

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



YAGO VINÍCIUS MOTTA BENEDITO

**Influência de áreas verdes no clima local e no conforto térmico da Região
Metropolitana de São Paulo avaliada com estações meteorológicas**

São Paulo

2021

YAGO VINÍCIUS MOTTA BENEDITO

**Influência de áreas verdes no clima local e no conforto térmico da Região
Metropolitana de São Paulo avaliada com estações meteorológicas**

Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade

Dissertação apresentada ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Meteorologia de Pós-graduação em Meteorologia.

Área de Concentração: Interação Atmosfera – Biosfera

Orientador: Prof. Dr. Humberto Ribeiro da Rocha

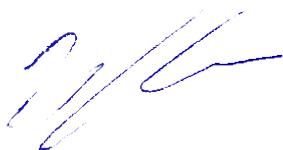
São Paulo
2021

Dissertação de autoria de Yago Vinícius Motta Benedito, sob o título “Influência de áreas verdes no clima local e no conforto térmico da Região Metropolitana de São Paulo avaliada com estações meteorológicas” apresentada ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Meteorologia pelo Programa de Pós-graduação em Meteorologia, na área de concentração Interação Atmosfera - Biosfera, aprovada em 10 de dezembro de 2021 pela comissão julgadora constituída pelos doutores:



Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves - IAG/USP

(por videoconferência)



Por Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves

Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte - FAU/USP

(por videoconferência)



por Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves

Profa. Dra. Beatriz Fátima Alves de Oliveira - Fundação Oswaldo Cruz

(por videoconferência)

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que me motivaram ao longo de todo o tempo do Mestrado, a fim de que eu não desistisse em nenhum momento da longa trajetória até a conclusão do percurso acadêmico. Dentre eles, agradeço àqueles de minha cidade natal que se mantiveram ao meu lado mesmo à distância, desde os membros da família até os meus colegas de profissão.

Agradeço aos meus amigos de classe que se tornaram indispensáveis na construção de conhecimento, tanto nas disciplinas, quanto no desenvolvimento da pesquisa e no convívio social. Destaco aqueles que me ensinaram e me tornaram um pouco mais “meteorologista”, assim como eles. Sem o conhecimento básico que me promoveram, certamente não teria alcançado o lugar que cheguei. Agradeço as amizades criadas até aqui, assim como meus companheiros de sala, pelos momentos de alívio de descontração.

Agradeço aos profissionais educadores que me permitiram uma formação sólida, não só aqueles do programa de Mestrado de Meteorologia, mas aqueles da minha própria graduação, que se mostraram presentes mesmo durante a Pós. Agradeço àqueles que se mostraram dispostos a me ouvir quando precisei de apoio para continuar.

Agradeço a Deus pelo amparo e sustento desde o primeiro dia de transferência para São Paulo e no contexto da pandemia da COVID-19. Concluir este Mestrado foi a prova real de sua existência.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de fomento promovida durante parte do desenvolvimento da pesquisa, fundamental para minha manutenção nos estudos e para formação acadêmica.

“Ora et labora”

(São Bento)

Resumo

BENEDITO, Yago Vinícius Motta. Influência de áreas verdes no clima local e no conforto térmico da Região Metropolitana de São Paulo avaliada com estações meteorológicas. 2021. 132 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Estudos que envolvam a análise interdisciplinar entre variáveis meteorológicas e dados ambientais ainda são escassos e limitados na área acadêmica. Apesar da interconexão dos elementos naturais nos processos biofísicos do meio ambiente, existem avanços tímidos em pesquisas de multiriscos, que possam relacionar o comportamento de certos elementos do clima e da sociedade, por exemplo. No intuito de promover um avanço neste setor da ciência e entender melhor o papel da infraestrutura verde no espaço construído urbano, buscou-se compreender a analogia de três tipologias de variáveis entre si, sendo elas, as variáveis meteorológicas medidas em estações (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e irradiação solar), as variáveis ambientais (porcentagem de cobertura vegetal no espaço urbano obtidas por satélite e informações geográficas de altura e distância da costa) e as variáveis comportamentais calculadas (conforto térmico da população humana). A partir desta premissa, lançou-se ao estudo para a Região Metropolitana de São Paulo, onde foram obtidos os valores das variáveis mencionadas em diversos pontos do território. Quanto aos dados meteorológicos, foram recolhidas e tratadas estatisticamente as medições entre janeiro de 2018 e dezembro de 2019. Para toda a área de estudo, foi adquirido o *Normalized Difference Vegetation Index* para a obtenção das informações referentes à presença de infraestrutura verde na malha urbana paulista, através do produto do satélite Sentinel-2A. Para integrar o fator de comportamento humano, recorreu-se a dois índices de conforto térmico humano, sendo o *Wet Bulb Globe Temperature* pela metodologia de *Liljegren* em ambientes externo, e o *Universal Thermal Climate Index*. Estes índices indicaram boa correlação entre si e despontaram situações críticas nas porções Centro-Sul da área de estudo, áreas com menor concentração de vegetação e com agravamento dos casos críticos por parte das variáveis meteorológicas, com altas temperaturas, ventos fracos e alta Umidade Relativa. Percebeu-se que a Temperatura Máxima foi a variável que mais influenciou os resultados obtidos, assim como a presença de vegetação para o raio de 100m. Em relação a uma estação inteiramente imersa em vegetação e às estações desprovidas de cobertura vegetal em sua totalidade no raio de 100m, a diferença de temperatura chegou a 5,1°C, enquanto que este resultado foi similar a 5,4°C para o índice WBGT. Em comparação a estações próximas e com diferenças de cobertura vegetal, a diferença do WBGT alcançou 2,8°C a menos nos pontos de medição com maiores porcentagens de infraestrutura verde. Por fim, percebeu-se que a vegetação influencia nas três variáveis meteorológicas principais, sendo o maior impacto retratado para a Temperatura Máxima. Ainda que o impacto para a Umidade Relativa e a Velocidade do Vento possam favorecer o desconforto por calor, mostrou-se que a redução de temperatura promovida pela vegetação é suficiente para melhores condições térmicas, justificando a aplicação da infraestrutura verde.

Palavras-chave: WBGT, UTCI, Infraestrutura Verde, Áreas Verdes, Conforto Térmico Urbano.

Abstract

BENEDITO, Yago Vinícius Motta. Influence of green areas on local climate and thermal comfort of São Paulo's Metropolitan Region evaluated with meteorological stations. 2021. 132 f. Dissertation (Master of Meteorology) – Astronomy, Geophysical and Atmospheric Sciences Institute, University of São Paulo, São Paulo, 2021.

Studies involving interdisciplinary analysis between meteorological variables and environmental data are still scarce and limited in science. Despite the interconnection of natural elements of biophysical processes of the environment, there are timid advances in multi-risk researches, which can relate the behavior of certain elements of climate and society. In order to promote a breakthrough in this sector of science and better understanding about the role of green infrastructure in urban built space, we pursued to comprehend the analogy of three typologies of variables to each other, namely, the meteorological variables measured (Air Temperature, Relative Humidity, Wind Speed and Solar Irradiation), environmental variables (percentage of vegetation cover in urban space obtained by satellite and geographic information on height and distance from the coast) and behavioral variables (thermal comfort of the human population). From this premise, the study was launched for the Metropolitan Region of São Paulo, where the values of the variables mentioned in different points of the territorial space were obtained. As for meteorological data, measurements were collected and statistically analyzed between January 2018 and December 2019. For the entire study area, the Normalized Difference Vegetation Index was acquired to obtain information regarding the presence of green infrastructure in the urban area of São Paulo, through the Sentinel-2A satellite product. To integrate the human behavior factor, two human thermal comfort indices were used, the Wet Bulb Globe Temperature by the Liljegren methodology in outdoor environments, and the Universal Thermal Climate Index. These indices indicated a good correlation with each other and highlighted critical situations in the Center-South portions of the study area, areas with a lower concentration of vegetation and with worsening of critical cases due to meteorological variables, with high temperatures, weak winds and high Relative Humidity. It was noticed that the Maximum Temperature was the variable that most influenced the obtained results, as well as the presence of vegetation for the range of 100m. In relation to a station entirely immersed in vegetation and to stations lacking vegetation cover in its entirety within a range of 100m, the temperature difference reached 5.1°C, while this result was similar to 5.4°C for the WBGT index. Compared to nearby stations and with differences in vegetation cover, the WBGT difference reached 2.8°C less at measurement points with higher percentages of green infrastructure. Finally, it was noticed that the vegetation influences the three main meteorological variables, with the greatest impact being portrayed for the Maximum Temperature. Although the impact on Relative Humidity and Wind Speed may favor discomfort due to heat, it was shown that the temperature reduction promoted by the vegetation is sufficient for better thermal conditions, justifying the application of green infrastructure.

Keywords: WBGT, UTCI, Green Infrastructure, Green Areas, Urban Thermal Comfort, Natural-based Solutions.

Lista de figuras

Figura 1 - Mecanismos de termorregulação	30
Figura 2 - Mapa da Região Metropolitana de São Paulo e sua Divisão Sub-regional	41
Figura 3 - Matriz de Correlação de Temperaturas Máximas	44
Figura 4 - Mapa das estações meteorológicas	45
Figura 5 - Esquematização do modelo proposto por Fiala et al., 2001	48
Figura 6 - Interface inicial do RayMan	50
Figura 7 - Interface de Input de dados	50
Figura 8 - Interface do BioKlima 2.6 com a base de dados já organizada. Função calculadora em destaque	51
Figura 9 - Etapa de cálculo do UTCI no BioKlima 2.6	51
Figura 10 - Relação de irradiância solar incidente entre estações a) IAG x ZOO e b) IAG x BOT	54
Figura 11 - Relação entre os valores máximos médios de WBGT e UTCI para a) estação quente e b) estação fria	56
Figura 12 - Relação entre os índices WBGT x UTCI dos valores máximos médios anuais do percentil 95%	57
Figura 13 - Relação entre Temperatura do Ar em dias de calor crítico e os índices a) UTCI e b) WBGT	63
Figura 14 - Relação entre Velocidade do Vento em dias de calor crítico e os índices a) UTCI e b) WBGT	64
Figura 15 - Relação entre Umidade Relativa do Ar em dias de calor crítico e os índices a) UTCI e b) WBGT	64
Figura 16 - Relação entre percentis de Temperatura máxima e altitude a) percentil 5% (P5%), b) P50%, c) P95% e distância do mar d) P5%, d) 50%, e) 95%	66
Figura 17 - Relação entre percentis de Umidade Mínima e altitude a) percentil 5% (P5%), b) P50% e distância do mar, c) P5%, d) 50%	67
Figura 18 - Dispersão entre índices, percentis de 5%, 50% e 95% e variáveis geográficas (Altitude e Distância do Mar)	68
Figura 19 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. BOT para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m; DOM para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m ...	69

Figura 20 - Imagens de satélites com demarcação do raio de 500m de a) BOT e b) DOM	69
Figura 21 - Diferenças entre o NDVI dos raios a) 100m e 300m e b) 100m e 500m. Eixo Y em escala logarítmica	71
Figura 22 - Relação NDVI 100m x Temperatura Máxima diária (percentil 95%). Abcissa em escala logarítmica.....	73
Figura 23 - Relação NDVI 100m x Umidade Relativa Mínima diária (percentil 5%). Abcissa em escala logarítmica.....	74
Figura 24 - Relação NDVI 100m x Velocidade do Vento (percentil 5%). Abcissa em escala logarítmica	75
Figura 25 - Comparações entre valores máximos e mínimos dos índices de conforto térmico e cobertura vegetal (NDVI médio).....	77
Figura 26 - NDVI das estações a) LAP, b) PTE, c) CAP, d) CLI, e) INT, f) CAD	82
Figura 27 - Mapas das variáveis meteorológicas e ambientais	86
Figura 28 - a) Cobertura vegetal na estação BOT; b) Equipamentos de medição.	102
Figura 29 - Caracterização do entorno de estação meteorológica BOT para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado.....	103
Figura 30 - Imagem de satélite das áreas de influência de BOT.	103
Figura 31 - Caracterização do entorno de estação meteorológica ZOO para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.	104
Figura 32 - Entorno do ponto de medição ZOO.....	105
Figura 33 - Caracterização do entorno de estação meteorológica IAG para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.	106
Figura 34 - Caracterização do entorno de estação meteorológica PJA para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.	107
Figura 35 - Caracterização do entorno de estação meteorológica PAR para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.	108

Figura 36 - Caracterização do entorno de estação meteorológica SMT para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) entorno da estação SMT, e) imagem de satélite	109
Figura 37 - Caracterização do entorno de estação meteorológica BUT para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.	110
Figura 38 - a) Estação LAP; Foto de satélite de b) LAP e c) PTE	112
Figura 39 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. PTE para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m; LAP para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m; f) imagem de satélite	112
Figura 40 - Caracterização do entorno de estação meteorológica BOI para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	113
Figura 41 - Caracterização do entorno de estação meteorológica TRE para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	114
Figura 42 - Caracterização do entorno de estação meteorológica FRO para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	116
Figura 43 - Caracterização do entorno de estação meteorológica MIR para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	117
Figura 44 - Caracterização do entorno de estação meteorológica PEN para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite; e) foto da estação	118
Figura 45 - Caracterização do entorno de estação meteorológica DOM para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	119
Figura 46 - Caracterização do entorno de estação meteorológica ESE para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	120
Figura 47 - a) Localização Geográfica de VMA e b) Localização Geográfica de VPR; c) instalação da estação VPR.....	121

Figura 48 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. VMA para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m; VPR para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m; d) imagem de satélite	122
Figura 49 - Caracterização do entorno de estação meteorológica IPI para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	123
Figura 50 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. CAP para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m; CLI para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m; imagem de satélite de f) CAP e g) CLI	124
Figura 51 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. INT para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m; CAD para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m; imagem de satélite de f) CAP e g) CLI	126
Figura 52 - Caracterização do entorno de estação meteorológica CAR para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	128
Figura 53 - Caracterização do entorno de estação meteorológica GUA para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	129
Figura 54 - Caracterização do entorno de estação meteorológica MAU para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite	130

Lista de tabelas

Tabela 1 - Relação de Estações Meteorológicas selecionadas	46
Tabela 2 - Faixas dos índices de conforto térmico	52
Tabela 3 - Conforto térmico do índice UTCI. Valores máximos e mínimos diários por pontos de medição ao longo do ano.....	59
Tabela 4 - Conforto térmico segundo o índice WBGT. Valores máximos e mínimos para aos pontos de medição ao longo do ano	61
Tabela 5 - Variação da fração de vegetação estimada pelo NDVI em porcentagem entre os raios de 100m e 300m do ponto de medição.....	70
Tabela 6 - Coeficiente de correlação de Pearson entre NDVI paras as respectivas variáveis meteorológicas	76
Tabela 7 - Coeficiente de correlação de Pearson entre NDVI e índices de conforto térmico por raios de influência	78
Tabela 8 - Diferenças entre índices de conforto térmico em relação às medianas.....	82

Sumário

1. Introdução	17
1.1 <i>Infraestrutura verde em áreas urbanas</i>	18
1.2 <i>As soluções baseadas na natureza.....</i>	24
1.3 <i>Mudanças climáticas</i>	26
1.4 <i>O conforto térmico e a saúde humana.....</i>	28
1.5 <i>Variáveis meteorológicas</i>	32
1.6 <i>Conforto térmico e perdas laborais.....</i>	33
1.7 <i>Vestimentas utilizadas.....</i>	34
1.8 <i>Índices de conforto térmico</i>	35
1.8.1 <i>Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)</i>	37
1.8.2 <i>Universal Thermal Climate Index (UTCI).....</i>	38
2. Objetivo.....	40
3. Metodologia	41
3.1 <i>Caracterização da área – Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)....</i>	41
3.2 <i>Seleção das estações meteorológicas</i>	42
3.3 <i>Índices de conforto térmico utilizados.....</i>	46
3.3.1 <i>WBGT.....</i>	46
3.3.2 <i>UTCI.....</i>	47
3.3.3 <i>Faixas de classificação.....</i>	52
3.4 <i>Cobertura Vegetal.....</i>	53
4. Resultados e discussões.....	55

<i>4.1 Conforto Térmico em Classes Qualitativas</i>	55
<i>4.2 Conforto Térmico em Classes Quantitativas</i>	57
<i>4.3 Conforto Térmico e Variáveis Meteorológicas</i>	62
<i>4.4 Conforto Térmico e Fatores Geográficos</i>	64
<i>4.5 Conforto Térmico e Cobertura Vegetal</i>	68
4.5.1 NDVI e condições meteorológicas	72
4.5.2 NDVI e conforto térmico	76
<i>4.6 Eficácia da infraestrutura verde</i>	78
5. Conclusão	87
Apêndice I - Caracterização das estações meteorológicas	102
Apêndice II - Cálculo do WBGT pela metodologia de Liljegren	131
Apêndice III – Gráficos de percentis do UTCI máximo entre BOT, ZOO e demais estações	135

1 Introdução

Com a dispersão e a evolução da problemática provocadas pelas mudanças climáticas, despertou-se a indagação a respeito das consequências que estas modificações causam no meio ambiente e na saúde humana ao longo das últimas décadas. A partir de então, muitos estudos e pesquisas começaram a ser desenvolvidos para buscar respostas a estas perguntas, assim como encontrar soluções com o objetivo de mitigar os prováveis impactos decorrentes. Dessa maneira, temas relativos à aplicação de áreas verdes e conforto térmico passaram a ganhar espaço e a serem discutidos através da ótica da meteorologia. Através desta interdisciplinaridade, se tornou possível relacionar as observações climatológicas assim como as previsões futuras, com os organismos humanos, os quais estão inteiramente sujeitos às variáveis do clima e do tempo de cada localidade.

Somadas a estas questões, a expansão urbana das últimas décadas delimitou em pequenas porções as áreas verdes públicas, as quais se tornaram espaços restritos se comparados com as estruturas das cidades. Por um momento, passou-se a encarar a natureza e seus componentes como um elemento problemático, que atrapalha o bom funcionamento da infraestrutura cinza nos espaços, sendo elas as áreas construídas, as estruturas de abastecimento de água e esgoto, transmissão de energia ou ainda a malha urbana no que tange às estruturas viárias. Isso provocou a redução da cobertura vegetal e o quase desaparecimento dos componentes bióticos do cotidiano das pessoas (GOMES e SOARES, 2003). Contudo, é sabido que a vegetação desenvolve uma importante função no equilíbrio ecológico em diversas esferas. Por conseguinte, nos últimos anos resgatou-se o valor dos referidos elementos para a sociedade em geral, principalmente quanto aos serviços ambientais prestados para o controle da poluição e da regulação do clima. Da mesma maneira, redescobriu-se o valor do espaço natural inserido no ambiente das cidades como um item essencial para garantir a qualidade de vida da população. Dentre estes, podemos destacar a variação das condições de conforto térmico desempenhado em especial pelas árvores (SHAMS et al., 2009), o que vai ao encontro daquilo abordado anteriormente. Nesta perspectiva, o questionamento da verdadeira eficácia das estruturas verdes dentro das cidades pode ser questionado ante a sua aplicação, o que motiva a ciência e as pesquisas a entenderem qual é a efetiva relação entre cidade e o “verde”.

1.1 Infraestrutura verde em áreas urbanas

As áreas verdes nas cidades ao longo dos anos sofreram mudanças de uso e funcionalidade com a transformação dos ambientes urbanos. Inicialmente criados com objetivos puramente paisagísticos e urbanísticos em países como França e Inglaterra no período do Renascimento, ou ainda com objetivos específicos como os hortos botânicos do período da Idade Média (LOBODA e DE ANGELIS, 2005; BARTALINI, 1999), as áreas verdes só tomaram sua importância atual com o desenvolvimento de grandes núcleos urbanos e da conscientização ambiental. Daí, surge o conceito de “Infraestruturas Verdes” em 1994 no relatório da Comissão de *Greenways* da Flórida, onde se desenvolveu a ideia de que estas estruturas eram tão importantes quanto, ou mais, às aquelas denominadas “cinzas”, as quais abrangem energia elétrica, construções, abastecimento de água, tratamento de esgoto, dentre outras, uma vez que proporcionam o bom funcionamento dos componentes ambientais necessários para o desenvolvimento humano e qualidade de vida, segundo Firehock (2010). Pode ainda ser definido por Madureira (2008) como um sistema integrado de áreas verdes multifuncionais que relaciona a cidade e seus usuários quanto a uma infraestrutura biofísica e social integrante do território.

Guzzo (1999) apontou três funções para estes espaços dentro das cidades, sendo eles o ecológico, o estético e o social. Dentre eles, o primeiro vem sendo empregado como um fator de mitigação do impacto das interferências das atividades antrópicas no meio ambiente, uma vez que se utiliza o espaço vegetal dentro das cidades com o intuito de reter poluição atmosférica, promover a infiltração superficial como auxiliar na drenagem urbana, promover o sombreamento, regular o microclima dentro das cidades, propiciar a oxigenação dos ambientes, reduzir da velocidade dos ventos e ainda servir como barreira de ruídos. Estes benefícios, das esferas sociais e estéticas, são descritos em diversos estudos, seja através do conceito de arborização viária (MILANO, 1984), a aplicação de áreas verdes em maiores dimensões (VIEIRA, 2004) e a eficiência dos adensamentos florestais (NUCCI, 2008). Comparações entre diversos cenários também ganharam enfoques na pesquisa no século XXI, seja desde a dualidade entre áreas construídas e outras vegetadas (TOLEDO e SANTOS, 2008), seja a observação de indivíduos sobre influência direta de florestas urbanas quanto aos impactos na saúde humana (LONDE e MENDES, 2014).

Atualmente, buscam-se ferramentas para comprovar a necessidade da utilização de áreas verdes em espaços urbanos como fonte de fornecimento de serviços ambientais, uma vez que são apontados os custos de manutenção destes espaços, sem levar em consideração a economia de outros custos em outras áreas com os mesmos serviços citados anteriormente. Com isto, pesquisas e aplicações já foram desenvolvidas com este objetivo, além de auxiliar na gestão urbana dos espaços públicos, assim como a valoração de espécies (SILVA FILHO e TOSETTI, 2010) ou cálculos de índices para uma melhor tomada de decisão (SILVA FILHO et al., 2002). Ainda assim, levanta-se o questionamento de quanto valeria economicamente a implantação de espécies vegetadas e qual a economia seria obtida por parte dos governos em outras esferas (ALMEIDA, 2006). A partir da ideia de que o contato da população com árvores e ambientes naturais poderia acarretar impactos benéficos na saúde e na drenagem urbana, os recursos públicos poderiam ser poupados nestes setores através da implantação de novos elementos do “verde” (WOLF, 2004).

Dentro deste conceito, um possível norteador para a definição da quantidade/dimensão de infraestruturas verdes existentes no espaço urbano se trata do Índice de Áreas Verdes por habitante (IVA). Cavalheiro e Del Piccha (1992) recomendam que existam 12m² de área verde por habitante de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS). Contudo, segundo Resende et al. (2009) este índice é calculado sem levar em consideração as condições de atividades metabólicas das espécies locais. Em regiões tropicais, como é o caso do Brasil, as espécies existentes são diferentes daquelas encontradas nos trópicos, por exemplo. Para atender uma perspectiva mais adequada à realidade climática e vegetativa do país, a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) recomenda um mínimo de 15m² por habitante para proporcionar uma adequada melhoria na qualidade de vida através dos serviços ambientais prestados por estes recursos naturais. Enquanto isso, o IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) determina 8 m²/hab. para aquelas cidades localizadas no bioma Mata Atlântica, uma porção predominantemente tropical (MELLO-THÉRY, 2011).

Assis (1990) e Spirn (1995) em seus estudos destacam pontos interessantes quanto ao tamanho e espacialidade das áreas verdes numa cidade. Um único parque grande contribui menos para o microclima de uma cidade do que pequenas outras áreas verdes espalhadas, uma vez que estas várias outras infraestruturas estarão beneficiando um maior

número de pessoas espalhadas e atuação em uma maior gama de condições climáticas da malha urbana (DUARTE e SERRA, 2003). Isto irá proporcionar maior conforto térmico e outros benefícios já mencionados a uma maior parcela da população de uma cidade. Levando este fator em consideração, o IVA ao ser aplicado dentro de um espaço urbano deve ter como premissa a aplicação deste índice por toda a malha espacial, e não apenas concentrar a densidade de árvores em áreas protegidas ou em espaços já projetados para tal. O IVA deve ser aplicado por regiões, contando com espaços como praças, corredores, avenidas e ambientes de ampla utilização da população, além de se descobrir quais são os pontos das cidades que mais necessitam dos serviços ambientais prestados pelo meio ambiente. Esta aplicação permite entender quais zonas são consideradas mais críticas no sentido da cobertura e ocupação dos solos (GARTLAND, 2010).

Em um espaço que conte com infraestrutura verde, assim como em outros ambientes naturais, as árvores desempenham papel importante na prevenção de erosão, manutenção da umidade do ar, sombreamento, auxílio na drenagem urbana por meio da infiltração vertical, capturam gases do efeito estufa como o gás carbônico (CO₂), regulam a amplitude térmica de efeitos como as ilhas de calor e ainda podem purificar o ar ao reter poluentes em sua estrutura (HERZOG e ROSA, 2010). Somadas as diversas árvores de outras estruturas verdes, obtém-se uma floresta urbana, na qual uma cidade passa a ser inserida (e não o contrário), uma vez que a cidade usufrui dos serviços ambientais prestados pelas áreas verdes e se desenvolve a partir de então (NEWMAN, 2009). Uma das características destes espaços está na multifuncionalidade que podem desempenhar e na diversidade com que podem estar dispostas a fim de atender às necessidades de uma dada região. No contexto climático e das mudanças do clima, Herzog (2010) cita a resiliência conferida aos centros urbanos quanto à implementação das infraestruturas verdes, uma vez que se tornam uma saída para responder a eventos climáticos adversos, como casos de temperaturas extremas, alterações repentinas de tempo e ainda à qualidade do ar.

Diferentemente de algumas áreas verdes distribuídas pelas cidades, as infraestruturas verdes podem estar conectadas entre si, como por exemplo por meio de corredores verdes ou biológicos, integrados com o planejamento urbano e social e pensado no seu desenvolvimento e ganhos obtidos (FRANCO et al., 2013). Além disso, deve priorizar a locomoção limpa e eficaz dos usuários, sempre pensada para a melhoria do ambiente. Neste ponto, contempla-se inteiramente o conceito da infraestrutura verde

como uma malha interconectada dentro de uma outra malha, a urbana, assim como definido por Franco (2010).

Associado ao avanço urbano e o aumento da população, a degradação da terra vem ganhando proporções a ponto de levantar indícios e preocupações de suas consequências não só com a população humana, mas também com o clima, principalmente no que tange à concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, discutido pela comunidade científica e sociedade interessada (ELLIS et al., 2013). Segundo Foley et al. (2005), acredita-se que desde 1850, 35% aproximadamente do lançamento de CO₂ na atmosfera seja proveniente de mudanças do uso da terra, seja por sua degradação ou modificações de uso, como para a agricultura ou criação de cidades. Uma vez que, sendo um sumidouro de gases de efeito estufa, a vegetação pode se comportar como um aliado no controle das temperaturas do fenômeno do aquecimento global. Porém, a degradação do Meio Ambiente pode ser um facilitador do efeito reverso, o que indica que o desmatamento e a degradação do uso do solo podem gerar consequências diretas no clima, seja no aumento do albedo da superfície, na redução da fixação de carbono, na diminuição de filtragem dos poluentes no ar, assim como na redução de todos os demais serviços ambientais já citados (IPCC, 2019). Como consequências, temos o aumento das temperaturas globais, evidenciação de extremos, aumento do nível do mar, redução da resiliência do planeta e alterações no regime de chuvas, conforme aponta o relatório do IPCC a respeito das mudanças climáticas e uso da terra. É interessante apontar que todas estas consequências interferem direta ou indiretamente no conforto térmico.

A vegetação, por si só, estabelece uma conexão importante com o clima. Inicialmente, o sombreamento garante um abrandamento das temperaturas no espaço, uma vez que impede a incidência direta da radiação solar, assim como sua absorção. Dessa maneira, as áreas sob as árvores podem proporcionar melhores condições de conforto térmico se comparadas com o entorno (OMETTO, 1981). Lugo (1991) também aborda a importância da evapotranspiração. A eliminação de água em forma de vapor para a atmosfera garante um ambiente mais úmido, o que pode ser obtido não só com as árvores, mas com a vegetação em modo geral. Mota (1995) ainda menciona que o mesmo processo é responsável pela retirada de energia (calor latente) do ambiente em que se encontra, o que se torna um aliado na manutenção do equilíbrio térmico do espaço. Algo parecido também deve ser levado em conta por parte dos corpos d'água que interagem

com a atmosfera através da lâmina d'água, pela qual são realizadas trocas gasosas e evaporação de vapor, o qual contribuirá para a umidificação do ar (DIAS,1986).

Por fim, tem-se ainda um fator importante desempenhado pelas árvores maiores que se comportam como redutores da velocidade do vento, elemento importante quanto se trata de conforto térmico (MODNA e VECCHIA, 2003). Espaços com maiores edifícios e mais construídos tendem a proporcionar maiores rajadas de ventos, tendo as árvores um papel necessário na proteção principalmente para pedestres (FROTA e SCHIFFER, 2001). Aqui, mostra-se a importância de uma correta seleção das espécies para compor o ambiente.

No contexto de países tropicais, o clima é marcado por altas temperaturas e altos volumes de precipitação, o que impacta diretamente grandes núcleos urbanos que não estão preparados para tal. Ambientes impermeabilizados, regiões industrializadas, alto número de veículos circulantes na malha urbana, eliminação de grande parte da vegetação devido ao espaço limitado e as alterações no clima, contribuem para que estes ambientes frequentemente se caracterizam por caos urbano, e porque não climatológico, com frequências maiores de eventos extremos. Estes episódios conseqüentemente ocasionam alagamentos e problemas na qualidade de vida dos moradores (BONZI, 2015), o que poderia ser mais facilmente confrontado com o emprego das Soluções baseadas na Natureza (NbE). São Paulo, por exemplo, encontra-se numa região tropical do planeta e densamente urbanizada, o que denota um desafio a ser enfrentado quanto ao planejamento de novas infraestruturas verdes, uma vez que já ocorre a saturação de espaços no ambiente. Acredita-se que entre as décadas de 1930 e 2000, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) aumentou de 200km² para 2.407km², o que denota adensamento urbano, desmatamento e falta de espaços (SILVA DIAS et al., 2013). Neste sentido, muitos estudos vêm recorrendo à tipologia de telhados verdes como forma de garantir a presença de espaços vegetados em meio à urbanização e para mitigação das interferências no clima

Outras propostas também são utilizadas como medidas de adaptação aos extremos climáticos, como uso de pavimentos frios, plantação de árvores ao longo das cidades, áreas alagadas/corpos d'água, aplicação de materiais construtivos alternativos utilizados no espaço urbano, implementação de novas áreas verdes e telhados frios (*cool roof*), como elencado por Salata et al. (2017) em exemplos práticos em diferentes áreas do globo. Bonzi (2015) ainda menciona mais especificamente jardins de chuva, canteiros pluviais,

biovaleta, lagoa pluvial, alagado construído e parques lineares como potenciais componentes de infraestruturas verdes.

Mais especificamente no clima tropical, Rosseti et al. (2015) realizaram um estudo para esta tipologia (clima tropical continental) aplicando telhados verdes em áreas com densidade ocupacional alta, obtendo resultados de redução de até 1,1°C da temperatura ambiente em períodos secos através da medição em pontos estratégicos onde foram instaladas as estações meteorológicas provisórias, sendo 0,8°C a redução alcançada em épocas mais úmidas numa mesma porção territorial sob efeito do fenômeno de ilhas de calor provocadas pelo aquecimento urbano. Além disso, foram perceptíveis alterações da sensação térmica no entorno de ambientes com infraestrutura cinza coberta com 50%-100% de cobertura vegetal instalada por parte dos pedestres na mesma área de estudo. Também para a região tropical, Duarte e Serra (2003) mostraram uma forte correlação entre a ocupação do solo e a temperatura do ar média, principalmente no período noturno, chegando a alcançar variações de 3°C medidos nas estações meteorológicas entre pontos próximos com e sem cobertura vegetal. O estudo confirma a teoria de que ambientes mais habitados e com menores índices de áreas vegetadas influenciam negativamente no microclima da região.

Com o objetivo de contenção do avanço das temperaturas urbanas, Akbari et al. (2009) pontuou a efetividade do aumento do albedo da superfície com a implantação de telhados verdes, uma vez que estas coberturas compõem cerca de 25% da superfície citadina. O albedo pode ser definido como um parâmetro não dimensional usado para mensurar a capacidade de uma superfície refletir a irradiância solar, favorecendo a dissipação do calor para a atmosfera e evitando um superaquecimento de estruturas (QUIN et al., 2018) Segundo os autores, a aplicação destes elementos pode aumentar o albedo em 0,1, além de reduzir entre 10 e 20% dos custos de resfriamento de ambientes fechados. Taha (1997) também apresentou uma redução de mais de 2°C na temperatura do ar no espaço urbano com alterações do albedo pela vegetação. Favorecido pelas condições de evapotranspiração, o aumento do albedo evitou uma retenção maior do calor pelas estruturas e conseqüentemente, um menor aumento da temperatura do ar.

Todavia, é importante destacar as conclusões obtidas no estudo de Silva (2018) quanto à aplicação de paredes verdes em ambientes similares, quando apenas percepções microclimáticas foram encontradas, bastante localizadas no espaço imediato de implantação da infraestrutura verde, quando as reduções máximas de temperatura do ar

giraram entre 0,17°C e 0,68°C. Portanto, deve-se levar em consideração que estas opções de infraestrutura verde são interessantes para o espaço imediatamente próximo, não sendo a única solução a se lançar dado ao diminuto impacto no ambiente.

1.2 As soluções baseadas na natureza

Ao encontro da problemática abordada anteriormente, surge o conceito das Soluções Baseadas na Natureza (NbS). Este conceito ganhou força após a publicação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pela Organização das Nações Unidas, a ONU. Estes objetivos compreendem uma série de metas a serem implementadas pelos países que ratificaram o acordo, até 2030. Dentre os objetivos, destacam-se dois que se interligam: cidades e comunidades sustentáveis (objetivo nº11) e a ação contra a mudança global do clima (objetivo nº13). A junção destes dois objetivos recai sobre as propostas a serem pensadas para o ambiente urbano com o intuito de mitigar, adaptar ou conter os avanços das altas temperaturas, por exemplo (STÖBERL, et al., 2019). Encontrou-se, portanto, uma forma de se confrontar a problemática ao se introduzir a temática dos espaços verdes dentro destas questões, configurando como medidas eficazes e econômicas, capazes de contribuir para estes e outros objetivos preconizados pela ONU.

Neste âmbito, surge o presente conceito através da *International Union for Conservation of Nature (IUCN)*, como opções que lançam mão de recursos naturais para conter impactos negativos no ambiente e na sociedade. Em linhas gerais, constitui-se como uma proposta que se utiliza do funcionamento dos seres vivos e seus componentes para trabalhar em favor dos resultados que se espera no planeta. É uma estratégia de adaptação (RAASAKKA, 2013). Contudo, segundo ICLEI (2015), o conceito NbS começou a despontar em 2008 pela IUCN, mas só foi formalizado em 2009, através da criação do conselho de AbE pela Convenção da Diversidade Biológica (CBD), juntamente com a Conferência das Partes em Buenos Aires (COP-10, 2004) que apresentou e recomendou as medidas para enfrentamento das condições climáticas futuras.

Alguns princípios básicos são definidos por alguns autores, variando alguns tópicos de recomendação entre eles, sem perder o conceito fundamental. De acordo com Colls et al. (2009), o principal princípio da AbE deveria ser a redução dos estresses ambientais relacionados ao clima e não só, além de envolver as comunidades locais e

demais parceiros. Além disso, deve-se adotar uma gestão adaptativa e basear-se na educação ambiental para o sucesso da aplicação. Posteriormente, Andrade et al. (2011) incluiu novos princípios básicos como a promoção da resiliência dos ecossistemas e da sociedade, assim como abordagens multissetoriais. Em especial, destaca-se que é necessária a maximização dos benefícios pelo desenvolvimento e conservação. Deve-se levar como meta principal a essência do conceito: evitar impactos negativos para aquilo em que se propõem. É igualmente importante haver processos transparentes e participativos, bases que inculcam as boas práticas sociais e ambientais. Segundo os autores, é importante também gerar conhecimentos e propagar a ciência envolvida, fatores que integram a sociedade beneficiada.

Ainda segundo Travers et al. (2012), as metas da NbS devem promover ecossistemas resilientes, uma vez que se faz necessário confrontar situações adversas que colocaram os elementos vivos em situações vulneráveis para manter os serviços prestados por um longo tempo. Em adição, para um bom funcionamento das estruturas, deve-se prover composições ecossistêmicas bem adaptadas, capazes de reduzir riscos efetivamente e complementar o entorno. Entende-se que, ecossistemas maduros e bem estruturados tendem a responder melhor às condições adversas, gerando benefícios maiores ao que se é proposto, principalmente se estiverem atrelados a outras estruturas que trabalham em conjunto (COLLS et al., 2009). Por fim, a Convenção da Diversidade Biológica elaborada por Girot et al. (2014) atenta para a questão da manutenção das estruturas aplicadas, além de atrelar informações de todos os saberes (científico, tradicional e local) para uma boa implementação e sucesso do projeto.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) ainda reconhece outros componentes para que um projeto seja reconhecido como NbS por meio de uma observação climática. É necessário haver um alinhamento estratégico explícito de solução verde em relação à vulnerabilidade climática, possuir um foco para adaptação do cenário a favor da sociedade, integrar estratégia geral de adaptação juntamente com uma análise de vulnerabilidade, impacto e risco. É importante também utilizar dados sobre cenários climáticos e observações, promover uma participação intersetorial assim como uma perspectiva territorial, além de respeitar os princípios ecossistêmicos (MMA, 2018). Também é convidativa a aplicação da lente climática, metodologia que consiste na avaliação do risco climático (o problema em si), identificar as medidas para adaptação

selecionando as de maior prioridade, implementar e monitorar. Isso facilita e potencializa as intervenções para se alcançar as metas com êxito.

