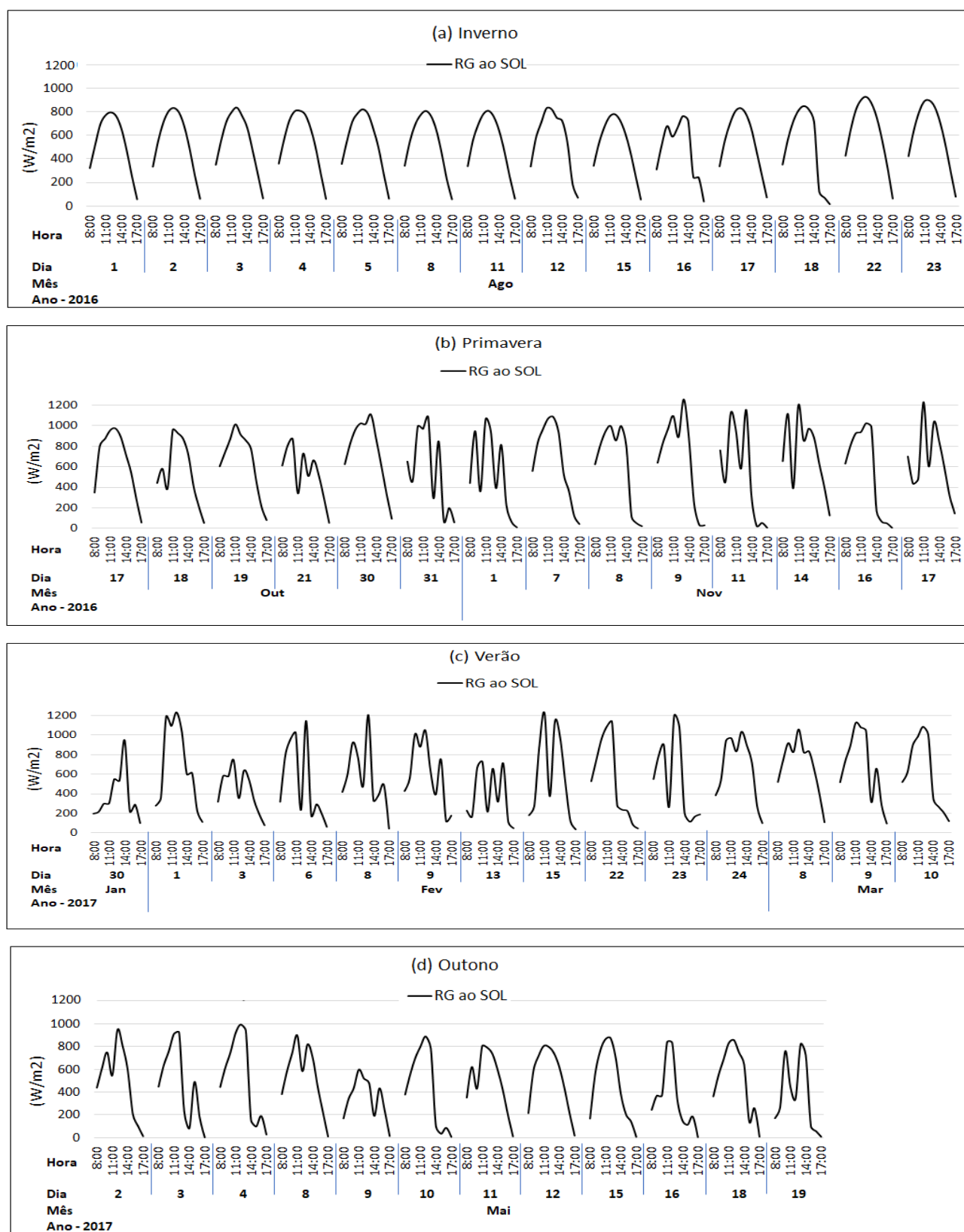


Figura 29 Distribuição da radiação solar (W/m^2), para os períodos de medição: a) Inverno, b) Primavera, c) Verão e d) Outono. Dados coletados pela estação micrometeorológica E3, localizada ao Sol no PPGFA

No Inverno (Figura 29 a – medição em agosto), período quente-seco, a radiação global apresentou uma variação diária regular para todos os dias da medição. Nessa época, a atmosfera estava constituída por aerossóis e nuvens de fumaça, exceto os dias 12 e 16 em que houve formação de nuvens e chuva rápida. Os picos de radiação solar oscilaram em torno de 800W/m^2 atingindo um valor máximo de $924,31\text{W/m}^2$ em 22 de agosto.

Na Primavera (Figura 29 b – medição em outubro e novembro), período quente-úmido, a atmosfera mudou para dias com céu claro e dias nublados, com chuvas esporádicas, característicos dessa estação do ano. Isso é percebido no gráfico pelas mudanças em sua intensidade e as variações bruscas em determinadas horas do dia. Os picos da radiação solar oscilaram em torno de 1000W/m^2 , mas ocorreram picos que atingiram 1200W/m^2 nos dias 9, 14 e 17 de novembro.

Essas mudanças ocorridas na Primavera continuaram no Verão (Figura 29 c – medições em janeiro, fevereiro e março), porém a frequência e a intensidade das chuvas aumentaram fazendo com que a radiação solar medida ao Sol oscilasse de forma brusca entre valores altos e baixos em todos os dias de medição, principalmente o mês de fevereiro. Os picos de radiação solar oscilaram, em sua maioria, entre 1000W/m^2 a 1200W/m^2 . O dias de maiores picos foram 1, 8, 15 e 23 de fevereiro.

No Outono (Figura 29 d – medição em maio), período de transição entre a estação úmida para seca, as chuvas tornam-se menos frequentes, diminuindo a formação de nuvens. Com isso, as variações na radiação solar tornaram-se mais regular. Assim, verifica-se no gráfico que as oscilações bruscas entre picos altos e baixos também diminuíram. Os picos de radiação solar variaram entre 800W/m^2 a 1000W/m^2 .

De acordo com a Figura 30, a maior média da radiação solar por período de medição foi medida na Primavera, e a menor média foi medida no Outono. A radiação solar média, a partir da medição no Inverno, aumentou na Primavera e diminuiu nas duas medições seguintes atingindo a menor média no Outono. Os picos de radiação solar média atingiram valores máximos na Primavera e no Verão com incidência acima de 1200W/m^2 . Os menores picos da radiação solar foram no Inverno e no Outono cujos valores foram de $924,31\text{W/m}^2$ e $996,67\text{W/m}^2$, respectivamente.

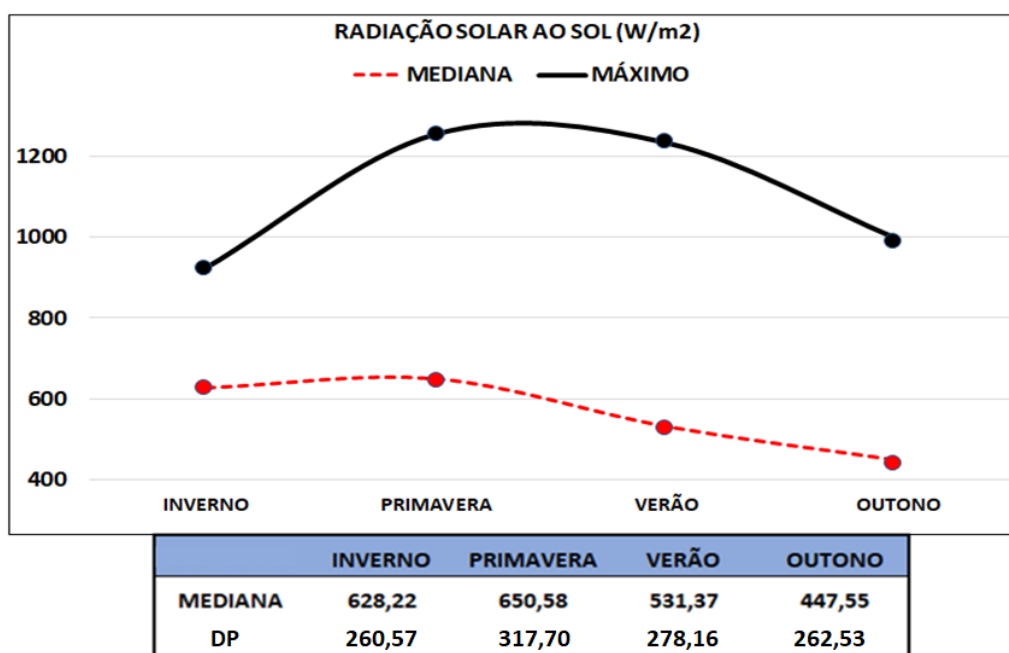


Figura 30 Radiação global média e máxima (W/m^2) referente ao período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono, medida pela estação micrometeorológica E3 – estação exposta ao Sol

No gráfico da Figura 31 observa-se, pelo gradiente de cores, as variações na intensidade da radiação solar. A análise dessa variável pode ser feita por período, diária e horária.

Assim, pode-se observar em todo o período como foi o comportamento da radiação solar medida ao sol, verificando a regularidade ou não de sua variação, em que período a variável atingiu a variação máxima e mínima, qual foi o dia em que ocorreram maiores variações, qual o intervalo do dia que a variação foi mais intensa, ou menos intensa, qual dia e hora houve interferências da nebulosidade, etc.

Observa-se no período de medição Inverno da Figura 31, uma variação regular da radiação solar para a maioria dos dias de medição. A maior intensidade de radiação solar ocorreu entre 10:00h às 14:00h. Os dias de maior intensidade da radiação solar foram 22 e 23 de agosto que foram dias de friagem. Em todos os dias de medição, nas duas primeiras e duas últimas horas de medição a intensidade da radiação solar foram baixas.

Na Primavera e Verão houve grandes flutuações da radiação solar em função da nebulosidade (pontos amarelos/laranjas) entre 9:00h às 15:00h. A radiação solar ficou muito intensa nesse período de medição mantendo valores elevados entre 10:00h às 14:00h com valores acima de 800W/m^2 .

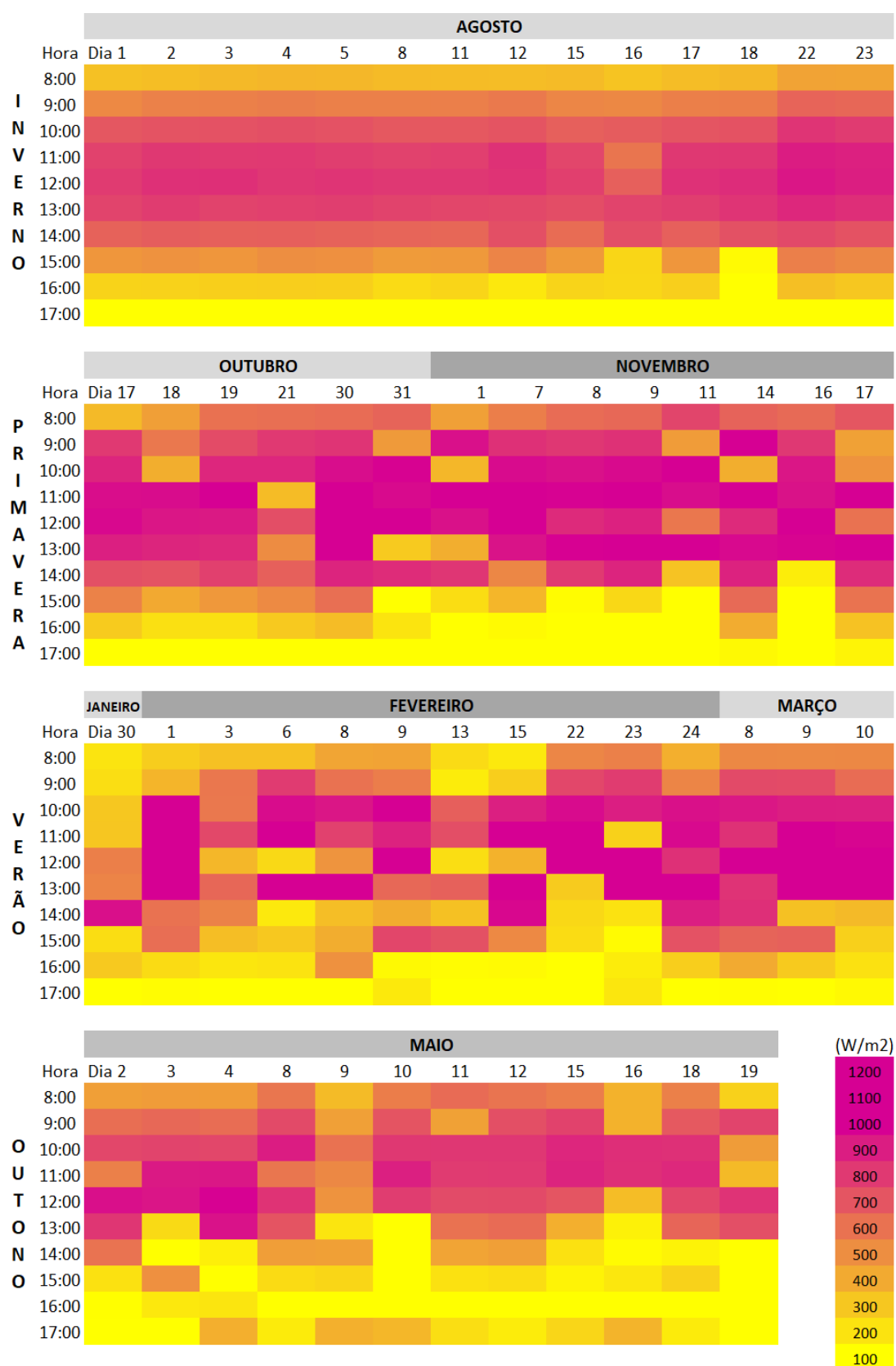


Figura 31 Características da radiação solar (W/m^2) horária medida ao Sol entre 8:00h e 17:00h em períodos de 1 ou 2 meses nas estações Inverno, Primavera, Verão e Outono

A intensidade da radiação solar e a nebulosidade diminuíram no Outono as chuvas ficaram escassas e a variação da radiação tornou-se mais regular. Mesmo assim, a radiação solar esteve forte entre 10:00h às 13:00h. Em todo o mês de maio, a partir das 15:00h, a radiação ficou menos intensa devido a posição do sol que se põe mais cedo nessa época do ano.

Conforme a Figura 30, as características da radiação solar medidas ao Sol estão de acordo com a literatura, a qual descreve que a intensidade da radiação solar incidente na superfície da Terra é maior na estação do ano verão e menor no inverno devido à inclinação do eixo da terra que propicia insolações diferentes. E também, por causa da inclinação do eixo da Terra, para as regiões do hemisfério sul.

Isso procede pela análise do gráfico da radiação solar máxima (Figura 30) em que a intensidade da radiação no período de medição Inverno foi a menor, aumentou e atingiu a maior intensidade na Primavera e Verão, decrescendo no Outono. Fazendo a mesma observação na Figura 31 verifica-se que as cores da radiação solar são mais fortes na Primavera e Verão indicando uma radiação mais intensa nesse período de medição. A mesma observação pode ser feita pelo gráfico do valor médio da radiação solar. Neste caso, o fator nebulosidade e chuvas influenciaram no cálculo do valor médio dos períodos de medição Primavera, Verão e Outono, e no Inverno a influência foi dos aerossóis.

Por isso, em dias parcialmente nublados, a quantidade de radiação solar incidente é menor do que em dias de céu limpo, pois parte dessa radiação é refletida devido ao albedo das nuvens. Então, grande parte da radiação medida é difusa, que ocorre tanto no período chuvoso, devido às nuvens, como no período seco, devido à presença de fumaças das queimadas (ELISÁRIOS *et al.*, 2017).

Assim, a radiação solar medida ao sol, ao nível do solo, foi diferente daquela que incidiu no topo da atmosfera, pois ocorreram nos períodos de medição, dias com a atmosfera formada por partículas em suspensão e fumaças das queimadas (agosto), bem como dias com céu claro e nublado (novembro, janeiro, fevereiro, março).

Quanto aos valores medidos da radiação solar estão dentro dos padrões do período, pois foram semelhantes com a dos seguintes trabalhos:

Souza (2016) na análise da formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá, mediu a radiação solar média, mensal entre

550W/m² (maio) a 850W/m² (janeiro). Os meses com o valor elevado da radiação solar no período quente-seco foram: agosto com 776W/m² e setembro com 800W/m². No período quente-úmido foram os meses de outubro com 791W/m² e fevereiro com 700W/m².

Callejas *et al.* (2011) ao estudar o balanço de energia das superfícies urbanizadas, envolvendo três sítios urbanos, mediu a radiação solar de setembro de 2010 a agosto de 2011. No período quente-seco, a radiação solar atingiu a máxima amplitude nos meses de setembro e agosto. Em média, foi de 756 W/m² para os três sítios envolvidos na pesquisa. No período quente-úmido, a máxima amplitude da radiação solar foi em média de 846W/m² medidos nos meses de dezembro, janeiro e abril, respectivamente para os sítios 1, 2 e 3.

No trabalho de Durante e Nogueira (2013), na análise do sombreamento arbóreo de ambientes externos e internos de edificações em Cuiabá, as autoras registraram radiação solar com médias horárias onde as máximas chegaram a 635W/m² e 667W/m².

4.2.2. Radiação Solar - Medição na Sombra das Espécies Arbóreas

Na Tabela 7, estão quantificadas a radiação solar média, por período de medição, e as medições realizadas ao Sol e na sombra de cada espécie arbórea e o percentual de atenuação da radiação solar.

Tabela 7 Médias da radiação solar ao Sol, sob a copa da Mangueira e do Oiti e a atenuação proporcionada pelas espécies arbóreas.

	AO SOL	MANGUEIRA		OITI	
PERÍODO DE MEDIÇÃO	RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA (W/m ²)	Radiação à sombra (W/m ²)	Atenuação (%)	Radiação à sombra (W/m ²)	Atenuação (%)
INVERNO	628,22	29,5	95,30	43,5	93,08
PRIMAVERA	650,58	42	93,54	56	91,39
VERÃO	531,37	40	92,47	48,5	90,87
OUTONO	447,55	36	91,96	63	85,92
Média Total	564,43	36,88	93,32	52,75	90,32

Verifica-se que a radiação solar, em todo o período de medição, foi atenuada em média de 93,32% na sombra da Mangueira e de 90,32% na sombra do Oiti. Porém, para cada período de medição, a atenuação da radiação solar na sombra da Mangueira foi maior que na sombra do Oiti. Ambas as árvores atenuaram a radiação solar em maior percentual no período de medição Inverno (Mangueira 95,30% e Oiti 93,08%), e em menor percentual no Outono (Mangueira 91,96% e Oiti 85,92%).

A Figura 32 apresenta as médias horárias da radiação solar ao Sol e na sombra das espécies arbóreas para cada período de medição. Nota-se que, em todos os períodos de medição, a radiação solar foi atenuada na sombra da Mangueira e do Oiti. E identifica-se também que a Mangueira teve um efeito atenuante da radiação solar maior que o do Oiti. Algumas influências na radiação solar sob a copa da Mangueira e do Oiti fizeram com que as características da radiação solar atenuada não se assemelhassem muito com as da radiação solar ao sol.