No Brasil, o conceito de NbS em projetos tem avançado aos poucos (HERZOG e ROZADO, 2019), sendo que a maioria dos projetos ainda se concentra na Europa, mas estudos têm sido difundidos por todo o mundo e em diferentes áreas de enfoque, mas em especial à adaptação às Mudanças Climáticas (THAYER et al., 2020). A título de exemplificação, projetos NbS já foram postos em prática no setor de agricultura através da inserção de árvores para promover o plantio sombreado de café e diminuir o aumento da Temperatura do Ar/Radiação Solar direta (MANCUSO et al., 2013). É também empregada na retenção de partículas poluidoras do ar (NOWAK, 2013) ou ainda para favorecer a drenagem urbana (BENINI, 2015). Outras possibilidades a serem mencionadas estão na própria engenharia, como forma de contenção de taludes (MOURA et al., 2018) e conforto térmico interno a partir de telhados verdes (MOROMIZATO, et al., 2016).

A aplicação de projetos NbS transpõem os próprios conceitos iniciais em que são concebidos. A introdução de elementos vivos no espaço urbano pode trazer benefícios que vão desde a visão integrada do território, uma vez que as estruturas podem ter amplas funcionalidades no meio em questão, como a conservação da biodiversidade, educação ambiental no cotidiano, possibilidades de novas áreas urbanas a serem exploradas pela população em momentos de lazer, recreação ou meditação e a economia de gastos com novas estruturas cinzas. Portanto, as escolhas baseadas na natureza vêm agregar novo sentido e novas expectativas para o espaço urbano, como uma gestão territorial integrada em novas possibilidades. É uma solução que se mostra capaz de agregar a pluralidade de benefícios com a adesão dos mais diversos setores da sociedade.

1.3 Mudanças climáticas

Considerado um tópico bastante elucidado pela ciência, as Mudanças Climáticas têm se mostrado evidentes em consequências já experimentadas pelo mundo em eventos recentes. Apesar de que a percepção destas mudanças possa ser diferente por diversos aspectos sociais (WEBER, 2010), cientificamente já é possível comprovar o efeito da interferência humana através de dados registrados, e não somente com aqueles modelos para perspectivas futuras (NOBRE et al., 2012). Todavia, ainda que haja uma mudança

revolucionária no comportamento das emissões e no estilo de consumo humano, as mudanças continuarão a se manifestar, uma vez que se deve levar em consideração as emissões acumuladas ao longo das últimas décadas e o longo processo de assimilação por parte do ambiente e da atmosfera (ICLEI, 2015). Nota-se uma dificuldade em se assumir os acordos propostos pelas conferências internacionais e decisões nacionais, o que configura um descaso e atraso para combater os impactos das Mudanças Climáticas. Isto mostra como ainda muitos outros efeitos serão sentidos pelas variações das temperaturas do ar e da umidade do ar, em especial (FALKNER, 2016).

Em linhas gerais, pode-se definir, de acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, que as Mudanças Climáticas são uma condição de alteração do clima reconhecido pela variação das médias dos parâmetros que persistem por décadas ou séculos. O próprio IPCC justifica que estas mudanças podem ser ocasionadas por efeitos naturais ou antrópicos, mas sinaliza a situação atual como um agravamento através dos padrões humanos como uma parcela expressiva de contribuição (UNFCCC, 2011). Dentro desta realidade, percebe-se que o assunto não deve ser abordado apenas pelo fator meteorológico das variações de médias ou pela perspectiva econômica dos lançamentos de gases de efeito estufa, mas por uma ótica interdisciplinar, que envolva a saúde humana, a questão habitacional, a ocupação dos solos, os efeitos na natureza e tantas outras áreas que direta ou indiretamente possam sofrer com estas mudanças (MCCRIGHT et al., 2013).

De acordo com o IPCC, aponta-se que o planeta Terra possa alcançar um incremento de cerca de 1,5°C nos cenários mais otimistas, enquanto são esperados aumento de quase 5°C nos cenários mais pessimistas (IPCC, 2019). Mais especificamente, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) e o Relatório de Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) elaborado por Marengo (2007) também apontam para um possível aumento das temperaturas para todas as regiões do Brasil. No caso da região tropical da Mata Atlântica existente no Sul e no Sudeste, as temperaturas podem alcançar um aumento médio no verão de 0,5°C até 2040, podendo alcançar 2,5°C a mais em 2100. A situação configura-se mais gravemente para o inverno, quando é esperado alcançar os 3°C de anomalia, sendo 1°C até 2040 (MARENGO, 2007; PBMC, 2014). Em especial onde a RMSP está localizada, pode-se considerar certa incerteza nas previsões futuras quanto à estimativa de precipitação e temperaturas, o que demanda pesquisas mais avançadas e precaução nas tomadas de decisões no que concerne não somente aos

recursos naturais, mas ao envolver condições climáticas e o próprio conforto térmico, em ambientes de trabalho sobretudo (MAGRIN et al., 2014). Ainda sobre as áreas tropicais e subtropicais, Guo et al. (2018) adverte sobre como as ondas de calor serão mais evidenciadas nestas regiões, onde se localiza não só a RMSP assim como o Brasil em um todo. Todavia, as mudanças climáticas podem ser percebidas em todo o globo, assim como os efeitos provocados pelo aumento da temperatura. Um estudo desenvolvido por Cabrera et al. (2021) nos cinco continentes comprovou que 37% das mortes provocadas pelo calor estão associadas com a mudanças climáticas provocadas pelo homem, em especial atreladas aos eventos de ondas de calor.

O IPCC (2014) informa, em seu relatório para *Decision Makers*, que há a possibilidade de as mudanças climáticas atingirem significativamente a saúde humana e as áreas urbanas, no que tange às consequências das ondas de calor. Com confiança muito alta, os exemplos citados são doenças e mortes pelo excesso de calor, aumento da desnutrição, perda da capacidade de trabalho e diminuição da produtividade, principalmente em populações vulneráveis. Quanto aos eventos extremos frios, apesar de uma confiança baixa de que haverá menos ocorrências, prevê-se que os impactos positivos excedam os negativos (confiança alta), o que volta a preocupação em relação aos resultados das temperaturas mais altas. Em um estudo realizado por Santos e Melo (2010), foram observados os índices de desconforto para as capitais do Nordeste do Brasil e uma posterior comparação com os cenários do IPCC. Em se tratando de uma das regiões mais afetadas com as mudanças climáticas, todas as capitais apresentaram uma variação de desconfortável a estresse devido ao calor no verão, enquanto algumas saíram do confortável para o desconfortável/estresse por calor no inverno segundo o índice DI. Portanto, percebe-se que o Conforto Térmico também pode ser alterado em relação às condições futuras do clima.

1.4 O conforto térmico e a saúde humana

“Conforto térmico” pode ser definido como o faz Tseliou et al. (2010) como uma condição de satisfação, a qual é expressa com relação ao ambiente, enquanto a sensação termal. É a expressão pessoal quanto à avaliação do ambiente quanto à sua temperatura. Maia (2002) e Thom (1959), abordam também aspectos fisiológicos e psicológicos nesta definição, os quais envolvem as atividades do corpo, seja o metabolismo no processo de

geração de calor interno para manutenção das funções vitais que tendem a entrar em regulação com as condições ambientais, seja a impressão de bem-estar com o ambiente, o que pode variar para cada indivíduo.

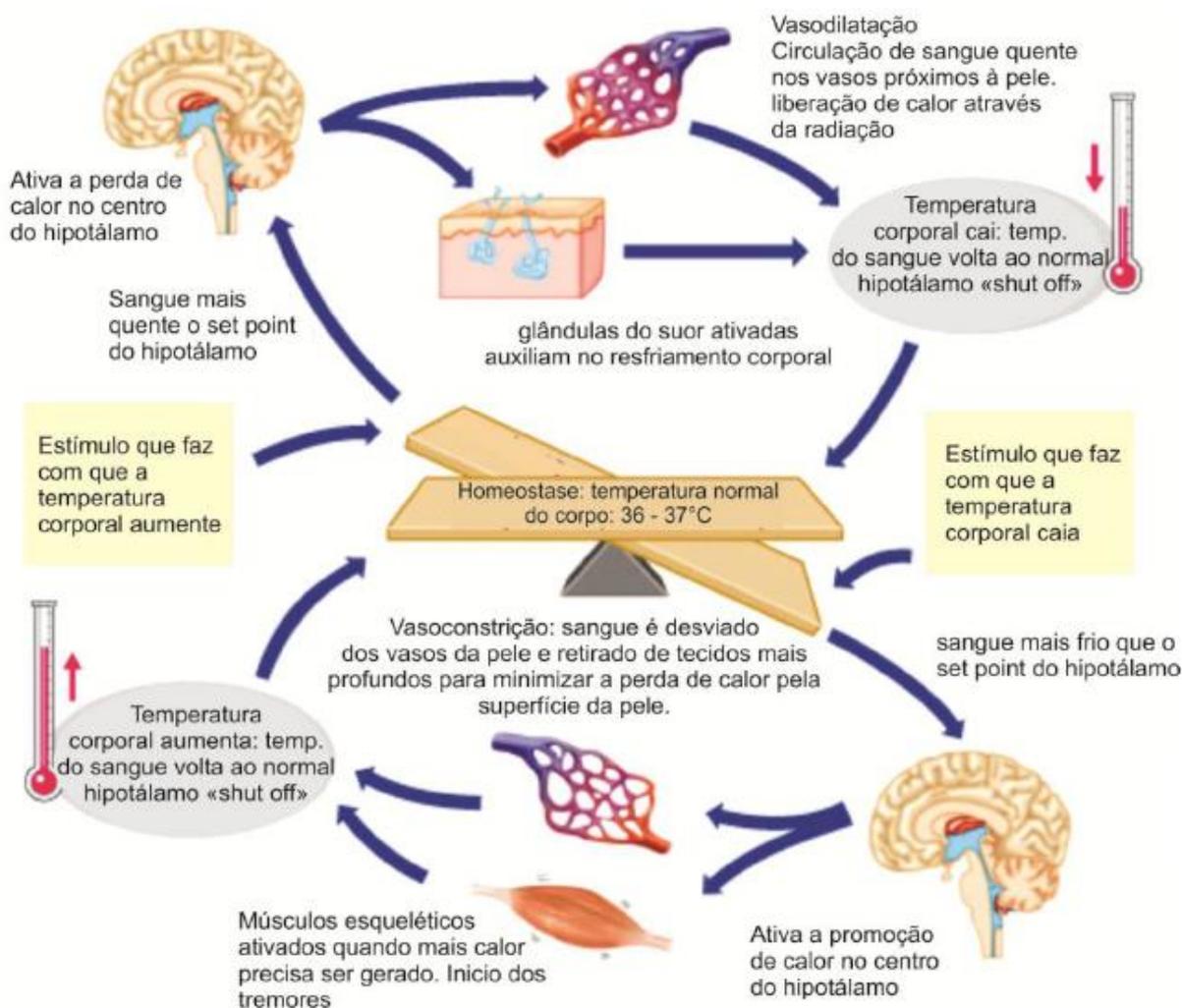
O corpo humano é dotado de organismos responsáveis pela termorregulação de suas funções, seja através da vasoconstrição no sistema circulatório, seja na liberação de calor através do suor, ou ainda na velocidade de atividades metabólicas. Apesar de complexas, estas reações podem se desenvolver a ponto de adaptarem os organismos a condições adversas, desde que estejam em perfeitas condições de funcionamento, em função de diferentes idades, gêneros, raças e condições de cobertura corporal como é o caso do papel das vestimentas (COSTA et al. 2019). Todavia, condições extremas de clima podem gerar respostas antagônicas, as quais ocasionam doenças e causar a morte do indivíduo, o que desperta preocupação quanto aos eventos climáticos que vêm ocorrendo nos últimos anos.

Segundo Magalhães et al. (2001), a temperatura corporal em níveis ideais para manter suas funções deveria variar entre 36,1°C e 37,2°C, enquanto Epstein et al. (2006) menciona que a variação de $\pm 1^\circ\text{C}$ a partir de 37°C não deveria ser ultrapassada. Desrespeitado este limite, mecanismos como vasoconstrição, arrepios, suor e variações da taxa metabólica são desenvolvidas com o intuito de regular o corpo ao ambiente e que podem, caso estressados, desenvolver quadros de morte por enfermidades cardiovasculares, cerebrovasculares e ainda respiratórias (SETTE e RIBEIRO, 2011; MENDONÇA, 2003). Dentre estes, pode-se citar mal-estar psicológico, golpe de calor, diminuição da produtividade no trabalho, esgotamento físico, fadiga cerebral, transtornos fisiológicos, desidratação, sensação de fadiga, diminuição da destreza, descontrole da pressão arterial, descoordenação sensorial e motriz, perturbações gastrointestinais e morte (TALAIA, 2016). Conforme Gasparini et al. (2015) em seu estudo tendo São Paulo como espaço amostral, a variação da temperatura média diária abaixo de 18°C e acima de 27°C pode ser considerada como propícia a registros de casos de óbitos por estes motivos. Para isto, uma análise de fatores genéticos, fisiológicos, físicos, climatológicos e ambientais é necessária para se compreender o real impacto na saúde humana, o que é buscado em grande parte dos índices de conforto térmico.

Similar a um termostato, o hipotálamo atua no corpo humano como um dissipador de calor através do sistema nervoso com suporte do sistema circulatório para efetivar a troca de calor. De modo similar através do hipotálamo, glândulas do corpo são acionadas

em casos de calor para a geração do suor (glândulas sudoríparas) e sendo eliminado através da pele, numa tentativa de equilibrar a temperatura corporal com o ambiente (HAVENITH e FIALA, 2016; FERREIRA JUNIOR et al., 2009). Em casos de falta de calor (ambientes frios), o corpo passa a aumentar sua atividade metabólica através da taxa de metabolismo basal nas atividades dos músculos, dos hormônios, da digestão de alimentos ou ainda através de outros mecanismos ambientais como exposição ao calor em forma de radiação ou condução, por exemplo, assim como a geração de arrepios e tiritar para impedir eventuais perdas (PAGNOSSIN, 2001). A figura 1 ilustra alguns dos principais mecanismos que agem no corpo humano para buscar o equilíbrio térmico e produzir a sensação de conforto. Percebe-se, portanto, a importância do sistema circulatório e das glândulas.

Figura 1 - Mecanismos de termorregulação



Fonte: LAMBERTS, 2019

A fins do equilíbrio térmico, o corpo pode desenvolver quatro processos: o primeiro deles consiste no mais simples de todos, a condução. Através do contato físico do corpo com outros objetos ocorre a troca de calor entre eles, a fim de obter-se um equilíbrio entre as temperaturas, frequentemente realizado entre o corpo e as vestimentas. O segundo deles é a convecção, quando há trocas de calor com o ar do entorno, seguida da radiação, processo mais complexo que envolve ondas eletromagnéticas em superfícies, não dependendo do contato. Por fim, na tentativa de suprir possíveis debilidades dos últimos dois processos, o corpo tende a provocar a evaporação do suor eliminado através da pele. A evaporação extrai calor latente do corpo, o que propicia um equilíbrio eficiente do organismo (NDEMBO, 2018). Sendo o homem um ser homeotérmico, o corpo sempre buscará o equilíbrio de temperatura. Um eventual desequilíbrio ou ainda uma ineficiência destes quatro processos citados, por conseguinte, causará desconforto e as consequências supracitadas.

Quanto ao conforto térmico propriamente dito, quanto maior for o trabalho desempenhado pelo corpo para obter equilíbrio térmico, maior será o desconforto do indivíduo sob o aspecto fisiológico (ARAUJO, 2012). Isso explica o porquê de os idosos apresentarem maiores limitações com os extremos e variações de temperaturas e serem considerados o grupo de maior risco para as mudanças climáticas, assim como a população mais pobre, uma vez que está mais exposta a condições impróprias de salubridade e moradia, assim como está privada de acesso a recursos para mitigação do calor ou do frio. Quanto à idade, o comportamento corporal é justificado devido ao funcionamento de um metabolismo mais lento que o normal, se comparado a pessoas mais jovens. Outro ponto a ser salientado é a diferença entre sexos já que, em mesmas condições, as mulheres tendem a ter um metabolismo mais lento (ASHRAE, 2001; GUIMARÃES, 2004). Além desta realidade, Ashrae (2001) mostrou que pessoas na faixa etária de 21 a 84 anos tendem a indicar a preferência dos mesmos ambientes quanto ao frio e calor, mas não significa que possuam a mesma percepção de temperatura (NDEMBO, 2018).

Dentro deste contexto, podemos resumir três tipos de variáveis importantes a serem levadas em consideração para o conforto térmico segundo Pagnossin et al. (2004). Primeiramente se encontram aquelas ambientais, sendo as que mais influenciam:

temperatura do ar, umidade do ar, temperatura radiante e velocidade do ar. Em seguida, encontram-se as variáveis pessoais que podem ser consideradas as mais variantes para cada indivíduo pois se relacionam com a percepção do calor. É aqui que entram os fatores de tipo de vestimenta, sexo, altura, idade, índice de massa corporal, hábitos alimentares e atividade laboral em que cada pessoa está desempenhando, o que também pode relacionar com o terceiro grupo de variáveis (o psicológico).

1.5 Variáveis meteorológicas

Quanto às variáveis meteorológicas, Silva e Alvarez (2015) resumem que a temperatura do ar e a radiante se comportam como os parâmetros principais na definição da sensação de bem-estar, uma vez que a primeira determina os processos de remoção de calor do corpo por convecção. A segunda, por radiação (através da absorção, reflexão ou transmissão), tanto da radiação de onda curta ou solar quanto de onda longa emitida pela atmosfera e componentes terrestres que variam em um espaço urbano. Por conseguinte, a umidade do ar se comporta como fator que permitirá efetivamente a troca de calor latente por meio do vapor d'água. O ar saturado impossibilitará a troca de calor pois não poderá promover evaporação do suor da pele do indivíduo, o que provocará a manutenção da temperatura corporal. Em situações quentes, isto gera desconforto pois o corpo não consegue se resfriar e gerar sensação de conforto.

Outra variável meteorológica importante, a radiação solar em si é a promotora do aquecimento direto, mais efetiva para o conforto térmico *externo*, atua diretamente no corpo humano através de sua incidência nestes ambientes (SILVA e ALVAREZ, 2015). É em consideração direta a esta variável que se busca a utilização das copas das árvores para promover sombreamento e proteger da exposição direta da radiação com o organismo, na tentativa de promover maior conforto. Para ambientes *indoor*, a radiação atua no processo de aquecimento das estruturas arquitetônicas, as quais devem ser desenhadas a fim de promover ambientes com equilíbrio térmico, idealizando espaços frescos durante o dia (quando as temperaturas são mais altas) e mais aquecidos durante a noite (FROTA e SCHIFFER, 2003).

Por último, a velocidade do vento atua integrando todas as demais variáveis anteriores, uma vez que promove ventilação dos espaços no transporte de calor e umidade, o que pode alterar a evaporação na superfície da pele assim como na própria superfície

terrestre (SOUZA e NERY, 2012). O vento favorece a liberação de água líquida existente na vegetação, assim como a retira das superfícies as gotículas de água, provocando a evaporação e influenciando na umidade relativa do ar (YNOUE et al., 2017). Desse modo, assume-se que a temperatura do ar, a velocidade do vento, a umidade do ar e a radiação solar são aquelas variáveis meteorológicas fundamentais para compreender a variabilidade do conforto térmico.

1.6 Conforto térmico e perdas de habilidades laborais

Dentro do ambiente de trabalho, além das condições já citadas que interferem na determinação do conforto térmico, devem-se levar em consideração os parâmetros existentes no espaço *indoor*, como aqueles arquitetônicos (materiais usados na construção, iluminação, presença de maquinário, ventilação cruzada, incidência solar na estrutura, sistema de climatização), assim como as preferências térmicas dos trabalhadores. Assim como abordado anteriormente, as atividades laborais realizadas por pessoas em condições externas e sob as ações de intempéries são aquelas que mais sofrerão com as mudanças climáticas e são as que mais sentem a interferência das variáveis climatológicas no dia a dia. Por conseguinte, o rendimento do trabalho nestas condições é mais impactado, uma vez que existem ainda outros fatores que podem influenciar no desconforto, como é o caso da temperatura do solo, por exemplo. Neste sentido, pode-se afirmar que o espaço externo é aquele que mais impacta a percepção térmica se comparado às condições no *indoor*, onde os indivíduos estão protegidos por ambientes construídos, sendo eficientes ou não (MELO e KUTZKE, 2012).

Segundo Silva (2010), o desempenho no trabalho relaciona-se com o potencial de calor desenvolvido pelo corpo na atividade, conhecido pela taxa metabólica. Sabe-se que apenas 20% da energia produzida pelo corpo é utilizada para atividades, uma vez que o demais é perdido (PARSONS, 2001), sendo que uma pessoa deitada gasta 47 W/m^2 . Uma atividade sedentária em um escritório ou uma escola, por exemplo, gasta 70 W/m^3 e uma atividade pesada pode chegar a demandar um gasto de 175 W/m^2 (ISSO 7730, 2005).

Batiz et al. (2009) realizaram um estudo relacionando o conforto térmico em salas de aula e o índice de atenção e memória. A conclusão obtida foi que há uma relação direta entre os dois, sendo que os testes acusam uma média de desempenho de 70% sob condições ideais. Lopes et al. (2008) realizaram estudos para o conforto térmico e a

produtividade no setor da construção e encontraram resultados de uma menor eficiência nas primeiras horas do dia em obras em ambientes fechados. Meese et al. (1984) descobriu que, para habilidades manuais, temperaturas do ar entre 20 °C e 26 °C é o ideal, sendo reduzida a habilidade dos dedos a 18 °C. Todavia, dentro de um ambiente de trabalho, a variação de percepções individuais é grande se comparada entre cada trabalhador, sendo que cada um deles possui faixas diferentes de conforto térmico ideal para atender uma condição individual, o que mostra ser praticamente impossível definir-se uma situação adequada para todas as pessoas (DIAS, 2013).

Para ambientes abertos de trabalho, Roscani et al. (2017) estudaram os limites de tolerância de trabalhadores na lavoura de cana de açúcar, a fim de se entender melhor o conforto laboral nestas condições. Descobriu-se que 20% dos dias de trabalho para atividade pesada ultrapassam esta margem considerada segura para a saúde, enquanto o desconforto pode chegar a 16% e 7% para atividades moderada e leve, respectivamente em pelo menos 1 das 8 horas de atividade. No caso de desconforto de um turno inteiro, esta porcentagem alcança 7% dos dias de trabalho para atividades pesadas e 3% para moderada, sendo quase nula quantidade de dias para cargas leves.

1.7 Vestimentas utilizadas

Um elemento de fundamental importância no estudo do conforto térmico é a funcionalidade do vestuário de cada indivíduo, uma vez que promove um isolamento físico do corpo com o ambiente, principalmente nos períodos mais frios do dia e do ano. Este isolamento permitirá um atraso na troca de calor com o ambiente ou ainda o próprio impedimento do processo, além de criar uma camada de ar entre a pele e o tecido, o qual pode ser um aliado em manter a temperatura corporal (NDEMBO, 2013). Silva (2010) destaca a importância da roupa no fato de sua resistência térmica, uma vez que cada uma possui propriedades e características diferentes ao desempenhar sua função.

Ainda segundo Silva (2010), se trata de uma tarefa difícil estimar quão isolante se comporta a vestimenta, o que pode ser solucionado através de aproximações e considerações dos tipos. Para isso, foi desenvolvido uma unidade de nome “clo”, a qual compreende 0,155 m²°C/W e é levada em consideração em alguns cálculos de índices de conforto térmico a nível de correção. De acordo com Guimarães (2004), um corpo nu possui, obviamente, 0 clo, enquanto um vestuário tropical como shorts, camisetas e

sandálias possuem valor de 0,3 clo. Um vestuário usual gira em torno de 0,5 clo. Já para roupas de inverno em ambientes frios, são estimados 3 clo. Portanto, pode-se concluir que, mesmo em dias de estresse térmico, tanto devido ao calor quanto ao frio, a vestimenta empregada pode ser determinante para cada pessoa. Aqui faz-se necessário destacar uma especial atenção a trabalhadores em ambientes muito quentes e a pessoas em situação de rua, visto que muitos podem se encontrar em situações de extremos (quente e frio, respectivamente) e sem utilizar o vestuário adequado, seja por parte de uniformes inapropriados ou demasiado quentes para aqueles, seja pela falta ou baixa qualidade das roupas durante o frio em ambientes abertos para estes.

1.8 Índices de conforto térmico

Ao longo do desenvolvimento dos estudos da Biometeorologia, muitos índices foram desenvolvidos com o intuito de interpretar os efeitos das temperaturas no organismo humano, assim como para auxiliar na comunicação para a população, ou para facilitar os cálculos realizados. Alguns se diferenciam entre si pelas variáveis utilizadas na composição do índice. Outros adaptam sua composição para facilitar a interpretação dos impactos na saúde humana, ou simplesmente rearranjam os elementos calculados para manterem unidades de temperatura para fins de comparação com a Temperatura do Ambiente, além de uma fácil leitura. Todavia, pode-se definir a existência de três grupos de indicadores, sendo eles os racionais, os empíricos e os diretos (EPSTEIN e MORAN, 2006). Os dois primeiros grupos são compostos por índices mais sofisticados e de maior grau de dificuldade de cálculo, uma vez que contam com variáveis complexas de determinação. Já o último grupo de índices são levados em consideração variáveis ambientais básicas, o que torna o grupo um dos mais usados. Os índices racionais são aqueles que partem do princípio da equação de balanço de calor (HOPPE, 1999) de acordo com a fórmula 1:

$$M+W+R+C+Ed+Ere+Esw+S=0 \quad (1)$$

onde M é a taxa metabólica, W é a perda de calor por trabalho físico, R a radiação líquida do corpo, C o fluxo de calor convectivo, Ed a perspiração imperceptível (fluxo de calor latente difuso pela pele), Ere a soma do fluxo de calor para umidificação e aquecimento

do ar inspirado, E_{sw} o fluxo de calor para evaporação do suor e S é o fluxo de calor armazenado para aquecimento ou resfriamento do corpo.

Já os índices empíricos são aqueles que se baseiam na observação objetiva/subjetiva do comportamento de organismos com a interação com o calor, o que os tornam mais adaptados para determinadas situações. Por fim, os índices diretos, de maneira mais simplificada quanto ao cálculo, levarão dados ambientais e meteorológicos em consideração, os quais possam interferir no conforto térmico como radiação solar e velocidade do vento (HAVENITH e FIALA, 2016).

Epstein e Moran (2006) citam quatro critérios para que um índice de conforto térmico possa ser aplicável. Inicialmente este precisa ser viável quanto ao cálculo e preciso no que concerne a uma ampla gama de condições de ambiente e de metabolismo. Também devem levar em conta alguns fatores importantes no processo de equilíbrio de conforto como o papel das roupas no corpo, assim como a produção própria de calor, as possíveis medições em casos experimentais devem ser relevantes e devem refletir a exposição do indivíduo à situação ambiental, sem interferir na sua performance, além de refletir as respostas fisiológicas do indivíduo quanto à saúde em seus limites de exposição.

As primeiras tentativas de se obter um número para indicar as condições termais do ambiente no corpo humano foram desenvolvidas nas primeiras décadas do século XX, com objetivos industriais e militares, uma vez que eram nestes campos onde haviam pessoas expostas às intempéries durante suas atividades, o que poderia prejudicar o desempenho dos serviços realizados (FROTA e SCHIFFER, 2001; HAVENITH e FIALA, 2016). Sendo assim, o primeiro índice a ser elaborado foi através de Haldane (1905), o qual elaborou o *Wet-bulb Temperature* para espaços úmidos fechados, na Universidade de Oxford. Em seguida, em 1916, a Comissão Americana de Ventilação, realizou novos estudos sobre as condições termo-higrométricas para o trabalho físico mediante o contexto da Segunda Revolução Industrial, assim como da Primeira Guerra Mundial. Os resultados obtidos descreveram que o rendimento laboral cairia 15% caso a temperatura aumentasse em 4°C a partir de 20°C no ambiente. E nos casos em que se alcançasse a cota de 30°C na temperatura ambiente, aliado à umidade relativa de 80%, o rendimento poderia ter um decréscimo de 28% (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Posteriormente, Houghton e Yaglou (1923) elaboraram a *Effective Temperature* (ET), índice que combinou os dados de temperatura dos bulbos úmido e seco e velocidade do vento para sugerir uma “nova temperatura”, a qual levasse em consideração efeitos de

conforto térmico. Mais tarde, este índice foi adaptado por Vernon e Warner (1932), alterando a temperatura do bulbo úmido pela temperatura de globo. A partir de então, outros diversos índices foram criados a fim de atender variadas condições climáticas, desde grandes escalas até microclimas em ambientes internos como edifícios, escolas e escritórios, além do desenvolvimento de indicadores para estudos com animais, como é o caso do índice térmico Fuzzy, voltado para a gestão de produção em ambientes de zootecnia (NASCIMENTO et al., 2011).

1.8.1 Índice Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)

Desenvolvido pela Marinha dos Estados Unidos na década de 1950, o índice WBGT surgiu com o intuito de avaliar as condições de estresse térmico nas embarcações de guerra, assim como em treinamentos militares (ALFANO et al., 2004). Devido seu uso facilitado, foi amplamente adotado como índice térmico referente em muitas empresas e instituições oficiais do Governo, com o intuito de estimar os limites de exposição dos trabalhadores ao calor e estresse térmico (EPSTEIN e MORAN, 2006).

Segundo Alfano et al. (2004), a grande limitação para o WBGT consiste no fato que, quando o isolamento térmico e a permeabilidade ao vapor são diferentes daqueles caracterizados pelo algodão ou em presença de vestimentas protetivas, o que pode ocorrer em casos de frio quando a população passa a utilizar trajes de diversos materiais com isolamento térmico diferente. Por este motivo, a *American Conference of Governmental Industrial Hygienist* buscou desenvolver um fator de correção para ser subtraído nestes casos. Outra limitação abordada por Epstein e Moran (2006) consiste no fato de que a Temperatura de Globo Negro utilizada no cálculo do WBGT muitas vezes é impraticável de ser medida, uma vez que necessita de um equipamento específico para tal.

Para o cálculo do WBGT utilizando as temperaturas estabelecidas (bulbos e globo), faz-se necessário a instalação de equipamentos próprios. O primeiro deles é um globo negro de 15 centímetros de diâmetro com um sensor de temperatura no centro. Este irá medir um valor de temperatura levando em consideração a radiação solar absorvida pelo globo e dará uma medida levando em consideração este fenômeno no corpo humano para o WBGT. É necessário também um termômetro com bulbo úmido e outro com o bulbo seco para informar ao índice as influências da umidade do ar no estresse térmico. Uma deficiência destes instrumentos é o fato de que o globo negro não é sensível ao

vento, diferentemente da pele. Além disso, ao considerar uma umidade relativa de 100%, não haverá troca de calor, enquanto no corpo, a pressão de vapor na pele úmida será maior que a do ambiente e resultará em evaporação e perda de calor com sensibilidade ao vento (HAVENITH e FIALA, 2016).

Recentemente, devido à dificuldade de obtenção da temperatura do globo negro e em alguns casos a Temperatura do Bulbo Úmido, foi proposto por Lemke e Kjellstrom (2012) uma adaptação com variáveis de fácil obtenção em estações climatológicas. Para tal, foram levadas em consideração as observações de dois estudos que individualizaram o cálculo do WBGT para ambientes diferentes: Liljegren (2008) aperfeiçoou o cálculo para situações *outdoor*, enquanto para *indoor* baseou-se no estudo de Bernard e Pourmoghani (1999). Ambos se configuram como as duas metodologias mais utilizadas em cada caso e apresentam a melhor representatividade quanto à realidade dos respectivos ambientes.

1.8.2 Universal Thermal Climate Index (UTCI)

O UTCI é um índice desenvolvido por progressos científicos recentes envolvendo as implicações térmicas no corpo humano e as teorias de troca de calor, sendo considerado um parâmetro com objetivos de saúde pública aplicado em condições ambientais de conforto térmico (VATANI et al., 2016). Com apoio de uma equipe interdisciplinar e de várias nacionalidades, o índice foi elaborado com suporte da Comissão de Climatologia da Organização Mundial de Meteorologia com o intuito de se criar um indicador universal e internacional padrão para pesquisas de Biometeorologia, aplicável em previsões do tempo, alertas de eventos extremos, composição de mapas bioclimáticos, impactos ambientais ou até mesmo em estudos epidemiológicos (JENDRITZKY et al., 2012). Além disso, o UTCI foi desenvolvido para haver uma padronização na avaliação do conforto térmico (BLAZEJCZYK, 1994), o que indica uma facilitação durante a realização das pesquisas.

Semelhante a outros, o UTCI também é uma temperatura do ar de referência quanto às condições causadas à exposição, valendo-se, em seu cálculo, da temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do vento e umidade relativa. Está em vias de consolidação na ciência, sendo utilizado simultaneamente com o WBGT quanto à comparação de resultados (BLAZEJCZYK et al., 2012; ZARE et al., 2018).

É indicado especialmente em estudos externo e apropriado para áreas com baixa umidade e deslocamento de ar. Pontos positivos da utilização do índice estão na sua boa correlação com outros indicadores de estresse climático com o WBGT como apresentado em diversos estudos (ZARE et al., 2019; VATANI et al., 2016; NASSIRI et al., 2017) e sua aplicabilidade em espaços urbanos (PARK et al., 2014). Sua limitação consiste em fornecer apenas uma probabilidade dos efeitos adversos causados pela exposição aos estresses, o que pode ser completado com a implementação de outros índices em suporte (VATANI et al., 2016). Outra limitação está em que o índice responde melhor para velocidades do vento entre 0,5 a 17 m/s (ZARE et al., 2018). Jendritsky et al. (2012), vão mais além na definição do uso do UTCI, ao afirmar que o índice possa ser aplicável satisfatoriamente em todos os tipos de climas, estações e ambientes (interno e externo).

Em geral, este índice pode ser considerado como robusto pelo fato de englobar elementos fisiológicos e climáticos para ser aplicável em qualquer situação, no que consiste ser um índice universal. Segundo Monteiro (2008), o índice equivale à temperatura do ar a um ambiente de referência. O índice é capaz de acusar efeitos tanto para o frio quanto para o calor, ao contrário do WBGT que acusa situações extremas apenas para as temperaturas mais altas.

2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é investigar a variabilidade espacial do clima local e do conforto térmico humano em ambiente externo na RMSP utilizando estações meteorológicas, e possíveis relações com a cobertura vegetal do espaço urbano.

Como metas específicas são pontuados:

- a) Estimar o conforto térmico humano na cidade de São Paulo e entornos por meio de Índices de Conforto em ambiente externo, utilizando medições de estações meteorológicas urbanas e os métodos UTCI e WBGT;
- b) Comparar as variáveis meteorológicas e índices de conforto por regiões e avaliar os maiores potenciais de risco de estresse térmico;
- c) Investigar a possível relação entre áreas verdes e áreas urbanizadas no clima local e no conforto térmico.

3 Metodologia

3.1 Caracterização da área – Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)

Segundo a Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA, 2019), a RMSP é composta por 39 municípios, sendo a capital São Paulo a maior delas. A Norte, se encontram Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã. Arujá, Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa Isabel e Suzano compõem a região Leste. A Porção Sudeste é composta por Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul. A Sudoeste se encontra os municípios de Cotia, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista e, por fim, Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba se localizam no grupo da região Oeste, conforme pode ser analisado na figura 2. Quase 50% de toda a população paulista se encontra na RMSP, num total de 21,6 milhões aproximadamente, segundo as estimativas de população do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

Figura 2 – Mapa da RMSP e sua Divisão Sub-regional.



Fonte: EEMPLASA, 2019.

O clima predominante da região, segundo a classificação de Köppen é Cwa, caracterizado por ser um clima temperado quente, com chuvas de verão e verão quente com temperatura do ar média acima de 27°C (ALVARES et al, 2013). Quanto aos fenômenos atuantes na região encontram-se as frentes frias, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), brisa marítima e os efeitos do relevo (orografia) (MORAIS, 2008).

3.2 Seleção das estações meteorológicas

Para a obtenção dos dados meteorológicos necessários para o cálculo dos índices, recorreu-se às estações meteorológicas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) com observações contínuas no período entre 01/01/2018 e 31/12/2019. As estações escolhidas foram aquelas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) ao Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas do Estado de São Paulo (CGE) e aquelas pertencentes ao próprio Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG). As variáveis analisadas para um procedimento estatístico simples de qualidade foram na base diária, a Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Umidade Relativa Mínima e Máxima, Velocidade do Vento Médio Diurno medido a 10m de altura (entre 10h e 15h), Velocidade do Vento Médio Noturno medido a 10m de altura (entre 21h e 5h) e irradiância Solar Média (entre 10h e 15h). Para os valores médios calculados, obteve-se a partir da média diária de cada período (quente – entre outubro e abril, frio – entre maio e setembro).

A fim de eliminar aquelas estações com falhas ou erros nas observações, foram feitos alguns procedimentos estatísticos. Estes procedimentos se basearam em regressões lineares, cálculo de coeficientes (coeficiente angular na origem dos eixos e coeficiente de correlação) e elaboração de gráficos de dispersão. Estes passos se mostraram essenciais para bem determinar aquelas observações que serviriam para o cálculo dos índices de conforto térmico futuramente. Inicialmente, gerou-se o Coeficiente de Correlação R entre todas as estações por variáveis, buscando eliminar aqueles pontos que poderiam ser considerados outliers, provocados por algum problema na medição. Desta forma, o coeficiente R se mostrou um balizador para se determinar quais estações possuíam bons dados, ou seja, confiáveis. Buscou-se obter uma série uniforme, eliminando-se possíveis agrupamentos de pontos que indicassem comportamentos duvidosos quanto à medição. Eliminou-se aquelas estações com dados faltantes com mais de 20% da série, ou ainda

com coeficiente R menor que 0,70. Os dados faltantes que permaneceram não foram completados. A figura 3 mostra uma exemplificação dos gráficos de dispersão obtidos ao se comparar algumas das estações obtidas para o estudo, com especial destaque para alguns pontos eliminados.

Por fim, chegou-se a um grupo de estações com dados de boa qualidade, removidos os possíveis erros notáveis. As estações escolhidas, dispostas territorialmente no mapa da figura 4, são listadas na tabela 1, dispondo as informações geográficas (latitude e longitude), altitude e as medições das estações. Para aquelas estações nas quais não havia medição de Irradiação Solar, utilizou-se os dados da estação meteorológica pelo método do “vizinho mais próximo”. Considerou-se esta medida como sendo a mais adequada para evitar possíveis erros, visto que outras soluções para obtenção da irradiação solar se baseiam em cálculos pela posição geográfica sem levar em consideração a formação de nuvens e outros eventos meteorológico que interferem na Irradiação.

Para fins de comparação, retirou-se as estações BOT e ZOO nas regressões e cálculos estatísticos, devido às características particulares destes pontos de medição, conforme abordado na descrição destas estações no Apêndice I. Todavia, ambos os pontos foram representados graficamente quando necessário.

A fim de se compreender as características de cada estação meteorológica escolhida, realizou-se uma breve descrição das estações meteorológicas selecionadas. Foram destacadas as principais particularidades de cada uma, após análises e visitas in loco. As informações referentes a esta caracterização se encontram no Apêndice I.

Figura 4 – Mapa das estações meteorológicas; a) perfil de altitude da RMSP; b) cobertura vegetal da RMSP

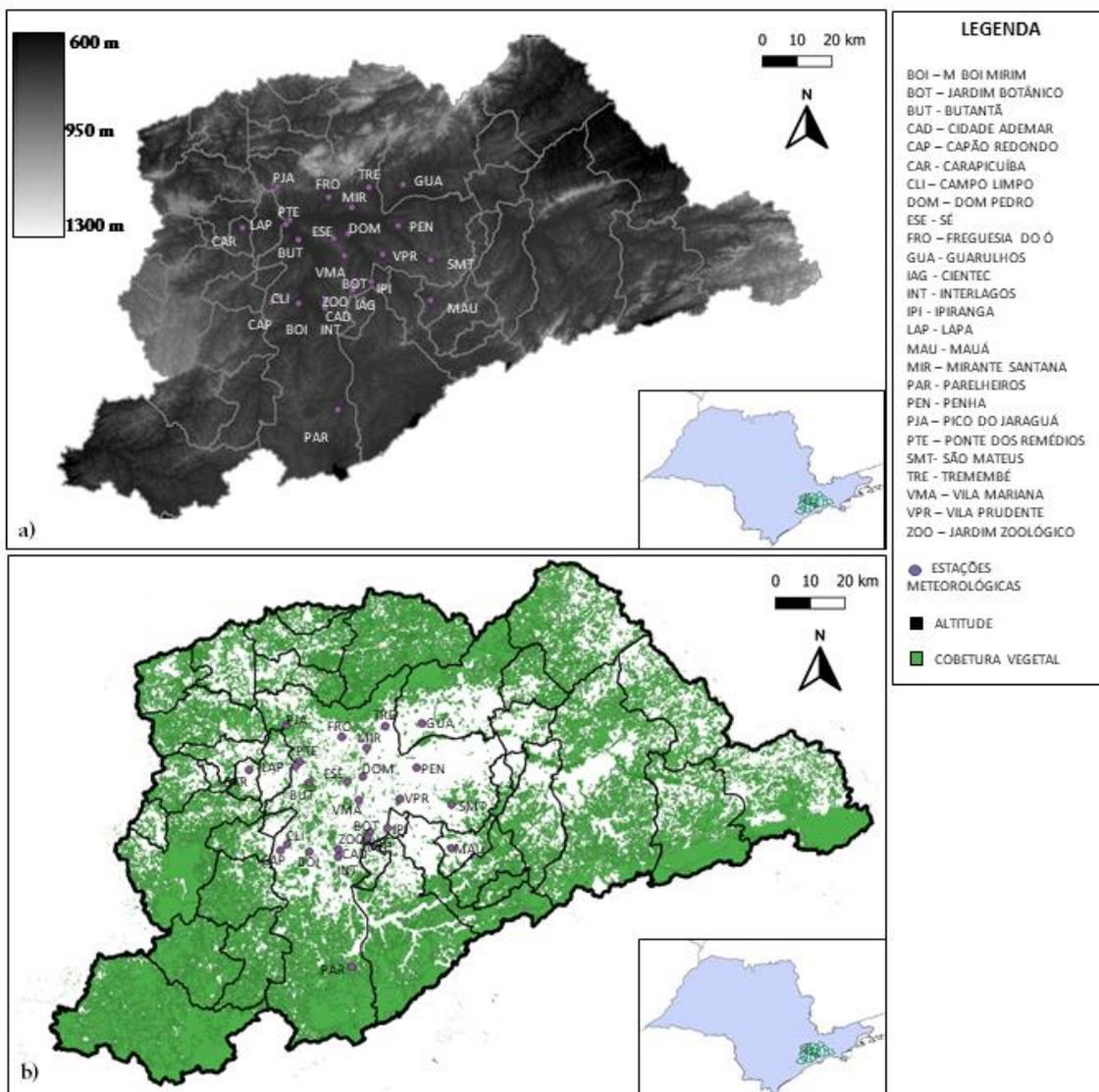


Tabela 1 - Relação de Estações Meteorológicas selecionadas

Estação	Sigla/Responsável	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Medições
Pico do Jaraguá	PJA/CETESB	-23.456243	-46.766088	1079	T, V, U
Ponte Remédios	PTE/CETESB	-23.518681	-46.743340	727	T, V, U, R
Lapa	LAP/CGE	-23.525730	-46.750642	723	T, V, U
Butantã	BUT/CGE	-23.554539	-46.725953	728	T, V, U
Carapicuíba	CAR/CETESB	-23.531319	-46.835935	792	T, V, U, R
Tremembé	TRE/CGE	-23.459841	-46.585572	766	T, V, U
Freguesia do Ó	FRO/CGE	-23.477060	-46.665370	790	T, V, U
Mirante Santana	MIR/INMET	-23.496401	-46.620062	786	T, V, U, R
Guarulhos – Paço	GUA/CETESB	-23.455521	-46.518523	759	T, V, U, R
Penha	PEN/CGE	-23.530763	-46.528744	740	T, V, U
São Mateus	SMT/CGE	-23.594199	-46.465567	764	T, V, U
Dom Pedro	DOM/CETESB	-23.544864	-46.627783	731	T, V, U, R
Sé	ESE/CGE	-23.552970	-46.656215	820	T, V, U
Vila Mariana	VMA/CGE	-23.584720	-46.635560	819	T, V, U
Vila Prudente	VPR/CGE	-23.583219	-46.560179	757	T, V, U
Jardim Botânico	BOT/IAG	-23.638981	-46.615115	813	T, V, U, R
CIENTEC	IAG/IAG	-23.651140	-46.622407	803	T, V, U, R
Jardim Zoológico	ZOO/IAG	-23.648242	-46.619866	795	T, V, U, R
Ipiranga	IPI/CGE	-23.632978	-46.583518	744	T, V, U
Mauá	MAU/CGE	-23.668346	-46.466541	773	T, V, U
Campo Limpo	CLI/CGE	-23.658180	-46.767490	760	T, V, U
Capão Redondo	CAP/CETESB	-23.668388	-46.780131	791	T, V, U, R
Interlagos	INT/CETESB	-23.680490	-46.674986	795	T, V, U, R
Cidade Ademar	CAD/CGE	-23.667724	-46.674154	756	T, V, U
M-Boi Mirim	BOI/CGE	-23.671486	-46.727305	745	T, V, U
Parelheiros	PAR/CGE	-23.867778	-46.652222	790	T, V, U

Legenda - T: Temperatura do Ar, V: Velocidade do Vento a 10m, U: Umidade Relativa, R: Radiação Solar.

3.3 Índices de conforto térmico

3.3.1 Índice WBGT

A definição clássica do índice WBGT (2) segundo (YAGLOU e MINARD, 1957) é a temperatura que se utiliza de outras três temperaturas ponderadas, a temperatura do ar ambiente (T_a , bulbo seco), a temperatura de bulbo úmido (T_w) e a temperatura do globo negro (T_g). Todavia, para mensurar estas variáveis, faz-se necessário o emprego de ferramentas não disponíveis na maioria das estações meteorológicas, em especial o globo negro para a medição de T_g .

$$WBGT = 0,7 T_w + 0,2 T_g + 0,1 T_a \quad (2)$$

Isto se mostra um enorme obstáculo para a obtenção do índice. Para sanar esta limitação, recorreu-se à metodologia de Liljegren et al. (2008), a qual baseia-se da utilização de medições mais simples e relações físico-matemáticas para se aproximar do conceito (Apêndice II). Segundo os autores, a diferença entre os dois procedimentos de obtenção do WBGT apresentou pequeno viés de $0,1^{\circ}\text{C}$.

A T_w é obtida a partir de um processo iterativo, o qual tem como ponto de partida o valor da Temperatura do Ponto de Orvalho, apenas como um valor inicial de referência. A iteração termina quando a diferença, em módulo, entre o T_w novo e o T_w anterior é menor que $0,02^{\circ}\text{C}$. Através das relações utilizadas, percebe-se que T_w depende diretamente da Temperatura do Ar e indiretamente da Velocidade do Vento e da Umidade Relativa do Ar, ambas influenciando outras variáveis empregadas no cálculo final de T_w . Algo similar acontece com o cálculo de T_g , quando a Temperatura do Ar e a Irradiação Solar influenciam diretamente no resultado final desta variável. Por isto, esta metodologia se mostra eficaz e eficiente para ser adotada ao utilizar as quatro variáveis meteorológicas que influenciam o conforto térmico.

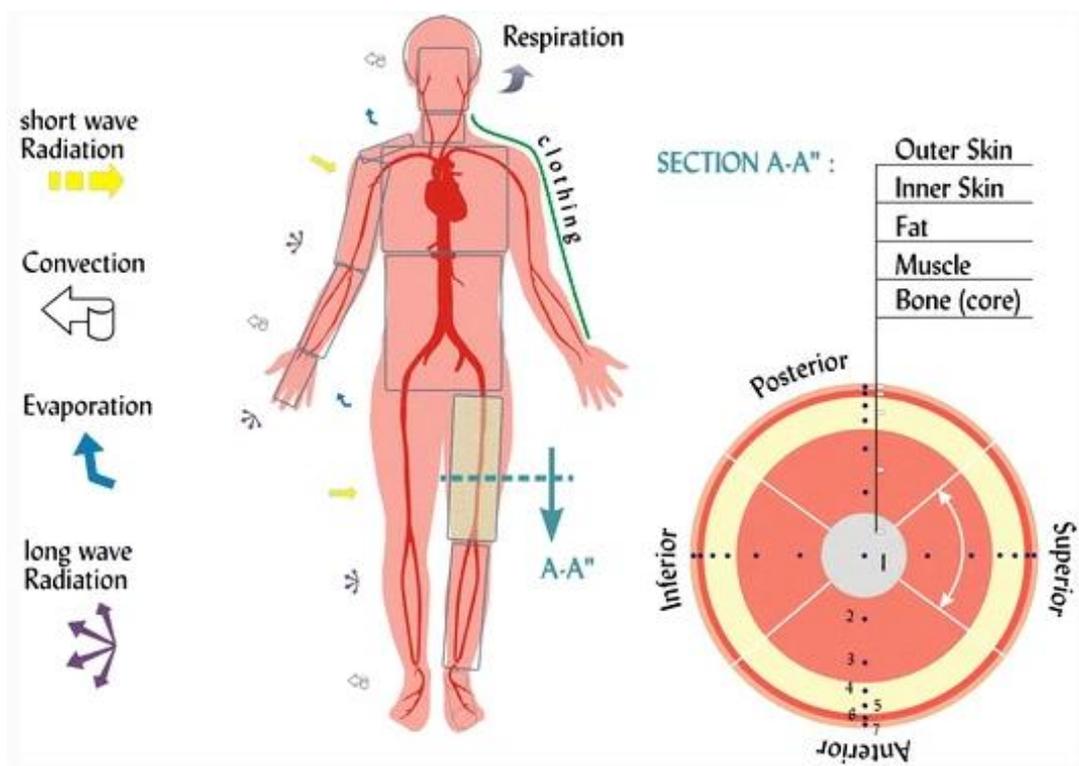
3.3.2 Índice UTCI

O UTCI baseia-se no conceito de termorregulação segundo Fiala et al. (2001) (figura 5) segundo um modelo *multi-node* em que tanto a temperatura do ar, a radiação, a umidade e o vento interagem com a temperatura corporal humana através de diversos sistemas fisiológicos.

Contudo, calcular o índice através do modelo de Fiala poderia requerer alta expertise para operar as simulações complexas envolvidas, além de consumir tempo e recursos importantes. Por se tratar de um índice que promove uma combinação das variáveis meteorológicas e o próprio sistema do organismo humano, os estudos que buscam a utilização do UTCI recorrem ao proposto por Bröde et al. (2012), chamado de *operational procedure*, ao computar um *offset* entre UTCI e a Temperatura do Ar (T_a). Este *offset* se dá via uma equação polinomial de sexta ordem com os parâmetros de Temperatura do ar, Temperatura média radiante (T_{mr}), Velocidade do Vento (V) e Umidade Relativa (UR) conforme descrito em (3). Segundo os autores, a relação encontrada foi fruto de comparações entre o modelo original e as respostas a condições de referência estipuladas como padrão no estudo referido, com um erro observado em

$\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ em 50% dos dados comparados. Grande parte dos estudos utiliza-se desta metodologia, configurando a mais viável para aplicação, assim como em Di Napoli et al. (2018). A equação vale no intervalo para a Temperatura do ar entre $\pm 50^{\circ}\text{C}$, a Velocidade do Vento $> 0,5\text{m/s}$, assim como a Umidade Relativa do ar (maior que 5%), enquanto a diferença entre a Temperatura Média Radiante e a Temperatura do ar varie seja entre -30°C a 70°C . O cálculo do índice foi realizado através do software *BioKlima 2.6*, do Institute of Geography and Spatial Organization disponível no *site* do próprio instituto (VINOGRADOVA, 2021), o qual se baseia na relação da equação 3.

Figura 5 - Esquematização do modelo proposto por Fiala et al., 2001



Fonte: Fiala et al., 2001

$$UTCI(T_a, T_{mr}, V, UR) = T_a + Offset(T_a, T_{mr}, V, UR) \quad (3)$$

Segundo Bröde et al. (2012) o UTCI aumenta com a Irradiação solar e Temperatura Média Radiante, e reduz com a Velocidade do Vento até a Temperatura do ar igual a 35°C . A partir deste limiar, a velocidade provoca efeito contrário (a qual é próxima à temperatura da superfície da pele), e limitaria a troca de calor. A Umidade Relativa se comporta de modo a promover um baixo impacto no UTCI para temperaturas

menores. Em temperaturas moderadas, valores de Umidade acima de 50% podem causar um incremento maior no índice, indicando um aumento proporcional da variável e o UTCI.

Contudo, a Temperatura média radiante (T_{mr}) não é uma variável medida nas estações meteorológicas selecionadas e utilizada pela metodologia do UTCI. Para o cálculo desta variável, recorreu-se ao *software Rayman* (Matzarakis et al. 2007). Segundo os autores, o cálculo da T_{mr} considera a irradiância solar direta (S) e difusa (D_i), a radiação de onda longa incidente (I'), a constante de Stefan-Boltzmann (σ), o coeficiente de emissão de calor do corpo humano (ϵ_p), o coeficiente de absorção de calor do corpo humano (a_b), o ângulo de incidência solar (f_i), o fator de área projetada (f_p) e o número de áreas no entorno sob incidência solar (n), utilizando (4 e 5) num processo iterativo para a obtenção da própria temperatura T_{mr} . Deste modo, todas as variáveis necessárias já estariam preparadas para o cálculo do UTCI.

$$T_{mr} = \left[\frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \left(E_i + a_b \frac{D_i}{\epsilon_p} \right) F_i \right] \quad (4)$$

$$T_{mr}^* = \left[\frac{T_{mr}^4 + f_p \cdot a_b \cdot I'}{\sigma \epsilon_p} \right]^{0,25} \quad (5)$$

Para a obtenção das variáveis desta expressão, tanto a irradiação solar direta quanto a difusa podem ser obtidas através dos dados da irradiação solar incidente obtida pelas medições nas estações meteorológicas. Quanto às variáveis ϵ_p , a_b e f_i estão definidas, respectivamente como 0,97, 0,7 e 0,5, ambas adimensionais. f_p pode ser definida como um valor variante a par da variação do ângulo zenital, variando de 0,308 quando o ângulo zenital (θ) é 0° até 0,082, quando $\theta=90^\circ$.

Os passos realizados neste aplicativo foram os seguintes: inseriram-se os dados relativos à localização da estação meteorológica (latitude, longitude e altitude) no ambiente *Geografic Data* (figura 6).

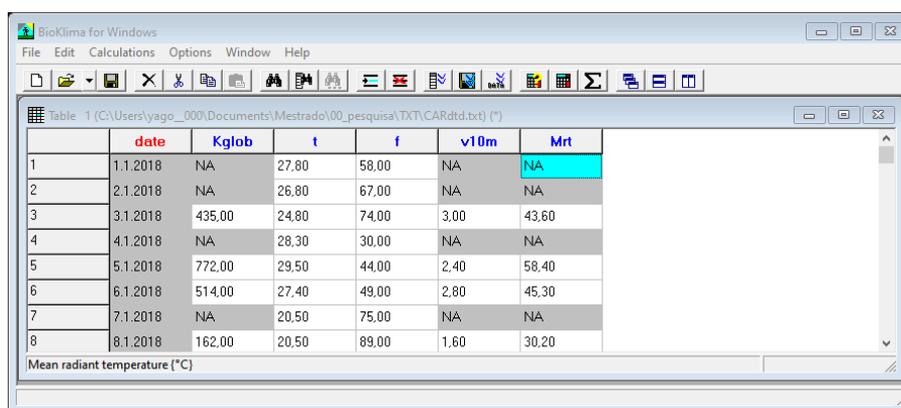
Figura 6 - Interface inicial do RayMan

Em seguida, em *Input*, adicionou-se a base de dados previamente organizada, com a data da medição e as variáveis Temperatura do ar, Umidade relativa, Velocidade do vento e Irradiação global (figura 7), indicando nesta nova interface as variáveis dadas como input, nesta ordem precisamente. Solicitou-se a geração de um novo arquivo com as informações a serem calculadas, selecionando a opção *Output in file*. Por fim, na interface inicial, clicou-se em *New* e gerou-se, para cada dia, a Tmr.

Figura 7 -Interface de Input de dados

Uma vez obtida a Tmr, deu-se início ao processo no software *BioKlima* 2.6, onde selecionou-se o arquivo com a base de dados já com a Tmr. Em seguida, indicou-se as variáveis de cada coluna, sendo Kglob para a Irradiação Solar Global, t para Temperatura do Ar, f para Umidade Relativa, v10m para a Velocidade do Vento e Mrt para a Temperatura Radiante Média (figura 8).

Figura 8 - Interface do BioKlima 2.6 com a base de dados já organizada. Função calculadora em destaque

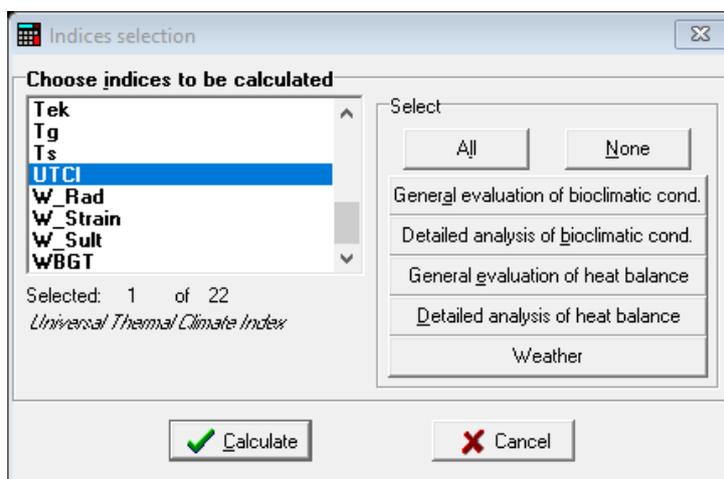


	date	Kglob	t	f	v10m	Mrt
1	1.1.2018	NA	27,80	58,00	NA	NA
2	2.1.2018	NA	26,80	67,00	NA	NA
3	3.1.2018	435,00	24,80	74,00	3,00	43,60
4	4.1.2018	NA	28,30	30,00	NA	NA
5	5.1.2018	772,00	29,50	44,00	2,40	58,40
6	6.1.2018	514,00	27,40	49,00	2,80	45,30
7	7.1.2018	NA	20,50	75,00	NA	NA
8	8.1.2018	162,00	20,50	89,00	1,60	30,20

Mean radiant temperature (°C)

Por último, procedeu-se para o cálculo do UTCI na ferramenta da calculadora, selecionando-se o índice desejado. Através das colunas corretamente identificadas, o próprio software identifica todos os índices de conforto térmico que podem ser calculados com as variáveis em questão. A figura 9 mostra a interface obtida ao clicar na opção da calculadora.

Figura 9 - Etapa de cálculo do UTCI no BioKlima 2.6



3.3.3 Faixas de classificação

Para a classificação das temperaturas obtidas através do cálculo dos índices, recorreu-se à bibliografia. Escolheu-se aquelas faixas mais pertinentes ao estudo, tanto para o WBGT quanto para o UTCI. Uma vez que aquele apenas acusa situações de desconforto de calor, as faixas determinadas foram as demonstradas na tabela 2. As faixas do UTCI são propostas segundo os autores que desenvolveram o próprio índice (BŁAŻEJCZYK et al., 2014). Para o WBGT, recorreu-se às indicações de exposição de calor determinadas pelo *National Weather Service* da *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA (NOAA, 2019) e à combinação realizada por Zarea et al. (2019), que agrupou as mesmas classificações do UTCI com o WBGT. Para o WBGT, a NOAA retrata os riscos para cada faixa de calor quanto à atividade física em ambientes externo. Para o “calor moderado”, recomenda-se até 45 minutos de trabalho com 15 minutos de descanso. Para “calor forte”, recomenda-se até 30 minutos de esforço e mesmo tempo de descanso. Para “calor muito forte”, o tempo máximo de trabalho seriam 20 minutos com 40 minutos para pausa, enquanto que para a “calor extremo”, limita-se a 15 minutos de esforço com 45 minutos de pausa (NOAA, 2019). A propósito, também é necessário observar que o WBGT não apresenta nenhuma faixa indicativa de cenários de frio, uma vez que sua metodologia está totalmente voltada para eventos de calor, já que este índice foi construído com objetivos de retratar eventos extremos com altas temperaturas. Em adição, ainda que o WBGT apresente uma faixa mais agravante de calor (“calor extremo”), única deste índice, as características deste cenário são compreendidas dentro da realidade da faixa de “calor muito forte” do UTCI, a sua classificação mais restritiva.

Tabela 2 - Faixas dos índices de conforto térmico

UTCI	FAIXA ÍNDICE	WBGT
De -13°C a 0°C	Frio moderado	-
De 0°C a 9°C	Levemente frio	-
De 9°C a 26°C	Confortável	< 26,7°C
De 26°C a 32°C	Calor moderado	De 26,7°C a 29,4°C
De 32°C a 38°C	Calor forte	De 29,4°C a 31,1°C
De 38°C a 46°C	Calor muito forte	De 31,1°C a 32,2°C
> 46°C	Calor Extremo	> 32,2°C

Fonte: Zarea et al. (2019) e NOAA, (2019). Adaptado pelo autor.

3.4 Cobertura Vegetal

Para a estimativa de um parâmetro adequado da cobertura vegetal recorreu-se ao índice *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), o qual permite identificar áreas de maior densidade de biomassa da cobertura vegetal por meio de sensoriamento remoto. Este índice baseia-se na reflexão do infravermelho próximo e do vermelho, sendo possível discernir cobertura de plantas com diferente biomassa verde, ou mais idosas/limitadas por exemplo por estresse hídrico. O cálculo do NDVI considera a razão normalizada de duas bandas de radiação: o infravermelho próximo e o visível (representado pelo vermelho), variando de 1 a -1 onde valores mais próximos a 1 representam espécies vegetativas em plena produção de clorofila, enquanto valores negativos retratam estruturas construídas (ou próximas de 0) e corpos d'água, próximos a -1, conforme (12) (SRUTHI e ASLAM, 2015):

$$NDVI = \frac{(\lambda_{NIR} - \lambda_{RED})}{(\lambda_{NIR} + \lambda_{RED})} \quad (6)$$

Onde λ_{NIR} é a refletância no infravermelho próximo e λ_{RED} a refletância no vermelho visível.

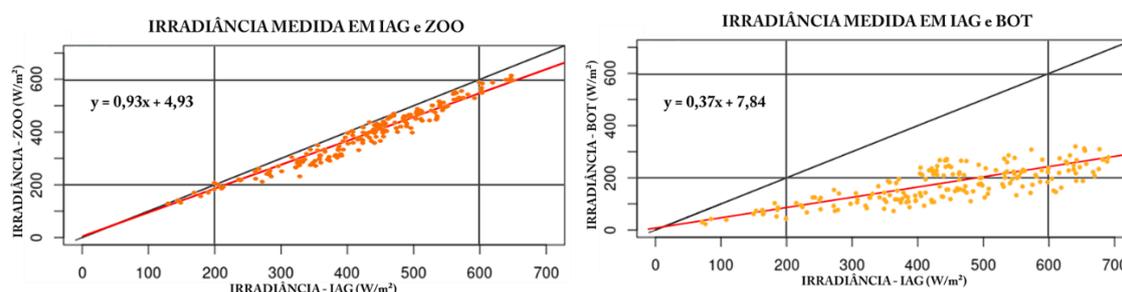
Para tanto, recorreu-se às imagens do satélite Sentinel-2A, resolução espacial de 10m e temporal de 10 dias, com imagem disponível para a área de estudo que não apresentasse nuvens durante o período de dados medidos nas estações meteorológicas (2018 e 2019). Para a obtenção do NDVI, obteve-se o produto das 23KLP e 23KLQ, sobrepostas através do *software QGIS 3.16*. Foram obtidos os produtos de 27 de abril de 2018, 01 de junho de 2018, 27 de janeiro de 2019, 23 de março de 2019, 27 de maio de 2019 e 11 de julho de 2019 e 09 de setembro de 2019. Estas imagens foram obtidas através do aplicativo da *Sentinel Hub* (2020). Dessa forma, realizou-se uma média dos NDVI de cada estação para compor um produto final.

Posteriormente, para cada estação estimou-se a quantidade de pixels com $NDVI > 0,62$ (vegetação moderada/densa) e NDVI entre 0,50 e 0,62 (vegetação esparsa, baixa), segundo Silva et al. (2019) levando em consideração as características de vegetação tropical. Foi utilizada a ferramenta *Raster Calculator*, para as distâncias de raio de 100m, 300m e 500m a partir da estação meteorológica. A fim de comparar as estações, obteve-se a porcentagem dos pixels cobertos por vegetação em cada classe.

Três estações foram tidas como singulares em relação às demais, em condições de maior influência ou influência direta de vegetação, conforme detalhado no Apêndice I. A primeira estação é Jardim Botânico (BOT), instalada sob o dossel fechado de um remanescente florestal. As medições de vento e irradiação solar, em especial, são as mais afetadas pela vegetação. Todavia, essa medição foi proposital a fim de se obter uma referência para o ambiente fechado de área verde em área urbana, e comparação com áreas abertas. A estação Jardim Zoológico (ZOO) é próxima de unidades vegetativas, mas em área aberta. A estação CIENTEC (IAG) é padrão da Organização Meteorológica Mundial (OMM), com distanciamento necessário de quaisquer espécies vegetativas. Contudo, pelas características do entorno, também tem a particularidade de estar no interior de um extenso parque vegetado. Desta forma para as análises estatísticas das estações urbanas as estações ZOO e BOT não foram integradas devido à estas heterogeneidades.

Numa comparação dos valores de irradiação solar incidente (figura 10), a diferença da estação BOT com IAG chega a 63% em média, o que antecipa uma condição de conforto da área fechada, onde o sombreamento é um dos serviços ambientais de maior valia por parte das infraestruturas verdes. Para a estação ZOO, a atenuação da radiação é de aproximadamente 7%, o que indica uma modesta, mas ainda significativa redução do aquecimento direto.

Figura 10 - Relação de irradiância solar incidente entre estações a) IAG x ZOO e b) IAG x BOT



4 Resultados e discussões

4.1 Conforto Térmico em Classes Qualitativas

Inicialmente, relacionou-se os dois índices de conforto térmico entre si para os dois períodos do ano considerados no estudo, o quente e o frio (figura 11). Percebeu-se nesta comparação conjunta que o UTCI se mostrou numericamente sempre maior do que o WBGT, conforme esperado (Tab. 2), alcançando classificações de conforto mais altas do que aquelas obtidas por este último para cada ponto de medição e com mais ênfase no verão. Neste sentido, pode-se dizer que o UTCI se comporta como um índice conservador para esta região: seus níveis de criticidade são atingidos com maior frequência, uma vez que as faixas do UTCI foram sempre mais altas quanto ao calor, se comparadas com o WBGT, principalmente no verão. Todavia, além de utilizarem metodologias diferentes para cálculo e de partirem de hipóteses diferentes para concepção dos próprios índices, ambos apresentam valores diferentes para as faixas de classificação de conforto similares, sendo elas aproximações a fins de comparação entre cálculos realizados para este escopo.

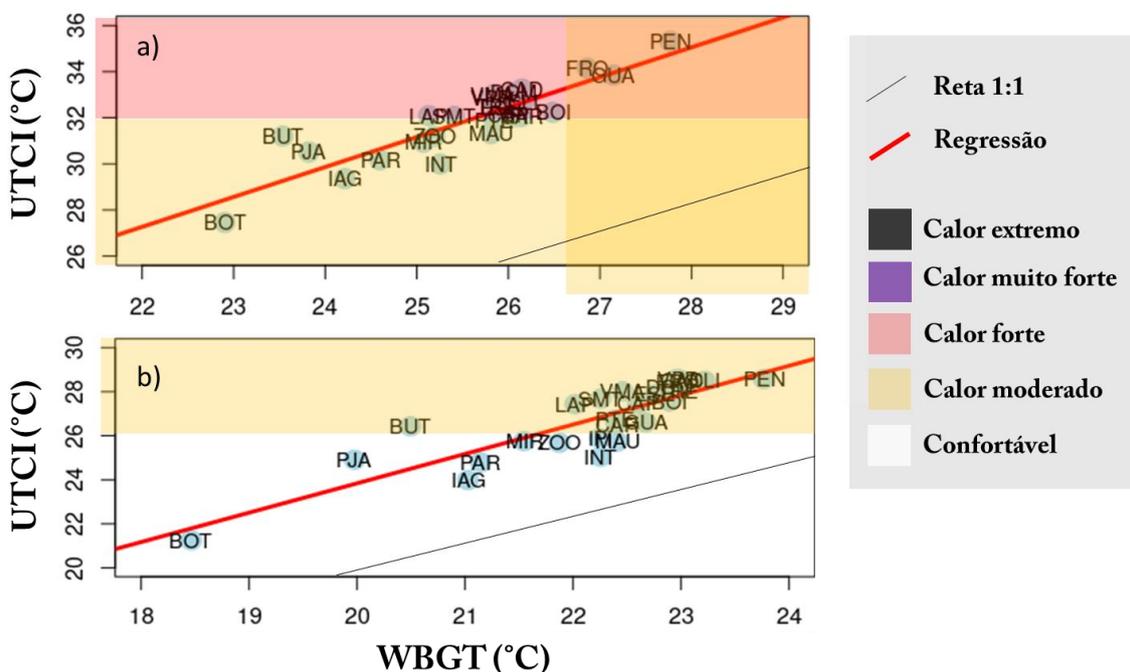
Em ambas as estações, os dois índices apresentaram boa regressão entre si, em especial ao apresentado entre as retas de regressão (vermelha) e a de referência (preta) na figura 11, representando um offset em relação ao marco de referência. Percebeu-se que as estações se apresentaram muito ajustadas a esta reta, o que justifica a boa regressão. As duas relações apresentaram p-valor menor que 0,01.

Quanto ao comportamento dos dois índices e das estações através dos valores máximos médios nos meses quentes (figura 11a), foram alcançadas três faixas de conforto para condições de calor (“confortável”, “calor moderado” e “calor forte”), sempre com o UTCI com faixas mais agravantes. Grande parte das estações do UTCI se mostrou na transição do calor “moderado” e “forte”, com PEN, FRO e GUA entres as estações mais desconfortáveis, todas no setor norte. BOT foi a estação mais fria como esperado, seguida de estações especiais como IAG (com entorno de parque), BUT (no interior da Cidade Universitária), PJA (a de maior altitude) e PAR (a estação mais ao sul), e depois as estações urbanizadas típicas. Já para o WBGT, a maioria das estações foi classificada como “confortáveis” para a média destes meses, restando àquelas estações mais desconfortáveis (PEN, FRO e GUA), a classificação de “calor moderado”. Nota-se que UTCI sempre se mostra mais desconfortável em relação a WBGT pelo deslocamento dos

pontos de medição em relação à reta 1:1 (cor preta), distante da reta de regressão (cor vermelha).

Para os meses frios, que coincidem com os meses mais frios do ano para a região, não houve nenhuma estação com registro acima de “calor moderado” para o índice UTCI, nem mesmo alguma classificação desfavorável para WBGT (figura 11b). Entretanto, alguns comportamentos se repetiram, como por exemplo PEN que liderou as estações em ambos os índices ainda que todas estejam em situações de classe de conforto, enquanto o oposto se justificou com BOT, assim como observado nos meses quentes. As mesmas estações mais frias seguidas de BOT voltaram a se apresentar, sendo elas BUT, PJA, PAR e IAG. Já para as mais quentes, seguidas a PEN, GUA e FRO seguiram-se entre elas, abrindo espaço para outros pontos de medição como CLI. Vê-se que, na região da Metrópole de São Paulo, não figuraram classificações extremas para o frio, já que todas as estações se apresentaram ou neutras ou quentes.

Figura 11 - Relação entre os valores máximos médios de WBGT e UTCI para a) estação quente e b) estação fria

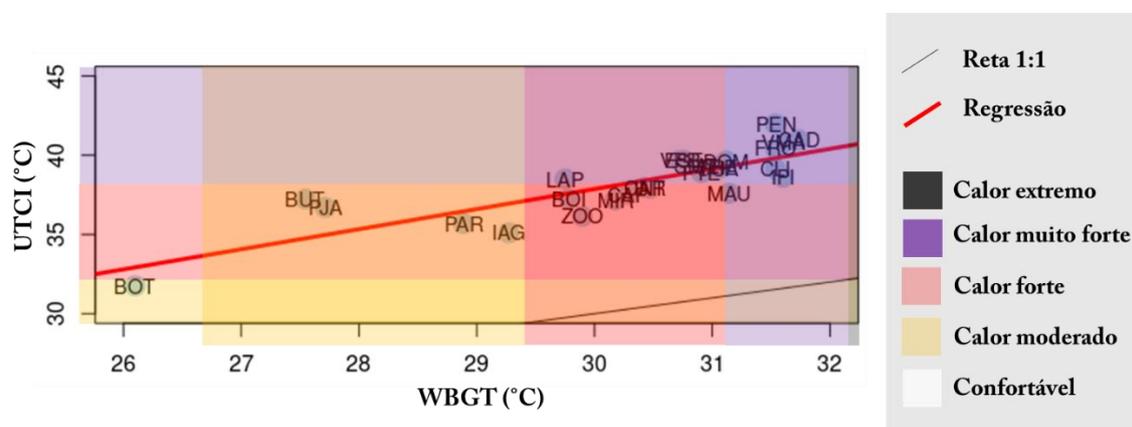


Quanto à comparação entre os percentis de 95% e os índices máximos médios anuais dos pontos de medição (figura 12), encontrou-se uma correspondência melhor quanto às faixas do UTCI e do WBGT. Ainda que UTCI tenha apresentado valores mais altos, confirmando uma característica do índice, as faixas concordaram quanto ao

resultado, mostrando-se eficazes para eventos extremos de calor. Percebeu-se um agrupamento de pontos com a classificação “calor muito forte” para ambos os índices, os pontos mais desconfortáveis do estudo, sendo elas PEN, CAD, VMA, FRO, CLI e IPI. Outro agrupamento de pontos se mostrou na faixa de “calor forte”, sendo eles BOI, ZOO, MIR, CAR, CAP e INT. BOT foi o único ponto de medição dentro da faixa de “confortável” para o WBGT, sendo classificada como “calor moderado” para o UTCI. Nenhuma estação se mostrou dentro da faixa de “calor extremo” para o WBGT, a faixa mais restritiva do índice. MAU foi a única estação com uma faixa mais quente para WBGT se comparado o resultado com o UTCI. Este ponto de medição se enquadrado como “calor muito forte” para aquele, mas sendo definido como “calor forte” para este.

Esta relação também apresentou boa regressão, com linearidade justificada pela reta vermelha e p-valor significativo menor que 0,01. Em geral, a correlação entre os dois índices foi considerada muito boa em todo o conjunto, ao obter-se valores do índice de correlação maiores que 0,77, sendo a maioria acima de 0,90.