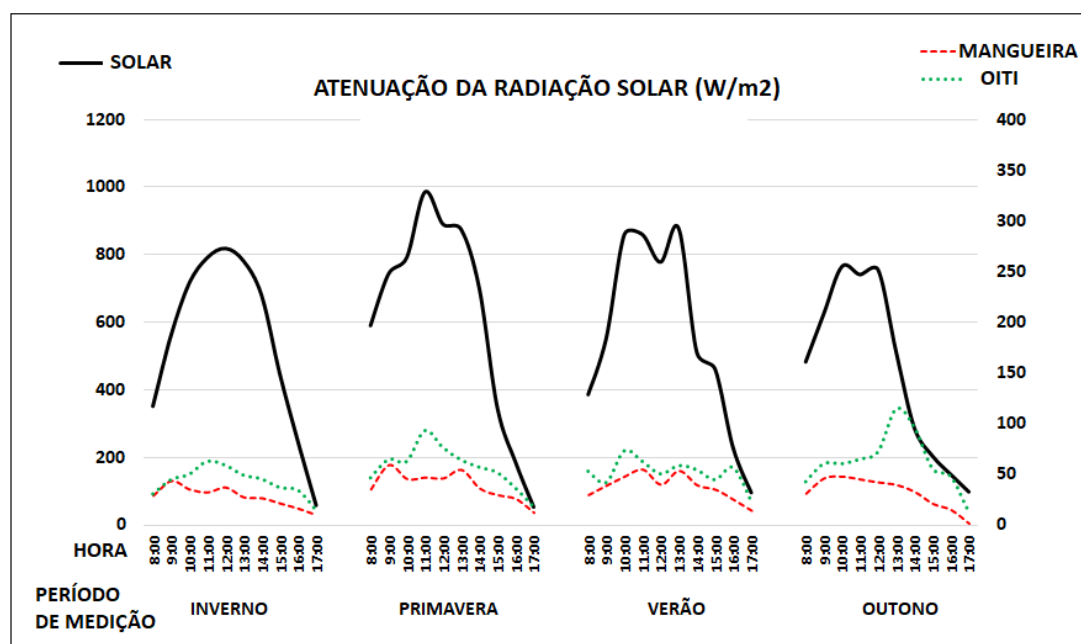


Figura 32 Características da radiação solar média horária (W/m^2) medidas ao Sol e na sombra da Mangueira e do Oiti. Medida diária entre 8:00h e 17:00h para o período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono.

Na Figura 33, pode-se observar os valores médios da radiação solar ao Sol e na sombra do Oiti e da Mangueira.

No Inverno a radiação solar média na sombra da Mangueira foi de $29,50\text{W/m}^2$ e do Oiti de $43,50\text{W/m}^2$. Esta foi a etapa de medição em que as árvores atenuaram a

radiação solar em maior quantidade. A etapa de medição em que atenuaram a radiação solar em menor quantidade foi a Primavera e Verão para a Mangueira (42W/m^2 e 40W/m^2) e o Outono para o Oiti (63W/m^2).

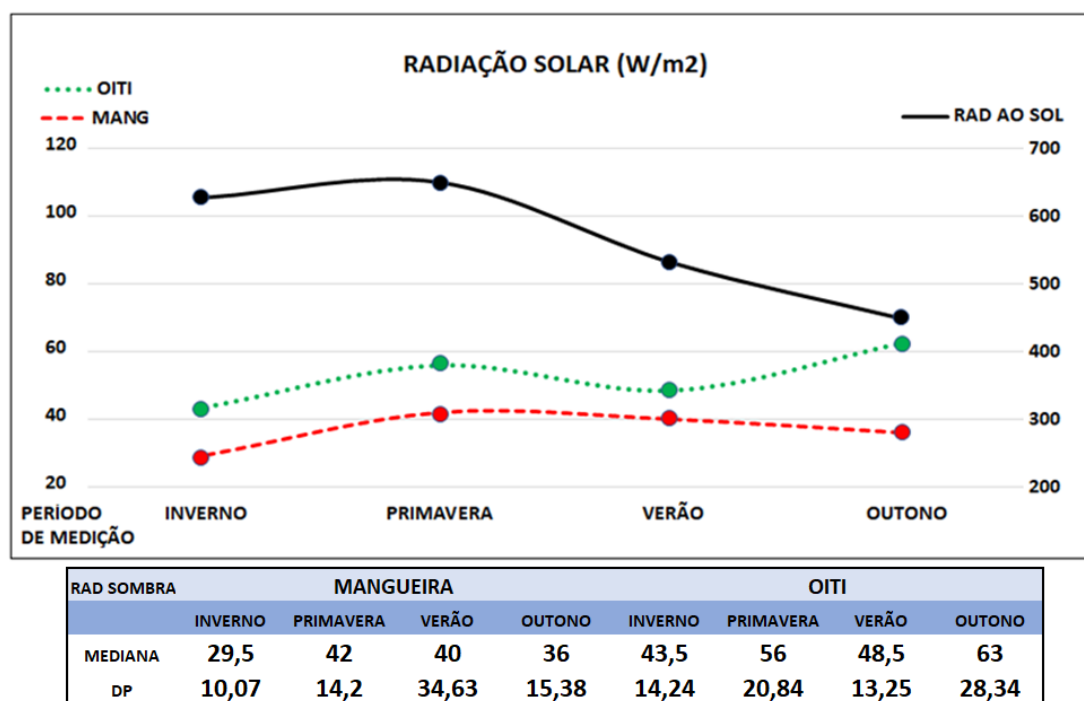


Figura 33 Radiação solar média (W/m^2) medida ao Sol e sob a copa das espécies arbóreas Mangueira e Oiti

Analisando a radiação solar atenuada, naturalmente, parte da radiação solar incidente sobre a Mangueira e o Oiti foi absorvida pelos processos de fotossíntese e evapotranspiração, outra parcela foi refletida, e apenas uma pequena fração atingiu o solo sob sua copa como apontam os trabalhos citados a seguir.

Segundo Melo e Brasil Jr. (2002), abaixo do dossel, o fluxo da radiação é extremamente baixo. Em uma floresta cerca de 1% da radiação solar incidente chega ao solo. Em seu estudo, a radiação solar no interior da floresta abaixo do dossel ficou menor que 50W/m^2 medida a uma altura de 8,23m do solo, tanto em dia de céu claro como em dia de céu nublado.

De acordo com Bueno (1998, *apud* Rivero, 1986), a vegetação absorve aproximadamente 90% da radiação visível e 60% da infravermelha. O restante é transmitido por entre as folhas ou refletido. Assim, a atenuação das espécies arbóreas Mangueira e Oiti está em conformidade com essa porcentagem, pois elas absorveram a radiação em média de 93% pela Mangueira e de 90% pelo Oiti para o

desenvolvimento da fotossíntese. Portanto, em torno de 10% da radiação solar incidente sobre as espécies arbóreas foi refletido e transmitido pelas folhas.

Alguns estudos confirmam que características específicas de espécies, como a estrutura e densidade das copas das árvores, tamanho, forma e cor das folhas, idade das árvores e o crescimento, podem influenciar o desempenho da radiação solar atenuada pelo dossel. Nesse sentido, Abreu-Harbich *et al.* (2015) analisaram doze espécies arbóreas para estudar o efeito do sombreamento sobre o conforto térmico nos trópicos. Dentre elas, a *Mangifera indica* foi estudada e a espécie apresentou os melhores resultados na melhoria do conforto térmico. Essa árvore é caracterizada pela copa densa e por produzir relativamente grande sombreamento e redução da radiação solar em sua sombra. No Verão a medida da atenuação da radiação solar pela Mangueira foi de 89,1% e durante o Inverno de 88,6%, valores próximos aos obtidos neste estudo. Os autores também afirmam que as árvores do Brasil podem atenuar a radiação solar de 76,3°C a 92,8°C nos meses do verão.

Em adição, Martelli e Santos Jr. (2015) *apud* Fiori (2001) comprovaram que algumas espécies arbóreas utilizadas na arborização urbana reduzem bastante os efeitos da radiação solar e oferecem conforto térmico ao ambiente. Em seu trabalho com arborização, cinco espécies se destacam por atenuar significativamente a radiação solar: a sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) com 88,5% de atenuação, a chuva-de-ouro (*Cássia fistula*) e o jatobá (*Hymenaea courbaril*) com 87,2%, a magnólia (*Michelia champaca*) com 82,4% e o ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*) com 75,6%. Mediu-se também a atenuação em áreas verdes para lazer em uma região central de Campinas. Foi constatado que, no bosque antigo, a atenuação da radiação foi maior (99,06%) e na praça recém-criada, com vegetação pouco densa, a atenuação foi menor (88,24%). E mais, o trabalho de Lima e Leder (2014) objetivou verificar as iluminâncias sob a copa de quatro espécies arbóreas: Mangueira (*Mangifera indica*), Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*), Pitombeira (*Talisia esculenta*) e Carolina (*Adenantha pavonina*). Verificaram que, apesar da Mangueira ser uma árvore de copa densa e folhas grandes e espessas, a variação da iluminância pode ser explicada pela presença das frestas inconstantes na ramagem da copa permitindo a penetração da luz, além daquela contribuída pelo entorno. O percentual de redução da iluminâncias sob a copa das espécies arbóreas estudadas, variou entre 90% a 98% em relação aos

registrados externamente sob o Sol (aproximadamente 53 Klux). A exceção foi da Pitombeira, que apresentou a menor redução, em torno de 80% a 90%. Isso em média equivale a uma redução de 95,34% em relação às iluminâncias medidas na condição de céu claro.

Assim, os percentuais da radiação solar atenuada pela Mangueira e o Oiti, expressos na Tabela 7, estão em conformidade com os estudos citados.

A variação da atenuação da radiação solar nos períodos de medição (Figura 33) pode ser explicado pelo gráfico do IAF na Figura 28. A atenuação da radiação solar foi mais intensa no período de medição Inverno porque o IAF das duas árvores foram os mais altos nesse período de medição. Como o valor do IAF diminuiu na Primavera, a atenuação também foi menos intensa nesse período para ambas as árvores. A queda do IAF no Verão e no Outono para a Mangueira foi muito pequena, por isso a atenuação da radiação solar na sombra dessa espécie não foi muito diferente na Primavera, Verão e Outono. Já o Oiti aumentou o IAF no Verão e, por isso a atenuação da radiação solar se elevou. Mas, no Outono o IAF para o Oiti caiu a um nível mais baixo, ocasionando uma menor atenuação da radiação solar do período de medição.

4.2.3. Temperatura do Ar ao Sol e na Sombra das Espécies Arbóreas

Na Figura 34, estão plotadas as características médias horárias da temperatura do ar ao Sol e na sombra por período de medição. Observa-se no período de medição Inverno e Outono que a variação da temperatura média horária do ar ao Sol e na sombra, ao longo do dia, foi regular sem muitas oscilações. O mesmo não aconteceu na Primavera e no Verão em que houve uma variação constante da temperatura em função do período chuvoso. O Inverno foi a etapa de medição mais quente e com a maior amplitude térmica da temperatura média horária ao Sol de 23,5°C, e a menor amplitude foi no Outono de 12,7°C. O período de medição Verão teve as temperaturas médias horárias do ar mais amena de todos os períodos de medição. A temperatura média horária do ar ao Sol foi elevada no período de medição Inverno e Primavera, cuja a máxima foi de aproximadamente de 37°C. No Verão e Outono houve uma queda da temperatura média horária do ar em que a máxima passou de 34°C.

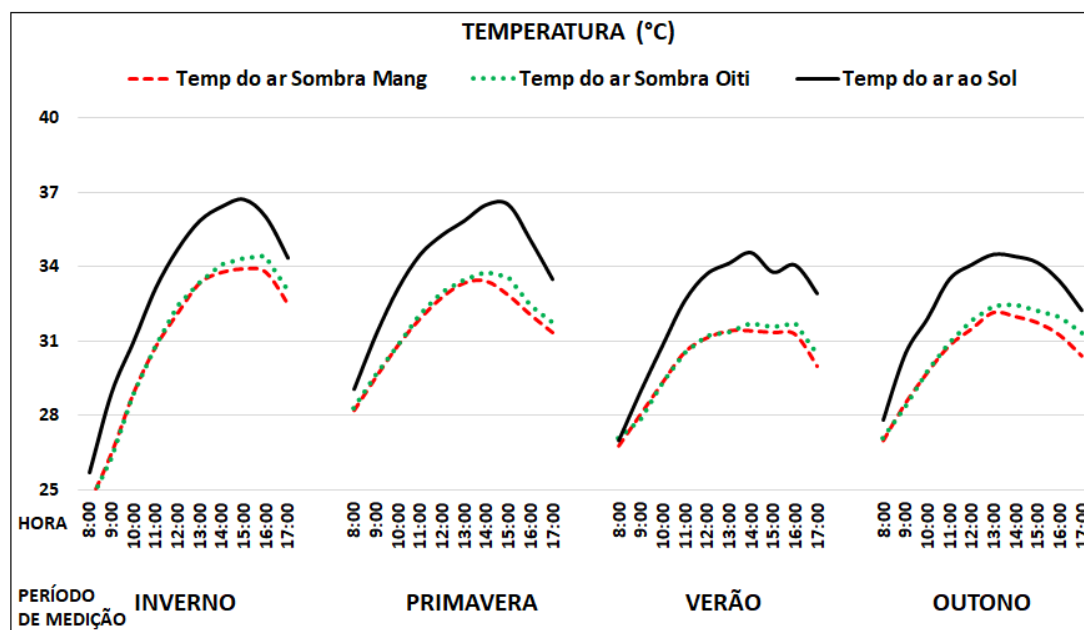


Figura 34 Características da média horária por período de medição da temperatura do ar (°C) medida ao Sol, na sombra da Mangueira e do Oiti. Medida diária entre 8:00h e 17:00h para o período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono.

Na Tabela 8 estão discriminados os valores máximos, mínimos e médios da temperatura do ar, bem como os valores atenuados por cada espécie. As atenuações entre as espécies são bem próximas em números. A diferença é significativa ($p < 0,05$).

Tabela 8 Temperatura do ar (°C) máxima, mediana e mínima, por período de medição, medida ao Sol e na sombra e a atenuação de temperatura do ar das espécies arbóreas em estudo – medida de tendência central.

PERÍODO DE MEDIÇÃO		MANGUEIRA			OITI		
TEMP	Ao SOL (°C)	SOMBRA (°C)	ATENUAÇÃO (°C)	SOMBRA (°C)	ATENUAÇÃO (°C)	DIF (°C)	
INVERNO	MAX	40,80	38,20		38,30		
	MED	34,85	32,80	2,05	33,15	1,70	0,35
	MIN	17,30	15,90		16,10		
PRIMAVERA	MAX	40,30	36,80		37,30		
	MED	34,40	31,90	2,50	31,90	2,50	0,00
	MIN	23,90	23,50		23,80		
VERÃO	MAX	38,40	34,60		35,10		
	MED	32,70	30,30	2,40	30,55	2,15	0,25
	MIN	25,20	25,00		25,30		
OUTONO	MAX	36,90	33,90		34,30		
	MED	33,30	31,10	2,20	31,30	2,00	0,20
	MIN	24,20	24,60		25,20		

Posto que, a vegetação atenua a temperatura em sua sombra, nota-se pela Figura 35, que ambas as espécies atenuaram a temperatura do ar em todos os períodos de medição e acompanharam as variações sazonais da temperatura do ar ao Sol.

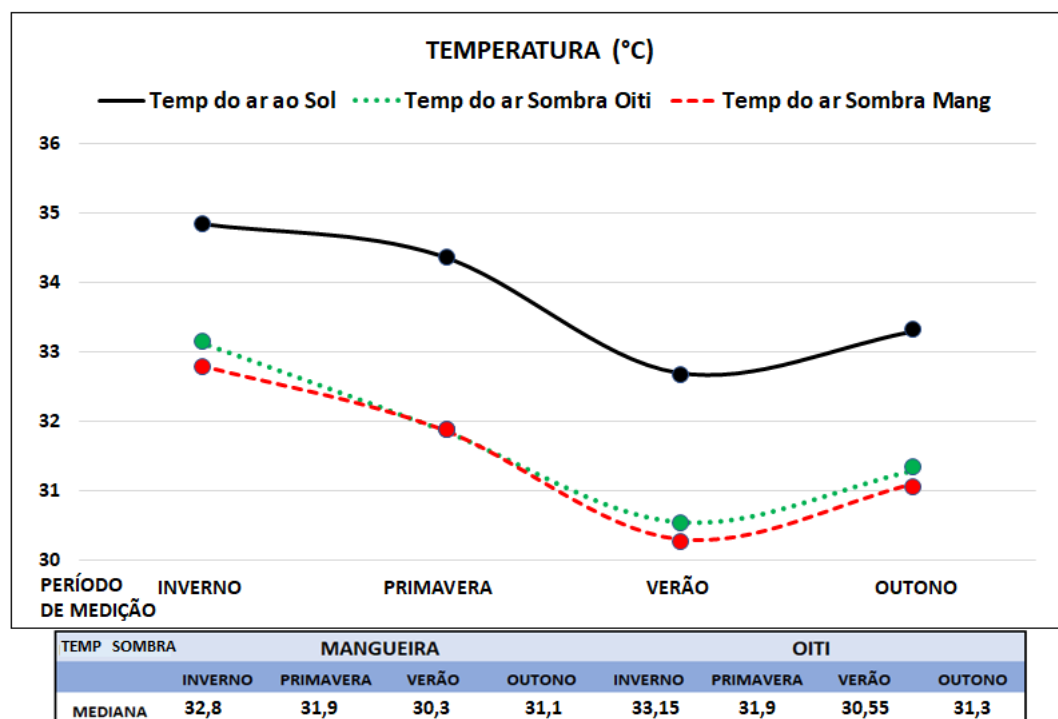


Figura 35 Médias da Temperatura do ar (°C) medidas ao Sol e sob a copa da Mangueira e Oiti e a atenuação da temperatura do ar devido ao sombreamento arbóreo

No período de medição Inverno, as atenuações da temperatura foram de 2,05°C e 1,70°C, respectivamente, Mangueira e o Oiti. Na Primavera as duas árvores atenuaram a temperatura do ar na mesma quantidade de 2,5°C e foi o período de medição em que se verificou a maior atenuação da temperatura do ar pela Mangueira e pelo Oiti. No Verão, a atenuação da temperatura do ar foi maior para a Mangueira de 2,4°C e menor para o Oiti de 2,15°C. No outono, embora a temperatura do ar tenha-se elevado, a atenuação foi de 2,2°C na sombra da Mangueira e de 2°C na sombra do Oiti.

A Mangueira foi a espécie que proporcionou a maior atenuação da temperatura do ar com relação ao Oiti para os períodos de medição, Inverno, Verão e Outono. A diferença de temperatura do ar entre a Mangueira e o Oiti foi de 0,35°C, 0,25°C e 0,2°C, respectivamente para o período de medição Inverno, Verão e Outono. Esta diferença é significativa, pois $p < 0,05$, para um nível de confiança de 95%.