Figura 12 - Relação entre os índices WBGT x UTCI dos valores máximos médios anuais do percentil 95%



4.2 Conforto Térmico em Classes Quantitativas

Quanto ao resultado dos cálculos do UTCI para os valores máximos na escala diária (tabela 3) para todos os meses do ano, encontram-se as maiores medianas (P50) nas estações PEN, na zona Leste, e FRO, na zona Norte, ambas classificadas na faixa “calor forte”. Além destas, somente DOM, na zona central, VPR na zona Leste e CLI na zona Sul apresentaram esta faixa para este percentil, enquanto todas as demais acusaram faixa

de “calor moderável”. O menor valor do percentil 50% foi registrado na estação BOT na zona Sul. Esta estação é, da mesma forma, a única a não se enquadrar na faixa do “calor muito forte” em nenhum dos percentis, com grande diferença de temperatura de conforto em relação às demais.

Apenas três estações mantiveram a classificação de “calor moderado” no percentil de 75%, sendo elas as estações vizinhas BOT, ZOO e IAG, ambas na região Sul. A diferença entre ZOO e IAG foi de apenas 0,6°C, enquanto que BOT registrou um valor bem menor, com diferença média de 2,5°C em relação às outras duas. Quanto ao percentil de 95%, no qual se encontram os eventos extremos de calor, 15 das 26 estações do estudo acusaram “calor muito forte”, enquanto apenas BOT registrou “calor moderado”. A maioria das estações com a classificação “calor forte” se encontram na porção Sul da capital, com exceção de PJA, MIR e BUT.

Em relação aos resultados obtidos na coluna “Eventos” para os valores máximos, relacionada ao número de registros de dias com classificações de “calor muito forte” e a porcentagem de dias em relação aos dados medidos diários por estação, vê-se que a estação BOT não registrou nenhuma ocorrência, a única do estudo. Em sequência, figuram as estações vizinhas a ela, IAG e ZOO, com 2 (0,3% dos dias com dados válidos) e 7 dias (2,5% dos dias com dados válidos), respectivamente. A estação com maior porcentagem de dias muito quentes em relação aos dados válidos foi PEN, com 19,9%, seguida de FRO (16,2%), CAD e VMA, ambas com 12,9% e DOM (11,4%). De fato, estas estações foram aquelas que figuraram como as mais quentes nos gráficos das figuras 1 e 2, em especial PEN e FRO.

Para os valores mínimos na escala diária, apenas algumas estações apresentaram valores classificados como “frio moderado”, sendo elas LAP, CAR, MIR, SMT, IPI, CLI e PAR, chamando a atenção a ausência da estação PJA, aquela em maior altitude e BOT, a estação sombreada do estudo. CAR, IPI e PAR se encontram em pontos diferentes da cidade, e seus valores baixos podem ser referentes a motivos diversos entre si, sendo CAR a detentora do menor registro, igual a -1,7°C. É ainda interessante notar que GUA e BOT são as únicas estações confortáveis no percentil de 5%. Nenhuma estação apresentou faixas de calor em nenhum percentil, além de todas apresentarem faixa confortável no percentil de 25%.

Tabela 3 - Conforto térmico do índice UTCI. Valores máximos e mínimos diários por pontos de medição ao longo do ano

	UTCI MÁXIMO NA ESCALA DIÁRIA				UTCI MÍNIMO NA ESCALA DIÁRIA			
	P50	P75	P95	Eventos*	MIN	P5	P25	Eventos*
PJA	30,1	33,7	36,7	15 (2,4%)	0,5	6,4	10,6	0 (0,0%)
PTE	31,0	34,3	38,9	59 (8,1%)	0	7,8	12,8	0 (0,0%)
LAP	31,0	34,3	38,5	44 (6,6%)	-0,9	7,7	12,3	1 (0,2%)
BUT	30,1	32,9	37,2	19 (3,2%)	3,7	8,3	12,6	0 (0,0%)
CAR	30,5	33,7	38,0	26 (4,0%)	-1,7	5,3	10,9	4 (0,6%)
TRE	31,6	34,7	39,2	50 (7,8%)	4,2	8,2	12,6	0 (0,0%)
FRO	32,7	36,0	40,4	99 (16,2%)	2,1	7,6	12,3	0 (0,0%)
MIR	30,1	33,3	37,2	20 (2,8%)	-0,2	6,9	11,5	1 (0,1%)
GUA	31,6	35,0	39,2	32 (8,9%)	1,7	9,5	12,7	0 (0,0%)
PEN	33,0	36,9	42,0	62 (19,9%)	4,1	7,9	12,5	0 (0,0%)
SMT	31,4	34,8	39,3	43 (10,8%)	-0,9	6,3	10,4	2 (0,5%)
DOM	32,1	35,4	39,6	78 (11,4%)	2,7	8,9	13,1	0 (0,0%)
ESE	31,5	34,8	39,7	68 (9,9%)	2,1	8,8	13,6	0 (0,0%)
VMA	31,6	35,3	40,8	73 (12,9%)	1,9	6,8	11,3	0 (0,0%)
VPR	32,2	35,4	39,7	75 (11,3%)	1,7	8,2	12,4	0 (0,0%)
BOT	26,0	29,1	31,8	0 (0,0%)	5,9	10,2	13,1	0 (0,0%)
IAG	28,0	31,3	35,1	2 (0,3%)	0,9	6,9	11,8	0 (0,0%)
ZOO	28,4	31,9	36,1	7 (2,5%)	4,6	8,6	12,4	0 (0,0%)
IPI	30,6	34,6	38,6	36 (6,3%)	-1,3	7,9	12,7	1 (0,3%)
MAU	30,1	33,4	37,6	21 (4,1%)	2,9	7,9	12,0	0 (0,0%)
CLI	32,1	35,0	39,1	62 (9,7%)	-0,1	8	12,3	1 (0,2%)
CAP	31,1	33,9	37,5	23 (4,0%)	0	6,4	11,6	0 (0,0%)
INT	29,0	32,3	37,9	15 (4,6%)	0,8	6,2	11,6	0 (0,0%)
CAD	31,7	35,0	41,0	60 (12,9%)	0,4	8,3	12,8	0 (0,0%)
BOI	31,1	33,7	37,2	19 (3,8%)	0	4,9	11,2	0 (0,0%)
PAR	30,2	33,9	37,7	4 (0,8%)	-1,3	6,6	10,4	7 (1,2%)

FRIO			CALOR		
Moderado	Leve	Confortável	Moderado	Forte	Muito Forte
0°C	9°C	26°C	32°C	38°C	>38°C

Legenda: MIN (valor mínimo), P5 (percentil 5%), P25 (percentil 25%), P50 (percentil de 50%), P75% (percentil de 75%), P95(percentil de 95%), Eventos*(número de dias com registros de extremos de " calor muito forte" ou "frio moderado" e porcentagens em relação aos dados válidos medidos em cada estação).

Quanto ao registro de dias com faixas de "frio moderado", o número de estações é reduzido, sendo PAR aquela com maior porcentagem de dias válidos com esta faixa (1,2%). CAR é a estação que ocupou o segundo lugar (0,6%), seguido de SMT (0,5%) e outras estações com poucas ocorrências, sendo elas LAP, MIR, IPI e CLI, com apenas um registro.

Para o índice WBGT, a tabela 4 indicou igualmente os valores obtidos para todos os meses, valores máximos e mínimos na escala diária. Nenhuma estação apresentou classificações de calor para a mediana (percentil de 50%), o que se repetiu em todos os percentis para BOT, algo similar que a caracterizou no índice UTCI. A situação de “confortável” foi registrada em poucas estações no percentil de 75%, sendo elas os pontos de medição tidos como referência, na zona Sul (BOT, ZOO e IAG), a estação de maior altitude PJA e outras pontuais como LAP, BUT e MIR.

Uma vez que a variação da classificação do índice numericamente é muito estreita (a classificação de “calor forte” compreende uma variação de 1,7°C, entre 29,4°C e 31,1°C e a faixa de “calor muito forte” compreende uma variação de 1,1°C, entre 31,1°C e 31,2°C), as classificações mais severas de calor apareceram em algumas estações no percentil de 95%, com a faixa de “calor muito forte” para CAD, a estação mais quente do percentil com 31,7°C, seguida de IPI e VMA (31,6°C), FRO, PEN e CLI (ambas com 31,5°C) e DOM e MAU (31,1°C). Também pelo mesmo motivo, nenhuma estação apresentou faixa de “calor extremo”, classificação que figurou para percentis maiores (valores máximos, por exemplo) e em poucas ocasiões dos dados analisados. Em 95%, somente três estações se mostraram como “calor moderado”, sendo elas BUT, PJA e IAG, além de BOT com a faixa “confortável”.

Em relação aos eventos registrados, agrupou-se as classificações de “calor muito forte” e “calor extremo” nos eventos contabilizados, uma vez que ambos são de interesse quanto ao desconforto por situações adversas de calor. Além disso, a faixa de “calor extremo” não é utilizada pelo índice UTCI, uma vez que compreende estas características apenas em “calor muito forte”. Ao ser menos restritivo em relação ao número de faixas, o UTCI engloba os casos mais severos numa mesma faixa. Desse modo, no WBGT a estação com maior porcentagem de ocorrências diárias de desconforto nestas condições foi PEN novamente, com 7,1% dos dias com dados válidos. Em seguida, figura a estação IPI, com 7,0%, a qual não aparecia entre as mais críticas no UTCI. Posteriormente, repetem-se algumas estações como CAD (6,7%), VMA e FRO (6,2%), CLI (6,1%) e DOM (5,0%).

Assim como no UTCI, BOT não acusou nenhum evento crítico, enquanto que o WBGT também apresentou outras duas estações igualmente sem nenhum caso (PJA e BUT). Outras estações com poucos registros foram PAR, com apenas 0,4%, IAG (0,9%) e BOI (1,0%). É perceptível o conservadorismo em relação à UTCI ao observar-se a

magnitude das porcentagens dos eventos de calor. A título de exemplo, PEN, a estação com maior porcentagem de casos em ambos os índices, apresenta 19,9% dos dias com dados válidos dentro da classificação de restrições severas quanto ao calor no UTCI, enquanto que, no WBGT, esta porcentagem foi igual a 7,1%. Estes valores afirmam novamente a hipótese de que o UTCI se mostra como um índice conservador.

Tabela 4 - Conforto térmico segundo o índice WBGT. Valores máximos e mínimos para aos pontos de medição ao longo do ano

	WBGT MÁXIMO NA ESCALA DIÁRIA				WBGT MÍNIMO NA ESCALA DIÁRIA			
	P50	P75	P95	Eventos*	MIN	P5	P25	Eventos*
PJA	23,9	26,2	27,7	0 (0,0%)	2,9	8,8	12,5	-
PTE	25,1	27,5	30,9	32 (4,4%)	5,5	10,7	14,1	-
LAP	24,3	26,7	29,8	12 (1,8%)	5,5	10,4	14,1	-
BUT	22,8	25,0	27,5	0 (0,0%)	4,8	10,2	13,6	-
CAR	25,0	27,4	30,4	16 (2,5%)	4,7	10,1	13,8	-
TRE	25,1	27,5	31,0	29 (4,5%)	6,4	10,5	14,1	-
FRO	25,9	28,3	31,5	38 (6,2%)	5,0	9,5	13,3	-
MIR	24,4	26,6	30,2	16 (2,2%)	5,5	10,2	13,4	-
GUA	25,8	28,1	31,1	15 (4,2%)	7,4	10,8	13,7	-
PEN	26,5	28,9	31,5	22 (7,1%)	7,4	10,1	14,0	-
SMT	24,7	27,2	30,9	16 (4,0%)	4,6	8,8	12,3	-
DOM	25,5	27,7	31,1	34 (5,0%)	5,2	11,0	14,2	-
ESE	25,2	27,4	30,8	26 (3,8%)	6,4	11,6	14,7	-
VMA	24,7	27,2	31,6	35 (6,2%)	5,0	9,7	13,3	-
VPR	25,4	27,4	30,7	26 (3,9%)	6,6	10,6	14,0	-
BOT	22,0	24,1	26,1	0 (0,0%)	5,3	9,9	12,9	-
IAG	23,5	25,7	29,3	6 (0,9%)	3,0	9,9	13,3	-
ZOO	23,9	25,9	29,9	8 (2,9%)	4,2	8,4	12,3	-
IPI	25,2	27,9	31,6	40 (7,0%)	5,0	10,1	14,5	-
MAU	25,1	27,4	31,1	25 (4,9%)	5,2	10,7	14,6	-
CLI	25,5	27,8	31,5	39 (6,1%)	4,2	10,3	13,8	-
CAP	25,1	27,1	30,3	13 (2,2%)	4,1	10,0	13,5	-
INT	24,4	26,7	30,5	11 (3,3%)	8,3	11,8	14,8	-
CAD	25,1	27,6	31,7	31 (6,7%)	4,9	11,3	14,2	-
BOI	25,4	27,4	29,8	5 (1,0%)	5,1	11,0	14,2	-
PAR	25,4	27,7	29,7	2 (0,4%)	1,0	9,1	12,2	-

CALOR				
Confortável	Moderado	Forte	Muito Forte	Extremo
<26,7°C	29,4°C	31,3°C	32,2°C	>32,2°C

Legenda: MIN (valor mínimo), P5 (percentil 5%), P25 (percentil 25%), P50 (percentil de 50%), P75% (percentil de 75%), P95(percentil de 95%), Eventos*(número de dias com registros de extremos de " calor muito forte" ou "frio moderado" e porcentagens em relação aos dados válidos medidos em cada estação).

Para os valores mínimos na escala diária do WBGT, uma vez que não existem faixas de frio para o índice, não foram registradas nenhuma classe para estes valores. Considerando todos os percentis destes valores mínimos, nenhuma estação acusou nenhuma faixa de calor, algo que se repetiu como resultado o UTCI.

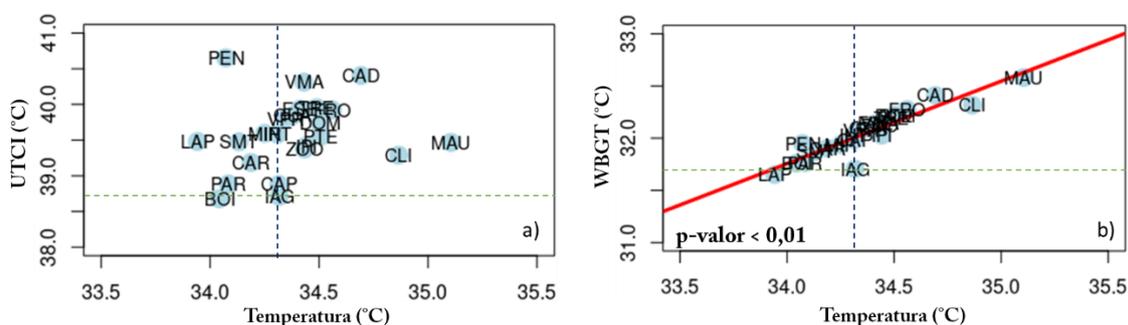
4.3 Conforto Térmico e Variáveis Meteorológicas

Em relação às variáveis meteorológicas, selecionou-se aqueles eventos de maior criticidade da região de estudo, ou seja, aqueles relacionados com o calor obtendo-se uma média para uma melhor apuração dos comportamentos de cada ponto. Portanto, selecionou-se apenas os dias com classes de “calor muito forte” do UTCI e aqueles com “calor muito forte” e “calor extremo” do WBGT. A primeira relação entre os índices e as variáveis medidas foi elaborada para a temperatura do ar (figura 13). Dentre os índices, aquele que apresentou uma melhor regressão foi o WBGT, quando as estações se mostraram quase todas sobre a reta vermelha ou muito próximas, e com p-valor significativo menor que 0,01. A estação de maior temperatura e maior índice foi MAU, seguida de CAD e CLI, estações sinalizadas como desconfortáveis através das análises anteriores. Além destas que se destacaram das demais, a estação mais desconfortável do agrupamento apresentado sobre a reta foi FRO, que também sinalizou sendo uma estação de altos índices nos percentis calculados nas tabelas anteriores. Dentre as estações na outra extremidade da reta apontaram LAP, BOI e PAR, sendo estas duas últimas estações localizadas na região Sul da capital paulista. O índice UTCI, por sua vez, não apresentou regressão linear significativa com a variável temperatura. Algumas estações se agruparam no centro do gráfico, enquanto outras se apresentaram dispersas, como PEN, MAU e CLI. Desta maneira, pode-se dizer que o WBGT é um índice mais dependente da variável Temperatura do Ar do que o UTCI.

É importante destacar as retas tracejadas em ambos os gráficos apresentados da figura 13. A reta vertical em azul é traçada no ponto IAG, separando as estações com temperaturas maiores ou menores do que esta estação dentre aquelas que apresentaram eventos críticos de calor. Considerando a magnitude média destes eventos, parte das estações são mais frias do que o IAG, enquanto a maioria se deu como mais quente. Independente do índice utilizado, as temperaturas medidas são as mesmas, sendo as estações LAP, PEN, BOI, SMT, CAR, MIR, PAR e INT aquelas com médias inferiores

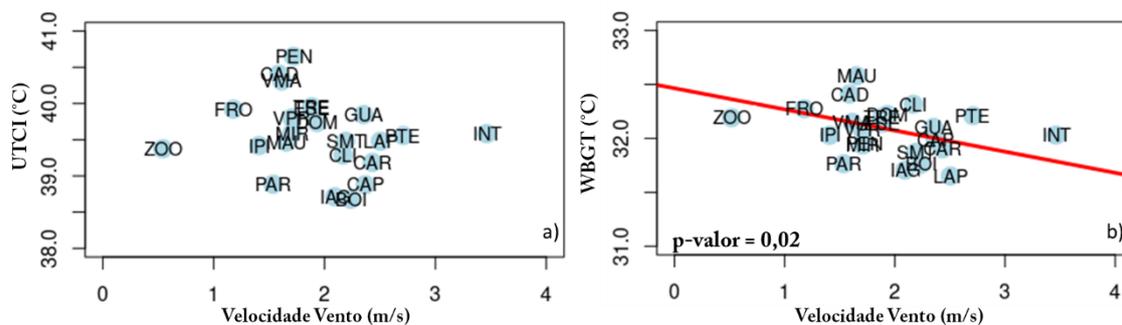
a IAG durante os eventos de desconforto crítico por calor. Quanto ao índice propriamente dito, IAG é a estação mais confortável em relação às demais, juntamente com BOI, com o mesmo valor numérico. Algo similar ocorreu com WBGT, quando apenas uma estação foi numericamente idêntica à média do índice quanto a IAG, LAP. Todas as demais se mostraram mais desconfortáveis em relação à estação referência. É imprescindível destacar que as estações BOT, BUT e PJA não acusaram valores críticos no WBGT, motivo pela qual não foram retratadas na figura.

Figura 13 - Relação entre Temperatura do Ar em dias de calor crítico e os índices a) UTCI e b) WBGT. Figura 13b: Intercepto: 4,32; Coeficiente Angular:0,81; R²:0,68.



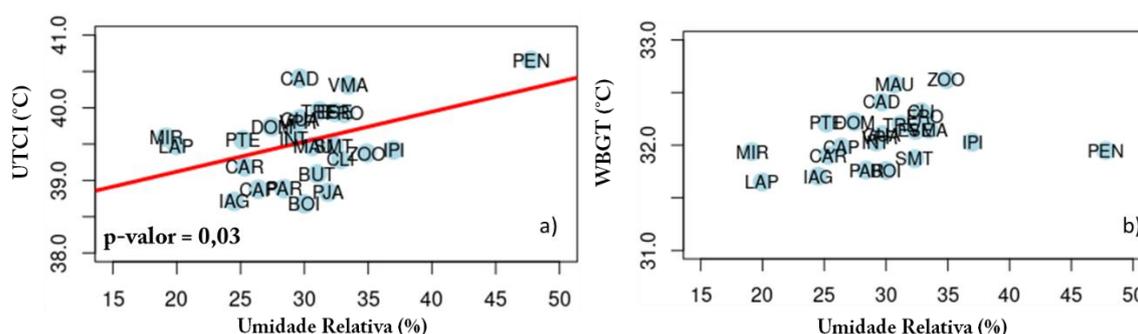
Quanto à Velocidade do Vento, elemento importante para a percepção de conforto térmico em determinadas circunstâncias, a regressão se mostrou significativa em relação ao WBGT (figura 14). ZOO se mostrou como a estação de menor velocidade do vento (além de BOT), resultado justificado pelas estruturas vegetativas no entorno, que dificultam a velocidade do vento a níveis similares às demais estações. Desta forma, espera-se que, em situações críticas de calor, a ventilação seja prejudicada, aumentando os valores do índice. Num cenário oposto, INT foi a estação com maior velocidade média, algo que também poderia ter contribuído para o resultado do WBGT, mais baixo em relação às estações próximas de onde se encontra.

Figura 14 - Relação entre Velocidade do Vento em dias de calor crítico e os índices a) UTCI e b) WBGT. Figura 4b: Intercepto: 32,5; Coeficiente Angular: -0,2; R²:0,55.



Enquanto para a Temperatura do Ar e para a Velocidade do Ar, o WBGT foi o índice que mostrou maior dependência com as variáveis, para a Umidade Relativa apenas UTCI apresentou significância na regressão linear (figura 15). Percebe-se, assim como esperado que, o aumento da Umidade possibilita o aumento da sensação de desconforto com o crescimento dos índices. Destaca-se a estação PEN, afastada dos agrupamentos das estações apresentadas, em especial para o índice UTCI. Percebe-se que a alta umidade apresentada neste ponto pode ter favorecido um alto índice, permitindo sensações de desconforto pelo calor. Esta possivelmente seria a principal variável que levou PEN a se mostrar como uma das estações mais críticas do estudo.

Figura 15 - Relação entre Umidade Relativa do Ar em dias de calor crítico e os índices a) UTCI e b) WBGT. Figura 15a: Intercepto: 37,95; Coeficiente Angular:0,05; R²:0,54.



4.4 Conforto Térmico e Fatores Geográficos

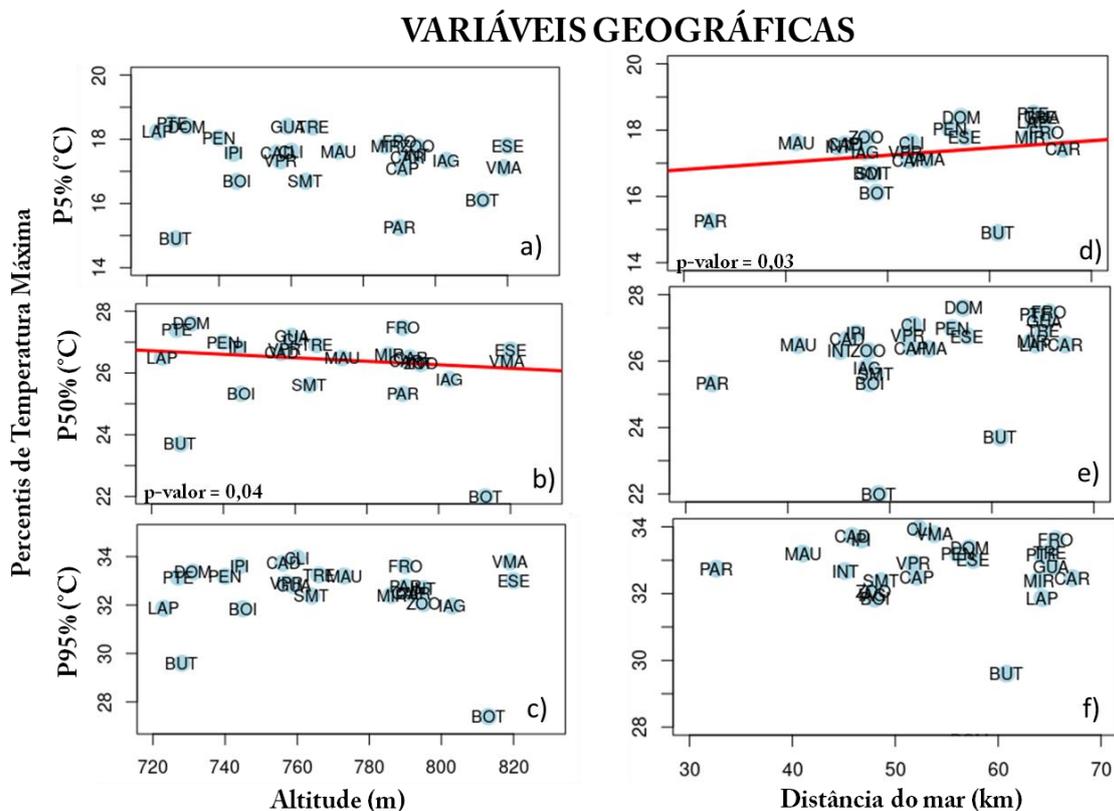
Além das questões meteorológicas, deve-se levar em consideração alguns aspectos geográficos, como a altitude em que se encontra o ponto estudado e a distância média do mar, uma vez que algumas localidades podem responder à maior influência da

brisa marítima e da elevação. Apesar de que a maioria das estações do estudo se encontram na faixa entre 720 e 820m em relação ao nível médio do mar, notou-se certa variação no relevo na metrópole de São Paulo, principalmente dentro da capital, o que pode promover uma interferência nos resultados do conforto térmico. Uma das estações se encontra fora desta faixa, PJA, localizada no Pico do Jaraguá, dentro do Parque Estadual homônimo. A altitude do ponto foi registrada como 1079m, muito acima das demais estações. Por conta de sua altitude atípica, este ponto de medição foi eliminado da análise para permitir uma melhor visualização dos resultados

Na comparação entre os percentis de temperatura máxima média e os valores de distância do mar e altitude (figura 16), percebe-se que há significância para o percentil de 50% para a relação temperatura-altitude e para o percentil de 5% para a relação temperatura-distância do mar. Vê-se que PAR, BUT e BOT são estações que tendem a desviar-se da tendência geral, enquanto FRO, uma das estações mais desconfortáveis do estudo, está entre aquelas mais distantes do mar, mais um elemento que dificulta a obtenção de cenários saudáveis para a população. Já em relação à altitude, há uma pequena tendência de diminuição da temperatura máxima ao passo da diminuição do nível médio em relação ao mar. Nos gráficos representados, algumas estações vegetadas apareceram abaixo dos agrupamentos das demais estações, como observado na figura 16a, onde SMT, BOT, BUT, PAR e BOI são todas estações dentro deste contexto, sendo as mais frias.

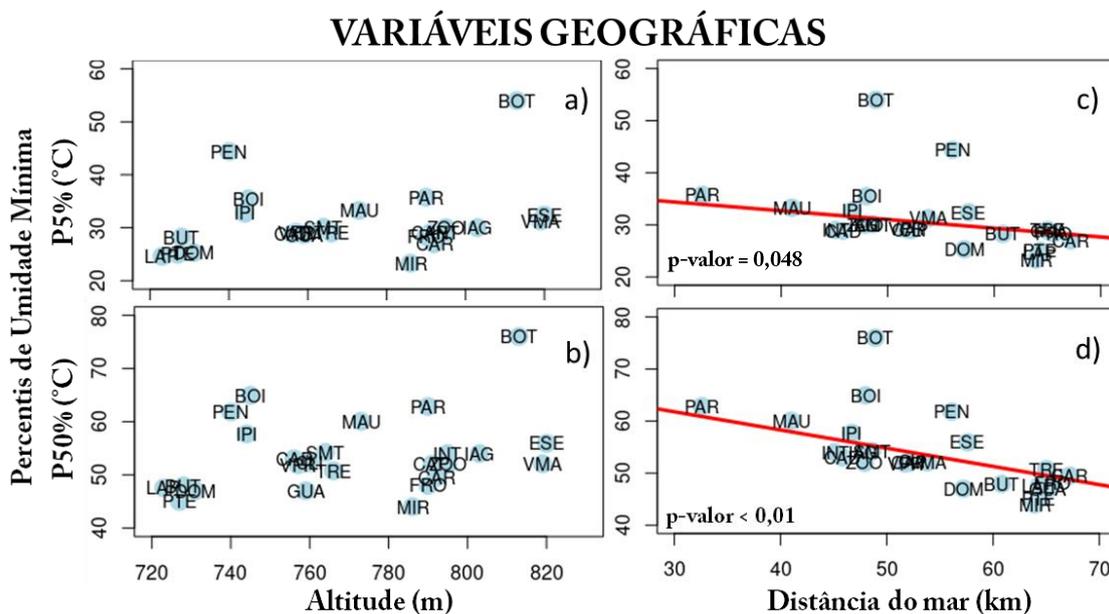
Para avaliar o *lapse-rate* terrestre calculado a partir do coeficiente angular da regressão linear entre a temperatura máxima e a altitude, encontrou-se para o percentil de 5% um valor igual a $-5,2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ e, para o percentil de 95%, igual a $-5,4^{\circ}\text{C}/\text{km}$, muito similares entre si. Ambos resultaram menores que o *lapse-rate* padrão da atmosfera ($-6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Em se tratando de um espaço urbano, percebe-se um maior aquecimento da região provocado pelos elementos da infraestrutura cinza, provocando um menor decréscimo da temperatura com o aumento da altitude. Este valor está ainda mais baixo do que aquele obtido para regiões rurais, próximo de $-7,0^{\circ}\text{C}/\text{km}$ durante o meio-dia (MARTIN et al., 2018), marcados por áreas verdes concisas, que poderiam contribuir para um maior módulo de *lapse-rate*. Por estar fortemente atrelado ao aquecimento dos componentes da superfície, pode-se dizer que o *lapse-rate* da região central da RMSP tende a ser maior pelo maior aquecimento destas estruturas, afirmando o papel da vegetação na diminuição da temperatura do ar.

Figura 16 - Relação entre percentis de Temperatura máxima e altitude a) percentil 5% (P5%), b) P50%, c) P95% e distância do mar d)P5%, d)50%, e)95%. Figura 6b: Intercepto: 31,52; Coeficiente Angular:-0,007; R²:0,46. Figura 16d: Intercepto: 16,08; Coeficiente Angular:0,022; R²:0,51.



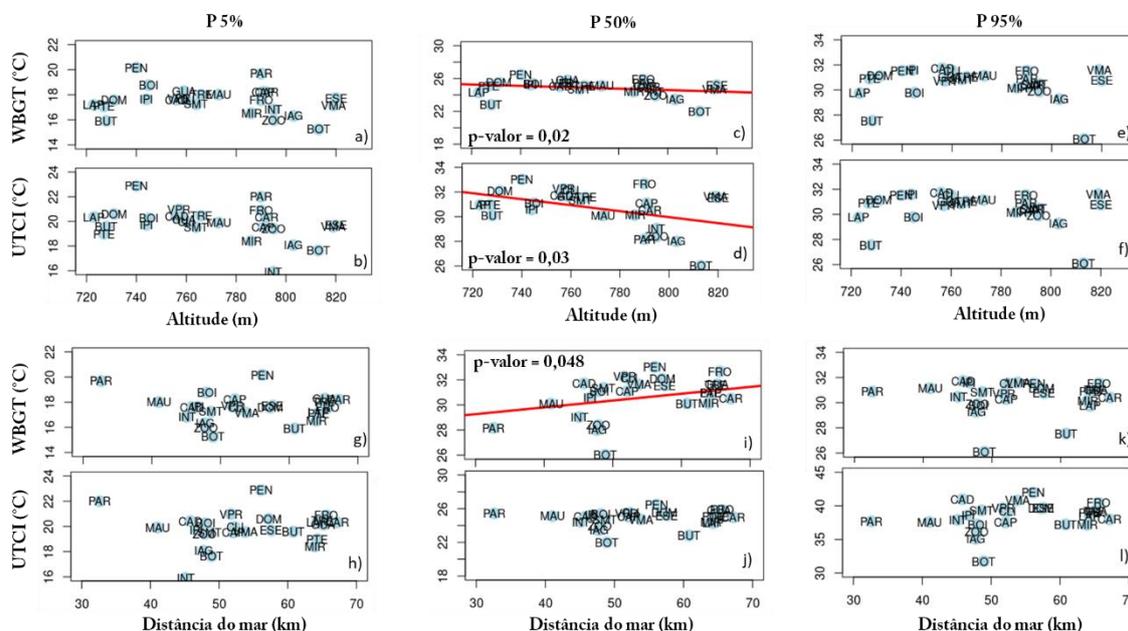
Numa comparação similar com a Umidade Relativa mínima média ao longo do ano, percebeu-se uma tendência mais pronunciada através da inclinação da reta de regressão (figura 17). Embora a altitude tenha mostrado um tímido padrão de comportamento entre os pontos medidos, houve um certo conjunto de comportamentos a se destacar. Para ambos os percentis, as estações com menores altitudes acusaram as menores umidades relativas. A distância do mar mostrou-se como elemento importante na redução da umidade mais incisivamente, diminuindo a porcentagem com o avanço da distância. Vê-se que PAR é a estação mais próxima do mar, assim como uma das mais úmidas, perdendo apenas para BOT, PEN e BOI. As demais, tenderam a diminuir a porcentagem gradualmente. Isso pode indicar o efeito da brisa pelo transporte de umidade proveniente do mar, no litoral paulista.

Figura 17 - Relação entre percentis de Umidade Mínima e altitude a) percentil 5% (P5%), b) P50% e distância do mar, c) P5%, d) 50%. Figura 7c: Intercepto: 43,11; Coeficiente Angular:-0,22; R²:0,78. Figura 7d: Intercepto: 75,23; Coeficiente Angular:-0,39; R²:0,46.



Ainda analisando as variáveis geográficas, mas com os próprios índices de conforto (figura 18), ambos os índices apresentaram um comportamento similar quanto à altitude. Ainda que com uma dependência fraca, percebe-se que em todos os percentis há uma diminuição dos valores dos índices com o aumento da altura do ponto de medição em relação ao nível do mar para o percentil de 50%. Quanto à distância da costa, nota-se um importante comportamento quanto ao índice WBGT e a distância do mar para o mesmo percentil, sendo a situação de dependência mais pronunciada daquelas apresentadas. Percebe-se que o distanciamento do mar colabora com o aumento do valor do índice de conforto térmico, ou seja, há uma tendência de maior quantidade de situações de calor agravantes ao passa do aumento da distância. Já o UTCI não apresentou nenhuma dependência de relevância em nenhum dos percentis.

Figura 18 - Dispersão entre índices, percentis de 5%, 50% e 95% e variáveis geográficas (Altitude e Distância do Mar). Figura 18c: Intercepto:29,98; Coeficiente Angular:-0,007; R²:0,67. Figura 18d: Intercepto: 37,35; Coeficiente Angular:-0,09; R²:0,86. Figura 8i: Intercepto: 24,11; Coeficiente Angular:0,011; R²:0,61.



4.5 Conforto Térmico e Cobertura Vegetal

Foi feita inicialmente uma avaliação da variação do NDVI calculado em diferentes distâncias do local de cada estação. Para uma melhor caracterização dos espaços, obteve-se os resultados do NDVI para cada raio de influência (100m, 300m e 500m). A título de comparação, mostra-se na figura 19 os tipos de cobertura de duas estações, BOT e DOM, enquanto na figura 20 apresenta-se a imagem de satélite obtida para os mesmos pontos, sendo a primeira aquela estação com sombreamento pela vegetação e a última, uma estação na região central da capital, sob influência de um pequeno parque urbano e próximo a um corpo d'água. Percebe-se que em ambas, a vegetação decresce com o distanciamento do ponto central.

A estação BOT tem 100% de vegetação no seu entorno de 100m, com predominância expressiva de vegetação densa. Ao passo da distância do ponto de medição para o raio de 300m e 500m, a estação sombreada passa a receber influência de uma área urbanizada de fora do parque em que se encontra, chegando a ser representada por quase metade da área (47,6%).

Figura 19 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. BOT para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m; DOM para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m

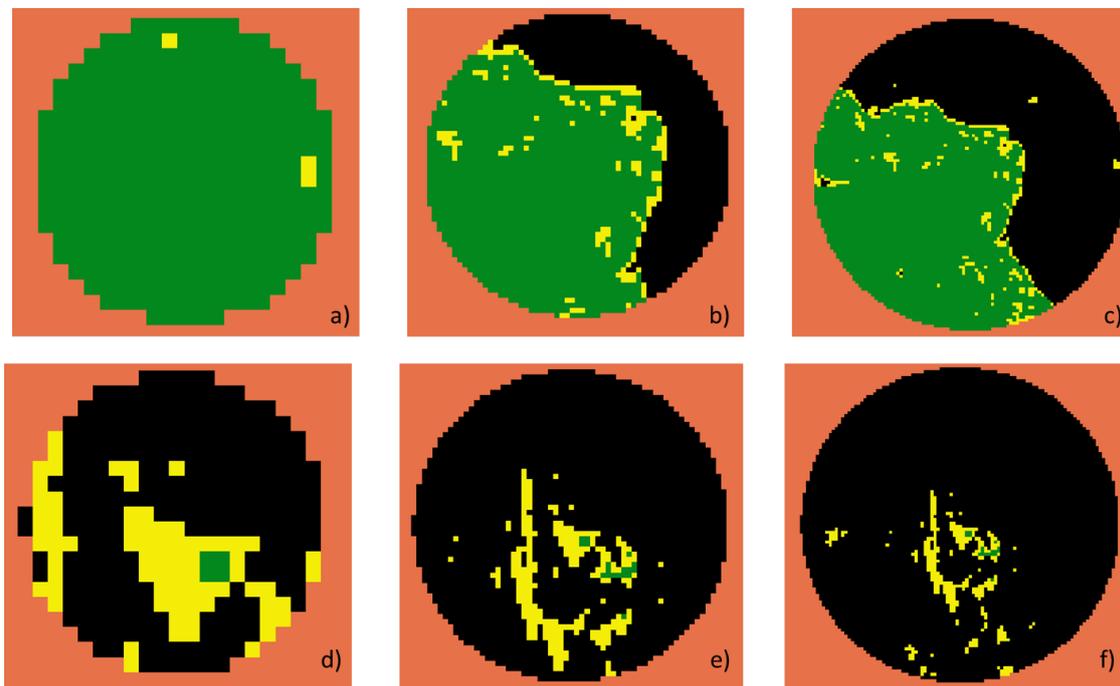
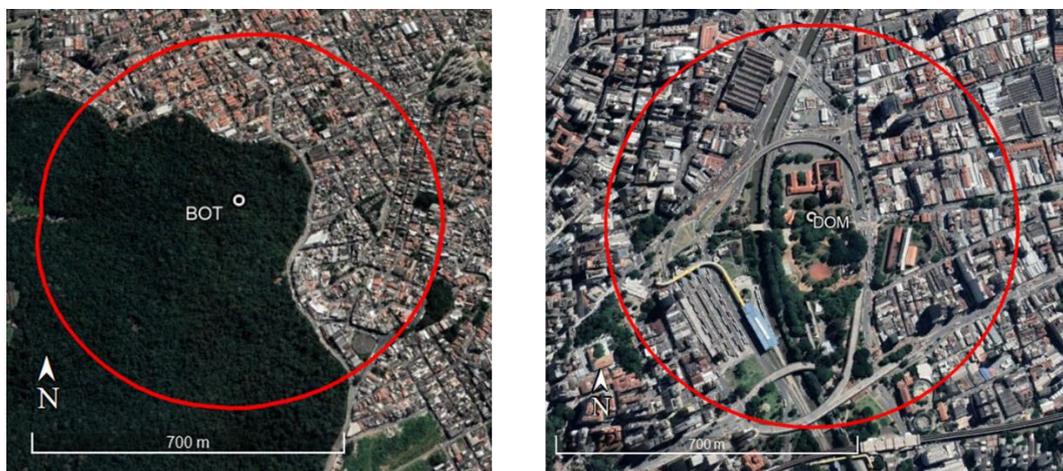


Figura 20 - Imagens de satélites com demarcação do raio de 500m de a) BOT e b) DOM



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62) Silva et al. (2019). Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$); BOT: Estação Jardim Botânico; DOM: Estação Dom Pedro.

Enquanto isso, a estação DOM, que se mostra na porção central de São Paulo, conta com algumas espécies vegetais de porte menor em sua predominância, sendo uma área verde de pequeno impacto nas cercanias. Com o distanciamento do ponto de medição, vê-se que este parque (Parque Dom Pedro) onde se encontra a estação meteorológica, é uma ilha verde, uma vez que o predomínio de áreas não vegetadas é

destacável. Para o raio de 100m, a cobertura por parte de algum tipo de vegetação é de apenas 24,6%, enquanto que esta porcentagem cai para 4,3% para o raio de 500m. Desta forma, é importante conhecer melhor as regiões em que se encontram as medições para uma melhor conclusão a respeito dos resultados de conforto térmico.

Para sintetizar a situação geral das estações meteorológicas utilizadas no estudo além da descrição feita no Apêndice I através de imagens e análises, na tabela 5 mostra-se a porcentagem de cobertura vegetal através da variação da coloração de tons verdes em função do percentual médio de cobertura vegetal entre os raios de 100m e 300m. Percebe-se, de fato, uma maior cobertura vegetal entre as três estações referência, além daquelas inseridas sob contexto de parques e áreas protegidas, como PAR e PJA. Outras estações são destacadas sob contexto de forte urbanização, mas com presença considerável de infraestrutura verde, como é o caso de BUT sob influência da vegetação no *campus* da USP, SMT com influência do Parque do Carmo nas cercanias e CAP, com remanescentes vegetais próximos.

Tabela 5 - Variação da fração de vegetação estimada pelo NDVI em porcentagem entre os raios de 100m e 300m do ponto de medição.

PJA	PTE	LAP	BUT	CAR	TRE	FRO	MIR	GUA	PEN	SMT	DOM	ESE
77,8%	1,7%	2,1%	52,3%	2,1%	15,3%	25,7%	4,9%	9,2%	6,4%	41,4%	17,0%	3,5%
VMA	VPR	BOT	IAG	ZOO	IPÍ	MAU	CLI	CAP	INT	CAD	BOI	PAR
1,5%	7,1%	83,9%	55,7%	73,1%	2,6%	10,0%	0,1%	31,7%	17,0%	1,0%	15,6%	69,0%

Legenda: coloração verde intensa representa maiores porcentagens de cobertura vegetal. Cores tendendo ao branco representa menores porcentagens de cobertura vegetal.

As estações meteorológicas com maiores porcentagens de NDVI para o raio de 100m apresentaram-se BOT (100%), ZOO (78,1%) e PJA (74,7%), sendo todas inseridas em áreas verdes protegidas, como parques ou jardins. Em seguida, segue BUT (62,1%), e PAR (57,9%), ambas em proximidade a elementos naturais, o que justifica a densidade de área verde. Dentre as estações mais próximas de área verde encontra-se apenas uma classificada como urbana, CAP, com 37,0% de vegetação, à frente apenas de SMT.

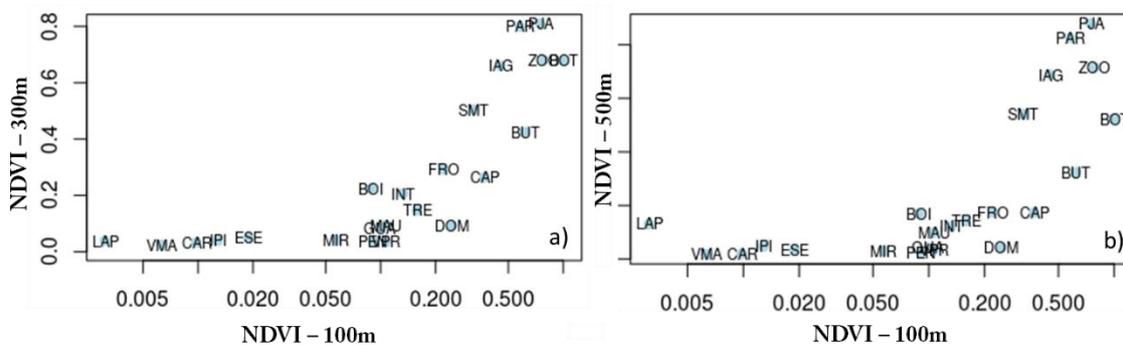
Já para o raio de 300m, PJA se torna a estação com maior quantidade de verde (81,0%), seguida de PAR (80,0%), ZOO (68,1%) e somente a seguir encontra-se BOT (67,9%). Todas as primeiras estações neste raio são aquelas ligadas a grandes áreas verdes (PJA, PAR, ZOO, BOT, IAG, SMT e BUT). Por fim, para o raio de 500m, as três primeiras estações com maior quantidade de vegetação são mantidas (PJA, 88,0%; PAR, 82,6%; ZOO, 71,5%), enquanto que as que se seguem são IAG (68,8%), SMT (54,1%) e

BOT (52,4%), sempre as estações verdes. Por outro lado, as estações sem presença de verde em 100m são PTE, CLI e CAD, sendo LAP e VMA as únicas com valores menores que 1% (0,3% e 0,6%, respectivamente). Para 300m, CLI continua com baixos valores (0,1%), seguido de CAD (2,0%) e VMA (2,4%). CLI, VMA e CAD continuam entre as estações com menores quantidades de vegetação em 500m, somando-se CAR (2,0%) e PEN (2,3%).

Ainda no contexto das estações e das coberturas vegetais, faz-se necessário identificar o comportamento das estações quanto à variabilidade da quantidade de verde existente e à distância em relação ao ponto de medição. Conforme a figura 21 percebe-se que, em geral, a fração de verde das estações em 300m ou 500m pouco se alteram, relativamente a 100m (figura 21). Um caso excepcional se dá com BOT, uma vez que se trata de uma estação 100% coberta por vegetação nos primeiros metros (100m), mas que passa a abranger parte de território urbano referente ao bairro localizado nas proximidades do parque. Esta realidade se dá mais concretamente para o raio de 500m, quando a porcentagem de vegetação quase se iguala àquela da área urbana.

Entre as estações urbanas, poucas são aquelas em que a vegetação aumenta ao longo do distanciamento do ponto de medição. Vê-se que a maioria dos pontos da figura 21b se encontram mais a baixo do que os mesmos pontos na figura 21a, o que mostra esse decaimento quantitativo em relação à cobertura vegetal. A única estação que tende a se manter no mesmo nível de vegetação é LAP. Desse modo, justifica-se o uso dos dados de vegetação para o raio de 100m, uma vez que se encontra muito próxima à medição e poderia afetar direta ou indiretamente no microclima local.

Figura 21 - Diferenças entre o NDVI dos raios a) 100m e 300m e b) 100m e 500m. Eixo Y em escala logarítmica



A estação BOT, além de ser a única que provoca um sombreamento nos equipamentos de medição, é a com maior porcentagem de cobertura verde do estudo, seguido por PJA, a estação de maior altitude e ZOO, muito próxima à BOT. Outra estação com presença expressiva de vegetação é PAR, no extremo Sul de São Paulo, assim como a mais próxima do mar. Na sequência, encontram-se as outras duas estações sob influência da vegetação, BUT e SMT. Por outro lado, figuram estações com percentuais muito aquém do desejado, como CLI, a qual não registrou montantes de porcentagem da cobertura vegetal consideráveis. Outras estações similares foram PTE, LAP, VMA e CAD. Ainda entre as estações urbanas, apresentaram destaque algumas da região Sul pela presença de infraestrutura verde, sendo CAP, INT e BOI as de maiores valores.

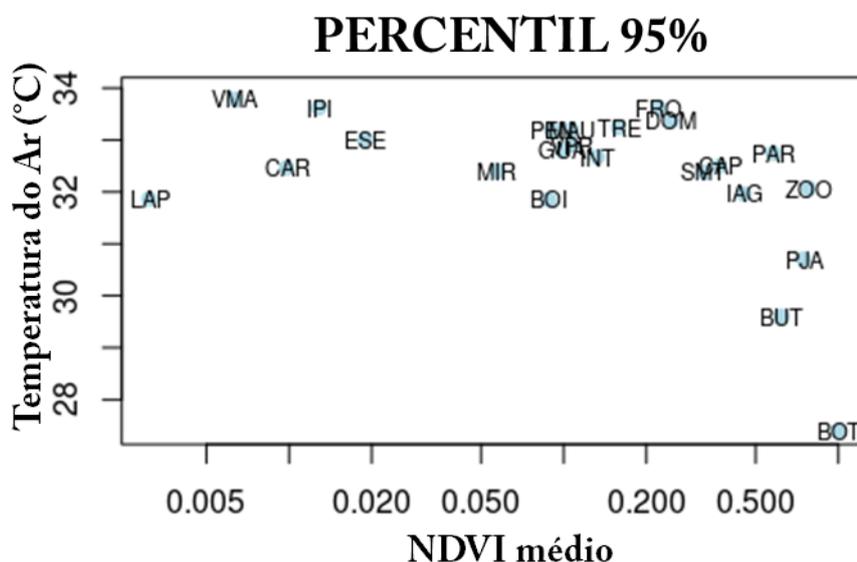
4.5.1 NDVI e condições climáticas

Buscou-se relacionar o valor médio do NDVI com os respectivos resultados das medições meteorológicas, a fim de se compreender suas possíveis relações com a vegetação de superfície. Inicialmente, encontrou-se uma dependência forte entre o NDVI de 100m e a Temperatura Máxima, em especial para o percentil de 95% (figura 22).

Percebe-se que as estações com os menores valores de NDVI são todas aquelas com as maiores temperaturas. Isto permite afirmar que a presença da vegetação, de fato, controla a temperaturas do ar neste limiar superior de 95%, que por conseguinte, pode alterar o conforto térmico. Destaca-se a estação VMA, com alto percentil e baixo NDVI, enquanto que LAP, ainda que com baixo NDVI, não apresentou alta temperatura em relação ao conjunto. Este resultado estaria em correspondência ao fato de que a estação LAP se encontra próxima a um corpo d'água, o que teria favorecido a redução de temperatura, além da própria morfologia urbano do entorno. Por outro lado, notam-se as estações inseridas pela influência direta ou indireta das áreas verdes, sempre com as menores temperaturas. No entanto, algumas estações mesmo que com NDVI alto, não apresentaram impactos na temperatura, como em FRO e DOM, sendo esta última aquela presente na porção central da cidade de São Paulo. Tendo em vista a questão das ilhas de calor como fator agravante para este ponto, torna-se de difícil comparação dizer qual o verdadeiro impacto e atuação da infraestrutura verde nesta área da RMSP. Além disso, faz-se necessário ressaltar que as estações com NDVI próximo a zero não foram retratadas

no gráfico devido à escala logarítmica do eixo do NDVI médio. Numa comparação entre a estação CLI, com NDVI em 100m igual a zero e BOT, a estação com maior NDVI neste raio, a diferença de Temperatura do ar no percentil de 95% chegou a 6,5°C, enquanto entre BOT e CAR/CAD (ambas com NDVI igual a zero), a diferença foi de 5,1°C. Enquanto isso, levando em consideração os resultados apresentados previamente a respeito do WBGT, a diferença entre BOT e CLI chegou a 5,4°C para o mesmo percentil.

Figura 22 - Relação NDVI 100m x Temperatura Máxima diária (percentil 95%).
Abscissa em escala logarítmica. Intercepto:33,4; Coeficiente Angular:-3,78;
p-valor<0,01.



Outro ponto alto da figura 22 trata-se das estações que mostram maior sensibilidade entre a temperatura e o NDVI, se tratando daquelas com índice acima de 0,2. Valores menores a este poderiam retratar vegetação escassa no entorno, praticamente equivalentes a solo nu, desprovido de cobertura vegetal. Portanto, são aquelas estações com maior presença de vegetação que respondem melhor aos efeitos na temperatura do ar, apontando para a eficácia da presença de infraestrutura verde para redução de casos críticos de calor.

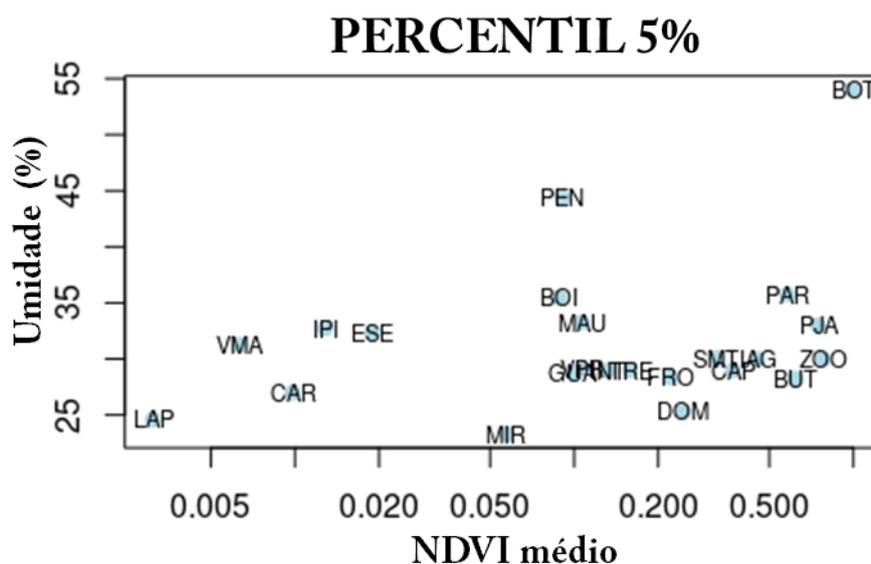
Aliado ao fato de que a vegetação pode controlar as temperaturas, buscou-se verificar se a diferença de vegetação no entorno de cada ponto meteorológico do estudo apresenta indícios de influência na Umidade do ar (figura 23). Percebe-se que BOT, a estação com maior cobertura vegetal em 100m é a de maior Umidade Relativa, enquanto que LAP é a estação oposta. Todavia, mesmo com a retirada da estação BOT da análise

devido à sua caracterização peculiar, não se encontrou um comportamento claro quanto à análise individual da Umidade entre as estações.

Associando as figuras 22 e 23, vê-se que a vegetação tende a diminuir a Temperatura e aumentar ligeiramente a Umidade do ar, a depender das características do entorno. Mas, em se tratando de uma estação onde não haja uma ocupação do solo significativa de áreas verdes, que reduziriam a temperatura, e com alto registro de umidade do ar, há uma preocupação maior quanto a possíveis casos de desconforto térmico. Sem um elemento natural para a redução da temperatura do ar, o papel da umidade relativa pode potencializar a dificuldade de evaporação do suor na superfície da pele e de trocas de calor com o ambiente. Dentre todas as estações do estudo, PEN é aquela que se enquadra nestas características, o que pode justificar os resultados de desconforto nesta região, ilustrando bem o quadro abordado em questão.

Além do percentil de 5% analisado em relação ao NDVI, foram feitas outras relações com o percentil de umidade relativa de 50% e 75%. Nenhum deles apresentou significância. Este resultado, salienta a maior relação apresentada entre os menores registros da umidade e menores porcentagens de cobertura vegetal.

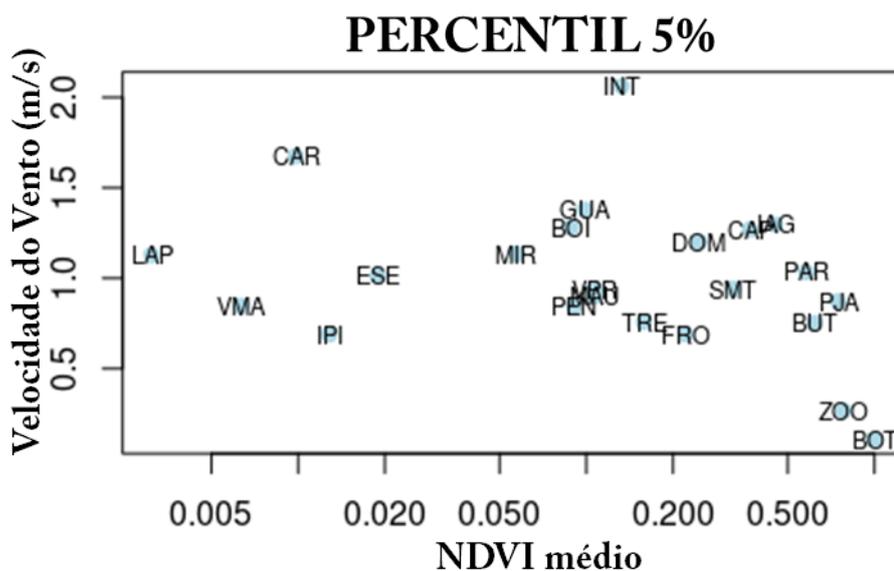
Figura 23 - Relação NDVI 100m x Umidade Relativa Mínima diária (percentil 5%).
Abcissa em escala logarítmica. Intercepto:28,5; Coeficiente Angular:10,5;
p-valor=0,014.



Por fim, na comparação entre a Velocidade do Vento e o NDVI em 100m (figura 24), mostrou boa correlação, apresentando uma característica de velocidades mais baixas

em estações com influência muito marcante da vegetação. Justifica-se este resultado pelo fato que a vegetação pode se comportar como barreira física para a circulação das massas de ar, muitas vezes dificultando as trocas do ambiente. Este panorama é perceptível em ZOO e BOT, as quais estão muito atreladas à infraestrutura verde e, conseqüentemente, registraram menores montantes de velocidade. Nota-se um aumento gradativo desta componente com a diminuição da porcentagem de NDVI médio, ainda que alguns pontos registrem dados fora desta tendência, como INT, o que estaria ligado às características locais, a serem estudadas com maior criteriosidade. Outro ponto a ser salientado é que, das três estações presentes próximas a corpos d'água (LAP, PAR e BOI), ambas registraram média de velocidade muito similares entre si, ainda que médias de NDVI diferentes.

Figura 24 - Relação NDVI 100m x Velocidade do Vento (percentil 5%). Abcissa em escala logarítmica. Intercepto:1,21; Coeficiente Angular:-0,76; p-valor=0,005.



Pode-se levantar o questionamento a respeito da eficácia da vegetação quanto ao favorecimento de cenários confortáveis quanto à percepção de calor, uma vez que as estruturas verdes podem inibir de certa forma as trocas de calor e aumentar a Umidade relativa do ar, outra variável que dificulta a evaporação do suor e aumenta a percepção de calor. Nota-se que a temperatura é reduzida a níveis expressivos, a ponto de ser a variável meteorológica que melhor contribui e melhor responde nos casos dos eventos extremos de calor, assim como o sombreamento e a temperatura da superfície ajudam a superar estes efeitos. O exemplo a se tomar é a estação BOT, a qual conta com a menor média de

velocidade do vento, a maior quantidade de umidade relativa do ar, assim como a menor temperatura do ar, aliado à maior cobertura vegetal de todo estudo no raio de 100m. Portanto, pode-se dizer que a vegetação interfere eficazmente na diminuição das condições que desfavoreçam o desconforto térmico, sendo efetiva para a variável que mais contribui para a percepção, a Temperatura do Ar.

Quanto ao coeficiente de correlação de Pearson entre o NDVI em 100m e as três variáveis meteorológicas supracitadas, obteve-se a melhor correlação para a Temperatura máxima, percentil de 50% (tabela 6). Obteve-se um coeficiente negativo para esta variável, igual a -0,77, enquanto que, para a Velocidade do vento, esta relação foi igualmente negativa. A Umidade Relativa foi a única variável com coeficiente positivo, assim como a de menor correlação (0,48). Portanto, mais uma vez mostrou-se que a temperatura é a variável que mais responde ao impacto da vegetação, sobretudo a Trm, sendo alterada tanto pela cobertura vegetal quanto exercendo impactos na percepção de calor por parte dos indivíduos. Outro resultado apontado são os coeficientes para os demais raios de observação do NDVI. Vê-se que, assim como os índices de conforto térmico, as variáveis meteorológicas tendem a promover correlação mais fraca ao passo do aumento do raio. Portanto, para todas estas variáveis aqui estudadas, os coeficientes são maiores para o raio de 100m, aquele de maior importância nas observações e análises.

Tabela 6 - Coeficiente de correlação de Pearson entre NDVI para as respectivas variáveis meteorológicas

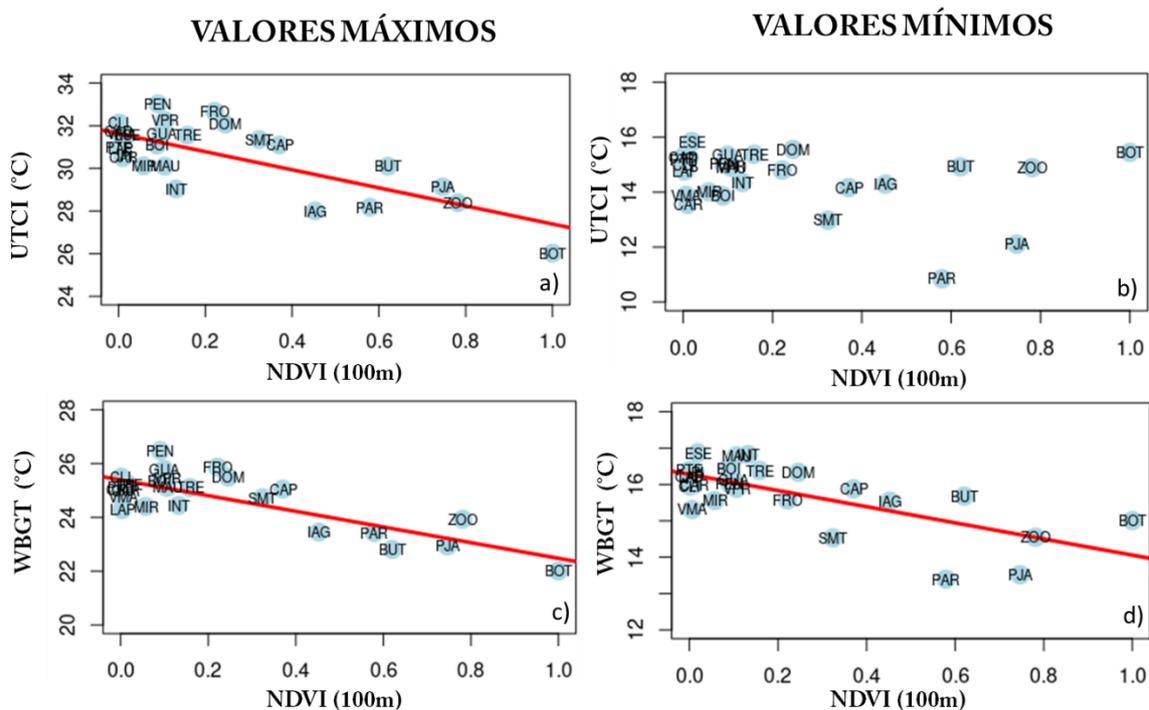
	Temperatura Máxima	Umidade Relativa	Velocidade do Vento
NDVI 100m	-0,77	0,48	-0,53
NDVI 300m	-0,60	0,37	-0,36
NDVI 500m	-0,52	0,29	-0,33

4.5.2 NDVI e conforto térmico

A fim de se comparar a cobertura vegetal em cada ponto de medição e o conforto térmico, a figura 25 relacionou os índices UTCI e WBGT, tanto para seus valores máximos médios diários quanto para os mínimos, e o índice NDVI. Percebe-se que, para os valores máximos, BOT ocupa sempre o posto de estação mais fria e PEN a mais quente sob o aspecto do conforto térmico. Entre estas duas estações, encontram-se a maioria daquelas sob influência da infraestrutura verde para ambos os índices para os valores

máximos. A propósito, estas estações figuram muito próximas à reta de regressão linear (vermelha), representada em ambos os gráficos dos valores máximos. Percebe-se que, para os valores máximos, os dois índices se mostram com boa correlação com a cobertura vegetal, apontando para o fato de que a presença de infraestrutura verde contribui para a redução das temperaturas urbanas.

Figura 25 - Comparações entre valores máximos e mínimos diários médios dos índices de conforto térmico e cobertura vegetal (NDVI médio). Figura 25a: Intercepto:31,63; Coeficiente Angular:-4,24; R^2 :0,62. Figura 25c: Intercepto: 25,39; Coeficiente Angular: -2,91; R^2 :0,62. Figura 25d: Intercepto: 16,28; Coeficiente Angular:-2,221; R^2 :0,47. P-valor <0,01 para ambos.



Quanto aos valores mínimos e a relação com a cobertura vegetal nos primeiros 100m de raio, apenas o WBGT mostrou boa correlação. Todavia, nota-se uma maior dispersão dos pontos, inclusive daquelas estações sob influência de infraestrutura verde. Em especial, destaca-se BOT, a estação de maior porcentagem de NDVI em 100m que não mais ocupa o posto e estação mais fria, e sim PAR e PJA. Poder-se-ia atribuir o comportamento de BOT ao fato de que esta estação amorteça variações das temperaturas mínimas pela ação da vegetação. Nota-se, portanto, que quanto maior a quantidade de cobertura vegetal, mais confortável se torna o entorno estudado, principalmente nas cercanias.

Na tabela 7, mostram-se os coeficientes de correlação de Pearson para ambos os índices em relação à cobertura vegetal nos diversos raios de influência de vegetação a partir do ponto de medição das variáveis meteorológicas. Em geral, a vegetação se correlaciona melhor com os valores dos índices para o raio de 100m, uma vez que os coeficientes são maiores em todos os percentis dos índices para este distanciamento, ao passo que, quanto maior o raio, menor são as correlações de conforto e cobertura vegetal. Este resultado é o mesmo obtido para as variáveis meteorológicas e corrobora para a hipótese de que, quanto mais próximo se está da vegetação, maiores seriam os benefícios obtidos quanto às condições de percepção de calor. Individualizando os dois índices, o UTCI mostrou melhor correlação para os valores do percentil de 50% em todos os raios, apesar de que, para 100m, todos os índices foram tecnicamente iguais para cada percentil (50%, 95% e valor máximo). Enquanto isso, o WBGT apresentou comportamento similar para os raios de 300m e 500m, sendo que, para 100m, a melhor correlação foi obtida no percentil de 95%. Em geral, o WBGT mostrou maior dependência do que o UTCI, o que permite assumir que aquele seja o melhor índice para análises da eficácia entre a vegetação e o comportamento das questões térmicas.

Tabela 7 - Coeficiente de correlação de Pearson entre NDVI e índices de conforto térmico por raios de influência

	UTCI - MÁXIMOS ESCALA DIÁRIA			WBGT - MÁXIMOS ESCALA DIÁRIA		
	P50	P95	MAX	P50	P95	MAX
100m	-0,74	-0,74	-0,74	-0,80	-0,82	-0,79
300m	-0,74	-0,70	-0,70	-0,76	-0,73	-0,75
500m	-0,70	-0,65	-0,66	-0,73	-0,67	-0,69

4.6 Eficácia da cobertura verde

Separando as estações por regiões (norte, sul, leste, oeste) tentou-se identificar melhor o comportamento das medições nos lugares com ou sem cobertura vegetal. Para tanto, foram dispostos os percentis de UTCI em cada estação em um gráfico comparativo com as estações referência (BOT, IAG, ZOO) no Apêndice III. Comparando-as com as demais em relação aos percentis do índice UTCI, percebe-se que há um comportamento comum em que se repete na maioria das estações: nota-se que a curva das estações com maiores quantidades de cobertura vegetal inseridas no contexto urbano tende a se aproximar das curvas das estações de comparação nos percentis maiores (95%, por

exemplo). Em outras palavras, as estações sob maiores influências de infraestrutura verde não apresentam a curva do percentil tão inclinada nos eventos extremos de calor quanto àquelas estações mais urbanizadas, o que mostra a eficácia da vegetação para os eventos críticos. Este comportamento é evidenciado na região Oeste para PJA e BUT. Estas são estações com comportamentos muito parecidos com ZOO, sendo as estações desta área com maior quantidade de vegetação no entorno, medido pela cobertura de NDVI em que a curva apresenta as características mencionadas.

Numa rápida comparação com as estações, excluindo-se aquelas com características particulares (como a presença de corpos d'água, por exemplo), nota-se que as estações mais urbanizadas tendem a apresentar valores menores nos percentis menores (5%, por exemplo). Esse comportamento pode ser observado de maneira sutil entre as estações do Centro. DOM é a estação com maior presença de verde, enquanto que ESE seria aquela intermediária e VMA a com menor porcentagem. Aqui, nota-se que os menores percentis se apresentam na estação de menor NDVI.

Ainda numa análise mais apurada entre as estações, foi possível comparar alguns pontos de medição entre si, dado à proximidade geográfica. Além das três estações de referência já citadas, encontrou-se três pares de pontos próximos com realidades de NDVI diferentes entre si, sendo elas LAP e PTE, CAD e INT, CAP e CLI.

Entre as estações referência, primeiramente, viu-se uma diferença notável entre IAG e ZOO em comparação a BOT devido ao sombreamento proposital provocado pelas árvores. Numa comparação dos valores de radiação, conforme mencionado na metodologia deste estudo, a diferença da irradiação percebida nas medições chegou a 37%, o que representa um significativo impacto nos resultados finais de conforto. Sabe-se que o sombreamento é um dos serviços ambientais de maior valia por parte das infraestruturas verdes de grande porte, o que trabalha diretamente na atenuação do desconforto térmico. Este resultado está de acordo com o estudo preliminar de Wadt (2019), o qual analisou as mesmas estações, mas com um menor espaço amostral.

Entre as três estações, percebe-se que BOT é a estação mais fria quase que em absoluto para ambos os índices, enquanto que IAG seria a estação intermediária, sempre mais fria que ZOO. Pelo índice WBGT, a diferença entre os percentis de 50% para as temperaturas máximas do ano inteiro chega a ser de 1,5°C entre BOT e IAG, e de 1,9°C entre BOT e ZOO. As maiores diferenças se encontram naturalmente no percentil de 95%, quando o valor chegar a ser 3,8°C maior em ZOO. BOT não registra nenhum evento

crítico, enquanto IAG e ZOO, sim, ainda que em porcentagens muito pequenas, como já mencionado, sobretudo pelo papel do dossel existente sobre a estação BOT. Entretanto, as temperaturas mínimas mostram o amortecimento provocado por BOT: esta estação sempre se mostra mais quente que as demais. O WBGT para as temperaturas mínimas chega a ser maior em BOT em $1,1^{\circ}\text{C}$, perdendo esta característica no percentil de 25% apenas para o IAG, numa diferença de $0,4^{\circ}\text{C}$. Este resultado estaria ligado à diminuição das variações de temperatura provocado pela arborização densa, que consegue evitar mudanças bruscas de conforto e temperatura. Sabe-se que a maturidade das plantas e a densidade registrada apresenta potencial para impactar nos resultados do conforto térmico obtido, fato que mostra BOT como a estação mais fria em média em todo o estudo.

IAG e ZOO também apresentam quantidades expressivas de vegetação, mas com valores próximos de cobertura entre si. ZOO registra 78,1% de vegetação em 100m, enquanto 68,1% e 71,5% são registrados para 300m e 500m, respectivamente. IAG, por sua vez, resulta em percentuais iguais a 45,3%, 66,0% e 68,8% para cada raio. É de interesse notar que, para o raio de 500m, ambas estações compartilham um pequeno trecho de área de influência, já que a distância entre si é menor que 500m. Todavia, ZOO se mostra ligeiramente mais quente do que IAG na maioria dos percentis dos coeficientes de conforto. Além de apresentar uma maior frequência de eventos críticos, ainda que muito inferior se comparado às demais estações, ZOO é $0,4^{\circ}\text{C}$ mais desconfortável, em média, em relação a IAG segundo o WBGT para a temperatura máxima. Esta realidade é alterada para as temperaturas médias, quando o conforto térmico em ZOO é menor nos percentis de 5% e 25%, sendo, em média, $1,2^{\circ}\text{C}$ menor em relação a IAG. O UTCI apresenta as mesmas realidades, mas com magnitudes um pouco diferentes, quando a diferença é de $0,7^{\circ}\text{C}$ para as temperaturas máximas, por exemplo. Estes resultados poderiam ser facilmente respondidos observando os dados medidos de Velocidade do Vento em ZOO, muito prejudicados pelas estruturas vegetativas do entorno, que são diminutas e promovem um aumento nos dados dos índices de conforto térmico.

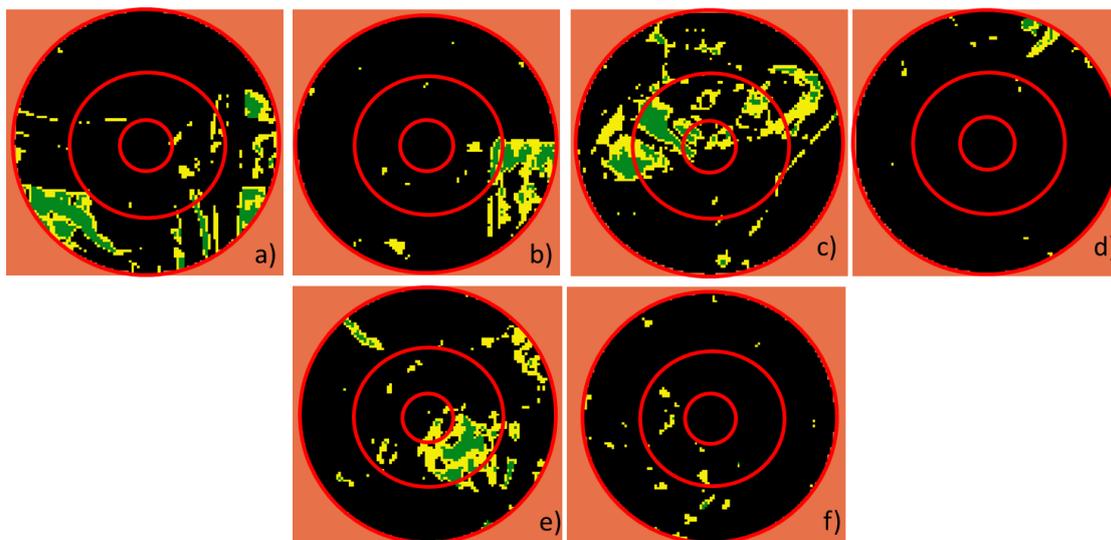
Entre PTE e LAP, percebe-se que ambas possuem quantidades de coberturas vegetais muito parecidas nas duas menores áreas de influência, sendo que LAP sempre apresenta algum percentual a mais (figura 26 a,b). Esta proximidade entre as estações e a diferença dos aspectos no entorno de cada estação permitem uma melhor análise e entendimento dos verdadeiros impactos das infraestruturas urbanas para o conforto térmico uma vez que os resultados obtidos nas duas estações seguiram a tendência de

serem sempre de conforto térmico mais agradável na estação mais arborizada. Os resultados do índice UTCI foram sempre menores ou iguais em LAP na escala diária. PTE apresentou maior porcentagem de eventos críticos, assim como uma faixa à frente de LAP para o WBGT no percentil de 75% dos máximos.

Entre as estações CAP e CLI, a diferença de cobertura vegetal é maior e visivelmente perceptível (figura 26, c d) e para esta dupla de estações, as diferenças resultadas nos índices de conforto foram mais hiantes. No UTCI, CLI apresentou uma faixa à frente de CAP para as temperaturas máximas, alcançando uma diferença de 1,6°C no percentil de 95%, além de maior frequência de eventos críticos (mais que o dobro), além de registrar um caso de desconforto por frio nas temperaturas mínimas. CLI também alcança uma faixa à frente de CAP no WBGT em 95% de percentil das temperaturas máximas, com 6,1% de casos críticos contra 2,2% de CAP. Portanto, as diferenças aumentam entre as estações se comparadas com a dupla anterior PTE x LAP.

Por fim, para as estações INT e CAD, na mesma região de CAP e CLI (Sul de São Paulo), também se manifestou uma diferença expressiva na cobertura vegetal entre as estações vizinhas, similar ao par anterior. Na figura 26, nota-se que entre os círculos de 100m e 300m situa-se a maior parte das porções em verde, as que justamente representam as unidades vegetativas mais maduras e adensadas. Assim como nos casos anteriores, para os valores máximos de temperatura, o WBGT uma faixa à frente (“calor muito forte”) em CAD, com 1,2°C a mais do que em INT, assim como em UTCI, com uma diferença de 3,1°C. Em especial este último índice, o registro de eventos críticos é muito maior em CAD, sendo quase três vezes maior, região marcada por padrão de ocupação horizontal, casas baixas, sobrados, sem edifícios altos, mas com taxa de ocupação elevada, somada à ausência de verde, sem amenidades urbanas.