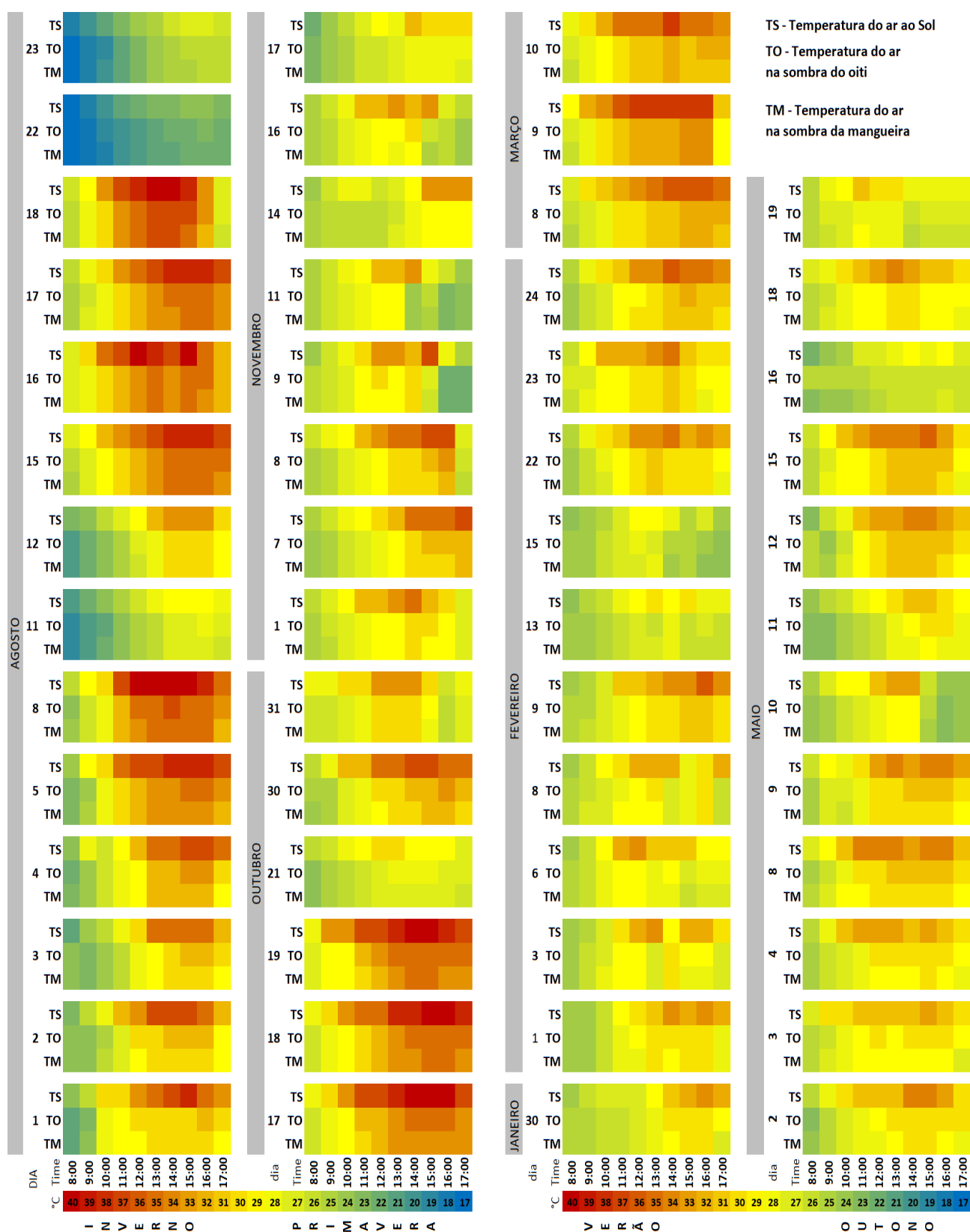


Figura 36 Características das variações da temperatura horária do ar (°C) na sombra da Mangueira (TM), sombra do Oiti (TO) e ao Sol (TS) para todos os dias de medição

A Figura 36 mostra as medições diárias e horárias por período de medição da temperatura do ar ao Sol (TS) e na sombra da Mangueira (TM) e do Oiti (TO).

De um modo geral, observa-se na Figura 36 que, no Inverno, os dias 11, 12, 22 e 23 de agosto foram de temperaturas baixas ($T_{\min}=17^{\circ}\text{C}$), e os dias 5, 8, 15, 16, 17 e 18 de agosto foram os dias mais quentes com temperaturas elevadas entre 11:00h às 16:00h ($T_{\max}=40,8^{\circ}\text{C}$). Também na Primavera, os dias 17, 18 e 19 de outubro foram dias quentes, com temperaturas elevadas das 11h até às 17h ($T_{\max}=40,3^{\circ}\text{C}$). Nesse período de medição, Primavera, houve queda da temperatura do ar a partir do dia 21 de outubro oscilando entre 26°C a 38°C . No Verão, a temperatura do período de medição diminuiu um pouco mais, o clima tornou-se ameno (24°C a 30°C) permanecendo com as mesmas características até o final das medições no mês de fevereiro. A variação da temperatura do ar no Outono foi semelhante a do Verão, embora a temperatura do ar tenha subido nos últimos dias de medição do Verão (dias 8, 9 e 10 – março).

Com relação as observações da temperatura do ar de cada espécie verifica-se que a temperatura do ar ao Sol (TS) foi maior que a temperatura do ar na sombra da Mangueira (TM) e do Oiti (TO). Por ser muito pequena a diferença de temperatura do ar entre a sombra da Mangueira (TM) com a do Oiti (TO), não percebe-se a diferença entre as cores para algumas horas do dia (questão de escala), mas ela existe, conforme se verifica na Figura 35.

As temperaturas mais baixas sempre ocorreram pelo período da manhã entre 8:00h às 9:00h, e as mais elevadas entre 11:00h às 16:00h. Como exemplo, pode-se observar nos dias 1, 2, 3, 4, 5 e 8 de agosto. O período de medição com temperaturas diárias do ar mais amenas foram o Verão e o Outono, e as mais quentes foram o Inverno e Primavera.

Após a apresentação desses resultados, pode-se dizer que os efeitos diretos do sombreamento proporcionado pela vegetação trazem melhoras microclimáticas pelo fato de filtrar a radiação solar. Uma área sombreada é fracamente atingida pela radiação solar direta incidente e, assim, a temperatura radiante daquela superfície é menor o que diminui a radiação de ondas longas emitidas.

Por isso, a influência da vegetação na temperatura do ar, também pode ser quantificada por meio das medições da temperatura de superfície de materiais expostos

e protegidos pelas copas das árvores. Dessa forma, Ribeiro *et al.* (2015) analisou o efeito do sombreamento da espécie Oiti e Mangueira sobre alguns revestimentos de solo (asfalto, terra e cimento) que foram colocados ao Sol e na sombra para análise do comportamento térmico dos materiais. Os resultados apontaram que os revestimentos abaixo da copa da Mangueira obtiveram os melhores desempenhos térmicos internos do que sob a copa do Oiti. Significa que, a temperatura do ar foi menor à sombra da Mangueira do que à sombra do Oiti. A Mangueira atenuou a temperatura em sua sombra de 1,23°C às 8:00h e de 2,51°C às 14:00h, enquanto que o Oiti atenuou a temperatura de 0,42°C e 0,98°C para os mesmos horários.

Nesse mesmo sentido, Nince *et al.* (2014) analisaram o conforto térmico com base no índice de conforto PET, no período quente-seco e quente-umido, na espécie Mangueira e em outros revestimentos urbanos como grama, concreto e asfalto. Verificaram que, no período diurno, o PET à sombra da Mangueira foi bem menor em comparação aos outros revestimentos. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que o sombreamento arbóreo e a superfície revestida por gramas propiciaram maior conforto térmico que as superfícies revestidas por concreto e asfalto.

Nesse mesmo contexto, Labaki *et al.* (2015) analisaram o efeito da sombra da Mangueira no conforto térmico humano com base na temperatura fisiológica equivalente (PET). Mediram a temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e a radiação global ao Sol e na sombra. Os resultados da temperatura do ar medida ao Sol com as medidas na sombra das espécies, no verão, foram próximos. No inverno os resultados da redução da temperatura do ar não foi muito diferente. Em especial a Mangueira reduziu a temperatura de 1°C a 1,2°C no verão e no inverno de 0,9°C a 1,3°C. E concluíram que as árvores podem influenciar no microclima urbano, melhorar o conforto térmico humano.

Ainda sobre o estudo de conforto, Callejas *et al.* (2011) demonstrou que o sombreamento promovido pela arborização é um importante elemento atenuador da temperatura, umidade e sensação térmica. Observou que as Mangueiras foram as mais eficientes em atenuar a temperatura e aumentar umidade do ar, bem como promover melhores condições de conforto térmico sob suas copas do que o Oiti. Os resultados encontrados demonstraram que o sombreamento promovido pela arborização é um

importante elemento atenuador da temperatura, elevação da umidade e sensação térmica.

Com essa ideia, Durante e Nogueira (2013) estudaram o efeito do sombreamento arbóreos em salas de aulas com o objetivo de avaliar as variáveis termo higrométricas e lumínicas de ambientes externos e internos, e os resultados mostraram a significativa contribuição das árvores como mitigadores do microclima externo e interno ao ambiente. As árvores estudadas foram a Mangueira e o Oiti que proporcionaram uma atenuação da temperatura do ar sob a copa em média de $3,3^{\circ}\text{C}$ e de $2,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A Mangueira, com IAF de $10,1\text{m}^2\text{m}^{-2}$, proporcionou maior atenuação da temperatura sob a copa que o Oiti com IAF de $7,4\text{m}^2\text{m}^{-2}$, tendo ambas as espécies arbóreas sombreamento de grande porte.

Ao analisar as temperaturas do ar sob a copa da vegetação em duas praças popular de Cuiabá, Oliveira (2011) verificou uma redução de $0,70^{\circ}\text{C}$ e de $0,45^{\circ}\text{C}$ no período seco e no período chuvoso de $0,56^{\circ}\text{C}$ e de $0,74^{\circ}\text{C}$, respectivamente, na Praça Popular e na Praça 8 de Abril. Embora a Mangueira e Oiti fossem as espécies dominantes nas duas praças, especificamente, não foram feitas medições de temperaturas por indivíduo. Mas há que se ressaltar pela quantidade dessas espécies, que sua contribuição na mitigação da temperatura do ar foi considerável.

Assim, todos os trabalhos citados que tiveram como objeto de estudo a Mangueira e o Oiti apontaram uma significativa redução da temperatura do ar em sua sombra, cujos valores estão próximos aos obtidos neste estudo. Os resultados confirmam que a Mangueira foi a espécie que mais atenuou a temperatura do ar em sua sombra do que o Oiti. Pode-se atribuir esse resultado às características da Mangueira e por fatores que estão relacionados com a interceptação da radiação solar: dossel, IAF, folhas, estrutura da copa, etc. Por isso, a atenuação da temperatura do ar sob a copa das árvores está relacionada com a intensidade de radiação solar recebida e transmitida bem como o IAF das espécies arbóreas.

Mas, há fatores indiretos que contribuem para o aumento ou a diminuição da temperatura sob a copa das árvores como a cobertura do céu pelas nuvens. As nuvens, interceptam o fluxo de radiação infravermelha emitida e o fluxo incidente, modificando o balanço energético do local. Se o céu estiver limpo a árvore recebe um fluxo maior de radiação incidente e menos quantidade de radiação difusa.

Outro fator é a diferença de insolação provida pelo movimento de rotação da Terra que fez com que as temperaturas no local e na superfície onde estão a Mangueira e o Oiti variassem bastante ao longo das 24h do dia. Por isso, o período mais quente é o início da tarde quando o Sol está perto do zênite e a terra já recebeu toda radiação da manhã. Essas variações da temperatura do ar ao Sol influenciam diretamente na temperatura do ar sob as copas da Mangueira e do Oiti como se verificou nos resultados apresentados. Assim, as árvores resfriam o meio ambiente pelo sombreamento e pela evapotranspiração.

Isso é justificado pela descrição de Durante e Nogueira (2013) em que afirmaram que a massa vegetada intercepta a radiação que entra na copa e a radiação que sai do solo, tendo um efeito marcante na temperatura e umidade do ar. As folhas verdes não aquecem tanto quanto o solo e trocam calor com o ar que as envolvem pela transpiração.

4.2.4. Umidade Relativa do Ar ao Sol e na Sombra das Espécies Arbóreas

As características da umidade relativa do ar, média horária por período de medição, é apresentada na Figura 37.

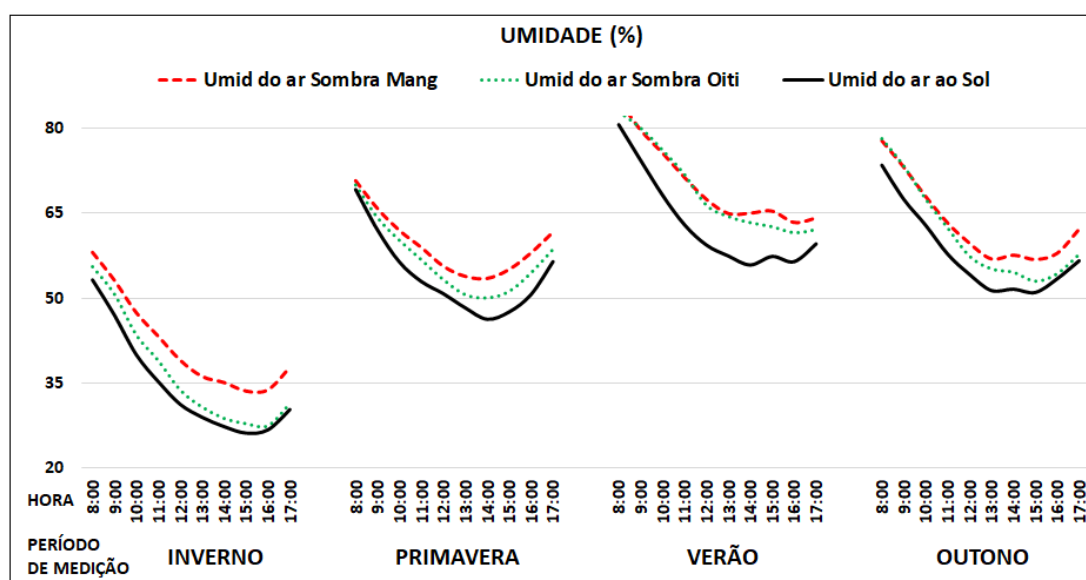


Figura 37 Características da média horária por período de medição da umidade do ar (%) medida ao Sol, na sombra da Mangueira e do Oiti. Medida diária entre 8:00h e 17:00h para o período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono.

No Inverno a umidade média do ar permaneceu bem abaixo de 50% chegando a valores considerados preocupantes da umidade do ar com 25% entre 14:00h às

16:00h. Segundo a OMS, o mínimo recomendado é de 60%. Somente nos dias de friagem, 11 e 12 de agosto, é que a umidade do ar se elevou chegando a 70% nas primeiras horas do dia entre 8:00h às 9:00h. Nesses dias a temperatura caiu em torno de 20°C. Após a friagem houve uma queda da umidade que variou entre 25% a 50%. Na Primavera, com a proximidade das chuvas, a umidade média horária do ar ficou oscilando entre 40% a 68% e teve uma forte elevação nos dias 9 e 11 de novembro chegando até 80% no final da tarde devido a queda de temperatura. No Verão a umidade média do ar se elevou por causa das condições atmosféricas do período chuvoso e variou entre 60% a 80%. A umidade do ar máxima chegou a 90% no dia 13 e 15 de fevereiro às 8:00h e a temperatura do ar, nesse dia e horário, foi próximo de 25°C. No Outono a umidade do ar teve uma queda variando entre 50% a 75%.

Sempre a umidade do ar manteve-se mais alta nas horas iniciais de medição, caindo com o passar das horas a medida que a temperatura do ar se elevava. O nível mais baixo da umidade do ar esteve entre 14:00h às 16:00h. No final da tarde por volta das 17:00h a umidade se elevou com a queda de temperatura do ar.

Em termos de valores a Tabela 9 relaciona a umidade do ar ao Sol e na sombra.

Tabela 9 Umidade do ar (%) máxima, mediana e mínima e elevação da umidade do ar por período de medição, medida ao Sol e na sombra das árvores

MEDIÇÃO	UMID	Ao SOL (%)	MANGUEIRA		OITI		DIF (%)
			SOMBRA (%)	ELEVAÇÃO (%)	SOMBRA (%)	ELEVAÇÃO (%)	
INVERNO	MAX	74	78		77		
	MED	35	30	5	35	≈0*	5
	MIN	14	25		18		
PRIMAVERA	MAX	90	93		95		
	MED	52	58	6	56	4	2
	MIN	36	40		35		
VERÃO	MAX	92	88		89		
	MED	62	68	6	67	5	1
	MIN	44	52		48		
OUTONO	MAX	87	87		89		
	MED	57	63	6	59	2	4
	MIN	35	39		33		

(*) – valor próximo de zero devido a sensibilidade e escala do sensor.

A Figura 38 mostra a média por período de medição da umidade do ar ao Sol e sob a copa da Mangueira e do Oiti. Nota-se que a umidade do ar sob a copa da Mangueira e do Oiti foram bem maior do que a umidade do ar ao Sol, e que a Mangueira elevou em maior quantidade a umidade do ar sob sua copa em relação ao Oiti.

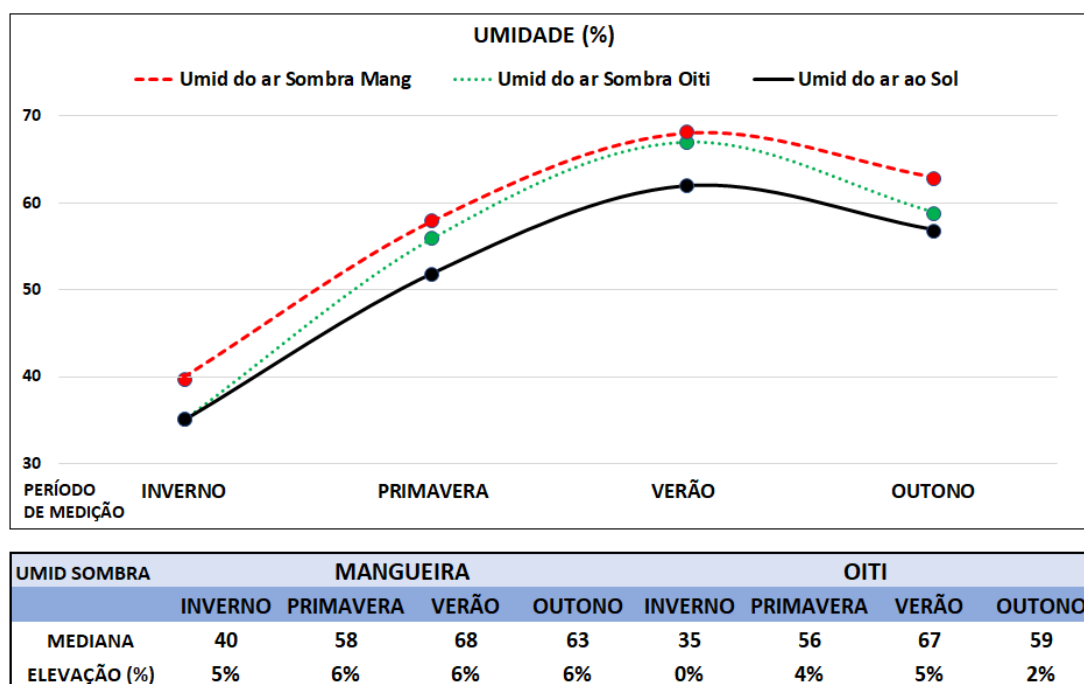


Figura 38 Médias da umidade do ar (°C) medidas ao Sol e sob a copa da Mangueira e Oiti e a elevação da umidade do ar devido ao sombreamento arbóreo

A média da umidade relativa do ar ao Sol esteve bem baixa no Inverno, elevando-se na Primavera e atingindo uma média máxima no Verão com uma queda no Outono. No Inverno a Mangueira elevou a umidade do ar em sua sombra de 5%, e o Oiti permaneceu com a umidade bem próxima da medida ao Sol. Então, a diferença da umidade do ar entre as duas árvores foi de aproximadamente 5%. Na Primavera essa diferença foi de 2%, embora a Mangueira tenha elevado a umidade para 6% e o Oiti para 4%. Praticamente no Verão, a elevação da umidade do ar entre as árvores foram bem próximas, a Mangueira manteve em 6% e o Oiti 5% uma diferença de 1%. No Outono a Mangueira manteve a elevação da umidade do ar em sua sombra de 6% e a umidade do ar do Oiti caiu para 2%. A diferença da elevação da umidade do ar entre as espécies (5%, 2%, 1%, 4%) é significativa, pois pelo teste de Wilcoxon, $p < 5\%$ a um nível de confiança de 95%.

A Figura 39 mostra as médias horárias da umidade do ar.

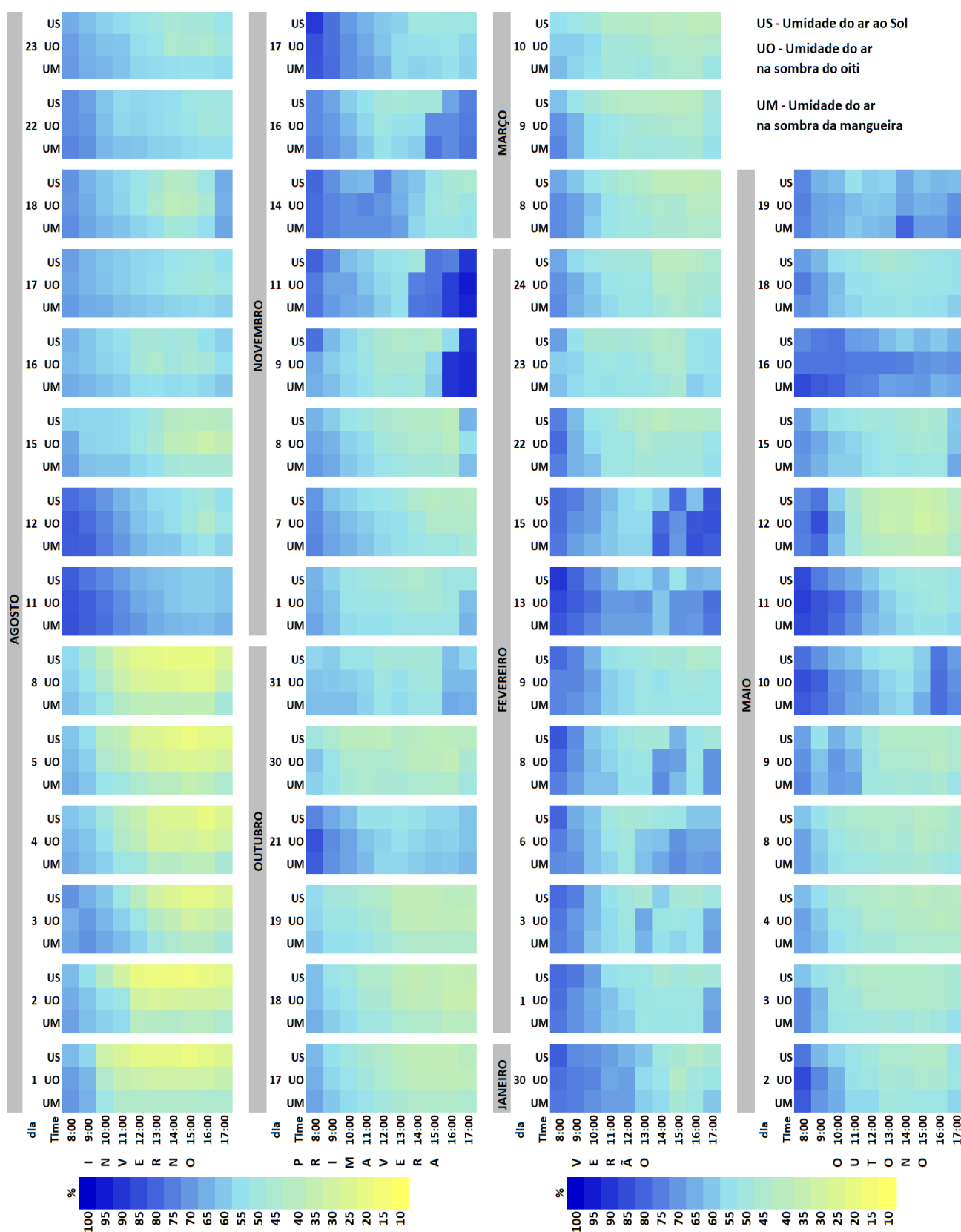


Figura 39 Características da umidade do ar na sombra da Mangueira (UM), sombra do Oiti (UO) e ao Sol (US) em todo o período de medição Inverno, Primavera, Verão e Outono

Percebe-se que no Inverno a umidade relativa do ar foi muito baixa variando entre 17% a 50% entre o primeiro dia de medição até o sexto dia. Verifica-se no dia 11 e 12 de agosto que a umidade do ar aumentou chegando até 80% em função da queda de temperatura por causa da friagem que aconteceu nesses dois dias. Após a friagem, houve uma pequena queda na umidade do ar, mas ela se manteve entre 40% a 55% um pouco maior que nos primeiros dias de medição.

Nos primeiros dias de medição Primavera (17, 18, 19 – outubro) a umidade do ar ainda esteve baixa (50%), mas o aumento significativo da umidade do ar aconteceu somente a partir de 11 de novembro em que a umidade do ar chegou a 90% nas primeiras horas de medição (8:00h às 9:00h) e nas horas finais de medição (16:00h às 17:00h).

Na Primavera e no Verão percebe-se um aumento significativo da umidade do ar, mais intenso no Verão devido ao período de chuva nos meses de janeiro e fevereiro. Em março houve uma queda da umidade do ar que manteve-se oscilando entre 50% a 70%. Essa mesma condição de umidade do ar (50% a 70%) aconteceu nas primeiras medições de Outono, com um aumento considerável da umidade do ar em maio a partir do dia 10 até o dia 19 com um valor médio de 70%.

Com relação as observações da umidade do ar de cada espécie, verifica-se pelas cores que a umidade do ar ao Sol (US) é menor que a umidade do ar na sombra da Mangueira (UM) e do Oiti (UO), e que a umidade do ar na sombra da Mangueira (UM) é maior que na sombra do Oiti (UO).

Os resultados aqui apresentados mostram que as árvores modificam o microclima de uma ambiente, desta feita, com o aumento da umidade do ar em sua sombra pelo processo da fotossíntese e da evapotranspiração. Elas conseguem manter a umidade do ar em sua sombra maior que a umidade do ar ao Sol.

Assim, afirma Durante e Nogueira (2013) sobre os indivíduos arbóreos: “a copa bloqueia a radiação solar e minimiza seus efeitos, com isso diminuem as temperaturas superficiais das áreas sombreadas. A transpiração das folhas diminui a temperatura do ar e promove o acréscimo de umidade”. Em sua pesquisa, as autoras afirmaram que as superfícies externas sob efeito da sombra da árvore se aquecem menos e, conseqüentemente, transmitem menos calor para o interior da sala de aula. Nesse estudo, apresentaram resultados em termos de umidade absoluta medidas a céu

aberto (ao Sol) e sob a copa das árvores Mangueira e Oiti. Os resultados apresentaram uma umidade absoluta média do ar mais elevada na sombra das árvores, que a do céu aberto. Ou seja, $20,69\text{g/cm}^3$ na sombra da Mangueira e $20,70\text{g/cm}^3$ na sombra do Oiti, para uma umidade absoluta a céu aberto de $20,11\text{g/cm}^3$ e $20,66\text{g/cm}^3$, respectivamente, Mangueira e Oiti. Isso implica que houve um aumento da umidade absoluta do ar na sombra das espécies arbóreas aumentando a capacidade de conter uma quantidade maior de vapor de água em sua sombra.

Segundo Callejas *et al.* (2011), as Mangueiras demonstraram a eficiência em atenuar a temperatura e aumentar umidade do ar, bem como proporcionar melhores condições de conforto térmico sob suas copas, quando comparado com outras espécies arbóreas como o Oiti e o Ficus (*Ficus benjamina*). Compararam e analisaram espécies nativas e exóticas e demonstraram que indivíduos arbóreos exóticos, com maior índice de área foliar (IAF), foram capazes de promover maior atenuação na temperatura do ar e melhoria na sensação de conforto térmico, bem como elevar a umidade do ar nos ambientes. Por isso, as Mangueiras em média apresentaram maior IAF que as espécies Oiti e Ficus. Constataram que a umidade relativa do ar foi mais elevada na Escola 3 por ser mais arborizada que as demais. Isso reflete o benefício da presença da vegetação neste período como elemento regulador do microclima.

Nesse sentido, Durante e Nogueira (2013) do ponto de vista energético, apontaram que a vegetação se apresenta, como um elemento mitigador. Em condições tropicais, melhora o microclima, propiciando abrigo da radiação solar e dos ventos, diminuindo a temperatura do ar e incrementando a umidade do ar. Assim, Alves e Biudes (2012) completam que a relação entre vegetação e temperatura do ar ocorre pelo controle da radiação solar, do vento e da umidade do ar. A vegetação também serve para atenuar a intensidade de precipitação no solo e modifica a concentração da umidade do ar na atmosfera e na superfície adjacente.

Em adição, Abreu-Harbitch *et al.* (2015) concluíram que as árvores urbanas podem modificar a temperatura do ar e aumentar a umidade do ar e podem influenciar no desempenho da radiação solar atenuada pelo dossel. Os dados coletados de temperatura do ar, umidade do ar e da radiação solar, foram usados no cálculo do PET com assistência do software RayMan e os resultados indicaram a Mangueira como uma das melhores espécies a oferecer um conforto térmico em sua sombra.

Nesse contexto, os resultados desta Tese de Doutorado fortalecem as afirmações de Mascaró e Mascaró (1996) que dizem que a vegetação das cidades atua sobre os elementos climáticos, colaborando com o controle da temperatura e umidade do ar.

Todos os resultados citados acima demonstraram a influência das espécies arbóreas na melhoria do microclima e como consequência o seu entorno imediato.

4.3. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (UV-B)

4.3.1 Radiação Ultravioleta ao Sol

A radiação ultravioleta média horária por período de medição (UV-B) foi medida, calculada e seus resultados apresentados na Figura 40.

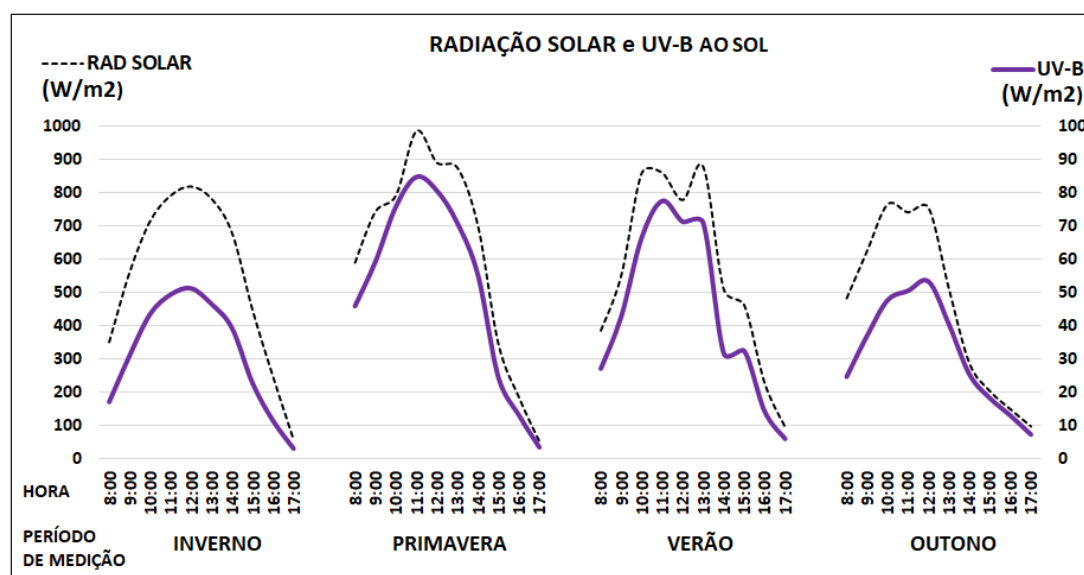


Figura 40 Características da radiação solar e da radiação ultravioleta (UV-B) ao Sol para as quatro etapas de medição

A variação da UV-B no Inverno foi bastante regular, o que não ocorreu na Primavera e principalmente no Verão pelas condições do tempo por causa do período chuvoso. No Outono houve pequena variação da UV-B, o céu ficou mais claro e a variação da radiação passou a ficar mais regular, sem oscilações, com o fim do período chuvoso. Pode-se verificar que a radiação solar e a UV-B foram mais intensas na Primavera e Verão do que no Inverno, reduzindo ainda mais a intensidade no Outono.

Em termos de valores, no período de medição Inverno, primeira etapa de medição, a UV-B atingiu um valor médio de $37,99 \text{ W/m}^2$ e o pico do período de

medição foi de $82,85\text{W/m}^2$ no dia 22 e 23 de agosto. Ressalta-se que nesses dois dias a atividade da radiação solar também foi intensa, e que houve uma queda de temperatura, a qual variou entre 15°C a 25°C , sendo a mais baixa do período.

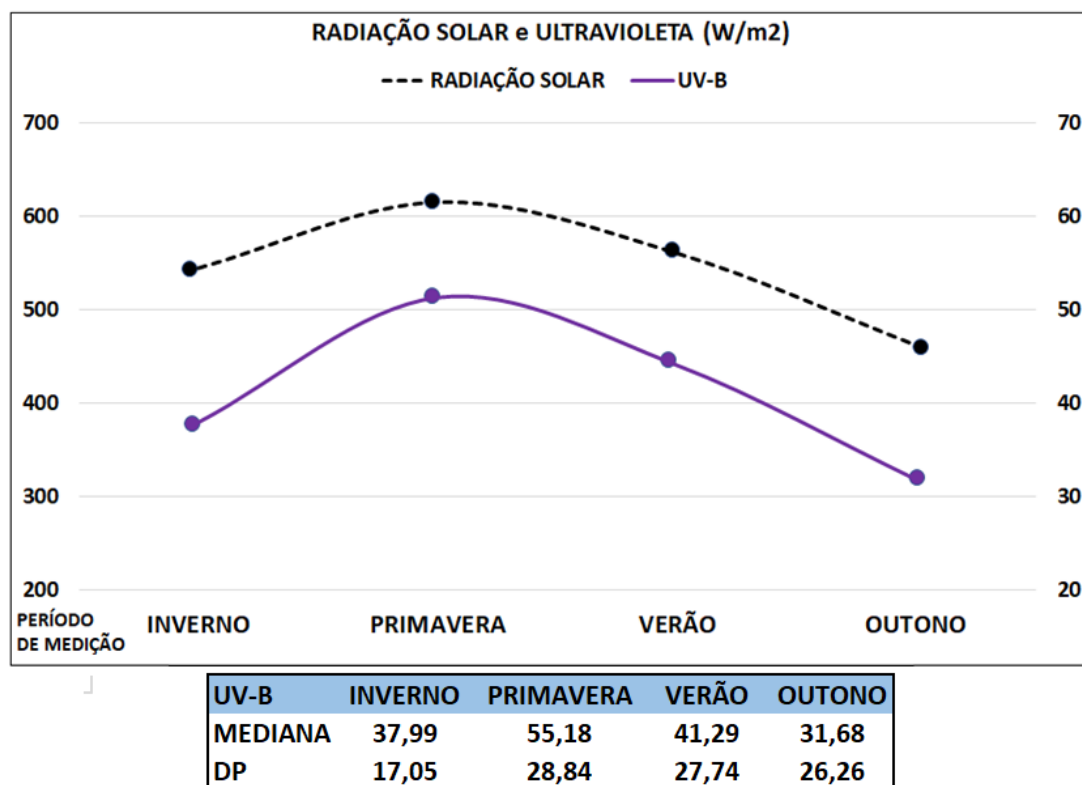


Figura 41 Valores médios da radiação solar e da radiação ultravioleta (UV-B) em W/m^2 para todos os períodos de medição

Na Primavera, com o aumento da intensidade da radiação solar, a UV-B também aumentou a média do período ficou em $55,18\text{W/m}^2$ e atingiu o pico máximo em torno de 100W/m^2 nos dias 30 e 31 de outubro e nos dias 1, 7, 8, 9 e 11 de novembro de 2016.

Na terceira etapa de medição, Verão, houve uma redução da UV-B que em média ficou em $41,29\text{W/m}^2$ com variações inconstantes ao longo do dia por causa do período de chuva. Mas, houve dias de intensa atividade da UV-B que chegou ao valor máximo de $97,46\text{W/m}^2$ no dia 30 de janeiro, e de 80W/m^2 nos dias 1, 3 e 15 de fevereiro de 2017.

Em comparação aos períodos de medições anteriores a UV-B no Outono diminuiu muito ficou em média com $31,63\text{W/m}^2$. Nesta etapa de medição o valor máximo da UV-B ficou em $64,49\text{W/m}^2$.

A Figura 42 mostra o comportamento diário e horário da variação da radiação UV-B ao Sol no período de medição.

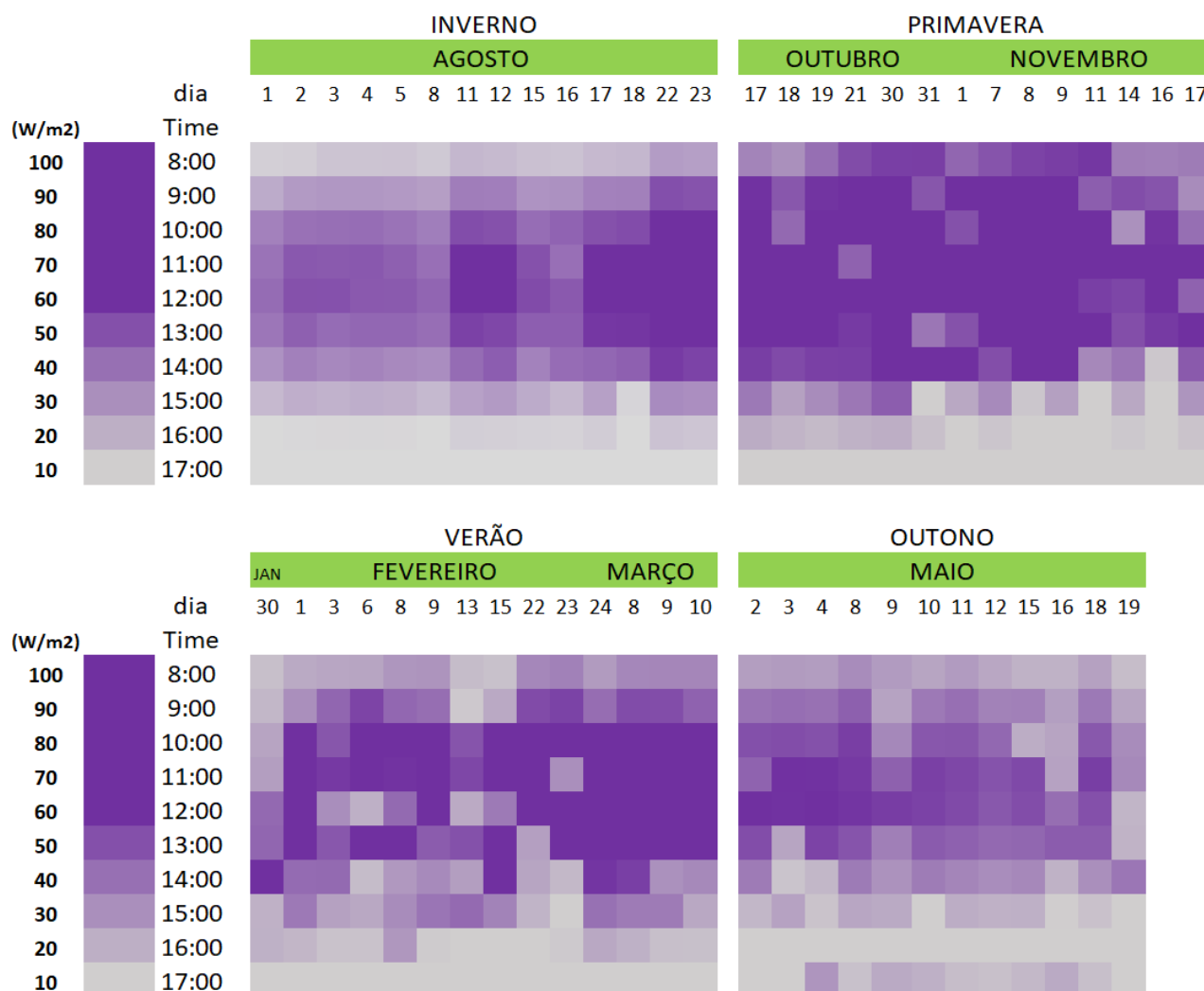


Figura 42 Características da radiação UV-B ao Sol para todos os períodos de medição

Confirma-se que a maior atividade diária da UV-B foi na Primavera e Verão. Na Primavera a atividade foi maior entre 8h às 14h onde a radiação chegou um valor máximo do período (100W/m^2) e no Verão a intensidade da radiação foi maior entre 10h às 14h. No Inverno verifica-se que a radiação teve uma atividade um pouco menor com intensidade moderada nos seis primeiros dias de medição, aumentando de intensidade nos últimos dias da primeira medição (17, 18, 22 e 23 – agosto). No outono a atividade da radiação UV-B diminuiu, mas continuou intensa entre 10h às 13h. Observa-se que sempre no final da tarde às 17h a radiação UV-B em todos os períodos

de medição permaneceu baixa devido ao entardecer pela diminuição da radiação solar incidente e a posição do Sol.