Figura 26 - NDVI das estações a) LAP, b) PTE, c) CAP, d) CLI, e) INT, f) CAD



Em resumo, a tabela 8 sintetiza as diferenças entre as estações para os percentis de 95%, os quais englobam a ocorrência de eventos críticos. Os valores foram calculados sempre em relação à estação mais quente, sendo elas PTE, CLI e CAD, conseqüentemente as com menores porcentagens de NDVI nos primeiros 100m. As colunas dos eventos críticos relacionam o número de vezes a mais de registros de situações de calor muito forte/extremo de cada índice.

Tabela 8 - Diferenças entre índices de conforto térmico em relação às medianas

	UTCI (MAX)	Eventos críticos (UTCI)	WBGT (MAX)	Eventos críticos (WBGT)	NDVI (100m)
PTE x LAP	+0,4°C	+1,23	+0,9°C	+2,44	-0,3%
CLI x CAP	+1,6°C	+2,43	+1,2°C	+2,77	-37,0%
CAD x INT	+3,1°C	+2,80	+1,2°C	+2,03	-13,2%

Por fim, a figura 27 sintetiza todas as informações obtidas, tanto daquelas medidas nas estações meteorológicas, quanto daquelas calculadas através dos índices. Percebe-se que a região Nordeste é de fato a área mais crítica ao calor forte, uma vez que todas as variáveis se destacam do conjunto e na maioria concordam para um resultado de agravamento da situação do conforto no calor, conforme as variáveis meteorológicas e índices de conforto. Conforme a figura 27b, nota-se no círculo vermelho a maior probabilidade destes eventos críticos, com especial atenção aos pontos de FRO e PEN, os quais figuram como máximos regionais. Ressalva-se aqui o único ponto azul, marcado pela estação MIR, que tem maior altitude em relação ao entorno. Coincidentemente é

nesta área onde o NDVI apresenta uma região de tonalidade cinza (figura 27a), marcando aquelas porções com menor porcentagem de cobertura vegetal. Comportamento similar é observado na figura 27e, onde coexistem diversos pontos de coloração vermelha intensa, assim como uma grande mancha observada nos índices de conforto térmico das figuras 27c e 27d.

Em contrapartida, a região Sul da capital mostrou todas as variáveis com representações favoráveis ao conforto térmico, em termos de coloração azul (a coloração azul estaria indicando os valores que propiciariam maior conforto térmico). Nota-se que a coloração azul passa a abordar grande parte deste setor da capital já na figura 27b, apresentando baixos percentis de eventos críticos, além de valores mais propícios à percepção de temperatura tendentes ao frio ou mais próximos à neutralidade, como o caso do vento (figura 27f) e da umidade (figura 27g), à exceção de CAD e CLI, com alto valor de eventos críticos e que destoam das demais, apresentando características similares às das estações da região Nordeste, especial por conta da ausência da cobertura vegetal e pelo adensamento urbano presente. Também esta é uma área do mapa com maior porcentagem de verde (figura 27a). Em comum com a estação mais ao Sul (PAR), mostram-se outros três focos em destaque em todos os mapas, sendo as regiões das três estações de referência (BOT, ZOO e IAG), BUT e PJA. Ambas se retrataram como pontos do estudo com menor probabilidade de eventos críticos, temperaturas menores e pontos que se comportaram como ilhas verdes em toda a malha urbana. Nota-se que na figura 27b, estes são os únicos pontos que se diferenciam das manchas acinzentadas no centro do mapa, caracterizando regiões com maiores quantidades de infraestrutura verde em relação ao entorno e, conseqüentemente, regiões mais agradáveis para a população.

Numa análise conjunta dos mapas apresentados, percebe-se que a região Central e a porção Leste da cidade de São Paulo são as áreas com situações mais severas em relação ao conforto térmico. São nestas áreas onde a vegetação se encontra a níveis mais baixos, assim também como aquela com maior ocorrência e eventos críticos (figuras a, b). De maneira similar, é coincidem as mesmas áreas como aquelas de maiores temperaturas máximas, ainda que existam outras “ilhas” quentes no mapa da RMSP. Todavia, o conjunto Centro-Leste é aquele onde a mancha de tonalidade vermelha, retratando as maiores temperaturas, configura-se como a de maior abrangência contínua, podendo ser um indicador de agravamento das situações de calor. Além disso, nesta mesma região apresentaram-se porções com velocidade do vento reduzida (tonalidade

cinza e vermelha), muito provavelmente ligada à disposição das infraestruturas cinzas que impedem a boa circulação de ar e dissipação de calor. Isto justifica os resultados de valores mais altos quanto aos dois índices de percepção térmica para esta região de estudo, mostrando a importância da vegetação nas variáveis térmicas e meteorológicas.

É ainda importante ressaltar o fator populacional próximo aos pontos de medição. Segundo a Prefeitura de São Paulo (2021) através do último censo realizado em 2010, dentre todas as regiões de estudo aquela de maior população se encontra próxima aos pontos CAP, CAD e CLI, estando entre elas duas estações com ocorrência de eventos críticos consideráveis, além de baixa cobertura vegetal. Estima-se que, à época do censo, cerca de 266.681 estariam sujeitas às condições críticas de conforto térmico em CAD, enquanto outras 211.361 estariam em CLI. Enquanto isso, apesar da quantidade de habitantes próxima às estações ESE e DOM ser baixa (ambas na mesma região, com 23.651), a afluência de pessoas para a região é alta ao longo da jornada de trabalho, visto que a porção central do Município de São Paulo é caracterizada por área de comércio e trabalho de grande parte dos moradores da região. Desta maneira, poderíamos considerar uma maior porcentagem da população flutuante sob as condições de calor deste ponto (sobre tudo quanto aos níveis de criticidade de DOM).

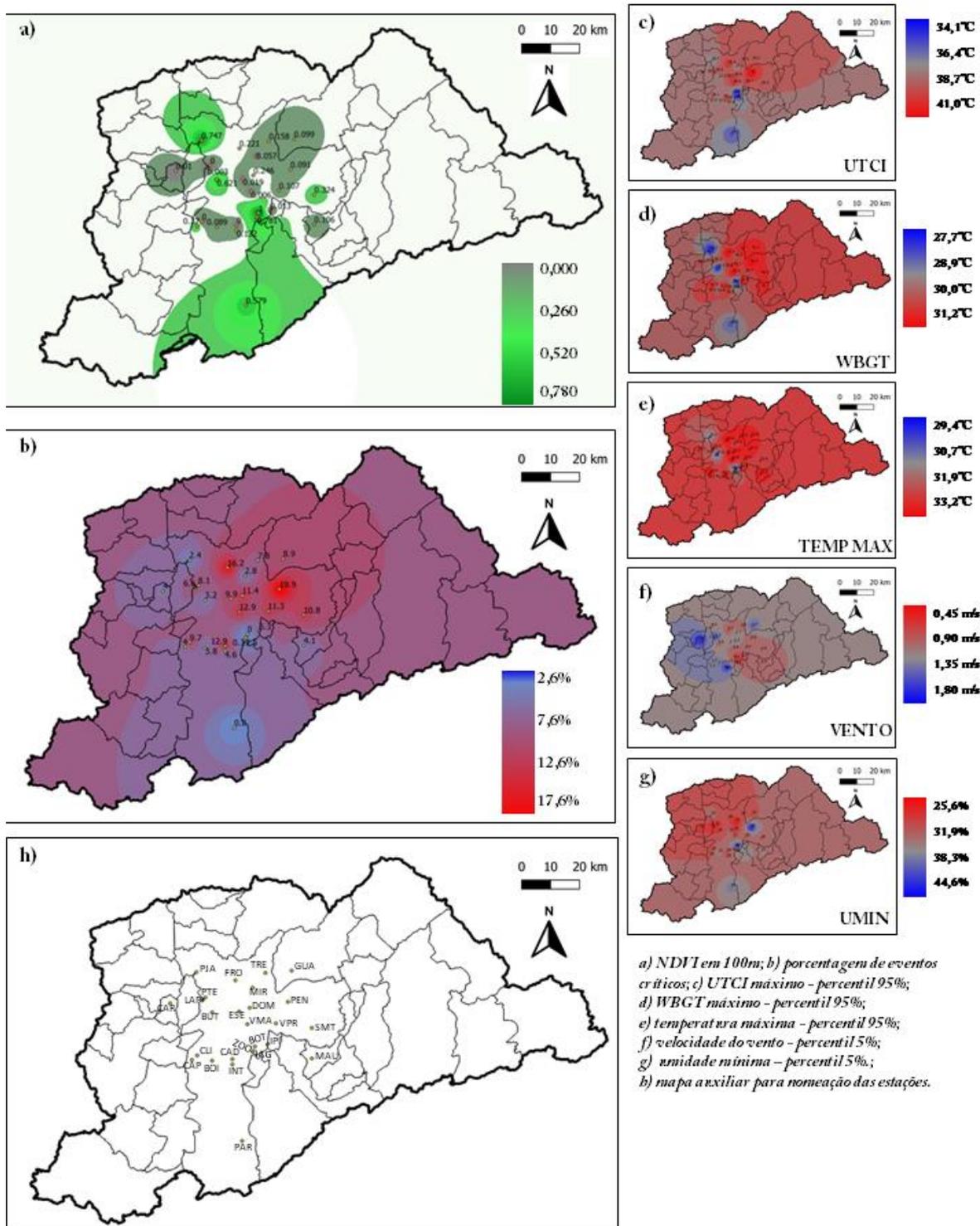
Além destas estações, entre aquelas com maiores valores dos índices, sobretudo o WBGT, encontra-se FRO, que também é localizada numa área de grande contingente populacional, visto que se encontra entre os distritos de Freguesia do Ó e Brasilândia, sendo esta última de muitos habitantes (264.918 segundo o censo).

Por outro lado, destaca-se a população sob condições mais favoráveis ao conforto térmico, em especial aqueles ligados às estações PJA e SMT. Ambas se encontram em regiões de população consideráveis. PJA se localiza próxima a 184.818 habitantes, ainda que seguramente distantes do ponto de medição, uma vez que este se encontra dentro do parque estadual protegido de ocupação urbana, enquanto SMT, vizinho ao parque do Carmo, se encontra próxima a 155.140 habitantes na capital paulista, favorecendo a população com condições melhores frente às anteriormente mencionadas.

A população que usufrui do serviço ecossistêmico das estações referência BOT, IAG e ZOO, possuem característica similar a PJA. Estando de certa forma deslocadas do núcleo urbano, cobrem uma região próxima a áreas de grande habitação, dentro do distrito de Cursino, mas muito vizinha a Ipiranga e Jabaquara, sendo estas porções do município com grande quantidade de habitantes. Portanto, pontua-se ao fato de que estações dentro

a áreas verdes espalhadas dentro da malha urbana que conferem boas condições de conforto térmico à população tenderiam a beneficiar maior porcentagem de pessoas, garantindo maior usufruto desta infraestrutura. Todavia, pontua-se a criticidade daquelas regiões muito habitadas, sem infraestrutura verde e com frequentes registros de casos de “calor muito forte”/ “extremo”.

Figura 27 - Mapas das variáveis meteorológicas e ambientais



5 Conclusão

Tendo em mãos os resultados previamente apresentados, conclui-se que o índice UTCI se mostrou mais conservador para a RMSP se comparado aos valores médios com o WBGT, uma vez que as faixas e valores médios absolutos se mostraram sempre mais altos. Ainda assim, ambos apresentaram boa regressão linear, justificando o uso eficaz dos dois índices para o estudo e eventuais comparações realizadas. Todavia, o WBGT foi aquele que melhor caracterizou os eventos extremos, dado à disposição das faixas de calor estabelecidas pelos autores do índice, além de permitir uma melhor análise através dos gráficos em comparação com o UTCI na estação quente.

Em relação às estações, aquelas com maior predomínio de vegetação próxima ao ponto de medição das variáveis meteorológicas foram as de menores valores do índice de conforto térmico, ou seja, mais confortáveis. BOT, a única estação sombreada foi a de melhor conforto térmico, sempre seguida por aquelas estações imersas em áreas verdes e/ou sob influência direta de infraestrutura verde madura. Em direção oposta, as estações PEN e FRO foram aquelas mais desconfortáveis. Concomitantemente, as estações mais confortáveis foram aquelas que registraram menor quantidade de eventos críticos, comportamento oposto observado para as mais desconfortáveis.

Das variáveis meteorológicas estudadas, percebeu-se que a Temperatura Máxima do Ar foi aquela que mais contribuiu para alteração dos índices, mas em especial nos resultados do WBGT, quando a regressão foi considerada muito boa. Enquanto isso, a velocidade do vento foi a segunda variável de maior impacto para o mesmo índice, enquanto que a Umidade Relativa mostrou-se mais favorável ao UTCI.

Quanto às variáveis geográficas, percebeu-se que a distância da costa manifestou uma tendência de aumentar os valores de temperatura máxima ao passo do distanciamento para o percentil de 5%, estando entre as estações mais distantes aquelas mais desconfortáveis como PEN e FRO. Enquanto isso, a altitude, a tendência observada no percentil de 50% de temperatura máxima foi oposta, quando as estações mais baixas eram aquelas mais quentes, em geral, como o caso de DOM. Ainda com relação a estas variáveis, a Umidade Relativa apresentou boa regressão para a distância do mar, mostrando um comportamento de decréscimo com o aumento desta distância. Quanto em relação ao conforto, somente o WBGT apresentou boa correlação com a distância da costa, aumentando concomitantemente. Enquanto isso, a altitude foi o único parâmetro

com boa regressão para ambos os índices, apresentando calores de menores intensidades em estações mais altas.

Em relação à cobertura vegetal, conclui-se que, quanto mais próxima e densa estiver a vegetação do ponto de medição, mais efeitos nas variáveis medidas são percebidos, sendo que o raio de 100m foi aquele com maiores impactos nos resultados ao se comparar com a infraestrutura presente em 300m e 500m. Através dos resultados, percebeu-se que o impacto decorrente da implantação da vegetação se dá em todas as variáveis medidas, inclusive a Irradiação Solar, a qual foi fator importante para que BOT se tornasse a estação mais fria, com aproximadamente 63% de atenuação de incidência dos raios solares comparado à estação meteorológica vizinha. Apesar de interferir no aumento da Umidade Relativa e na diminuição da velocidade do vento a depender da disposição da infraestrutura física, o resultado quanto à diminuição da Temperatura do Ar provocado pela implantação das unidades vegetativas não é comparado com o aumento do desconforto provocado pelas outras duas variáveis, justificando então a eficácia das áreas verdes. A aplicação de infraestrutura apresentou até 5,1°C de diferença quanto à temperatura do ar entre ambientes com total presença de vegetação e outra desprovida em sua totalidade de elementos verdes, enquanto este resultado em termos de conforto térmico (WBGT) chegou a 5,4°C. Em relação a ambientes próximos e com características diferentes de vegetação, ambientes com maiores NDVI chegaram a registrar 2,8°C a menos quanto ao WBGT.

Ainda em relação à vegetação, conclui-se que a porção Leste da RMSP é a mais desprovida de vegetação, assim como aquela mais desconfortável para ambos os índices, em especial o WBGT. Contudo, é a porção Centro-Leste com as características mais agravantes, sendo a região com menor cobertura vegetal, altos valores de Temperatura máxima, ventos com velocidade reduzida e maior ocorrência de registros de eventos críticos. Portanto, finaliza-se que a presença de vegetação é fator fundamental no controle de casos críticos de calor e essencial para uma vivência saudável no ambiente urbano da RMSP, confirmando a importância destas estruturas coexistindo na malha urbana.

Por fim, comprova-se a hipótese de que a vegetação pode ser uma aliada na redução da eventos críticos de calor nos ambientes urbanos, assim como uma redução em relação às perspectivas futuras quanto às mudanças climáticas, uma vez que o aumento da temperatura global afetaria diretamente no conforto térmico, assim como na maior ocorrência de casos clínicos decorrentes.

6 Bibliografia

AKBARI, H; MENO, S.; ROSENFELD, A.; Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. **Climatic Change**, vol. 94, p.275-286, 2009.

ALFANO, F.R.A.; PALELLA, B.L.; RICCIO, G.; Criteria for assessing severely hot environments: from the WBGT index to the PHS (predicted heat strain) model. **La Medicina del Lavoro**, p. 255-274, vol. 95, n.4, 2004.

ALMEIDA, A. L. B. S. S. L.; **O valor das árvores: árvores e Floresta Urbana de Lisboa**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2006.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G.; Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, n.6, 711–728, 2013.

ANDRADE, A.; CÓRDOBA, R.; DAVE, R.; GIROT, P.; HERRERA F., B.; MUNROE, R.; OGLETHORPE, J.; PAABY, P.; PRAMOVA, E.; WATSON, J.; VERGARA, W. **Draft Principles and Guidelines for Integrating Ecosystem-Based Approaches to Adaptation in Project and Policy Design: A Discussion Document**. Turrialba, CR: CATIE, 2011.

ARAÚJO, R.R.; Thermal Comfort and the Implications for Health: a preliminary approach on its effects on urban population of São Luís-Maranhão. **Caderno de Pesquisa**, p.51-61, vol.19, n.3, 2012.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE 62-2001 Addendum to Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**, 2001.

ASSIS, E.S.; **Bases teóricas para a aplicação da climatologia ao planejamento urbano**. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Salvador, p.134-139, 1997.

BARROS, M.T.L.; CONDE, F.; **Urban Flood Warning System Social Benefits**. In World Environmental and Water Resources Congress, p. 12–23, 2017.

BARTALINI, Vladimir. **Parques públicos municipais de São Paulo: a ação da municipalidade no provimento de áreas verdes de recreação**. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; KASMIRSKI-JR, P.; VENSKE, R.; Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, p. 477-488, v. 19, n. 3, 2009.

BENINI, S. M. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: estudo de caso da cidade de Tupã/SP**.

2015, 218 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015.

BERNARD, T.E.; POURMOGHANI, M. Prediction of workplace Wet-Bulb Globe Temperature. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**, p. 126-134, vol. 14, 1999.

BLAZEJCZYK, K.; New climatological and physiological model of the human heat balance externo (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales. **Zess**, p. 27-58, vol. 28, 1994.

BLAZEJCZYK, K.; EPSTEIN, Y.; JENDRITZKY, G.; STAIGER, H.; TINZ, B.; Comparison of UTCI to selected thermal indices. **International Journal of Biometeorology**, p. 515-535, vol. 56, 2012.

BONZI, R.S. **Andar sobre Água Preta: a aplicação da infraestrutura verde em áreas densamente urbanizadas**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

BRÖDE, P.; FIALA, D.; BLAZEJCZYK, K.; HOLMÉR, I.; JENDRITZKY, G.; KAMPMANN, B.; TINZ, B.; HAVENITH, G.; Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, vol.56, p.481–494, 2012.

CABRERA, A.M.V.; SCOVRONICK, N.; SERA, F. ET AL.; The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. **Nature Climate Change**, vol. 11, p. 492–500, 2021.

CASANUEVA, A.; KOTLARSKI, S.; HERRERA, S.; FISCHER, A.M.; KJELLSTROM, T.; SCHWIERZ, C.; Climate projections of a multivariate heat stress index: the role of downscaling and bias correction. **Geoscientific Model Development**, vol. 12, p.3419-3438, 2019.

CAVALHEIRO, F., DEL PICCHIA, P. C. D. **Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento**. In: IV ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1992, Vitória, p. 29-38, 1992.

COLLS, A.; ASH, N.; IKKALA, N. **Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change**. Gland, Switzerland: IUCN, 2009.

COSTA, E.Q., BAPTISTA, J.S., DIOGO, M.T.; **Adaptação Climática, Metabolismo e Produtividade**. Disponível em: repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/85208/2/140090.pdf. Acesso 9 set 2019.

DIAS, A.A.C.; **Avaliação da Percepção da Influência do Conforto Térmico na Produtividade**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Engenharia Humana, Universidade do Minho, Minho, 2013.

DIAS, N.L.C.; **Estimativas climatológicas de evaporação em lagos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.

DINAPOLI, C.; PAPPENBERGER, F.; CLOKE, H.L.; Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, vol. 62, p.1155–1165, 2018.

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

ELLIS, E.C.; KAPLAN, J.O.; FULLER, D.Q.; VAVRUS, S.; GOLDEWIJK, K.K.; VERBURG, P.H.; Used planet: a global history. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.**, p. 7978–7985, vol.110, 2013.

EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano. **Região Metropolitana de São Paulo**. Disponível em: <https://emplasa.sp.gov.br/RMSP>. Acesso 26 ago 2019.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D.S.; Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. **Industrial Health**, p. 388-398, vol 44, 2006.

FALKNER, R.; **The Paris Agreement and the new Logic of International Climate Politics**. *International Affairs*, p. 1107-1125, vol. 92, n.5, 2016.

FERREIRA JÚNIOR; J. B.; OLIVEIRA, K.P.M.; FONSECA, M.A.; COELHO, L.G.M.; MAGALHÃES, F.C.; COSTA, V.F.; MARTINI, A.R.P.; PASSOS, R.L.F.; COELHO, F.T.; RODRIGUES, L.O.C. Distribuição regional do suor durante exercício progressivo até a fadiga. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, p.405-414, vol.23, n.4, 2009.

FIALA, D.; LOMAS, K.J.; STOHRER, M.; Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. **International Journal of Biometeorology**, vol.45, p.143–159, 2001.

FIREHOCK, K.; **Short history of the term Green Infrastructure and selected literature**. Disponível em: http://www.gicinc.org/PDFs/GI_History.pdf. Acesso em 27 ago 2019.

FOLEY, J.A.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.R.; CHAPIN, F.S.; COE, M.T.; DAILY, G.C.; GIBBS, H.K.; HELKOWSKI, J.H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E.A.; KUCHARIK, C.J.; MONFREDA, C.; PATZ, J.A.; PRENTICE, I.C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.K. Global consequences of land use. **Science**, p.570–574, vol. 309, 2005.

FRANCO, M.A.R.; Infraestrutura Verde em São Paulo: o caso do Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos. **Revista LABVERDE**, p. 135-154, vol.1, 2010.

FRANCO, M.; OSSE, V.C.; MINKS, V.; Infraestrutura verde para as mudanças climáticas no C40. **Revista LABVERDE**, p. 220-235, vol. 6, 2013.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R.; **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 5ª edição, São Paulo, 2001.

GARTLAND, L.; **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

GASPARRINI, A.; GUO, Y.; HASHIZUME, M.; Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. **Lancet**, p. 369-375, v. 386, 2015.

GIROT, P.; EHRHART, C., OGLETHORPE, J.; **Integrating Community and Ecosystem-Based Approaches in Climate Change Adaptation Responses**. Ecosystem & Livelihoods Adaptation Networks, 2014.

GOMES, M.A.S.; SOARES, B.R.; A Vegetação nos Centros Urbanos: Considerações sobre os Espaços Verdes em Cidades Médias Brasileiras. **Estudos Geográficos**, p.19-29, vol.1, n.1, 2003.

GUIMARÃES, L.B.M.; **Série Monográfica Ergonomia, Ergonomia Cognitiva**. Fundação Empresa Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2004.

GUO, Y.; GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; LI, S.; TAWATSUPA, B.; Global Variation in the Effects of Ambient Temperature on Mortality. **Epidemiology**, vol. 25, p. 781-789, 2014.

GUZZO, P.; **Estudos dos espaços livres de uso público e da cobertura vegetal em área urbana da cidade de Ribeirão Preto - SP**. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1999.

HALDANE J.S.; The influence of high air temperatures. **Journal of Hygiene**, p. 494-513, vol. 5, 1905.

HAVENITH, G.; FIALA, D.; Thermal Indices and Thermophysiological Modeling for Heat Stress. **Comprehensive Physiology**, P. 255-302, vol 6, 2016.

HERZOG, C. P.; **Guaratiba Verde: subsídios para o projeto de infraestrutura verde em área de expansão urbana na cidade do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Urbanismo/PROURB, Rio de Janeiro, 2009.

HERZOG, C.; ROSA, L.; Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista LABVERDE**, p. 92-115, vol.1, 2010.

HERZOG, C.; ANTUÑA ROZADO, C.; **The EU–Brazil sector dialogue on nature-based solutions: contribution to a Brazilian roadmap on nature-based solutions for resilient cities**. Publications Office, 2019.

HOPPE, P.; The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, p 71-75, vol 43, 1999.

HOUGHTON, F.C.; YAGLOU, C.P.; Determining equal comfort lines. **Journal American Society of Heating and Ventilation Engineers**, p. 165-176, vol. 29, 1923.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da População**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao>. Acesso 26 ago 2019.

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. **Adaptação Baseada em Ecossistemas: Oportunidade para políticas públicas em mudanças climáticas**. Disponível em: http://myrtus.uspnet.usp.br/iee/sites/default/files/Adaptacao_baseada_em_Ecossistemas_2015_0.pdf. Curitiba, 2015.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Resumo para decisores. In: **Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Lisboa, Portugal, 2014.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change and Land**. Chapters 2 and 4, 2019.

LILJEGREN, J.C.; CARHART, R.A.; LAWDAY,P.; TSCHOPP,S.; SHARP, R.; Modeling the Wet Bulb Globe Temperature Using Standard Meteorological Measurements. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, vol.5, n.10, p.645-655, 2008.

JENDRITZKY, G.; DEAR, R.; HAVENITH, G.; UTCI—Why another thermal index? **International Journal of Biometeorology**, p. 421-428, vol. 56, 2012.

LAMBERTS, R.; **Desempenho térmico das edificações. Aula 2: Conforto Térmico**. Disponível em: <https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Conforto%20termico.pdf>. Acesso 12 dez 2019.

LEMKE, B.; KJELLSTROM, T.; Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. **Ind Health**, vol.50, n.4, p.267-78, 2012.

LOBODA, C.R.L.; DE ANGELIS, B.L.D.; Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. **Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, p. 126-139, vo. 1, n.1, 2005.

LOPES, R.F.; BAPTISTA, J.S.; DIOGO, M.T.; **Conforto Térmico e Produtividade - Aplicação de Modelos Previsionais no Sector da Construção**. 2º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, 2004.

LILJEGREN, J.C.; CARHART, R.A.; LAWDAY, P.; TSCHOPP, S.; SHARP, R.; Modeling the Wet Bulb Globe Temperature Using Standard Meteorological Measurements. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, p. 645-655, vol.5, n.10, 2008.

LONDE, P.R.; MENDES, P.C.; A Influência das Áreas Verdes na Qualidade de Vida Urbana. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, p. 264-272, vol. 10, 2014.

LUGO, A.L.; **Forest and climate reforestation and deforestation: their potential effect on the climate**. World Forestry Congress, Paris, p. 39-48, vol. 10, 1991.

MADUREIRA, H.C.F.F.; **A Infraestrutura Verde da Bacia do Leça, Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável na Região Metropolitana do Porto**. Tese (Doutorado em Arquitetura Paisagística) Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, 2008.

MAGALHÃES, S.; **Termorregulação**. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto - Serviço de Fisiologia, 20 páginas, 2001.

MAGRIN, G.; MARENGO, J.; BOULANGER J.; BUCKERIDGE, M.; CASTELLANOS, E.; POVEDA, G.; SCARANO, F.; VICUÑA, S.; Central and South America, **Climate Change**, p. 1499–1566, 2014.

MAIA, J. A.; **Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorotrópicas na cidade de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, SP, 2002.

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J. Produção de Café Sombreado. **Colloquium Agrariae**, vol.9, n.1, 31–44, 2013.

MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no século XX e cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos modelos de clima do IPCC**. Relatório 1. São Paulo, 2007.

MARTIN, T.C.; ROCHA, H.R.; JOLY, C.A.; FREITAS, H.C.; WANDERLEY, R.L.; SILVA, J.M.; Fine-scale climate variability in a complex terrain basin using a high-resolution weather station network in southeastern Brazil. **International Journal of Climatology**, vol. 39, p.218-234, 2018.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F; MAYER, H.; Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, vol.51, p.323–334, 2007.

MCCRIGHT, A.M.; OSHEA, B.W.; SWEEDER, R.D.; URQUHART, G.R.; ZEKELE, A.; Promoting interdisciplinarity through climate change education. **Nature Climate Change**, p.713-716, vol.3, 2013.

MEESE, G.B.; KOK, R.; LEWIS, M.I.; WYAN, D.P.; A laboratory study of the effects of moderate thermal stress on the performance of factory workers. **Ergonomics**, p. 19-43, vol. 27, n.1, 1984.

MELO, M.L.; KUTZKE, J.L.; Análise da Aplicabilidade Legislativa Trabalhista nos Profissionais Expostos a Carga Solar em Ambiente Laboral. **Revista Gestão & Saúde**, p.30-39, v. 4, n. 2, 2012.

MELLO-THERY, N.A.; Conservação de áreas naturais em São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, p. 175-188, v. 25, n. 71, 2011.

MENDONÇA, F.; Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias. **Revista Terra Livre**, p. 205-221, vol.1, n.20, 2003.

MILANO, M. S. **Avaliação e análise da arborização de ruas de Curitiba - PR**. 1984. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 1984.

MODNA, D.; VECCHIA, F.; **Calor e Áreas Verdes: um estudo preliminar do clima de São Carlos, SP**. VII Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Curitiba, Paraná, p.661-668, 2003.

MORAIS, M. A.; CASTRO, W. A. C.; TUNDISI, J. G.; Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na climatologia dos reservatórios de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p.205–217, vol. 25, n.2, 2010.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Parques e Áreas Verdes**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas>. Acesso 17 set 2019.

MONTEIRO, L.M.; **Modelos Preditivos de Conforto Térmico: Quantificação de Relações entre Variáveis Microclimáticas e de Sensação Térmica para Avaliação e Projeto de Espaços Abertos**. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP. São Paulo, SP, 2008.

MOROMIZATO, F. B.; OLIVEIRA, J. C.; VIEIRA, K. R.; ABRAO, M. V. T.; LIMA, M. B.; SILVA, L. F. G.; **Telhados Verdes Para Conforto Térmico**. In: Jornada de Iniciação Científica e Extensão do IFTO, 7., 2016, Araguatins, TO, 2016.

2016. Araguatins, TO: IFTO, 2016. p. 1-9.

MOTA, S.; **Urbanização e Meio Ambiente**, ABES, Rio de Janeiro. 199p., 1995.

MOURA, J.M.B.M.; LOEWEN, A.R.; AUMOND, J.J.; Obras de Contenção de Encostas em Blumenau-SC: olhares à luz da engenharia natural. **RAEGA**, vol.45, n.1, p.27-44, 2018.

NASCIMENTO, G.R.; PEREIRA, D.F.; NAAS, I.A.; RODRIGUES, L.H.A.; **Engenharia Agrícola**, p.219-229, vol. 31, n.2, 2011.

NDEMBO, M.G.C.D.; **Avaliação Subjetiva do Conforto Térmico Laboral de uma Empresa Angolana**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Ambiente, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa, 2018.

NEWMAN, P.; BEATLEY, T.; BOYER, H.; **Resilient Cities – Responding to Peak Oil and Climate Change**. Island Press, Washington, 2009.

NASSIRI, P.; MONAZZAM, M.R.; GOLBABAEL, F.; DEHGHAN, F.S.; RAFIEEPOUR, A.; MORTEZAPOUR, A.R.; ASGHARI, M.; Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for assessment of occupational heat stress in open-pit mines. **Industrial Health**, p. 437-443, vol. 55, 2017.

NOAA: NATIONAL WEATHER SERVICE. **WetBulb Globe Temperature**. Disponível em: <https://www.weather.gov/tsa/wbgt>. Acesso 20 agosto 2019.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A.P.S.; **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

NOWAK, D.J.; HIRABAYASHI, S.; BODINE, A. HOEHN, R.; Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. **Environmental Pollution**, p. 395-402, vol. 178, 2013.

NUCCI, T.C.; **Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicada ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. Curitiba: o autor, 2.ed., 150 p., 2008.

OMETTO, J.C.; **Bioclimatologia vegetal**, Ed. Agronômica Ceres, São Paulo. 495 p., 1981.

PAGNOSSIN, E.M.; BURIOL, G.A.; GRACIOLLI, M.A.; Influência dos Elementos Meteorológicos no Conforto Térmico Humano: Bases Biofísicas. **Disciplinarum Scientia. Série Ciências Biológicas e da Saúde**, p. 149-161, v.2, n.1, 2001.

PAGNOSSIN, E.M.; LEMES, D.P.; BURIOL, G.A.; **Influência dos elementos meteorológicos no conforto térmico humano: bases biofísicas**. Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2004.

PARSONS, K.C., **The estimation of metabolic heat for use in the assessment of thermal comfort**. Conference Proceedings: Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, Windsor, UK, 2001.

PARK, S.; TULLER, S.E.; JO, M.; Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments. **Landscape and Urban Planning**, p. 146–155, vol. 125, 2014.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Dados demográficos dos distritos pertencentes às Subprefeituras**. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/subprefeituras/dados_demograficos/index.php?p=12758. Acesso 5 jan 2022.

PROGRAMA DE METAS; **Programa de metas da Prefeitura Municipal de São Paulo. Projeto 33**. Disponível em: <https://programademetas.prefeitura.sp.gov.br/projeto/33>. Acesso 7 set 2019.

QUIN, Y.; LUO, J.; CHEN, Z.; MEI, G.; YAN, L.; Measuring the albedo of limited-extent targets without the aid of known-albedo masks. **Solar Energy**, vol. 171, p. 971-976, 2018.

RAASAKKA, N.; **Ecosystem-based adaptation approaches**. UNEP, 2013. Disponível em: http://unfccc.int/files/adaptation/application/pdf/unep_leg_workshop.pdf. Acesso 11 fev 2021.

RESENDE, W.X.; SOUZA, H.T.R.; SOUZA, R.M.; **Índices de Áreas Verdes Públicas: uma Avaliação Fitogeográfica da Qualidade Ambiental em Aracaju**. XII Simpósio de Geografia Física Amplificada, Viçosa, p.?, 2009.

ROSCANI, R.C.; BITENCOURT, D.P.; MAIA, P.AA; RUAS, A.C.; Risco de exposição à sobrecarga térmica para trabalhadores da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Brasil. **Caderno Saúde Pública**, p. 1-15, vol. 33, n.3, 2017.

ROSSETI, K.A.C.; DURANTE, L.C.; NOGUEIRA, M.C.J.A.; CALLEJAS, I.J.A.; KUHNEN, I.A.; NOGUEIRA, J.S.; Efeitos da Incorporação de Vegetação em Telhados de Zona Urbana em Clima Tropical Continental. **PARC Pesquisa Em Arquitetura E Construção**, p. 121-128, vol. 6, n.2, 2015.

R STUDIO. **R Studio**. Disponível: <https://rstudio.com/>. Acesso 03 mar 2021.

SALATA, F.; GOLASI, I.; PETITTI, D.; VOLLARO, E.L.; COPPI, M.; VOLLARO, A.L.; **Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: An analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban externo environment**. *Sustainable Cities and Society*, p. 70-96, vol.30, 2017.

SANTOS, W.R.T.; MELO, M.L.D.; **Índices de Conforto e Desconforto Térmico Humano segundo os Cenários Climáticos do IPCC**. XVI Congresso de Meteorologia, Belém, 2010.

SENTINEL HUB. **EO Browser**. Disponível em: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>. Acesso 23 set 2020.

SETTE, D.M.; RIBEIRO, H.; Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana. **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, p.37-51, vol. 6, n.2, 2011.

SILVA, C.A.; SANTILLI, G.; SANO, E.E.; RODRIGUES, S.W.P.; Análise Qualitativa do Desmatamento na Floresta Amazônica a partir de Sensores SAR, Óptico e Termal. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, p. 18-29, vol. 42, n.4, 2019.

SILVA DIAS, M.A.; DIAS, J.; CARVALHO, L.M.; FREITAS, E.D.; SILVA DIAS, P.L.; Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil, **Climatic Change**, p. ?, vol. 116, 2013.

SILVA, F.T.; ALVAREZ, C.E.; **A correlação entre variáveis climáticas em diferentes configurações urbanas**. Proceedings of EURO ELECS 2015, Guimarães, Portugal, p. 237-247, 2015.

SILVA, P.W.S.; **O Impacto das Fachadas Verdes nos Microclimas Urbanos**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SILVA FILHO, D.F.; PIZETTA, P. U.C.; ALMEIDA, J. B. S. A.; PIVETTA, K. F. L.; FERRAUDO, A. S.; Banco de dados relacionados para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. **Revista Árvore**, p.629-642, vol. 26, n. 5, 2002.

SILVA FILHO, D.; TOSETTI, L.; Valoração das árvores no Parque do Ibirapuera - SP: Importância da infraestrutura verde urbana. **Revista LABVERDE**, p.11-25, vol.1, 2010.

SILVA, F.D.D.S.; PEREIRA FILHO, A.J.; HALLAK, R.; Classificação de sistemas meteorológicos e comparação da precipitação estimada pelo radar e medida pela rede telemétrica na bacia hidrográfica do alto Tietê. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p.292-307, vol. 24, n.3, 2009.

SILVA, H.M.F.; **Uma Investigação Sobre o Conforto Térmico em Cabines de Estacionamento de Superfície, Administrados por uma Empresa Municipal da Cidade de Lisboa**. Tese de doutorado em Medicina Preventiva e Saúde Pública, Universidade de Léon, 2010.

SHAMS, J.C.A.; GIACOMELI, D.C.; SUCOMINE, N.M.; Emprego da Arborização na Melhoria do Conforto Térmico nos Espaços Livres Públicos. **Sociedade Brasileira de Arborização Urbana - REVSBAU**, p.1-16, v.4, n.4, 2009.

SRUTHI, S.; ASLAM, M.A.M.; Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data; a Case Study of Raichur District. **Aquatic Procedia**, vol.4, p.1258-1264, 205.

STEADMAN, R.; Indices of wind chill of clothed persons. **Journal of Applied Meteorology**, p.674-683, vol. 10, 1971.

STÖBERL, A.P.M.; DIAZ, L.T.; GADDA, T.M.C.; VELLOZO, L.D.; **Trajatória do Conceito Soluções Baseadas na Natureza e a Relação com o Brasil: Uma análise bibliográfica**. XVIII ENANPUR, Natal (RN), 2019.

SOUZA, D.M.; NERY, J.T.; O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Geografia**, p.65-83, vol. 21, n.2, 2012.

SPIRN, A.W.; **O jardim de granito**. São Paulo, editora EDUSP, 1995.

TAHA, H.; Urban Climates and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration and Anthropogenic Heat. **Energy and Building**, vol. 25, p.99-103, 1997.

TALAIA, M.; **Riscos no local de trabalho - ambiente térmico quente**, 2016. Disponível em: <https://www.mgtecepi.com.br/wp-content/uploads/2016/09/protecao-ambiente-termico.pdf>. Acesso 11 set 2019.

THAYER, A.W.; VARGAS, Q.; CASTELLANOS, A.A.; LAFON, C.W.; MACCARL, B.A.; ROELKE, D.L.; WINEMILLER, K.O.; LACHER, T.E; Integrating Agriculture and Ecosystems to Find Suitable Adaptations to Climate Change. **Climate**, vol. 8, n.1, p.?, 2020.

THOM, E.C; The Discomfort Index. **Weatherwise**, p. 57-60, vol 12, 1959.

TOLEDO, F.S.; SANTOS, D.G.; Espaços Livres de Construção. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, p. 73-91, vol.3, n.1, 2008.

TSELIU, A.; TSIROS, I.X.; LYKOUDIS, S.; NIKOLOPOULOU, M.; An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban external areas under real climatic conditions. **Building and Environment**, p. 1346-1362, vol 45, 2010.

TRAVERS, A.; ELRICK, C.; KAY, R.; VESTERGAARD, O.; **Ecosystembased adaptation guidance: Moving from principles to practice – Working Document**. UNEP, 2012. Disponível em: http://www.unep.org/climatechange/adaptation/Portals/133/documents/EcosystemBased%20Adaptation/Decision%20Support%20Framework/EBA%20Guidance_WORKING%20DOCUMENT%2030032012.pdf. Acesso 02 fev 2021.

UNFCCC: **United Nations Framework Convention on Climate Change. Fact sheet: Climate change science - the status of climate change science today**. In: <https://unfccc.int>. February, 2011.

VATANI, J.; GOLBBAEI, F.; DEGHAN, F.S.; YOUSEFI, A.; Applicability of Universal Thermal Climate Index (UTCI) in occupational heat stress assessment: a case study in Brick industries. **Industrial Health**, p. 14-19, vol. 54, 2016.

VERNON, H.M.; WARNER, C.G.; The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. **Journal of Hygiene**, p. 431-462, vol. 32, 1932.

VIEIRA, P.B.H. **Uma Visão Geográfica das Áreas Verdes de Florianópolis-SC: estudo de caso do Parque Ecológico do Córrego Grande (PECG)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

VINOGRADOVA, V.; Using the Universal Thermal Climate Index (UTCI) for the assessment of bioclimatic conditions in Russia. **International Journal of Biometeorology**, vol.65, n.9, p.1473-1483, 2021.

WADT, M.F.; **Floresta urbana e clima: uma análise do global ao local nos impactos socioambientais em São Paulo**. Tese de Doutorado, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 201 f, São Paulo, 2019.

WEBER, E.U.; What shapes perceptions of climate change? **WIREs Climate Change**, p.332-342, vol.1, n.3, 2010.

WOLF, K. L.; **A economia e o valor público das florestas urbanas**. Disponível em: <http://www.agriculturaurbana.org.br/RAU/AU13/AU13economics.html>. Acesso em: 26 ago 2019.

YAGLOU, C.P.; MINARD, D.; Control of heat casualties at military training centers. **Arch Ind Health**, vol.16, p.302-316,1957.

YNOUE, R.Y.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M.S.; SILVA, G.A.M.; **Meteorologia: Noções Básicas**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2017.

YOUSIF, T.A.; Application of Thom's Thermal Discomfort Index in Khartoum State, Sudan. **Research Publisher**, p.36-38, vol. 2, n. 5, 2013.

ZARE, S.; HASHEMINEJAD, N.; SHIRVAN, H.E.; HEMMATJO, R.; SAREBANZADEH, K.; AHM, S.; AHMADI, S.; Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. **Weather and Climate Extemes**, p. 49-57, vol. 19, 2018.

ZAREA, S.; SHIRVAN, H.E.; HEMMATJO, R.; NADRI, F.; JAHANI, Y.; JAMSHIDZADEH, K.; PAYDAR, P.; A comparison of the correlation between heat stress indices (UTCI, WBGT, WBDT, TSI) and physiological parameters of workers in Iran. **Weather and Climate Extemes**, p.?, vol. ?, 2019.

Apêndice I - Caracterização das estações meteorológicas

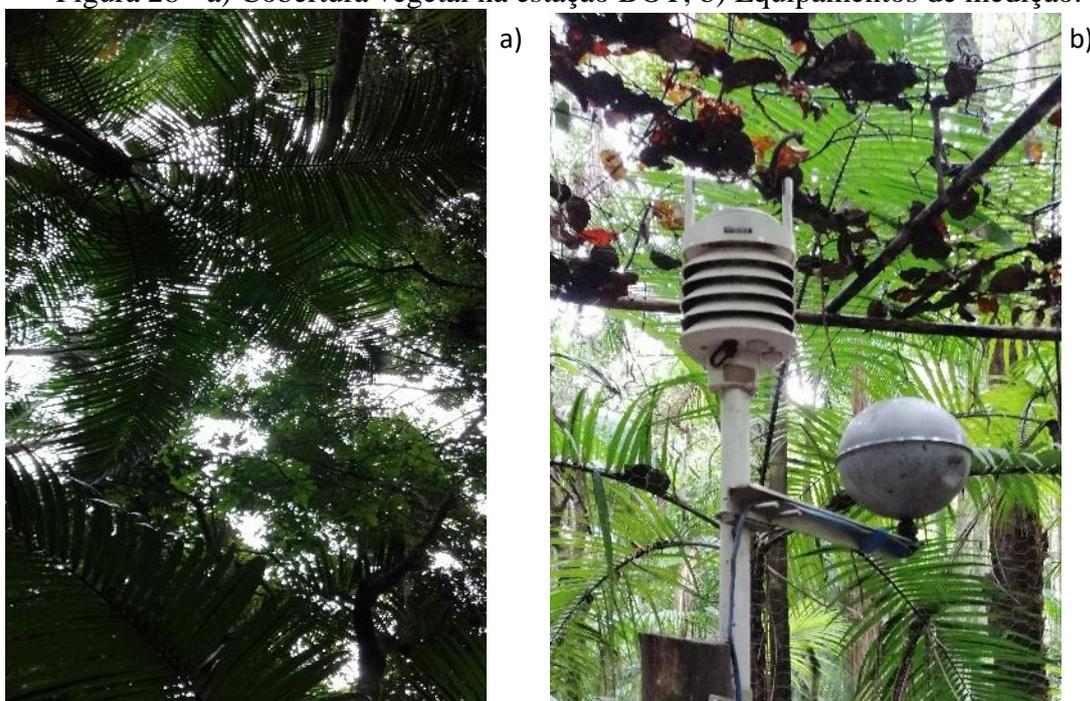
1. Estações sob influência direta de vegetação (estações de referência)

As estações sob esta classificação se encontram dentro de parques ou áreas verdes protegidas de grandes dimensões, sofrendo impacto direto do comportamento das atividades desenvolvidas pelas espécies vegetais.

1.1 Jardim Botânico (BOT)

A estação encontra-se imersa em vegetação típica do bioma Mata Atlântica, mais precisamente na Trilha da Nascente do Parque do Estado – Jardim Botânico, região Sul da cidade de São Paulo. Segundo WADT (2019), a área se encontra com dossel fechado, contando com árvores de até 15 metros de altura. Evidentemente, a estação se encontra com grande porcentagem de sombreamento. As instalações desta estação podem ser observadas nas figuras 28a e 28b.

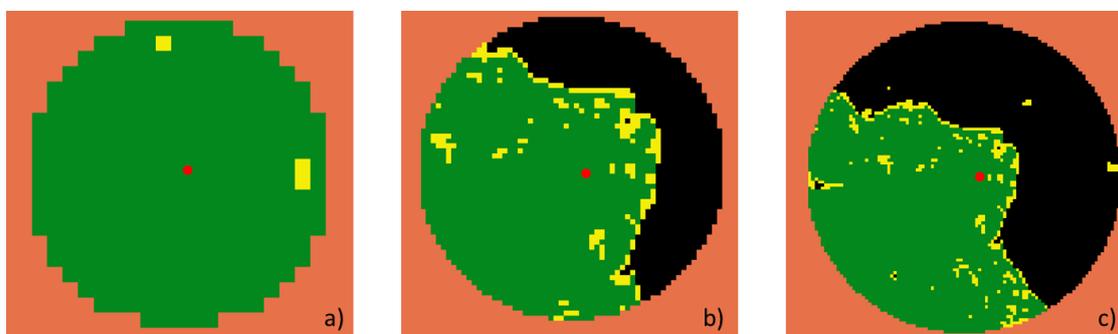
Figura 28 - a) Cobertura vegetal na estação BOT; b) Equipamentos de medição.



Fonte: Arquivo Pessoal

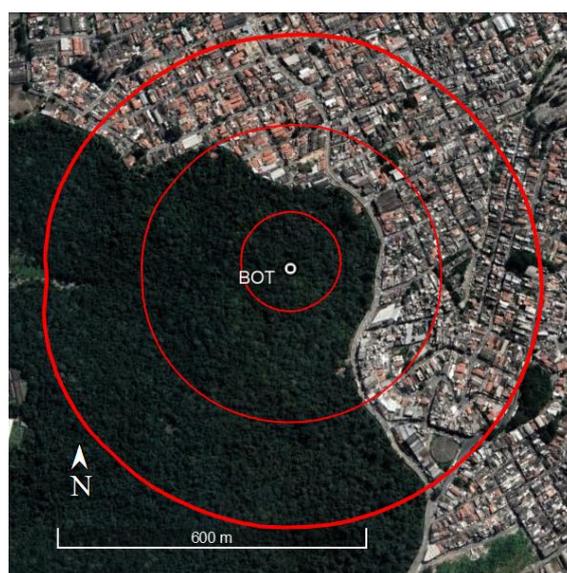
A estação se encontra sob forte influência da vegetação, principalmente nas proximidades imediatas da medição (a figura 29 apresenta os pixels de NDVI registrados em cada raio). Ao passo do distanciamento do ponto central, diminui-se a porcentagem da cobertura do verde, abrangendo parte de região urbanizada no bairro em que se encontra o parque. A título de exemplo, a vegetação cobre 100% da área de 100m, caindo para 67,9% em 300m e ainda representando a maioria da cobertura em 500m (52,4%). Através da figura 29, pode-se analisar a imagem de satélite da região de influência por raios.

Figura 29 - Caracterização do entorno de estação meteorológica BOT para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado.



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

Figura 30 - Imagem de satélite das áreas de influência de BOT.

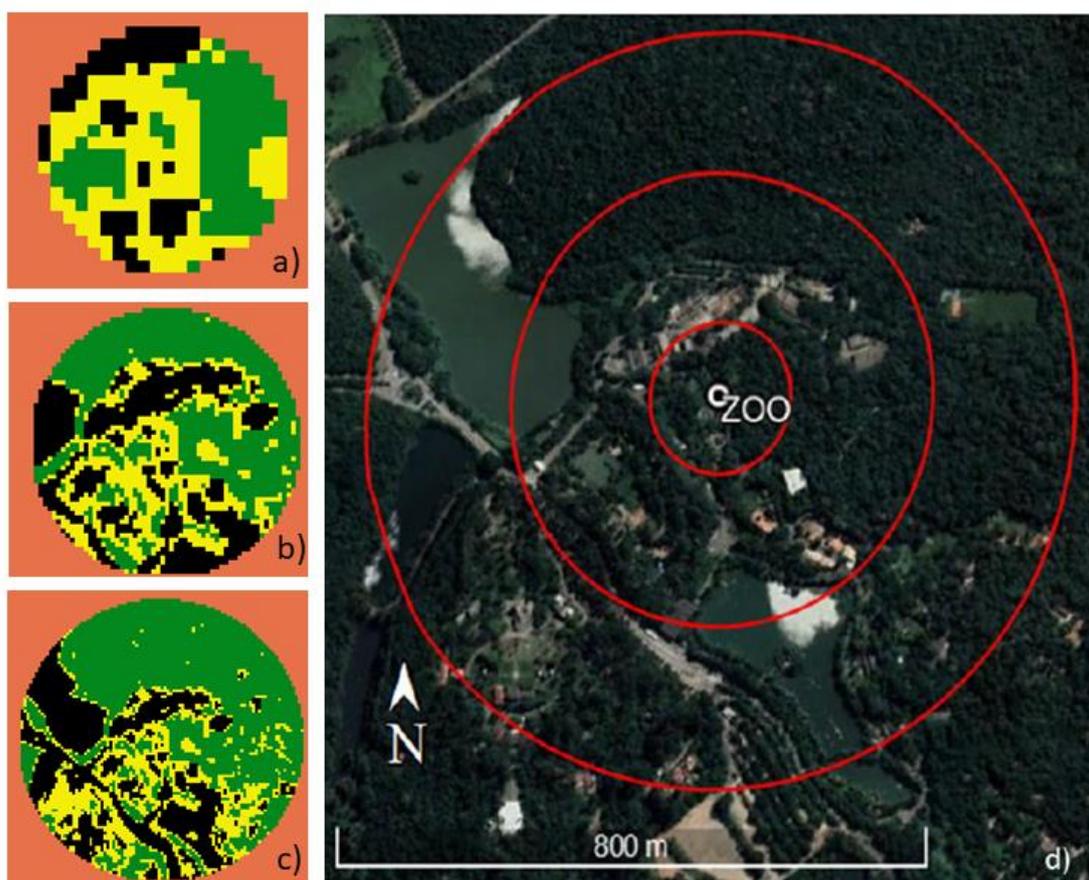


Fonte: Google Earth, 2021

1.2 Jardim Zoológico (ZOO)

Esta estação se encontra no mesmo parque da estação Jardim Botânico, na área do Jardim Zoológico. Se encontra cercada de vegetação com certo distanciamento dos equipamentos de medição. Em comparação com a anterior, ZOO não conta com sombreamento igual à BOT, recebendo influência direta da vegetação do entorno, mas não sofrendo atenuação da irradiação solar como em BOT. A estação conta com vegetação nas cercanias, envolvendo a porção Oeste-Norte, em especial para os raios de 300 e 500m (figura 31), quando a cobertura vegetal registra 68,1% e 71,5% do território, respectivamente. Para 100m, esse valor ficou em 78,1%. A figura 32 apresenta a instalação do ponto de medição.

Figura 31 - Caracterização do entorno de estação meteorológica ZOO para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

Figura 32 - Entorno do ponto de medição ZOO

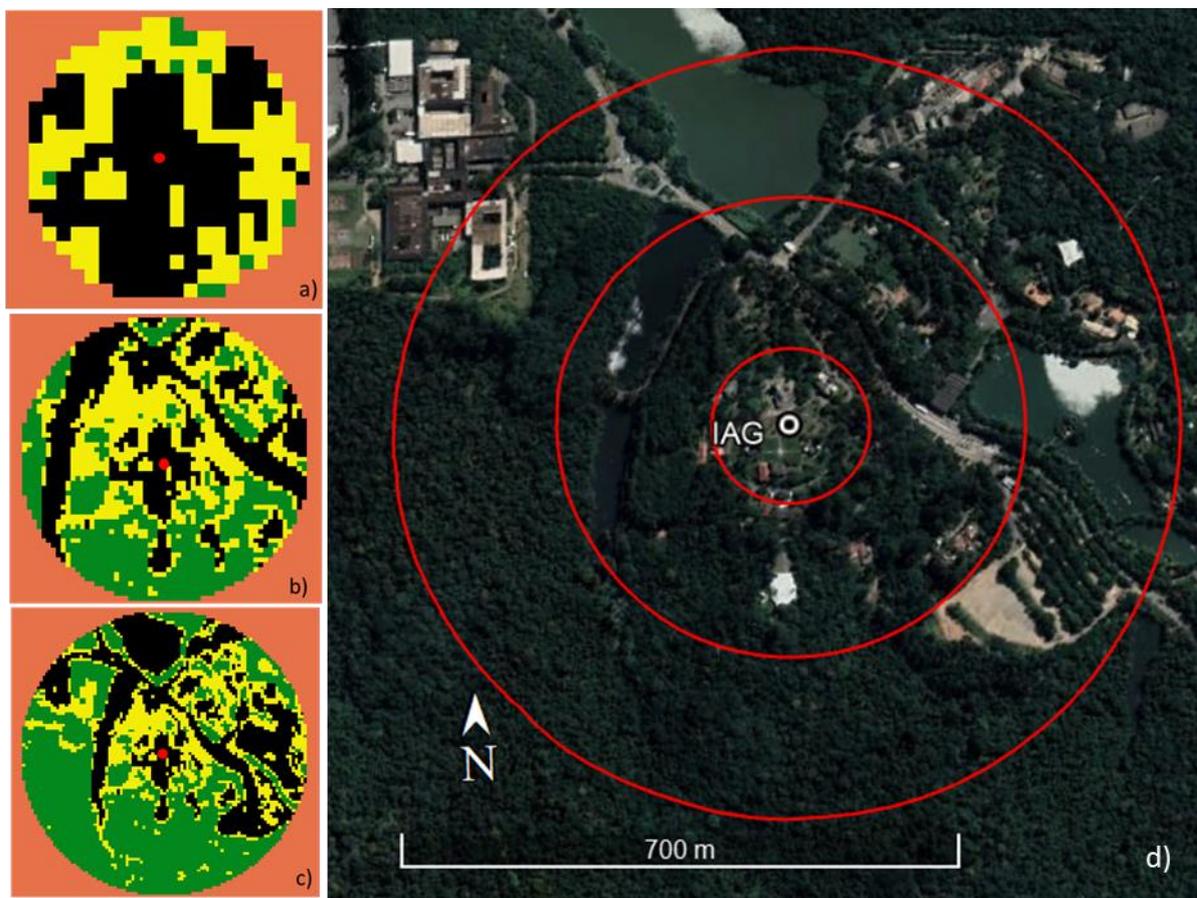


Fonte: Arquivo Pessoal

1.3 CIENTEC (IAG)

Estação sob requisitos da OMM. É O posto de medições oficiais do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) e se encontra muito próxima à estação ZOO. Devido às exigências da OMM, a vegetação existente no entorno se encontra com recuo maior do que as outras duas estações anteriormente apresentadas. IAG possui contribuição similar de infraestrutura verde em termos de porcentagem de cobertura do solo se comparada a ZOO, porém com distribuição mais uniforme, em todas as direções do território onde situa. Embora com ordenação territorial ligeiramente diferente de ZOO, as porcentagens, por área, foram similares, sendo elas, respectivamente: 45,3%, 66,0% e 68,8%, sempre aumentando ao passo da distância da medição. Através da figura 34, vê-se a posição geográfica de IAG através da imagem de satélite com as três áreas de influência.

Figura 33 - Caracterização do entorno de estação meteorológica IAG para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

2. Estações sob influência indireta de vegetação

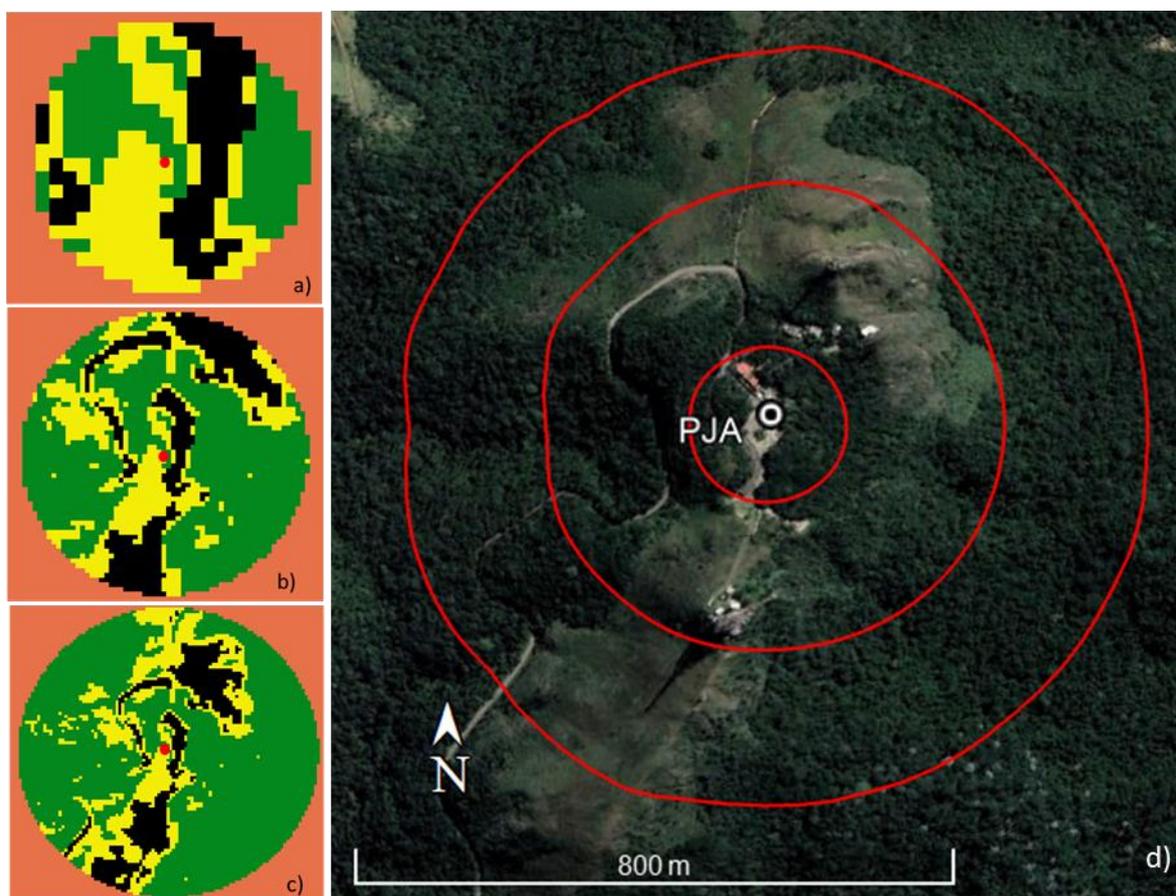
Estas estações se encontram em áreas densamente arborizadas ou próximas a áreas verdes de grandes dimensões. São elas:

2.1 Pico do Jaraguá (PJA)

A estação PJA é a de maior altitude registrada de todas aquelas escolhidas no estudo. Pertencente à CETESB, a estação atua em uma área de Remanescente de Mata Atlântica protegida pelo Estado, por se tratar de um Parque Estadual (figura 33). A área se situa a Noroeste da capital Paulista, com densidade vegetativa considerável. Mais precisamente, a estação se apresenta próximo à portaria do parque. PJA possui espécies

vegetativas bem distribuídas em todos os raios de influência com densidade de espécies maior em comparação a outras estações. Imediatamente próximo à estação, encontra-se as únicas estruturas cinzas de maiores dimensões do parque em questão, uma vez que aqui se localizam o estacionamento e a portaria de ingresso. As demais estruturas em cor preta das figuras 33a e 33b representam estradas de acesso e estruturas rochosas. A área de 100m é a que menos conta com porcentagem de cobertura verde (74,7%), chegando a atingir as cifras de 81,0% e 88,0% em 300m e 500m, respectivamente. Esta é a estação com as maiores porcentagens de infraestrutura vegetal de todo o estudo, além de ser a de maior altitude e uma das mais distantes do mar.

Figura 34 - Caracterização do entorno de estação meteorológica PJA para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.

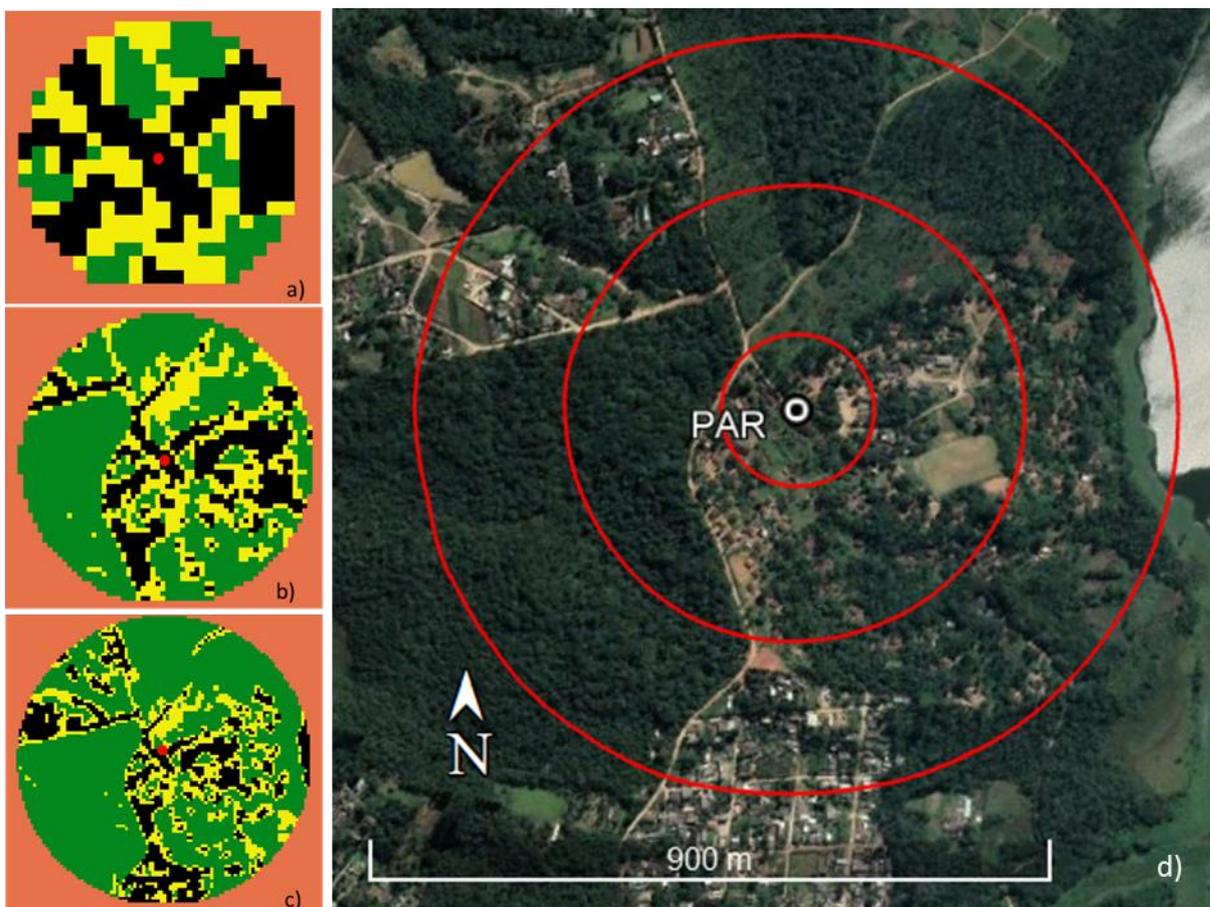


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

2.2 PARELHEIROS (PAR)

Localizada no extremo Sul da cidade de São Paulo (figura 35). A estação PAR se encontra numa porção de território muito próxima a adensamentos vegetais, ruas com arborização não asfaltadas e próxima à Represa *Billings*. A região conta com pequenas ocupações humanas, sem estruturas cinzas consideráveis, assemelhando-se a características de zona rural. Também contando com uma boa distribuição de infraestrutura verde, PAR conta com áreas mais densas a Oeste e porções com ocupações de dimensões reduzidas por toda a parte. Apenas no raio de 500m há influência da represa a Leste, uma porcentagem muito pequena do território. A área de 100m é a que menos conta com porcentagem de cobertura verde (57,9%), chegando a atingir as cifras de 80,0% e 82,6% em 300m e 500m, respectivamente.

Figura 35 - Caracterização do entorno de estação meteorológica PAR para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.

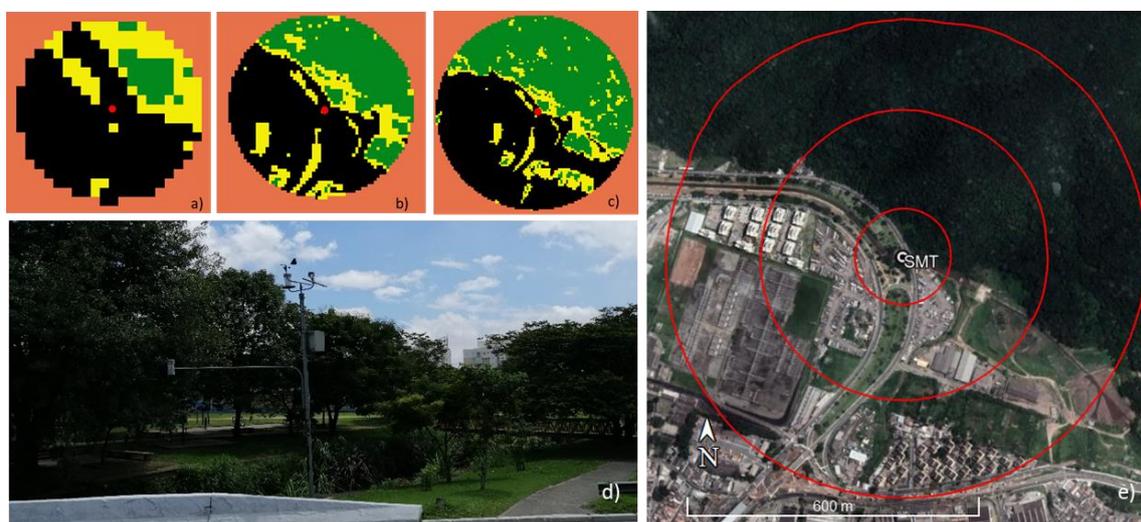


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

2.3 São Mateus (SMT)

A estação SMT se localiza na região Leste da cidade de São Paulo, às margens do rio Aricanduva (figura 36a). Se encontra a poucos metros do Parque do Carmo, o maior da capital, com adensamento vegetal expressivo. Além destas características, conta-se no entorno com espécies arbóreas presentes ao longo das estruturas viárias e do próprio rio Aricanduva (figura 36b), além de alguns edifícios e galpões industriais. Através da análise do NDVI desta estação (figura 37), percebe-se que a primeira influência se dá por algumas árvores do Parque do Carmo, de algumas espécies que marcam a arborização viária, enquanto que, nos raios de 300m e 500m, há uma participação maior de áreas densas do referido parque. Em 300m, 50,4% da área é coberta por algum tipo de vegetação, enquanto em 500m este valor chega a 54,1%. Em 100m, a porcentagem é de 32,4%. Percebe-se, então, que SMT é uma estação mista, com forte influência de vegetação densa, mas com importante influência da área urbana.

Figura 36 - Caracterização do entorno de estação meteorológica SMT para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) entorno da estação SMT, e) imagem de satélite

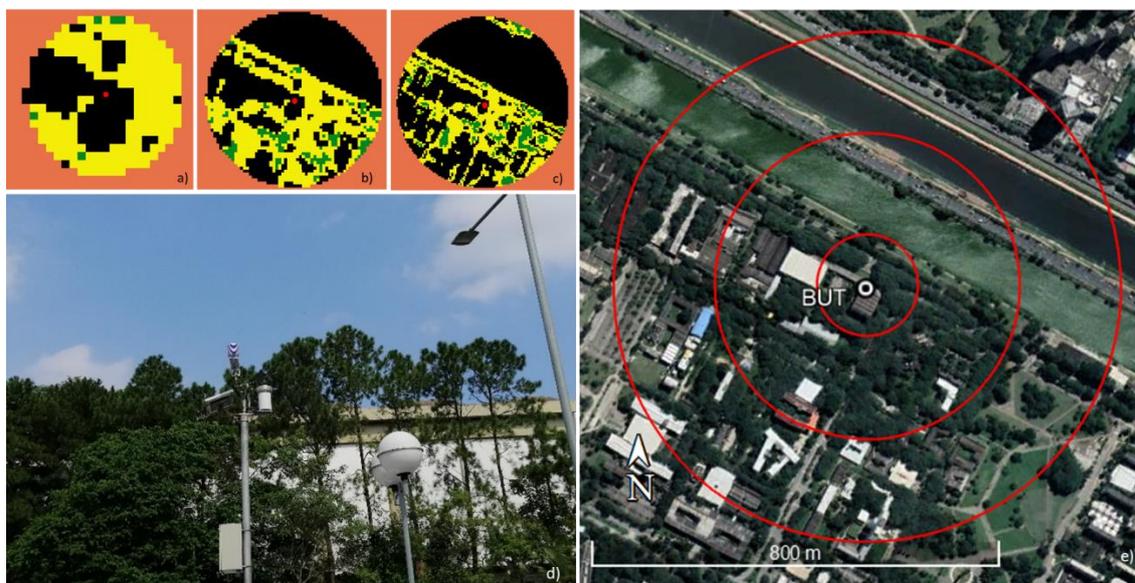


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

2.3 Butantã (BUT)

A estação Butantã se encontra dentro das dependências do Centro Tecnológico de Hidráulica, no estacionamento da unidade (figura 37). Apesar de não haver vegetação imediatamente no entorno das medições, área de influência no campus da USP abriga diversas espécies naturais, desde gramíneas até árvores maduras, além de contar com corpos hídricos (Raia Olímpica e o rio Pinheiros, extraterritorial). No raio de 500m, abrange-se parte do Parque Vila Lobos, na margem oposta do rio Pinheiros. A estação, por se encontrar dentro de um estacionamento, acusa uma área significativa de pixels pretos no raio de 100m, demarcada por pixels amarelos (vegetação escassa/jovem) no entorno. Nas próximas áreas de influência seguintes, aparecem outras áreas verdes do campus da USP que, mesmo contando com várias espécies arbóreas altas, não foram sinalizadas como vegetação madura/densa, exceto em alguns pontos. É importante lembrar que a porção Norte/Nordeste das áreas de 300m e 500m (figura 37b, 37c) conta com a presença da Raia Olímpica, motivo que explica a grande marcação preta. Todavia, é o raio de 100m com maior porcentagem de verde, totalizando 62,1%. Para os demais raios, este valor cai progressivamente (42,5% para 300m e 32,4% para 500m).

Figura 37 - Caracterização do entorno de estação meteorológica BUT para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite.



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

3 Estações urbanas

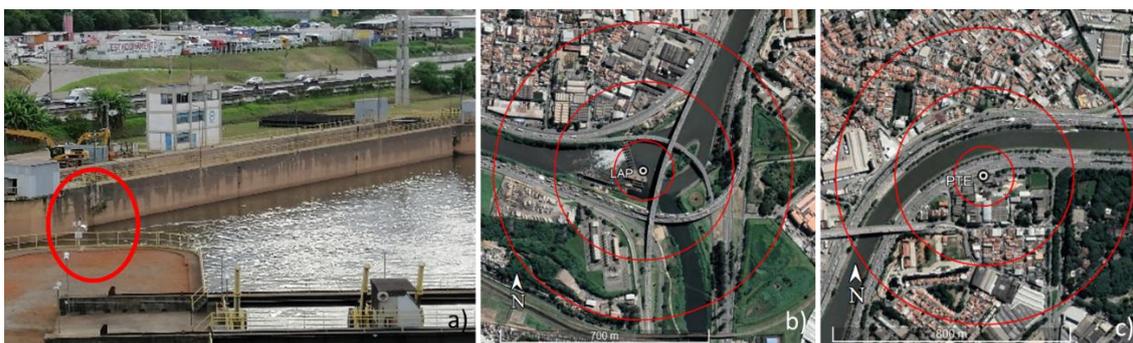
Estações sob forte influência das áreas urbanizadas, sendo elas próximas ou não de arborização e/ou outras infraestruturas verdes. A saber:

3.1 Ponte dos Remédios (PTE) e Lapa (LAP)

Estas duas estações se encontram geograficamente próximas, separadas por poucos metros de distância na região Oeste da capital. A primeira (PTE), de posse do Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo (CGE), está sediada em uma estação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) entre os rios Pinheiros e Tietê (figuras 38a) próximo à divisa com a cidade de Osasco. Quanto à LAP, pertencente à CETESB, encontra-se na marginal Tietê. Ao comparar-se as duas estações (figura 38), PTE é a que se posiciona mais próxima de alguma infraestrutura verde de maiores dimensões, o Parque Leopoldina. Embora as duas estações se encontrem próximas, ambas contam com alguns elementos diferentes e outros similares, em especial para a vegetação existente. Ambas praticamente não apresentam vegetação significativa nos primeiros 100m de raio, em especial LAP que possui uma área marca por corpos hídricos maior que PTE. Já em 500m, PTE apresenta elementos de vegetação, que correspondem às bordas do Parque Leopoldina, ainda que em quantidade muito reduzida, apesar de que LAP apresente maior montante de vegetação para o mesmo raio, quando traços da vegetação ciliar de um dos rios marca presença nos pixels de NDVI. Contudo, é importante dizer que há uma grande área urbanizada, tal e qual caracteriza PTE.