4.3.2. Radiação Ultravioleta à Sombra das Espécies Arbóreas

Quanto a UV-B na sombra das espécies arbóreas em estudo, os resultados são expressos em índices - 1 IUUV corresponde a 25mW/m^2 de energia.

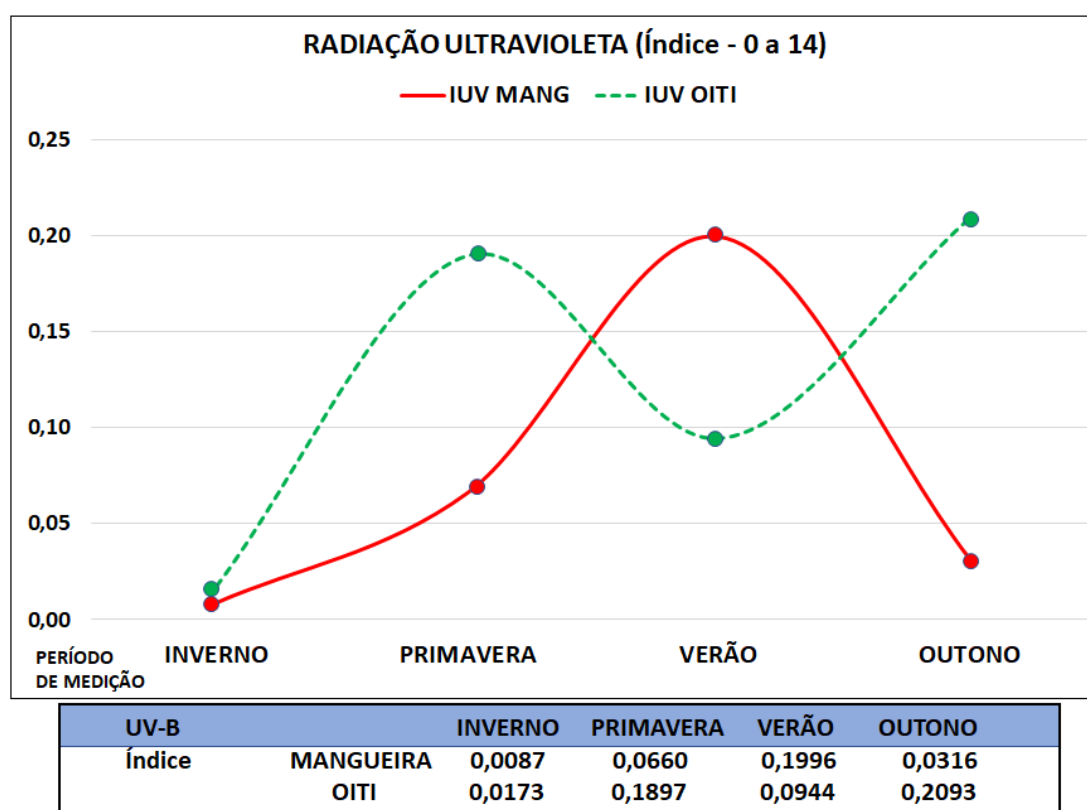


Figura 43 Índices médios de radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti por período de medição

Os índices médios sob a copa das duas árvores, conforme a Figura 43, no Inverno, ficaram bem próximos de zero, sendo de 0,0087 para a Mangueira e 0,0173 para o Oiti. Esses índices se elevaram na Primavera com maior intensidade para o Oiti (0,1897) e com menor intensidade para a Mangueira (0,0660). Todavia, no Verão, houve uma inversão na intensidade da radiação ultravioleta, o índice aumentou para a Mangueira (0,1996) e caiu para o Oiti (0,0944). Essa inversão tornou a acontecer no Outono com o aumento do índice de radiação para o Oiti (0,2093) e decréscimo no índice de radiação para a Mangueira (0,0316). Em média, para todos os períodos de medição, o índice ficou no valor de 0,0765 para a Mangueira e de 0,1271 para o Oiti.

As Figuras 44 a 47 expõem as características individualizadas das atividades (cada pulso de UV-B detectado pelo sensor) e intensidades da UV-B (valor em índice).

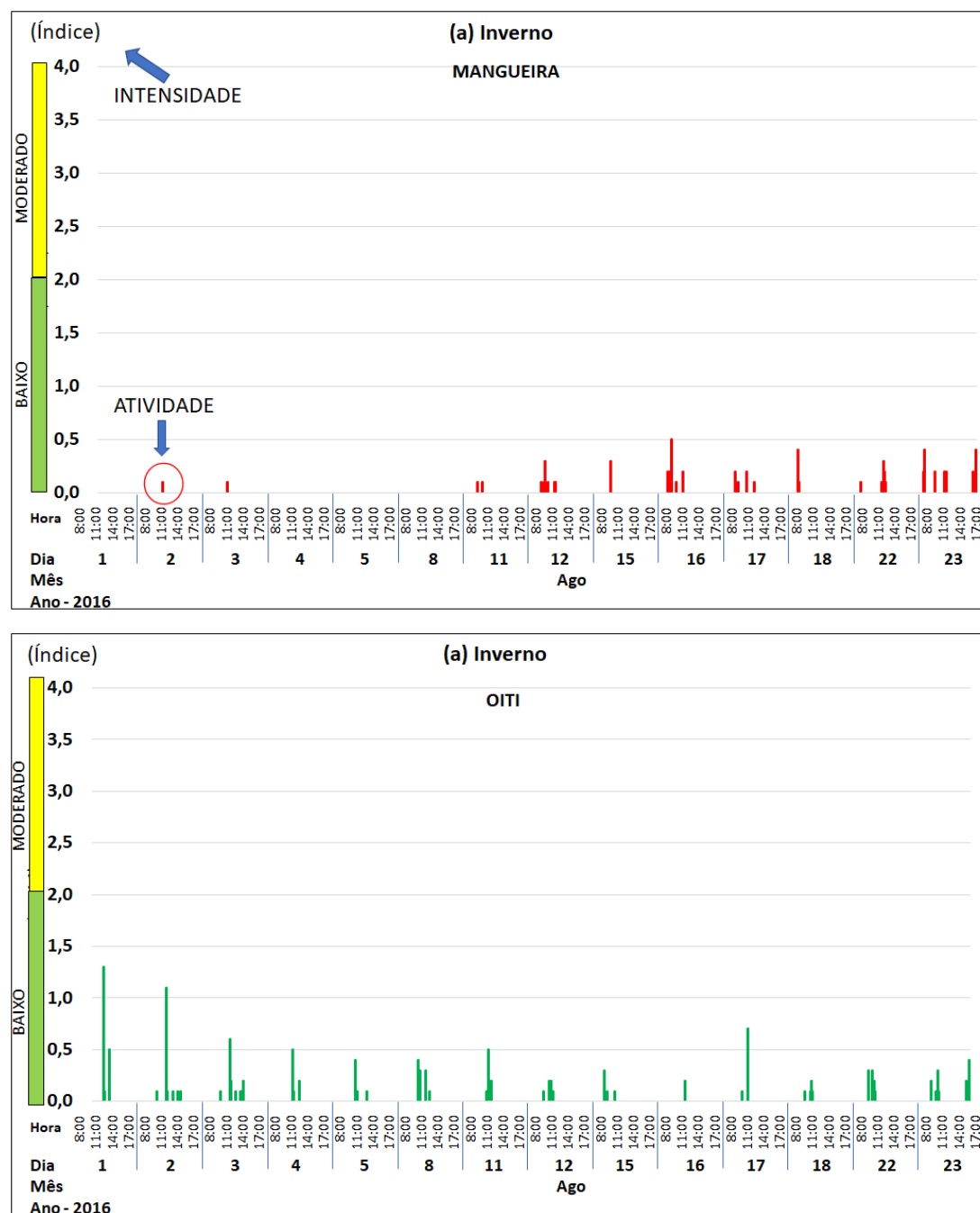


Figura 44 Atividade da radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti no período de medição Inverno

Verifica-se no Inverno (Figura 44) que a atividade da UV-B na sombra da Mangueira foi pequena em comparação com a do Oiti. Para o Oiti a atividade ocorreu em todos os dias de medição e para a Mangueira nos últimos dias de medição do

Inverno. Embora a intensidade máxima atingisse o índice de 1,3 para o Oiti, a intensidade da UV-B foi pequena ($<0,5$) para as duas espécies arbóreas.

Na Figura 45, período de medição Primavera, observa-se que a atividade e a intensidade da radiação UV-B aumentaram mais que no Inverno.

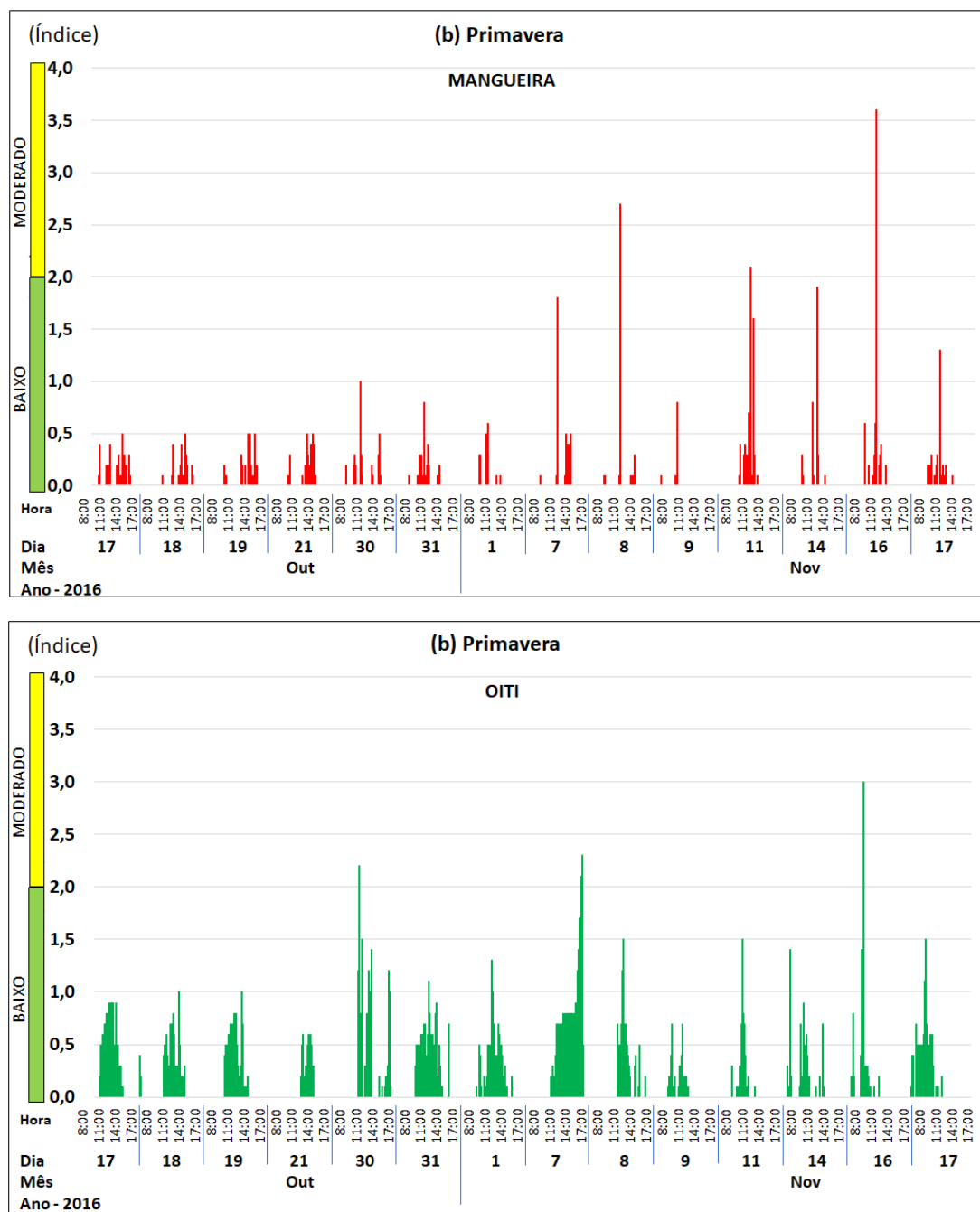


Figura 45 Atividade da radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti no período de medição Primavera

Comparando as duas espécies arbóreas, verifica-se que a atividade e a intensidade do Oiti foram maiores que da Mangueira. O pico máximo do índice da

radiação UV-B chegou acima de 3 para as duas espécies, ao meio dia do dia 16 de novembro de 2016.

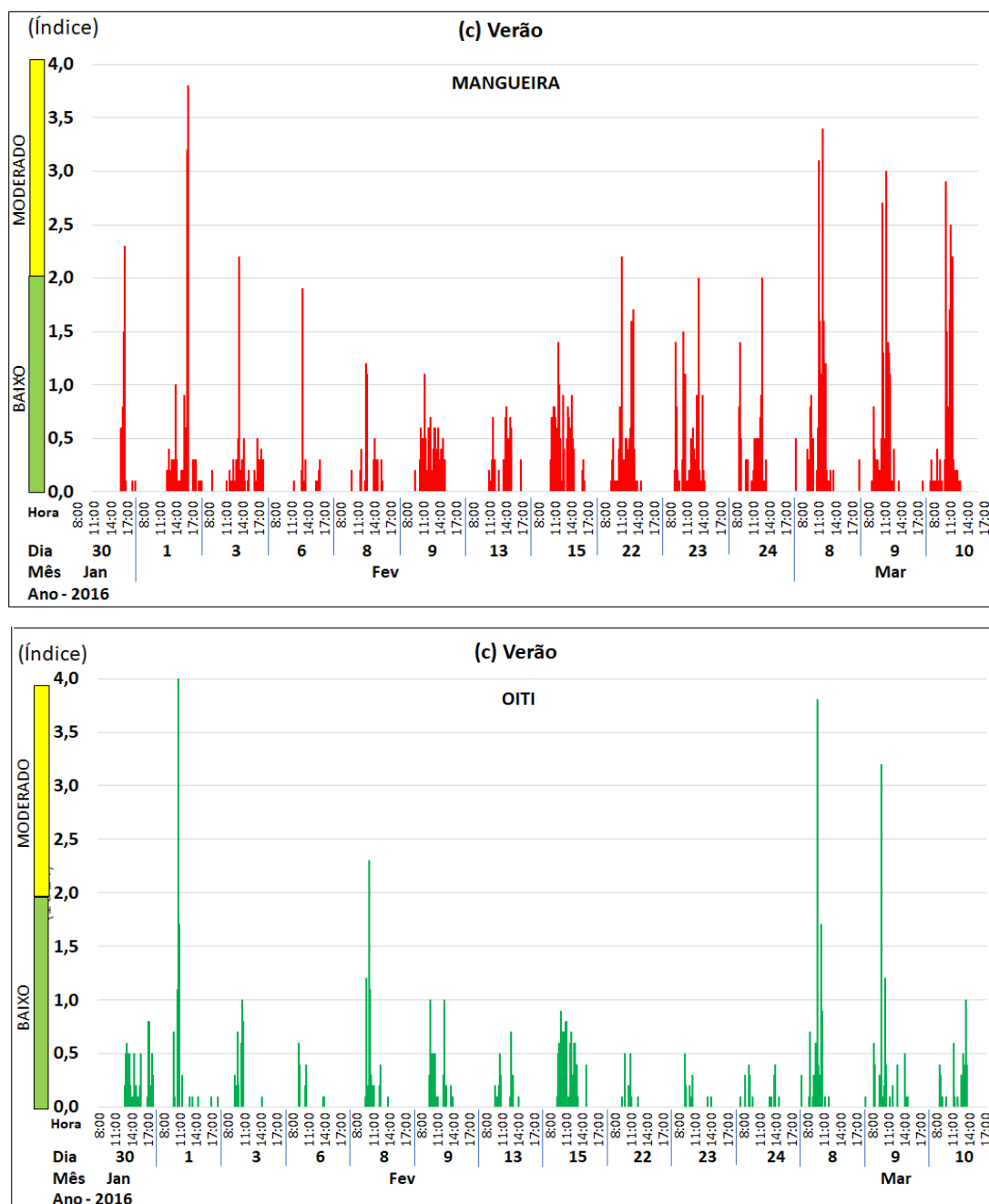


Figura 46 Atividade da radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti no período de medição Verão

Na Figura 46, período de medição Verão, se constata a inversão da atividade e a intensidade da radiação UV-B entre as espécies.

A atividade e a intensidade aumentaram na sombra da Mangueira e diminuíram na sombra do Oiti em comparação com o período de medição Primavera. O pico

máximo do índice da radiação UV-B chegou acima de 3,5 para as duas espécies no dia primeiro de fevereiro.

Na Figura 47, período de medição Outono, observa-se novamente a inversão da atividade e a intensidade da radiação UV-B.

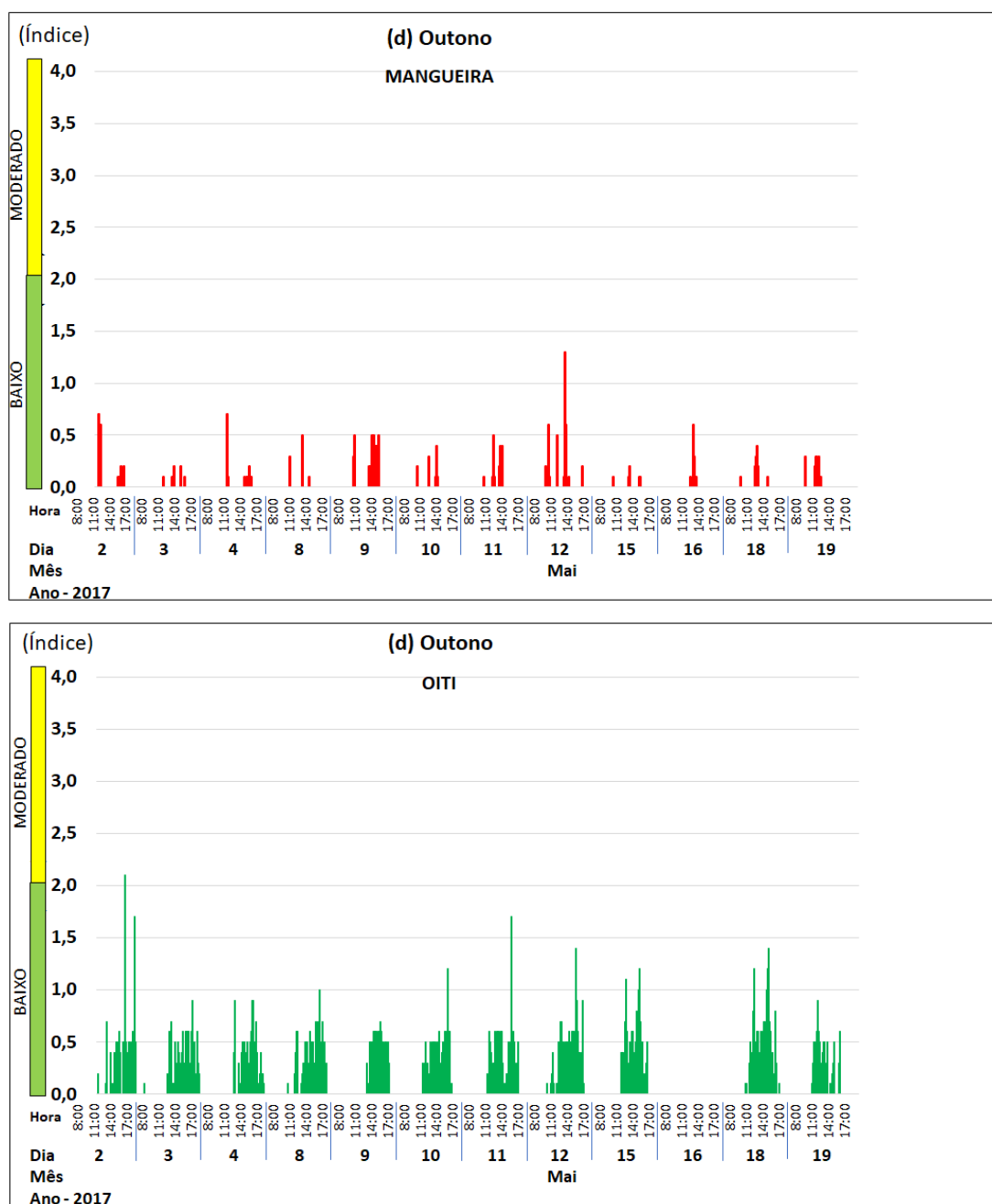


Figura 47 Atividade da radiação ultravioleta sob a copa da Mangueira e do Oiti no período de medição Outono

A atividade e a intensidade diminuíram na sombra da Mangueira e aumentaram na sombra do Oiti em comparação com o período de medição Verão. O pico máximo

do índice da radiação UV-B chegou acima de 2 somente para a espécie Oiti no dia 2 de maio.

Segundo Konarska *et al.* (2014), a transmissibilidade da radiação total através das árvores individuais é menor que dos dosséis das florestas (20%). Árvores individuais com copas densas e alto IAF torna a radiação solar quase impenetrável e apenas 1 a 5% da radiação incidente atinge a superfície de sua sombra.

Esse percentual também foi verificado no trabalho de Bhattacharya *et al.* (2011) que analisaram a radiação ultravioleta solar sob o dossel de duas espécies arbóreas *Mangifera indica* (Mangueira) e *Lagerstroemia parviflora* (Resedá-Gigante). As medições foram realizadas nas estações do ano verão e inverno durante o período de março de 2008 a fevereiro de 2011. Houve em média uma redução de 80% a 98% da UV-B incidente na sombra das duas árvores. Especificamente, a média de atenuação da espécie Mangueira foi de 94% a 98%, valor semelhante ao encontrado neste estudo que foi de 98%. Acrescenta-se que as árvores influenciam na UV-B incidente a qual dependem largamente das características das espécies e hora do dia. Também, a UV-B mostrou variação significativa com a mudança de atividade solar. Notou-se na investigação que a radiação UV-B é menor à sombra de árvores de grande porte que possui volume elevado de copa e fuste pequeno. O estudo revelou que a redução da radiação UV-B é maior em *Lagerstroemia parviflora* (Resedá-Gigante) em comparação com *Mangifera indica* (Mangueira) com o mesmo volume da copa. Os autores consideraram a penetração de UV-B através das folhas insignificante para as duas espécies.

Como as plantas respondem morfológicamente à radiação UV-B, segundo Robson *et al.* (2015), a composição espectral é modificada particularmente pela refletância espectral e a transmitância das folhas. Para muitas culturas e espécies de árvores a reflexão foliar percentual é 0,05 a 0,10% para determinados comprimentos de onda UV. Concluem que a transmitância de folhas para as ondas UV-B e UV-A são insignificantes. Assim, a penetração de UV-B depende da estrutura da copa e da composição de espécies, da penetração da luz difusa, da refletância e absortância das folhas.

Em adição, Barnes *et al.* (2015) analisando as propriedades de folhas, verificaram que a epiderme das folhas é um filtro seletivo de radiação solar que

absorve muito da UV solar e PAR na fotossíntese. Por isso, a transmitância UV representa um mecanismo primário pelo qual as plantas conseguem se aclimatar com a mudança do ambiente UV. Compreender a natureza e limitações desta resposta de aclimação é fundamental para avaliar o significado ecológico e agrônômico dos recursos naturais e análise da variação na radiação solar UV.

Além das árvores outros fatores influenciam na UV-B incidente como o clima urbano. König-Kiguti *et al.* (2009) estudaram a RUV na cidade de São Paulo e afirmam que ocorre a influência das estações do ano na UV-B e complementa que a variação é muito grande na estação do ano verão e mais baixa na estação inverno.

Em algumas capitais do Brasil mais afastadas da linha do Equador, observa-se o comportamento sazonal do índice UV-B, com valores muito altos no verão e muito baixos entre o outono e o inverno conforme se observou nesta pesquisa (Figura 48). Em destaque a curva da UV-B para a cidade de Cuiabá-MT.

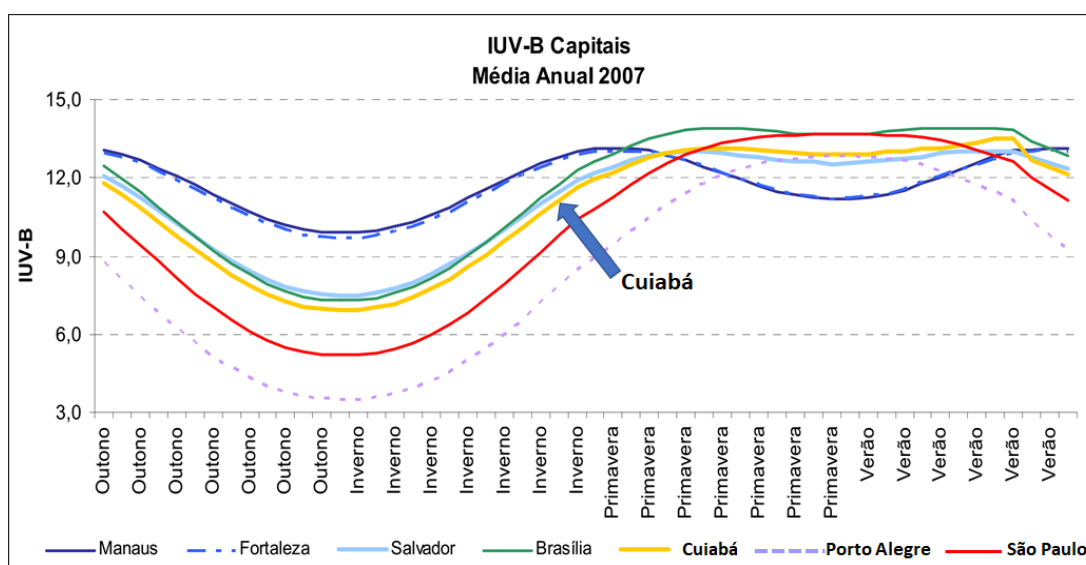


Figura 48 Índice de radiação UV-B em Cuiabá e capitais em outras regiões
FONTE: INPE, 2007

Cuiabá, Brasília e Salvador possuem latitudes próximas e observa-se uma variação semelhante na UV-B entre elas. Nessas cidades a incidência da UV-B é mais baixa entre as estações Outono e Primavera (índice 7) e atingem os valores mais alto na Primavera e no Verão (índice acima de 12). As cidades da região Sul do Brasil, como Porto Alegre, têm uma variação da UV-B mais baixa com índice próximo de 3 no Outono e Inverno e índices elevados acima de 12 na estação Primavera e Verão. Na

região Norte (Manaus) e Nordeste (Fortaleza) a incidência da UV-B não é muito variável, mas é intensa com índices acima de 9 em toda época do ano.

Outro fator de influência na UV-B foi analisado por Grant e Heisler (2006) que estudaram o efeito das nuvens sobre a UV-B abaixo da copa das árvores e observaram que o efeito da cobertura das nuvens é variável, por que depende das características e quantidade de nuvens por ano. Mas, enfatizam que a exposição à UV-B sob o céu com 4 octas, ou menos, são notavelmente diferentes do que sob céu claro. Descrevem que, sob a copa das árvores, a incidência da UV-B com céu parcialmente nublado pode ser maior do que com céu limpo por causa do aumento da fração difusa devido a cobertura das nuvens. Nesse ponto, Parisi (2002) aponta que aproximadamente 56% da UV-B na sombra da árvore é devido à radiação difusa.

Nesse contexto, as características da UV-B apresentadas nos resultados deste estudo estão de acordo com as explicações de vários trabalhos citados que apontam o efeito atenuante da radiação ultravioleta UV-B na sombra das árvores, neste caso, a Mangueira e o Oiti, por possuírem copas densas, fuste baixo e alto índice de área foliar. As diferenças da atenuação entre as duas espécies arbóreas ocorreram porque possuem algumas características diferenciadas como o local, a própria estrutura da copa e das folhas, mas são muito parecidas. Outro aspecto é a influência da estação no desenvolvimento e crescimento dessas espécies que são diferentes por apresentarem inflorescência e frutificação em diferentes épocas do ano.

Os valores tão baixos e quase insignificante da UV-B nas sombra da Mangueira e do Oiti são explicadas pela forte absorção da radiação UV-B no processo de fotossíntese e pelo alto índice de área foliar que se estrutura de forma a aclimatar as condições microclimáticas da região. As Figuras 28 e 43 indicam uma forte correlação entre o índice UV-B com o IAF.

4.4. ANÁLISE INFERENCIAL – MODELO CHAID

4.4.1 Índice de área Foliar – IAF

O IAF é uma variável que tem influência significativa no microclima devido às modificações que efetivamente ocorrem nas variáveis microclimáticas como: radiação solar sob o dossel, temperatura do ar, umidade do ar e radiação ultravioleta solar, já caracterizados neste estudo.

Dessa forma, o seu cálculo, envolvendo todo período de medição, resultou em um universo de 1080 dados para ambas as espécies arbóreas. É uma variável fundamental que indica a característica do dossel a potencialidade da vegetação em mitigar as variáveis climáticas. Entretanto, o IAF, nesse caso, é uma variável dependente. Pois a densidade, a estrutura da copa é formada pela relação solo-planta-atmosfera, envolvendo muitas variáveis microclimáticas no processo.

Sendo assim, buscou-se determinar a variável independente para caracterização do IAF. Utilizando-se o modelo estatístico CHAID Exaustivo, chegou-se a um resultado no primeiro nível, indicando que a espécie Mangueira e o Oiti são diferentes no IAF (Figura 49). A árvore de decisão encontrou um valor médio do IAF para a Mangueira de $5,944\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ e para o Oiti de $4,369\text{m}^2.\text{m}^{-2}$.

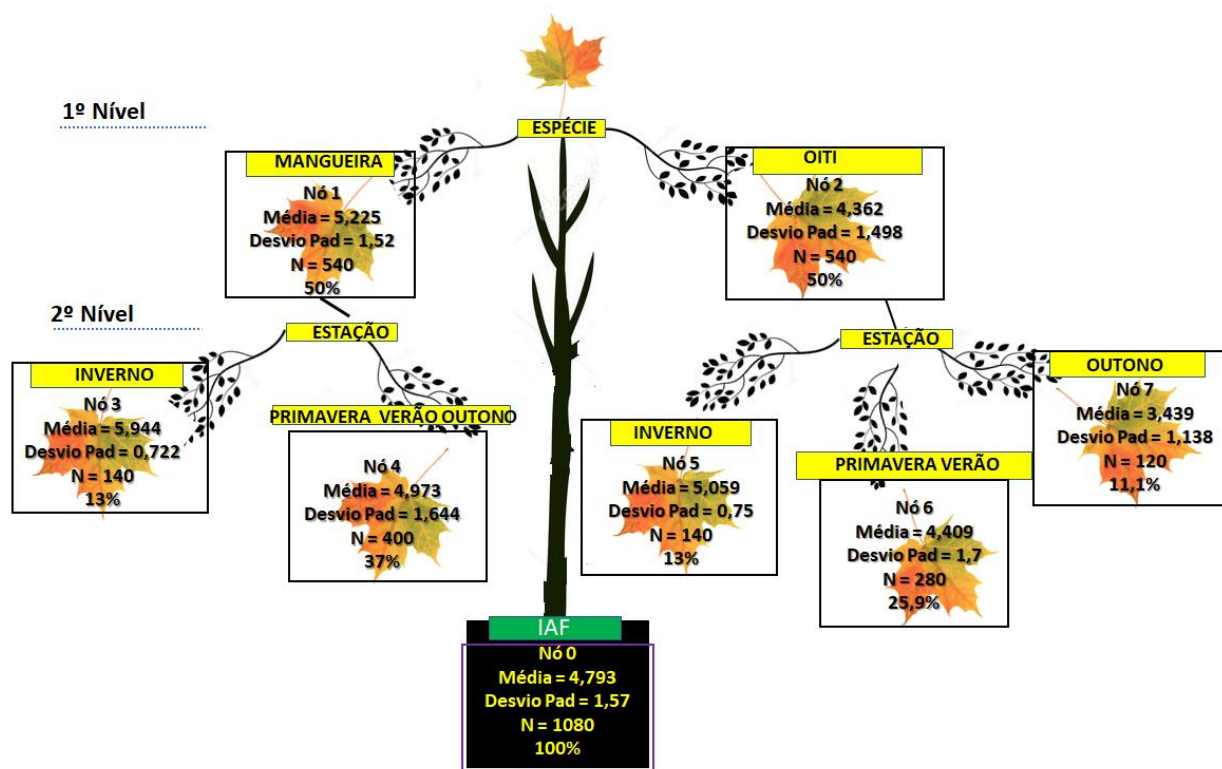


Figura 49 Árvore de decisão e classificação do IAF – modelo CHAID

Em um segundo nível, mais significativo que o primeiro, o modelo encontrou uma variável na determinação do IAF para ambas as espécies: a estação do ano.

Para a Mangueira e o Oiti o Inverno foi o período em que o IAF foi elevado em ambas as espécies: $5,944\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ e $5,059\text{m}^2.\text{m}^{-2}$, respectivamente. Não foi encontrado diferencial no IAF na tomada de decisão para as estações Primavera, Verão e Outono

(4,973m².m⁻²), relativo a Mangueira e, Primavera e Verão (4,409m².m⁻²), relativo ao Oiti.

Mas, estatisticamente, houve um diferencial entre as estações conforme os resultados estabelecidos na Tabela 7. Somente o Oiti apresentou um diferencial no Outono em que o IAF (3,43m².m⁻²) foi o mais baixo de todas as estações.

Desse modo, comprova-se que a sazonalidade é um potencial de influência no IAF das espécies arbóreas. Esse resultado corrobora com as análises de outros autores citados neste estudo.

4.4.2 Índice da Radiação Ultravioleta – UV-Índex

A UV-Índex é uma variável dependente cujos valores medidos constituem um universo de 12705 dados. Nos resultados apresentados para os quatro períodos de medição verificaram-se variações quantitativas e qualitativas da UV-Índex.

Vários fatores foram apontados para encontrar uma resposta a esta variação. O modelo estatístico utilizado também foi o CHAID Exaustivo. A princípio algumas variáveis independentes foram consideradas na avaliação dos resultados como: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, número de octas, chuvas e vento, algumas delas, já caracterizadas no item 4.2. Estas variáveis foram eliminadas por apresentar $p > 0,05$, e as que permaneceram foram classificadas em uma ordem hierárquica do nível menos significativo ao mais significativo, conforme mostra o resultado do estudo, na Figura 50.

No processamento o modelo estatístico realizou várias análises de variâncias, considerou o número de octas como ponderador, e toda avaliação passou por uma validação cruzada, ou seja, 70% dos dados foram usados para a construção da árvore principal e 30% foram utilizadas para a validação dos dados.

De acordo com a árvore de classificação as variáveis iniciais propostas como temperatura, radiação solar, nebulosidade, intensidade de chuva, umidade relativa do ar não tiveram muita influência na variação da UV-Índex na sombra das árvores, Então, as ramificações atribuídas à essas variáveis não prosperaram e foram descartadas no processamento.

Propôs-se incluir outras variáveis que possivelmente apontariam algum resultado. Foram elas: número de octas, estação (período de medição), hora de coleta, local e espécie arbórea.

Surgiu o primeiro resultado mais significativo indicando a espécie arbórea como um fator de influência na variação da UV-Índex. O primeiro nível aponta diferenças entre a Mangueira e o Oiti. A Mangueira (Nó 1) ficou com 55% dos dados totais que equivalem a 6985 dados e apresentou uma média no índice UV de 0,087 com um desvio padrão de 0,424. O Oiti (Nó 2) apresentou uma média no índice UV de 0,128, um desvio padrão de 0,420 resultante do processamento dos 5720 dados que correspondem a 46% do total. Nota-se a diferença entre as árvores pela média e pelo desvio padrão.

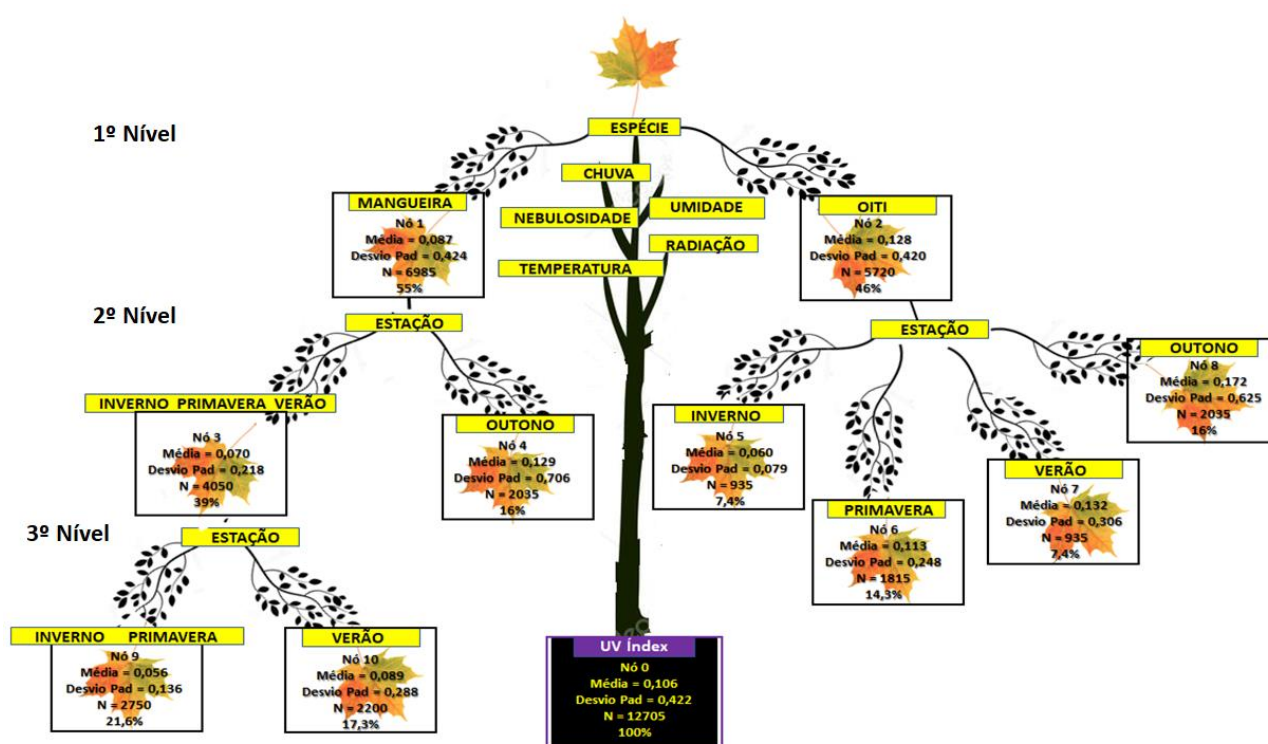


Figura 50 Árvore de decisão e classificação do UV-Índex – modelo CHAID

O segundo nível, mais significativo, classificou e apontou a estação como um diferencial na própria espécie. Dessa forma, os dados de cada espécie foram processados separadamente e classificados, de modo que, na Mangueira, não foi encontrado nenhuma diferença da UV-Índex entre as estações de medição Inverno, Primavera e Verão (Nó 3 – 0,070). Mas, a estação Outono (Nó 4 – 0,129) apresentou uma diferença em relação as demais. A mesma classificação não ocorreu para a espécie Oiti, existindo diferença significativa da UV-Índex entre todas as estações de medição (Nó 5 ao Nó 7).

Em mais um processamento, para a espécie Mangueira, na tentativa de estabelecer uma classificação entre as três estações Inverno, Primavera e Verão (Nó 3), o sistema encontrou uma diferença significativa entre a estação Verão (Nó 10) com o conjunto das estações Inverno e Primavera (Nó 9).

A partir desse ponto, o sistema encerrou sua análise e estabeleceu que, a espécie e a estação, são variáveis significativas de influência nas características da UV-Índice sob a copa das espécies Mangueira e Oiti. Com isso, definiu-se a sazonalidade como o fator principal dessas influências.

5. CONCLUSÃO

A espécie arbórea, o IAF e a sazonalidade ficaram caracterizadas como as variáveis que tem um impacto no microclima de um sistema urbano.

Assim, o IAF influenciou no comportamento das variações microclimáticas entre os ambientes sombreados com relação as áreas abertas sob o Sol. Nas atividades individuais de realizar a fotossíntese e a transpiração as folhas foram os elementos ativos no processo físico-químico, absorvendo, transmitindo e refletindo a radiação eletromagnética emitida pelo Sol. Por isso, esses efeitos resultaram em um ambiente sombreado, com as grandezas microclimáticas diferenciadas sob suas copas.

Nas análises, observou-se que as árvores atenuaram a radiação solar em torno de 93% a 95%, sendo que a Mangueira foi a espécie que atenuou em maior valor devido ao alto índice de área foliar.

A temperatura do ar foi atenuada em até 2,5°C e a umidade do ar elevada em até 6% sob a copa da Mangueira. Sob a copa do Oiti esses valores foram de 2,5°C e 5%. A Mangueira proporcionou a maior atenuação térmica bem como elevou em maior quantidade a umidade do ar em sua sombra com relação ao Oiti.

Com relação a radiação ultravioleta (UV-B), considerada como o principal fator de risco para os cânceres de pele melanoma e não melanoma, os índices foram inferiores a 5 indicando que a sombra da árvore proporciona um ambiente de proteção ao efeito nocivo da radiação ultravioleta.

Assim, os resultados obtidos no desenvolvimento do presente estudo confirmaram que o objetivo geral, ou seja, a identificação do efeito do sombreamento proporcionado pelas espécies arbóreas Mangueira e Oiti, na modificação das variáveis microclimáticas, bem como, na atenuação da radiação ultravioleta solar relativos ao clima urbano, foi atingido devido à metodologia proposta ter-se demonstrado adequada.

Dentre as proposições específicas foi possível:

- Especificar duas espécies arbóreas para o estudo, conforme sua importância qualitativa na arborização de Cuiabá, estabelecendo critérios e algumas características das espécies para o estudo de caso;

- Selecionar dois indivíduos arbóreos típicos para o estudo de caso. A Mangueira (*Mangifera indica* L.) e o Oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch) foram as árvores mais adequadas dentro dos critérios estabelecidos para sua escolha;
- Delinear e montar todo o experimento, incluindo a instrumentação, coleta de dados, protocolos, etc. Dessa forma, todas as ações foram concretizadas dentro do cronograma proposto;

5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Medir a RUV em vários pontos do sombreamento da árvore para mapear a intensidade da radiação e verificar como é o gradiente da RUV no espaço sombreado objetivando a influência da espécie arbórea e sua escolha;
- Analisar os efeitos do sombreamento sobre a RUV utilizando espécies arbóreas do cerrado na arborização de cidades;
- Mapear a RUV no corpo do dossel (fuste, meio e ponta) para analisar a incidência da radiação difusa;
- Estudar uma relação da radiação ultravioleta e da radiação infravermelha na sombra da árvore e verificar se o conforto térmico é uma variável dependente da RUV;
- Estudar a transmitância, reflectância e absortância da UV-B na folha da Mangueira e do Oiti.

6. BIBLIOGRAFIAS

6.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ABREU-HARBICH, L. V. D.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the trópics. **Landscape and Urban Planning**, p. 99-109, mar 2015.

ABREU-HARBITCH, L. V.; LABAKI, L. V.; MATZARAKIS, A. **Different trees and configuration as microclimate control strategy in Tropics**. In: Proceedings of the international conference on passive and low energy architecture. Lima/PE: PLEA. 2012.

AKBARI, H. Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. **Environment Pollution**, v. 116, n. 1, p. S119-S126, mar 2002.

ALCOFORADO, J. Aplicação da climatologia ao planeamento urbano. Alguns apontamentos. **Finisterra**, v. XXXIV, n. 67-68, p. 83-94, 1999.

ALMEIDA JR, E. S. A. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para obtenção do índice de área foliar por inversão da radiação fotossinteticamente ativa**. Dissertação (Mestre em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso UFMT. Cuiabá, p. 49. 2017.

ALMEIDA JR., N. L. D. **Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT. Cuiabá, p. 94. 2005.

ALMEIDA, A. Q. et al. Índice de área foliar de Eucalyptys estimado por índices de vegetação utilizando imagens TM_Landsat 5. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 368-376, 2015.

ALVES, A. K. et al. Avaliação do conforto urbano sob a influência da vegetação na cidade de Cuiabá-MT. **Engineering and Science**, v. 1, n. 6, p. 106-121, 2017.

ALVES, E. D. L. **Caracterização microclimática do campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso**. 2011. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT. Cuiabá, p. 90. 2011.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Os microclimas da Universidade Federal de Mato Grosso/Cuiabá. **RA'EGA**, Curitiba, p. 600-620, 2011.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Padrões de temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 5-16, 2012.

AMORIM, M. C. D. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. D. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. ano 11, jan-jul 2015.

ANGELINI, L. P. et al. Relação entre albedo e temperatura de superfície estimados por sensoriamento remoto na área urbana de Cuiabá, Mato Grosso. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa, 25 a 29 abr 2015.

ANTUNES JR, M. Z. et al. Métodos não destrutivos para estimativa de densidade de área foliar em mangueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1624-1630, dez 2009.

ARAUJO, C. M. A. D.; FERREIRA, C. D. C. M. Percentual de áreas verdes públicas em Juiz de Fora: parques, praças e canteiros. **Revista de Geografia - PPGeo - UFJF**, Juiz de Fora, v. 6, n. 1, p. 1-11, jan-jun 2016.

ASSIS, E.. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: **ENCAC-ELACAC 2005**, Maceió, 5 a 7 out 2005.

ASSUNÇÃO, H. F. D. **Modelo paramétrico para estimativa da radiação solar ultravioleta**. 2003. 147f. Tese (Doutorado em Agronomia) - UNESP. Botucatu. 2003.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986.

AZEVEDO, P. V. et al. Avaliação do índice de área foliar da mangueira. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Florianópolis, 1999.

BAPTISTA, M. D. **Use of different street trees species and their effect on human thermal comfort**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo - USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, p. 95. 2014.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L. D.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió/AL: EDUFAL, 2007.

BARNES, P. W. et al. Rediscovering leaf optical properties: New insights into plant acclimation to solar UV radiation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 93, p. 94-100, 2015.

BARNES, P. W. et al. Rapid modulation of ultraviolet shielding in plants is influenced by solar ultraviolet radiation and linked to alterations in flavonoids. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, p. 222-230, 2016.

BATISTA, M. F. **Valoração econômica do campus da Universidade Federal de Mato Grosso - Cuiabá, como área de lazer e recreação**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT. Cuiabá, p. 80. 2014.

BESERRA FILHO, F. **Avaliação do microclima do parque Massairo Okamura em Cuiabá/MT ao nível do pedestre**. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais) UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 69. 2015.

BHATTACHARYA, R. et al. Tree modulation of ground reaching solar ultraviolet radiation: role of canopy parameters. **International Journal of Physics**, v. 4, n. 2, p. 89-99, jul-dec 2011.

BROW, M. J.; PARKER, G. G.; POSNER, N. E. A survey of ultraviolet-B radiation in forests. **Journal of ecology**, v. 82, n. 4, p. 843-854, dec 1994.

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. UNICAMP, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Campinas, p. s.n. 1998.

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas, p. 189. 2003.

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; LABAKI, L. C. How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation? In: **Fifth international conference on Urban Climate**. Lodz, Poland: [s.n.]. 2003.

CALDWELL, M. M. et al. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, n. 46, p. 40-52, 1998.

CALLEJAS, I. J. A. et al. Diversidade e índices arbóreos em ambientes escolares. **Revista Eletrônica em Gestão Educacional e Tecnologia Digital**, v. 18, n. 1, p. 454-466, 2014.

CALLEJAS, I. J. A. et al. Seasonal variation of surface energy balance of a central Brazil city. **MERCATOR**, Fortaleza, 15, n. 3, jul-sep 2016. p.85-106.

CALLEJAS, I. J. et al. Estudo do sombreamento arbóreo, atenuação da radiação solar e microclima dos pátios escolares: elementos para se pensar a sustentabilidade urbana. In: **VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Vitória, 7-9 set 2011.

CALLEJAS, I. J. et al. Índices arbóreos e suas relações com o microclima urbano. In: **XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Juiz de Fora, 29-31 Out 2012. 811-816.

CAMPELO JR., J. H. et al. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In: **Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente**. Londrina: Anais. 1991.

CAO, C. et al. Urban heat islands in China enhanced by haze pollution. **Nature Communications**, aug 2016.

CARDOSO, M. G. S. et al. Florescimento e frutificação de mangueira (*Mangifera indica* L.) CV. rosa promovidos por diferentes doses de paclobutrazol. **Revista Brasileira Friticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 209-212, ago 2007.

CARFAN, A. C. **Análise de conforto térmico em áreas abertas no município de Ourinhos/SP**. 2011. 166 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - USP. São Paulo. 2011.

CARRIELO, F. et al. Uso da transmitância na caracterização espectral de folhas verdes. In: **XI SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte/MG, 05 a 10 abr 2003. 2451-2457p.

CARVALHO, L. M. et al. Desenvolvimento da inflorescência da mangueira 'PALMER' em Viçosa-MG. In: **XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação UVP**, 2011. 1-3.

CELINSKI, T. M. **Classificação de cobertura do solo utilizando árvore de decisão e sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônomicas - campus Botucatu. UNESP, p. 112. 2008.

CHANG, J.-H. **Climate and agriculture an ecological survey**. New Jersey: Aldine Transaction, 1968.

CORREA, E. et al. Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza, Argentina. **Building and Environment**, v. 58, p. 219-230, dez 2012.

CORRÊA, M. D. P. Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America. In: **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI: Itajubá/MG, v. 3, n. 90, p. 297-313, 2015.

CORRÊA, M. D. P. et al. Retrieval of health-related UV doses from PAR measurements. **Atmospheric Measurement Techniques Discussions**, p. 1 - 12, feb 2018.

COSTA, A. D. C. et al. Variações termo-higrométricas e estudo de ilha de calor urbana na cidade de Bragança/PA e circunvizinhança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 571-584, 2016.

COULSON, K. L. **Solar and terrestrial radiation: methods and measurements**. New York: Academic Press, 1975. 322 p.

COURA, S. M. D. C. et al. Comparação das características espectrais das espécies *Ligustrum japonicum* Thunb. e *Cassia macranthera* DC. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, 16 a 21 abr 2005. 1477-1484.

CUIABÁ. **Prefeitura Municipal de Cuiabá/ Legislação Urbana de Cuiabá/IPDU - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano**. Cuiabá: Entrelinhas, 2004.

CUIABÁ, M. **Prefeitura Municipal de Cuiabá/ Legislação Urbana de Cuiabá.** Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano - IPDU. Cuiabá. 2004.

CUIABÁ, P. M. **Composição de Bairros.** Cuiabá: Entrelinhas. 2013. p. 52.

DARROZ , L. M.; ROSA, C. T. W. D.; ROSA, A. B. Experimentos simples para visualização dos fenômenos de difração e interferência da luz. **Thema**, v. 13, n. 2, p. 18-26, 2016.

DIFFEY, B. L. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. **Physics in Medicine & Biology**, v. 36, p. 299-328, 1991.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 69-76, 2003.

DOBBERT, L. Y. **Arborização na cidade de Campinas/SP: percepção e conforto.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, USP, Tese (Doutorado em Ciências). Piracicaba, p. 186p. 2015.

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

DUARTE, D. H. S. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano.** 2015. 167p. Tese (Doutorado em Livre Docência) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - USP. São Paulo. 2015.

DURANTE, L.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Efeitos do sombreamento arbóreo nas condições termo-higrométricas e lumínicas de ambientes internos e externos de edificações. **Rev. Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 9, p. 1980-1998, fev 2013.

ECHER, E. **Observação da radiação ultravioleta solar tipo B em banda larga.** 1999. 145p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial). São José dos Campos - INPE. 1999.

ECHER, E.; SOUZA, M. P.; SHUCH, N. J. A lei de Beer aplicada na atmosfera terrestre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 276-283, jul 2001.

ELIZIÁRIO, C. A. et al. Caracterização da cobertura do céu de Cuiabá-MT por meio de índice de claridade. In: **X WORKSHOP Brasileiro 2017**, Santa Maria, 8 a 10 nov 2017. 1-6.

EMMANUEL, R.; ROSENBLUND, H.; JOHANSSON, E. Urban shading: a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1995-2004, sep 2007.

ESTUPINAN, J. G. et al. Effects of clouds and haze on UV-B radiation. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. 11, p. 16807-16816, 1996.

FERREIRA, L. D. F.; CARRILHO, S. T.; MENDES, P. C. Áreas verdes urbanas: uma contribuição aos estudos das ilhas de calor. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituitaba, v. 6, n. 2, p. 101-120, jul-dez 2015.

FIGUEIRAS, C. A. L. A espectroscopia e a química. **Química Nova na Escola**, n. 3, mai, 1996.

FONSECA, M. R. M. D. **Química 1 - Meio ambiente Cidadania Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: FTD, v. 1, 2010.

FRANCO, F. M. **Configuração urbana e sua interferência no microclima local: estudo de caso no bairro do porto em Cuiabá/MT**. 2010. 153f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - UFMT. Cuiabá. 2010.

FRANCO, F. M. **Análise do comportamento termo-higrométrico urbano sob a ótica do uso e ocupação do solo em Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - UFMT. Cuiabá, p. 124f. 2013.

FREDERICK, J. E.; LUBIN, D. Solar ultraviolet irradiance at Palmer Station Antarctica. **Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Effects. Antarctic Research Series**, v. 62, p. 43-52, 1994.

FREIRE, J. D. L. **Por uma poética popular da arquitetura**. Cuiabá: EdUFMT, 1992.

FREITAS, A. F.; SANTOS, J. S. D.; LIMA, R. B. D. Análise da variação microclimática em diferentes níveis de fragmentação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 226-236, 2016.

GABRICH, L. L. P.; MAYRINK, F. L.; SILVA, A. A. Análise comparativa da taxa de dose eritomatosa e dados meteorológicos. In: **10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society**, Rio de Janeiro, 19-22 nov 2007. 1-3.

GALLI, J. A.; FISCHER, I. H.; PALHARINI, C. D. A. Doenças pré e pós-colheita em variedades de manga cultivadas em sistema orgânico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 3, p. 734-743, set 2012.

GIVONI, B. **L'homme, l'architecture et le climat**. Paris: Eyrolles, 1978.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, jan-mar 2009.

GRANT, R. H. et al. Ultraviolet leaf reflectance of common urban trees and the prediction of reflectance from leaf surface characteristics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 120, p. 127-139, 2003.

GRANT, R. H.; HEISLER, G. M. Solar ultraviolet-B and photosynthetically active irradiance in the urban sub-canopy: a survey of influences. **International Journal Biometeorol**, v. 39, p. 201-212, jul 1996.

GRANT, R. H.; HEISLER, G. M. Obscured overcast sky radiance distributions for ultraviolet and photosynthetically active radiation. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, p. 1336-1345, mar 1997.

GRANT, R. H.; HEISLER, G. M. Effect of cloud cover on UVB exposure under tree canopies: will climate change affect UVB exposure? **Photochemistry and Photobiology**, v. 82, p. 487-494, nov 2006.

GRANT, R. H.; HEISLER, G. M.; GAO, W. Estimation of pedestrian level UV exposure under trees. **Photochemistry and photobiology**, v. 75, n. 4, p. 369-376, 2002.

GRANT, R. H.; HEISLER, G. M.; GAO, W. Impact of cloud cover on erythral UV-B exposure under vegetation canopies. In: **Proceedings of SPIE**, 5545, 2004. 71-80 p.

GUARIM, G. N. **Diagnóstico florístico e faunístico da cidade de Cuiabá**. Relatório de pesquisa: Universidade Federal de Mato Grosso/Prefeitura Municipal de Cuiabá. Cuiabá. 1991.

GULYÁS, Á.; UNGER, J.; MATZARAKIS, A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. **Building and Environment**, v. 41, n. 12, p. 1713-1722, dez 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física Ótica e Física Moderna**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1995. 355 p.

HARRINGTON, R. F. **Time-Harmonic eletromagnetic fields**. New York: IEEE Press, 2001.

HEISLER, G. M.; GRANT, R. H. Ultraviolet radiation, human health and the urban forest. **USDA Forest Service**, p. 1-35, feb 2000.

HEISLER, G. M.; GRANT, R. H.; GAO, W. Urban tree influences on ultraviolet irradiance. In: **Ultraviolet Ground and Space-based Measurements, Models, and effects**, Bellingham/WA, 4482, 2002. p. 277-290.

HERRMANN, C. R. A. **A qualidade do sombreamento de espécies arbóreas e sua influência no microclima do entorno imediato em ambientes urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) Universidade federal de Goiás - UFG. Goiânia, p. 158. 2008.

IPDU. **Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano de Cuiabá**. Cuiabá. 2012.

ISHIMARU, A. **Eletromagnetic wave propagation, radiation, and scattering: from fundamentals to applications**. 2. ed. New Jersey: IEEE Press, v. series, 2017.

JAENICKIE, R. Atmospheric aerosols and global climate. **Journal of Aerosol Science**, v. 11, p. 577-588, 1980.

JAGGER, J. **Solar-UV actions on living cells**. New York: Praeger, 1985. 202 p.

JANSEN, M. A. K.; GABA, V.; GREENBERG, B. M. Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation. **Trends in plant science**, v. 3, n. 4, p. 131-135, apr 1998.

JANUSZ, W. K.; PIOTR, S. S. Trends in erythemal doses at the Polish Polar Station, Hornsund, Svalbard based on the homogenized measurements (1996-2016) and reconstructed data (1983-1995). **Atmospheric Chemistry and Physics**, n. 18, p. 1-11, jan 2018.

JARDIM, C. H. Relações entre temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em área urbana: comparação horária entre dois bairros no município de São Paulo/SP. **Geografias ARTIGOS CIENTÍFICOS**, v. 7, n. 1, p. 128-142, jan-jun 2011.

JESUS, A. T. C. D. et al. Avaliação do uso e ocupação do solo na região norte de Cuiabá-MT e sua relação com a Lei Complementar nº 102. **Ciência e Sustentabilidade - CeS**, Juazeiro do Norte, 2, n. 1, jan/jun 2016. p.103-123.

JOHNSEN, B. et al. The Norwegian UV-monitoring program. **Strålevern Rapport**, p. 1-40, 2018.

JUNIOR, E. S. A. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para obtenção do índice de área foliar por inversão da radiação fotossinteticamente ativa**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT. Cuiabá, p. 49. 2017.

KERR, J. B.; FIOLETOV, F. E. Surface ultraviolet radiation. **Atmosphere-Ocean**, v. 1, n. 46, p. 159-184, 2008.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. **Introdução à geofísica espacial**. São Paulo: EDUSP, 1991. 149 p.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. **Ozônio e radiação UV-B**. São José dos Campos: Trantec Editorial, 1995. 73 p.

KLUGE, R. A.; TEZZOTO-ULIANA, J. V.; DA SILVA, P. P. M. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, nov 2015.

KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 1, p. 155-159, 1970.

KONARSKA, J. et al. Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees: application for outdoor thermal comfort modelling. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 117, n. 3-4, p. 363-376, aug 2014.

KÖNIG-KIGUTI, V. A.; SEO, E. S.; VILELA-JUNIOR, A. Radiação ultravioleta: uma avaliação em São Paulo. **InterfaceHS**, v. 4, n. 1, p. 1-22, abr-ago 2009.

KULKA, D. D. **Conforto térmico em áreas verdes urbanas no município de Itapetinga-BA**. UESB, Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Itapetinga, p. 71f. 2014.

LAERA, L. H. N. Arborização urbana: valorização dos custos e benefícios ambientais. In: **Encontro Nacional da Ecoeco**. Brasília: Anais. 2005. p. 1-23.

LANDSBERG, H. E. The urban climate. **International Geophysics series**, v. 28, 1981. 227p.

LANGE, O. L. et al. **Physiological plant ecology I**. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, v. 12A, 1981.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino de astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 87-111, abr 2007.

LEMON, E. R. Energy conversion and water use efficiency in plants. In: **Plant Environment and Efficient Water Use**, American Meteorological Society, Madison, 1965.

LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano em Rosana/SP: comparações entre a cidade e o campo. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 2, n. 33, p. 66-84, ago-dez 2011.

LIMA, E. F. C.; LEDER, S. M. Iluminâncias sob a copa de espécies arbóreas: medições e análises. In: **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Maceió/AL, 12 a 14 nov 2014. 734-743.

LIN, T.-P.; MATZARAKIS, A.; HWANG, R.-L. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. **Building and Environment**, v. 45, p. 213-221, 2010.

LOPO, A. B. et al. Radiação ultravioleta, ozônio total e aerossóis na cidade de Natal-RN. **HOLOS**, v. 6, n. ano 29, p. 3-21, 2013.

LUZ, V. D. S. **Estudo da interação das variáveis microclimáticas com a cobertura do solo urbano**. 2013. 53p. Dissertação (Mestre em Física Ambiental) - UFMT. Cuiabá. 2013.

MACEDO, K. C. et al. Análise do impacto dos tipos de revestimentos do solo na variação da temperatura na cidade de Cuiabá. **Estudo & Debate**, Lajeado, v. 23, n. 2, p. 65-78, 2016.

MACHADO, N. G. et al. Seasonal and interannual pattern of meteorological variables in Cuiabá Mato Grosso State, Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 33, n. 3, 2015.

MACKERNESS, S. A. H. Plant responses to ultraviolet-B (UV-B: 280–320 nm) stress: what are the key regulators? **Plant Growth Regulation**, v. 32, p. 27-39, 2000.

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

MARTELLI, A.; SANTOS JR, A. R. Arborização urbana do município de Itapira/SP: perspectivas para educação ambiental e sua influência no conforto térmico. **Revista Eletrônica em Gestão Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1018-1031, mai-ago 2015.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. **Vegetação urbana**. 2. ed. Porto Alegre: Mais Quatro, 2005. 204 p.

MATZARAKIS, A. Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels [Urban climate in the context of climate change]. **Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft**, v. 73(3), p. 115-118, 2013.

MELO, E. C. D.; BRASIL JR., A. C. P. Atenuação da radiação solar em florestas tropicais próximo de áreas desmatadas. **Proceedings of the ENCIT**, Caxambú, 2002.

MONTAGU, K. D.; KEARNEY, D. E.; SMITH, R. G. B. The biology and silviculture of pruning planted eucalypts for clear wood production: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 179, p. 1-13, 2003.

MONTEIRO, C. A. **Teoria e Clima Urbano (Série Teses e Monografias)**. IGEOG/USP. São Paulo, p. 181. 1976.

MONTEIRO, C. A. D. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011. 192 p.

MONTEIRO, K. L. et al. Caracterização morfológica de frutos, de sementes e do desenvolvimento pós-seminal de *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 1, p. 90-97, jan 2012.

MORAES, L. D. et al. Avaliação da área foliar a partir de medidas lineares simples de cinco espécies vegetais sob diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 4, p. 381-387, out-dez 2013.

MORENO, G.; HIGA, T. C. S. **A colonização do século XX**. Geografia de Mato Grosso: Território, Sociedade, Ambiente. Cuiabá, p. 52-71. 2005.

MORISON, W. L. **Phototherapy and photochemotherapy of skin disease**. 3. ed. New York: Taylor & Francis, 2005. 352 p.

NA, H. R. et al. Modeling of urban trees' effects on reducing human exposure to UV radiation in Seoul, Korea. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, p. 785-792, 2014.

NERES, S. C. T.; SANTOS, J. S.; CARVALHO, R. G. Campo térmico urbano e sua relação com o uso e cobertura do solo na cidade de Mossoró - RN. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 1, p. 44-52, 2015.

NINCE, P. C. D. C. **Vegetação e revestimentos urbanos: implicações na sensação térmica dos usuários do campus da UFMT em Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - UFMT. Cuiabá, p. 90f. 2013.

NINCE, P. C. D. C. et al. Usos dos índices PET e UTCI na avaliação do conforto térmico no campus da UFMT em Cuiabá/MT. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Cascavel, v. 9, n. 9, p. 2026-2036, fev 2013.

NINCE, P. C. D. C. et al. Conforto térmico dos usuários em vegetação e revestimento urbanos no campus da UFMT em Cuiabá/MT. **Monografias Ambientais REMOA**, UFSM, Santa Maria, v. 13, n. 4, p. 3529-3541, set-dez 2014.

NOGUEIRA, R. D. A.; SOUZA, P. F. L.; OLIVEIRA, R. D. A. A. Transdisciplinaridade e a física moderna e contemporânea: relatos de experiências didáticas. **Inter-Legere**, Natal/RN, n. 16, p. 214-242, jan-jun 2015.

NORMAN, J. M.; JARVIS, P. G. Photosynthesis in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). III. Measurements of canopy structure and interception of radiation. **Journal of Applied Ecology**, p. 375-398, 1974.

NOVAIS, J. W. Z. et al. Variação espaço-sazonal termo-higrométrica do parque urbano Mãe Bonifácia pelo método da krigagem. **Revista Ensino Educação Ciências Humanas**, Londrina, v. 18, n. 3, p. 252-257, 2017.

NOWAK, D. J. et al. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. **Environmental Pollution**, v. 193, p. 119-129, 2014.

NUNES, F. D. S. O microclima urbano: uma reflexão a partir da praça Luiz Nogueira na cidade de Serrinha - BA. **OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa, v. 10, n. 3, p. 594-603, 2016.

OCULTOREVELADOAVERDADE. **o nosso campo de visao espectro**. Disponível em: <<http://ocultoreveladoaverdade.blogspot.com.br>>. Acesso em: 03 maio 2017.

OKE, T. R. Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. **Energy and Buildings**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 1984.

OLGYAY, V. **Design with climate: bi climatic approach to architectural regionalism**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1963.

OLIVEIRA, Â. S. **Influência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas**. 2011. 149p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - UFMT. Cuiabá. 2011.

OLIVEIRA, Â. S. et al. Avaliação do conforto térmico de habitações de interesse social em Cuiabá-Mato Grosso. **UNICIÊNCIAS**, v. 12, 2008.

OLIVEIRA, Â. S. et al. Sombreamento arbóreo e microclima de praças públicas em cidade brasileira de clima tropical continental. **Pluris**, 2010.

OLIVEIRA, Â. S. et al. Benefícios da arborização em praças públicas: o caso de Cuiabá/MT. **REGET - Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 9, p. 1900-1915, fev 2013.

OLIVEIRA, Â. S. et al. Variáveis meteorológicas e cobertura vegetal de espécies arbóreas em praças urbanas em Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 389-400, 2013.

OLIVEIRA, M. M. F. D. Radiação ultravioleta / índice ultravioleta e câncer de pele no Brasil: condições ambientais e vulnerabilidades sociais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, n. ano 9, jul-dez 2013.

OLIVEIRA, S.; ANDRADE, H.; VAZ, T. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. **Build and Environment**, v. 46, n. 11, p. 2186-2194, nov 2011.

OLIVEIRA, T. H. D.; PIMENTEL, R. M. D. M.; GALVÍNCIO, J. D. Vegetation fragment influence over urban climate. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 1, p. 72-86, 2017.

PARISI, A. V. Effects of tree shade on solar ultraviolet exposures to humans, p. 1-3, oct 2002. Disponível em: <www.researchgate.net/publication/237642035>. Acesso em: 19 mar. 2018.

PARISI, A. V. et al. Penetration of solar erythral UV radiation in the shade of two common Australian trees. **Health Physics: The Radiation Safety Journal**, v. 76, n. 6, p. 682-686, 1999.

PARISI, A. V. et al. Diffuse component of solar ultraviolet radiation in tree shade. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 54, p. 116-120, jan 2000.

PARISI, A. V. et al. Personal exposure distribution of solar erythral ultraviolet radiation in tree shade over summer. **Physics in Medicine & Biology**, v. 45, p. 349-356, 2000.

PARISI, A. V.; TURNBULL, D. J. Shade Provision for UV Minimization: A Review. **Photochemistry and Photobiology**, v. 90, p. 479-490, 2014.

PARK, S. S.; LEE, Y. G.; KIM, J. H. Impact of UV-A Radiation on Erythral UV and UV-index estimation over Korea. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 32, p. 1639-1646, dez 2015.

PATRÍCIO, P. P. M. **Florística e diagnóstico da arborização da Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT. Cuiabá, p. 106. 2017.

PENG, F. et al. Historical Gis data and changes in urban morphological parameters for the analysis of urban heat islands in Hong Kong. In: **XXIII ISPRS Congress**, Prague, Czech Republic, 12-19 jul 2016.

RANCURA, R. L. **Conforto térmico em espaços externos: feiras livres em Indaiatuba/SP**. 2011. [s.n.] Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Unicamp. Campinas. 2011.

REBOUÇAS, P. M. et al. Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 2, p. 115-125, jun 2015.

RIBEIRO, K. F. A. **Análise da influência da vegetação arbórea no comportamento térmico dos diferentes tipos de revestimento dos solo**. 2016. 157p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT. Cuiabá. 2016.

RIBEIRO, K. F. A. et al. Análise da temperatura interna e superficial em diferentes sombreamentos arbóreos. **Revista SBAU**, Piracicaba - SP, v. 10, n. 2, p. 40-60, 2015.

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

ROBBERECHT, R.; CALDWELL, M. M. Leaf epidermal transmittance of ultraviolet radiation and its implications for plants sensitivity to ultraviolet-radiation induced injury. **Oecologia**, v. 32, p. 277-287, 1978.

ROBINSON, N. **Solar radiation**. Amsterdam, NED: Elsevier Publishing Company, 1966. 347 p.

ROBSON, T. M. et al. Re-interpreting plant morphological responses to UV-B radiation. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, p. 856-866, 2015.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2. ed. São Paulo: Projeto, 2000.

ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M. C. D. J. A.; NOGUEIRA, J. D. S. Interferência microclimática na utilização do telhado verde para regiões tropicais: estudo de caso em Cuiabá, MT. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Cascavel, v. 9, n. 9, p. 1959-1970, fev 2013.

ROZEMA, J. et al. UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. **TREE**, v. 12, n. 1, p. 22-28, jan 1997.

SABBURG, J.; WONG, J. The effect of clouds enhancing UVB irradiance at the earth's surface: a one year study. **Geophysical Research Letter**, v. 27, n. 20, p. 3337-3340, 2000.

SANTANA, O. A. et al. Árvores potenciais a danos urbanos: manejo através da tecnologia, educação e mobilização social. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 11, n. 23, p. 71-88, 2015.

SANTOS, F. M. D. et al. Análise do clima urbano de Cuiaba-MT-Brasil por meio de transectos móveis. In: **XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC**, Paranoá, Brasília, n. 11, p. 45-54. 2014.

SANTOS, F. M. D. M. **Influência da ocupação do solo na variação termo-higrométrica na cidade de Cuiabá/MT**. 2012. 87p. Tese (Doutor em Física Ambiental) - UFMT. Cuiabá. 2012.

SANTOS, M. B. **Aplicação do método de Kriging para estimar campos de radiação solar: um estudo para o nordeste do Brasil**. 2014. 114p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE. São José dos Campos/SP. 2014.

SATO, L. Y. et al. Análise comparativa de algoritmos de árvore de decisão do sistema WEKA para classificação do uso e cobertura da terra. In: **XVI SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu-PR, 13 a 18 abr 2013.

SCHMALWIESER, A. W. et al. UV Index monitoring in Europe. **Photochemical & Photobiological Sciences**, n. 16, p. 1349-1370, 2017.

SCHMITZ, L. K. **Reestruturação urbana e conforto térmico em Curitiba/PR - diagnóstico, modelagem e cenários**. 2014. 287p. Tese de Doutorado em Geografia - UFPR. Curitiba. 2014.

SHASHUA-BAR, L. et al. Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. **International Journal of Climatology**, v. 30, p. 44-57, mar 2010.

SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL, E. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. **Landscape and Urban Planning**, v. 92, n. 3-4, p. 179-186, sep 2009.

SILVA, A. A. Outdoor exposure to solar ultraviolet radiation and legislation in Brazil. **Health Physics**, v. 110, n. 6, p. 623-626, jun 2016.

SILVA, A. V. R. D. **Nossa estrela - o Sol**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

SILVA, E. M.; PINTO ALBERTO, C. D. Q.; AZEVEDO, L. A. D. **Manejo da irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira**. Planaltina/DF: EMPRAPA-CPAC, v. 61, 1996.

SILVA, F. R. **Estudo da radiação ultravioleta na cidade de Natal - RN**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UFRN. Natal. 2008.

SILVA, G. C. **Florescimento e frutificação de mangueira (*Mangifera indica* L.) Cv ROSA promovidos por diferentes doses de paclobutrazol**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB. Vitória da Conquista, p. 66. 2006.

SILVA, G.; ROMERO, M. Sustentabilidade urbana aplicada: análise de processos de dispersão, densidade e uso e ocupação do solo para a cidade de Cuiabá/MT. **EURE**, v. 41, n. 122, p. 209-237, jan 2015.

SILVA, J. F.; FERREIRA, H. D. S.; SANTOS, O. Considerações sobre os estudos em clima urbano. **GEAMA**, Recife, v. 1, n. 2, p. 162-175, set 2015.

SILVA, K. B. et al. Identification of urban heat islands as a subsidy for creation of green areas. **Gaia Scientia**, v. 10, n. 4, p. 209-222, 2016.

SILVA, P. D.; TARIFA, J. R. Ritmo da temperatura no clima local da cidade de Cuiabá-Várzea Grande/MT. **Biodiversidade**, v. 16, n. 2, p. 2-20, 2017.

SILVA, W. L. **Morfogênese, características estruturais e acúmulo de forragem em pastos de capim-tifton-85 manejados com diferentes IAF residual**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Estadual Paulista - UEP. Jaboticabal, p. 74. 2010.

SINGH, R. et al. Study of erithemal dose variation and exposure time for different UV-B dose levels at Indian mainland and Antarctica. **ResearchGate**, mar 2015.

SOUSA, A. M. L.; SOUZA, P. J. O. P.; VITORINO, M. I. Avaliação do IAF para uso na estimativa de produtividade da manga: estudo de caso em Cuiarana - Pará. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, 30/04 a 05/05 abr 2011. 09-16.

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

SOUZA, W. C. et al. Levantamento dendrológico da área urbana do município de Bom Jesus, sul do estado do Piauí. In: **IX Congresso de Ecologia do Brasil**, São Lourenço - MG, 13-17 set 2009. 1-2p.

STAPLETON, A. E. Ultraviolet radiation and plants: burning quaestions. **The plant cell**, v. 4, p. 1353-1358, nov 1992.

STEVEN, M. D. et al. Foliage cover and radiation interception. **Field Crops Research**, v. 13, p. 75-87, 1986.

STREILING, S.; MATZARAKIS, A. Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: a case study. **Journal of Arboriculture**, v. 29(6), p. 309-316, jul 2003.

TAN, K. C.; MOHD, H. S. L.; JAFRI, Z. M. Study on solar ultraviolet erythema dose distribution over peninsular Malaysia using ozone monitoring instrument. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, jan 2017.

TOCANTINS, I. **Praças públicas em Cuiabá/MT: influências nas variáveis microclimáticas**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - UFMT. Cuiabá, p. 69. 2015.

TSUTSUMI, J.-I. G.; ISHII, A.; KATAYAMA, T. Quantity of plants and its effect on local air temperature in an urban area. In: **Fifth international conference on urban climate**. Lodz - Poland: [s.n.]. 2003.

TURNBULL, D. J.; PARISI, A. V. Spectral UV in public shade settings. **Journal of Photochemistry and photobiology**, v. 69, p. 13-19, out 2003.

VALIN JR, M. D. O. V. et al. Análise da variação higrótérmica entre área rural e urbana em período de nível crítico de umidade no vale do rio Cuiabá. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1392-1399, mai-ago 2015.

VALLADARES, F. et al. Shedding light on shade: ecological perspectives of understorey plant life. **Plant Ecology & Diversity**, Aug 2016.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital, 2005. 522 p.

VERICAT, G. P.; PIQUÉ, N. M.; TRANSOBARES, R. A. Factores ambientales que afectan al crecimiento de las cuatro principales especies de coníferas en Cataluña. In: **6º Congreso Forestal Español**, Catalunha, 10-14 junio 2013. p.1-13.

VILELA, W. A. **Estudo, desenvolvimento e caracterização de radiômetros para medidas da radiação solar**. 2010. 178p. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais) - INPE. São José dos Campos. 2010.

WULF, H. C.; ERIKSEN, P. UV-indeks og dets betydning. **VIDENSKAB**, p. 1-4, 2010.

YILMAZ, S. et al. Determination of climatic differences in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. **Building and Environment**, v. 42, p. 1604-1612, 2007.

YOSHINO, M. Development of urban climatology and problems today. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 1990.

YSASI, G. G.; RIBERA, L. J. C. Analysis of two kinds of tree as physical barriers against erythema UVB radiation received. **Photochemistry and Photobiology**, v. 89, p. 724-729, 2013.

ZAMPRONI, K.; BIONDI, D.; BOBROWSKI, R. Avaliação quali-quantitativa da espécie *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch. na arborização viária de Bonito-MS. **Revsbau**, Piracicaba, v. 11, n. 2, p. 45-58, 2016.

ZARATE-VALDEZ, J. L. et al. Prediction of leaf area index in almonds by vegetation indexes. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 85, p. 24-32, mar 2012.

ZHANG, H. et al. Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. **Applied Geography**, p. 121-133, 2013.