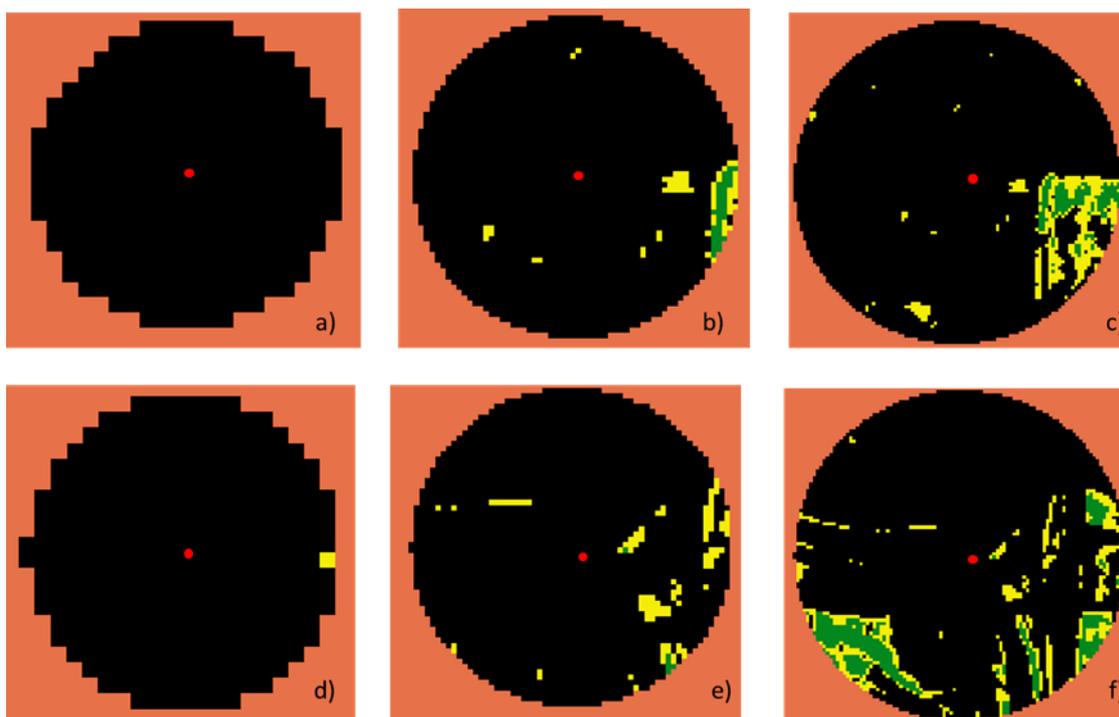
Quanto à porcentagem de vegetação, LAP apresentou apenas 0,3% em 100m, enquanto PTE não registrou valores significativos. Em 300m, a quantidade de vegetação em ambas foi similar (3,9% em LAP e 3,4% em PTE). Só em 500m que a porcentagem registrou uma diferença maior, sendo 13,1% para LAP e apenas 7,4% para PTE. A distribuição do NDVI por raios pode ser encontrada na figura 39.

Figura 38 - a) Estação LAP; Foto de satélite de b) LAP e c) PTE



Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 39 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. PTE para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m; LAP para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m; f) imagem de satélite



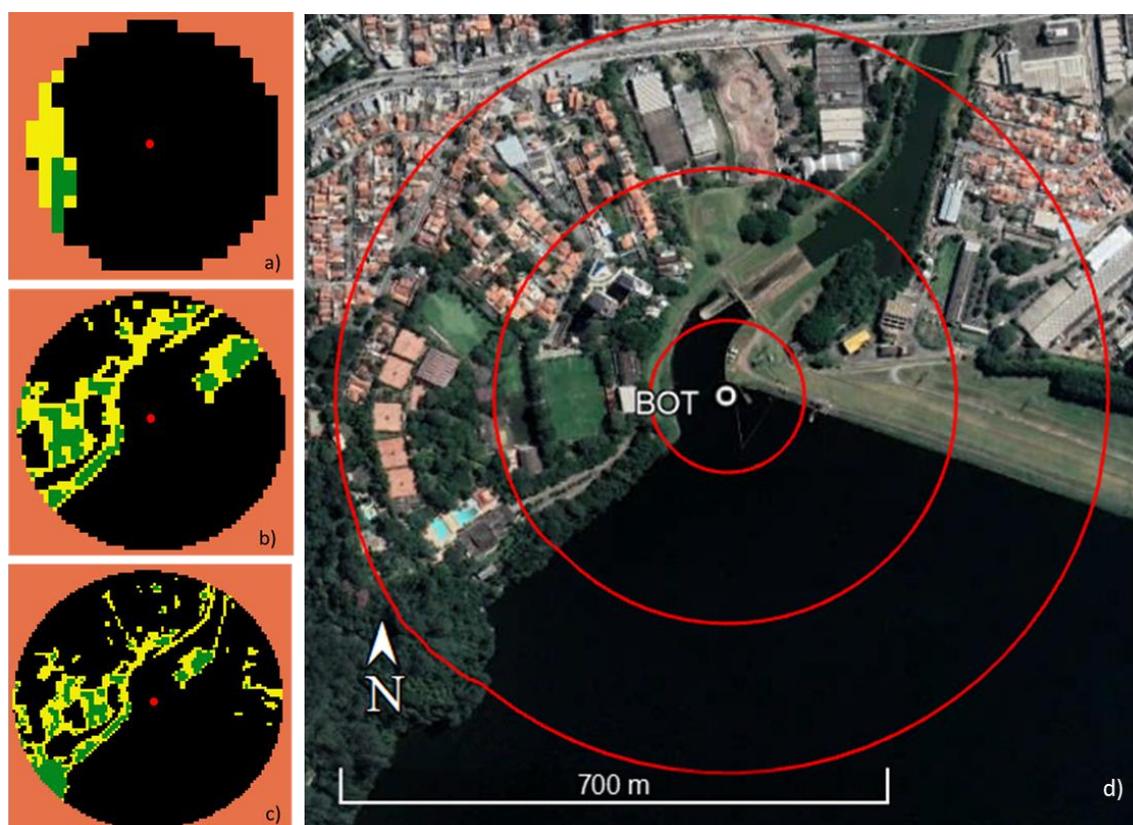
Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

3.2 M'Boi Mirim (BOI)

A estação meteorológica em questão apresenta-se com uma peculiaridade de estar próxima a porções verdes urbanas, Parque Guarapiranga e arborização viária, sem contabilizar um predomínio da mesma. Isto se dá pela localização próxima à represa

Guarapiranga, que abrange grande área de influência da medição. Se localiza ao Sul da cidade de São Paulo, muito próxima a regiões densamente urbanizadas, configurando-se como uma estação mista (figura 40). Embora se localize muito próximo a uma área natural (com elementos verdes e corpos d'água), a estação está imersa numa área da metrópole que conta com uma região intensamente urbanizada a Noroeste e Nordeste. Portanto, as únicas partes acusadas pelo NDVI pela coloração preta são justificáveis como corpos d'água aquelas no setor Sul. As demais, compreendem ocupações de infraestrutura cinza. Esta realidade reflete nos resultados encontrados do NDVI quanto à porcentagem de cobertura, acusando apenas 8,9% em 100m, 22,4% em 300m e 17,9% em 500m. Devido a este resultado, a estação não foi configurada como um ponto sob influência indireta da vegetação, uma vez que os valores justificam a definição como uma área urbana com infraestrutura verde em suas delimitações, situação relativamente próxima às duas estações anteriores.

Figura 40 - Caracterização do entorno de estação meteorológica BOI para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite

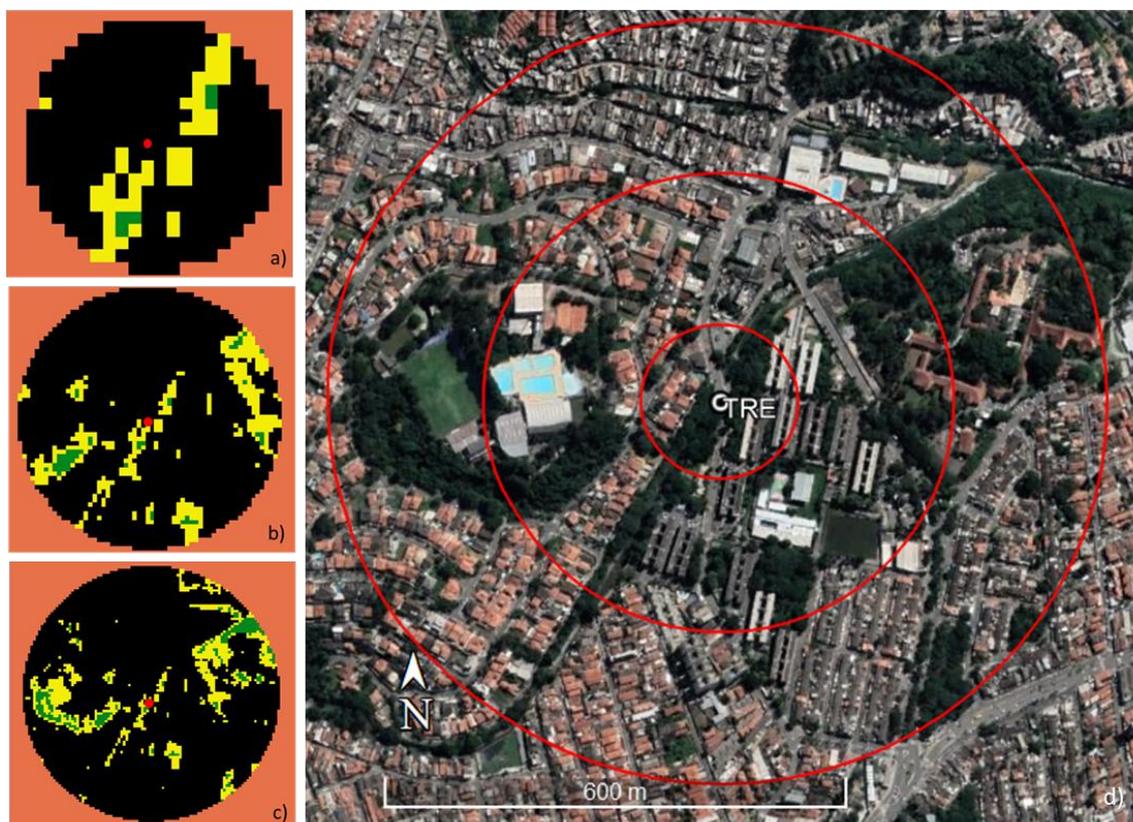


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

3.3 Tremembé (TRE)

Localizada na zona Norte de São Paulo, TER (figura 41) atua em região urbanizada, mas com presença de arborização viária constante das ruas que dão acesso à estação junto a um corpo d'água. Apesar de não contar com nenhuma área verde pública próxima à estação, pode-se apontar alguma infraestrutura verde particular considerável, como aquela junto ao Hospital São Luís Gonzaga. A contribuição das áreas verdes para TRE é esparsa, uma vez que o espaço territorial conta com manchas espalhadas em todas as áreas de influência. Ainda que os elementos verdes tenham sido registrados em todas elas, em nenhuma a porcentagem ultrapassou 16% do total. Todavia, o índice foi registrado sem haver uma discrepância entre os raios (acrécimo/decrécimo) assim como aconteceu na maioria das estações. O valor oscilou entre 14% e 16%, sendo 15,8% para 100m, 14,7% para 300m e 14,2% para 500m. Desse modo, pode-se afirmar que a infraestrutura verde de TRE se manteve uniforme em todos os raios.

Figura 41 - Caracterização do entorno de estação meteorológica TRE para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite

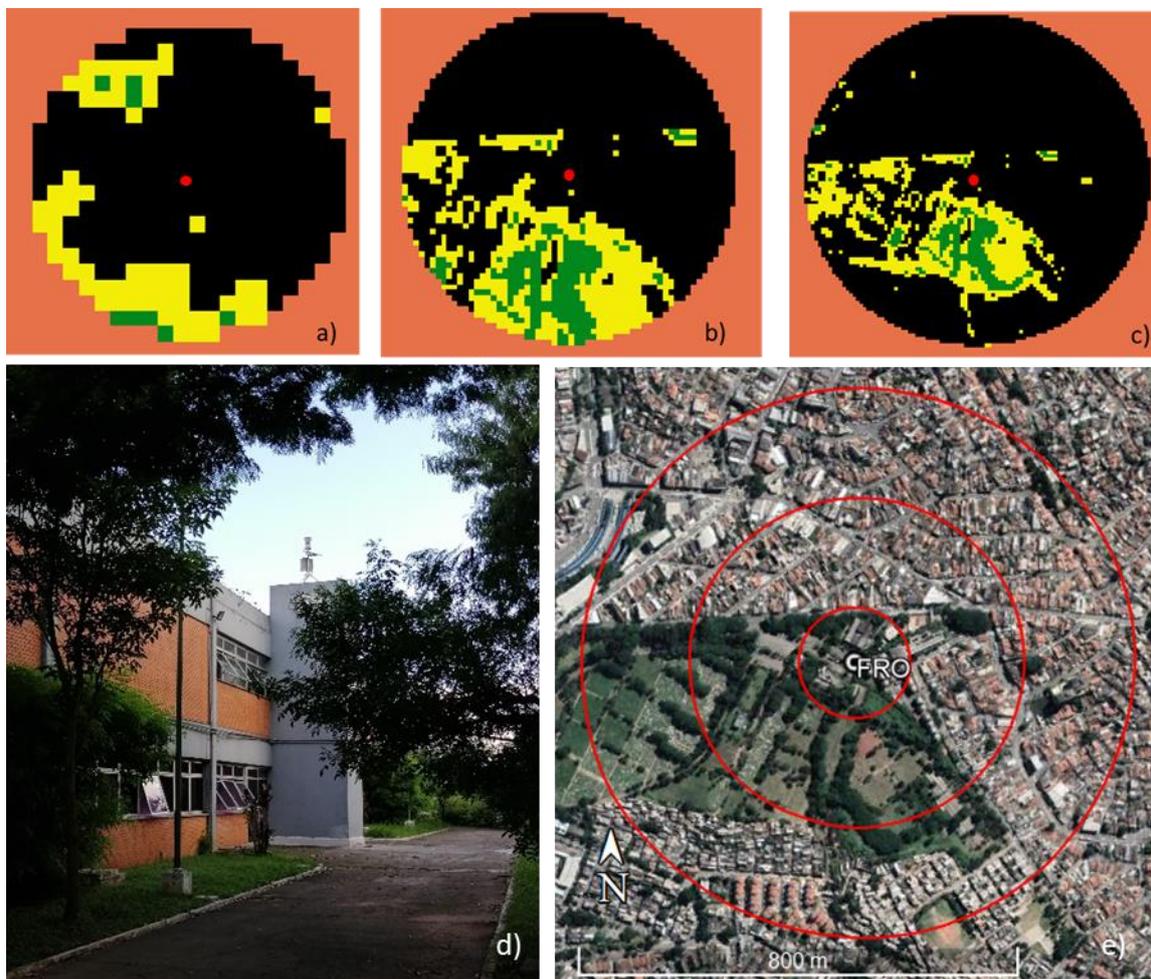


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

3.4 Freguesia do Ó (FRO)

Igualmente localizada na região Norte, FRO está instalada em uma subprefeitura, imediatamente próxima à arborização viária. Contudo, esta porção verde do território configura-se como uma ilha em meio à área intensamente urbanizada (figuras 42), além de contar com o Cemitério Cachoeirinha, o qual pode ser considerado infraestrutura verde de acordo com a definição proposta pela bibliografia. O perfil do NDVI para a estação FRO é retratado na figura x. Através das três áreas de influência, percebe-se a presença de trechos de infraestrutura verde próximos ao ponto de medição, em especial nos setores Sul e Sudoeste. Embora este adensamento seja registrado em sua maioria como escasso/não maduro, a área com maior porcentagem de cobertura é a de 300m (29,2%). Enquanto isso, praticamente todos os demais setores geográficos são fortemente marcados por infraestrutura cinza. Para o raio de 100m, a porcentagem do território coberto por algum tipo de vegetação foi de 22,1%, valor que chega a 17,4% em 500m.

Figura 42 - Caracterização do entorno de estação meteorológica FRO para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite

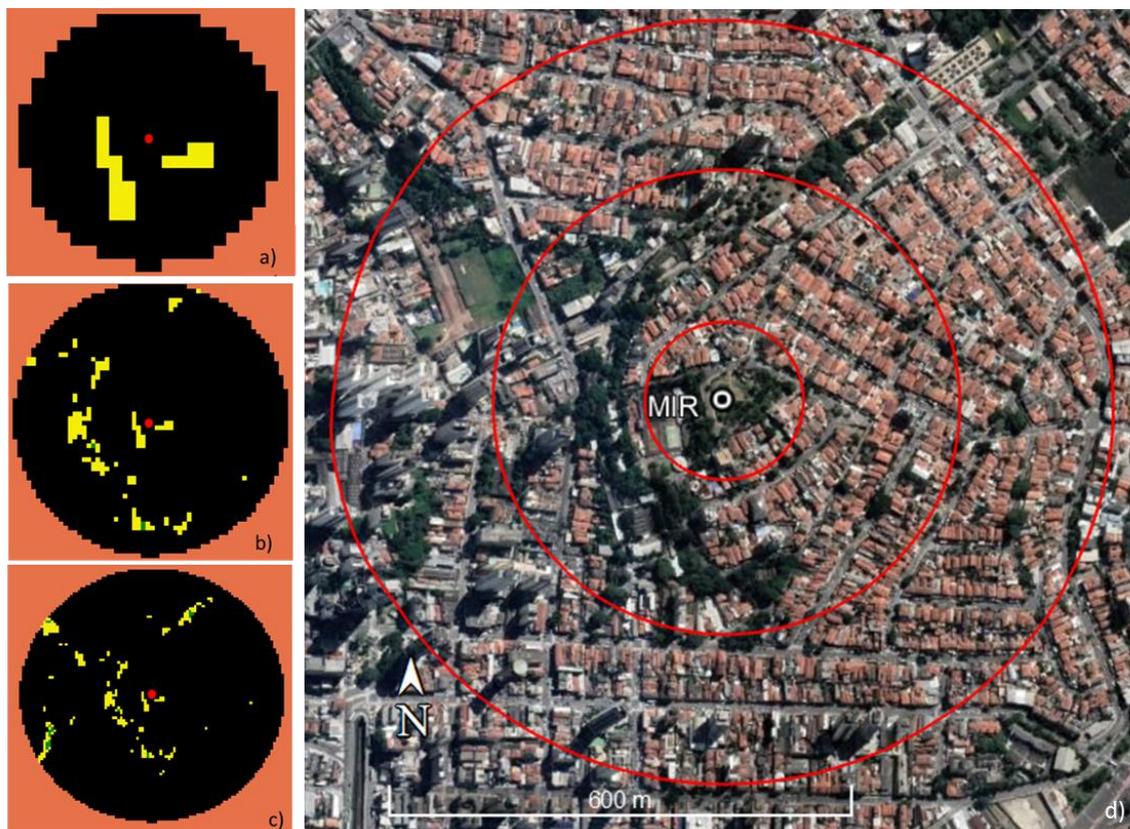


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

3.5 Mirante Santana (MIR)

A estação MIR é a única pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em região elevada em área densamente urbanizada (figura 43). Os únicos elementos naturais existentes no entorno da estação são unicamente aqueles que compõem a arborização viária, o que resultou em nenhum pixel de NDVI relacionado a plantas maduras nas áreas de influência da estação. Além disso, todos os pixels relativos à vegetação se mostraram isolados, com pequenos adensamentos em todos os raios. Contudo, a região goza de uma altitude maior do que o entorno no qual se encontra, motivo pelo qual a estação é denominada de “mirante”, com altitude igual a 786m.

Figura 43 - Caracterização do entorno de estação meteorológica MIR para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite

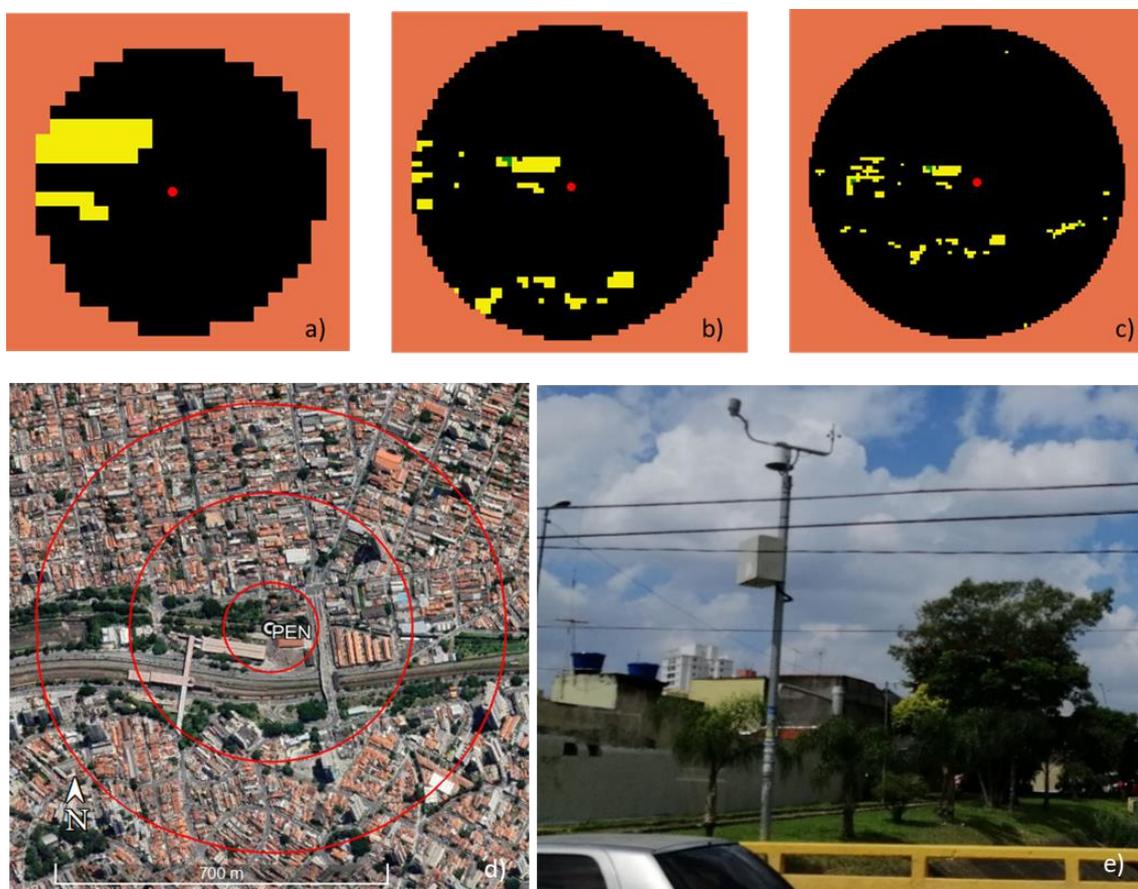


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

3.5 Penha (PEN)

Estação localizada na região Leste de São Paulo, fixada em uma ponte junto ao corpo d'água (figuras 44). Não apresenta infraestrutura verde de grandes dimensões consideráveis no entorno, o que pode ser comprovado na análise dos pixels do NDVI. Percebe-se a quase ausência de estruturas expressivas de verde, marcada apenas por arborização ciliar de um corpo hídrico da região. A porcentagem de verde decresce com o aumento da distância, registrando, respectivamente 9,1%, 3,7% e 2,3%. A região de PEN é predominantemente residencial, com casas e alguns edifícios no entorno nas estruturas viárias.

Figura 44 - Caracterização do entorno de estação meteorológica PEN para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite; e) foto da estação

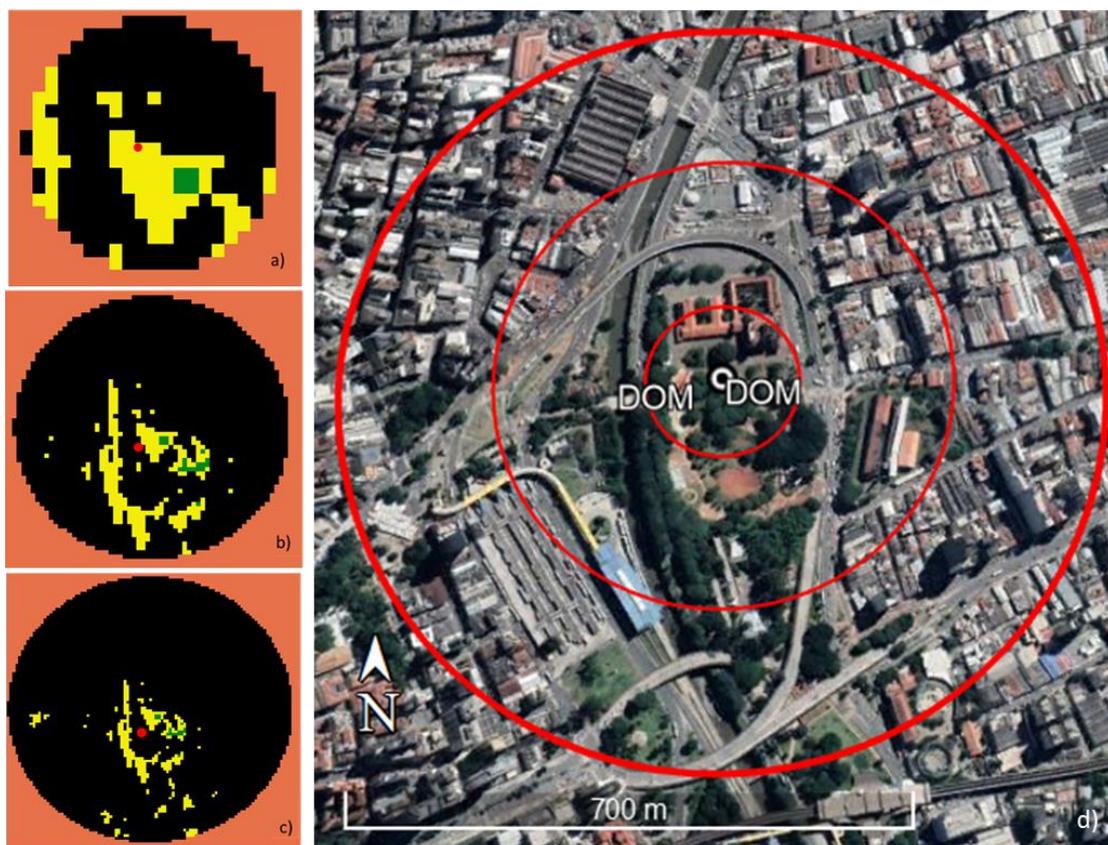


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

3.6 Dom Pedro (DOM)

Estação localizada no centro da capital, dentro do Parque Dom Pedro (figura 45), a única infraestrutura verde da região. É importante destacar a escassez de arborização viária nesta parte da cidade, além do número de vias expressas e outras infraestruturas cinzas. Apesar da estação se encontrar num parque, a análise do NDVI nos diversos raios de influência mostrou que a vegetação presente não é madura ou densa, além de estar muito suscetível às variáveis urbanas do centro da capital. A diferença entre os raios de 100m e 300m é expressiva quanto à porcentagem de cobertura vegetal. Enquanto aquele registra 24,6%, este possui 9,3%. A porcentagem cai ainda mais para o raio de 500m, com 4,3% de toda a superfície.

Figura 45 - Caracterização do entorno de estação meteorológica DOM para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite

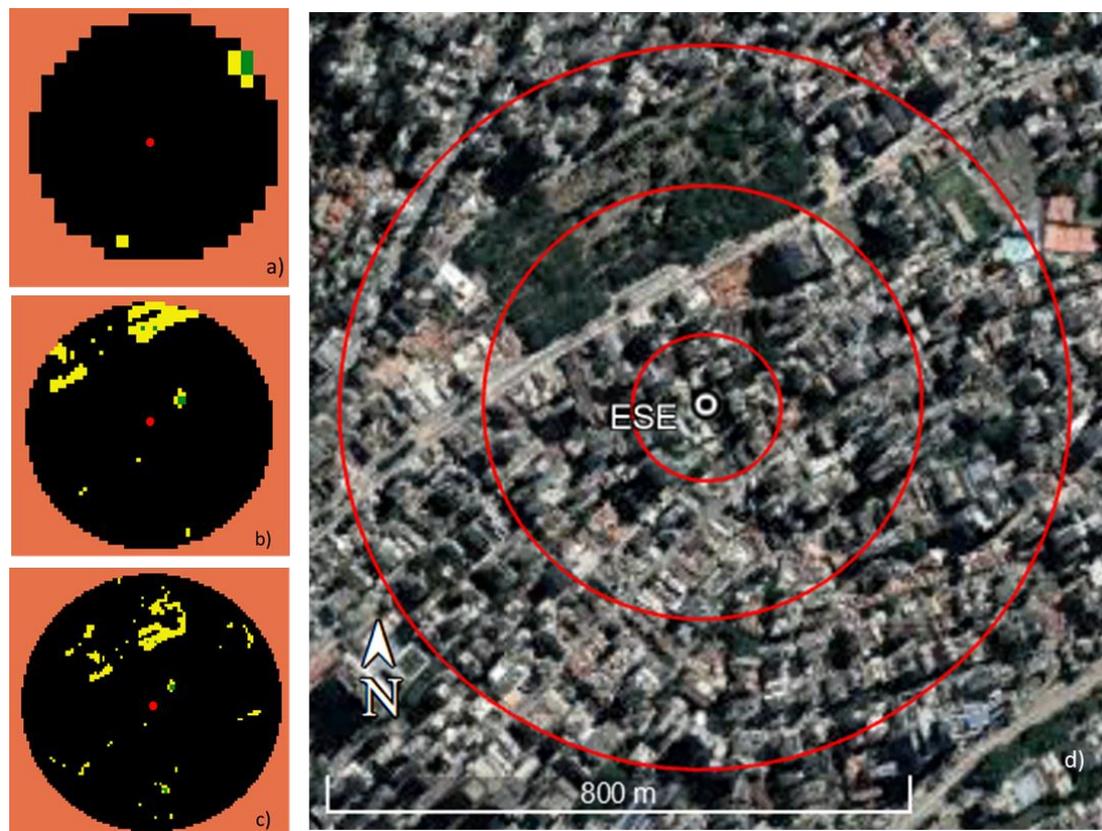


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

3.7 Sé (ESE)

Apesar do nome dado pela CGE, a esta estação se encontra na sede da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), no bairro Consolação (figura 46). A região é marcada por altos edifícios que podem alterar o padrão de ventilação e poucas unidades de árvores nas ruas, contando apenas com uma malha verde de poucas unidades vegetativas do Cemitério da Consolação, a poucos metros da estação. Além destas características, a região que abrange os 500m de influência de ESE possui grande quantidade de edifícios de maiores dimensões. No que tange à cobertura vegetal além da arborização viária já escassa no entorno no qual se encontra, a área verde nas proximidades (Cemitério) figura apenas a partir de 300m de raio, quando a porcentagem de verde é de 5,0%. Os valores são ainda inferiores para 100m (1,9%) e 500m (3,5%).

Figura 46 - Caracterização do entorno de estação meteorológica ESE para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

3.8 Vila Mariana (VMA) e Vila Prudente (VPR)

Com características similares, VMA (zona Sul; figura 47a) e VPR (zona Leste; figura 47b) se caracterizam como estações urbanizadas e com pouca vegetação no entorno. Ambas se situam próximas a vias de alto tráfego e com grande ocupação urbana. A diferença entre elas se encontra na estação VPR, a qual conta com vegetação mediana no entorno direto da medição (figura 47c) e próxima a um entroncamento de transporte ferroviário (trem e metrô).

Quanto à análise do NDVI, percebe-se uma similaridade entre as estações, as quais contam exclusivamente com a arborização viária no entorno da medição. Não há nenhum tipo de área verde com adensamento e os pixels com porções maduras de vegetação são reduzidos, caracterizando uma região urbanizada. Todavia, por conta da vegetação existente imediatamente próxima à medição de VPR (figura 48), os primeiros 100m desta

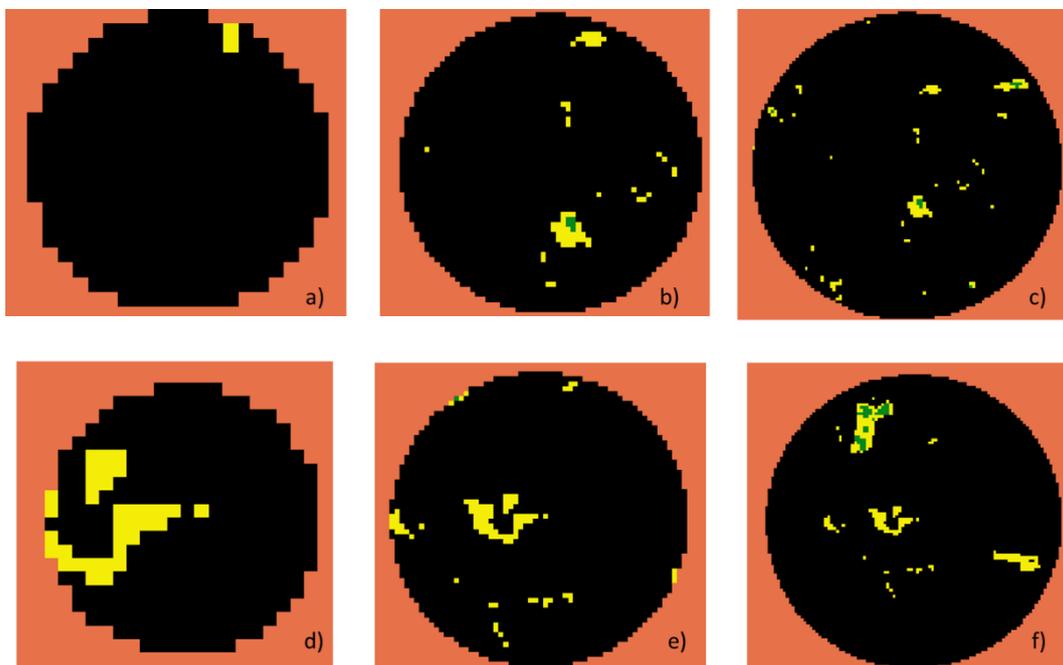
estação acusam NDVI de vegetação maior do que em VMA, sendo 10,7% e 0,6%, respectivamente. VPR apresenta uma queda considerável na porcentagem em 300m (3,5%), mantendo o valor em 500m (3,4%). Enquanto isso, VMA não justifica aumentos importantes, sendo 2,4% da cobertura composta por vegetação em 300m e 1,7% em 500m.

Figura 47 - a) Localização Geográfica de VMA e b) Localização Geográfica de VPR; c) instalação da estação VPR



Fonte: Google Earth, 2021 e Arquivo Pessoal

Figura 48 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. VMA para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m; VPR para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m; d) imagem de satélite

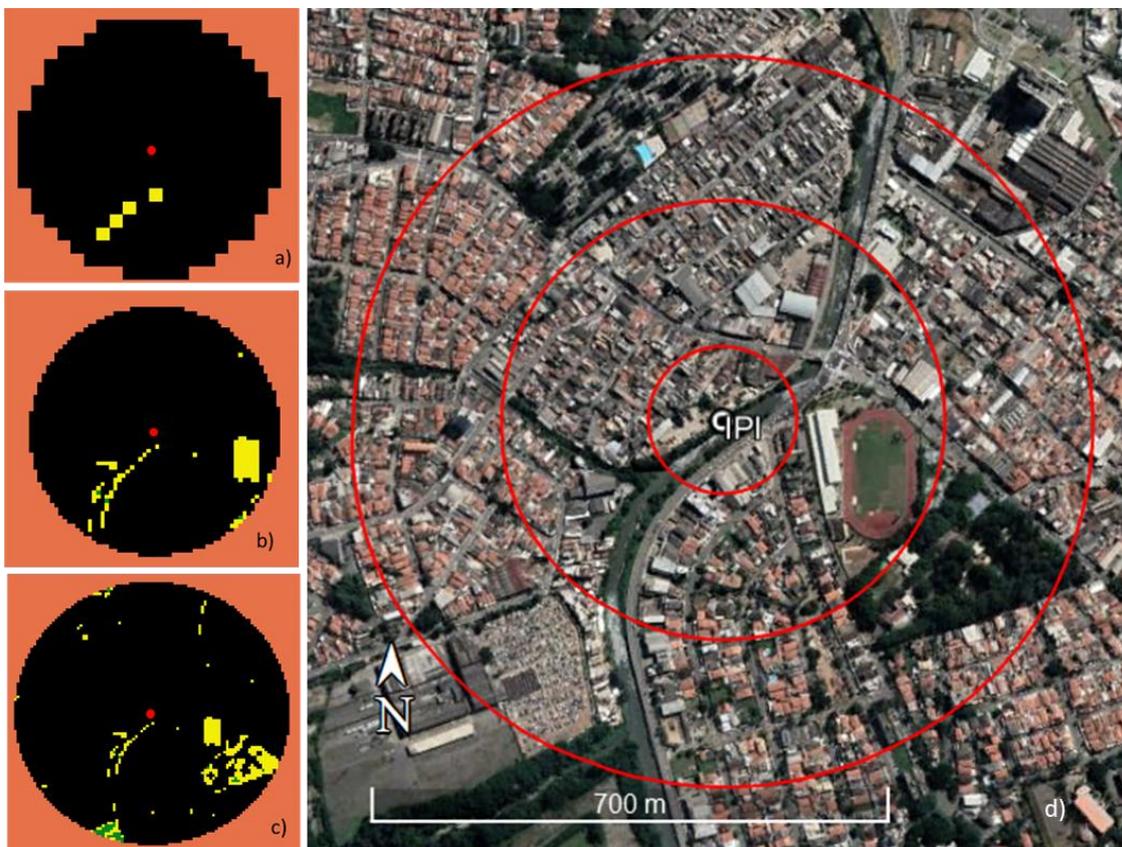


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

3.9 Ipiranga (IPI)

Estação próxima ao ribeirão dos Meninos, este ponto de medição recebe influência direta da vegetação que o margeia, fato de que impossibilitou uma foto que identificasse os equipamentos de maneira nítida. Todavia, se encontra imersa em região marcada por casas, galpões e outras construções baixas, na divisa com a cidade de São Caetano, dentro da região Sudeste da cidade de São Paulo (figura 49d). Para IPI, a caracterização obtida pelo $NDVI > 0,50$ foi marcada pelas superfícies urbanas com infraestrutura cinza e pequenos trechos de arborização viária e ciliar (figura 49). Ao passo do distanciamento do centro de medição, a porcentagem de verde aumenta, alcançando 1,3% para 100m, 3,9% para 300m e 4,7% para 500m.

Figura 49 - Caracterização do entorno de estação meteorológica IPI para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

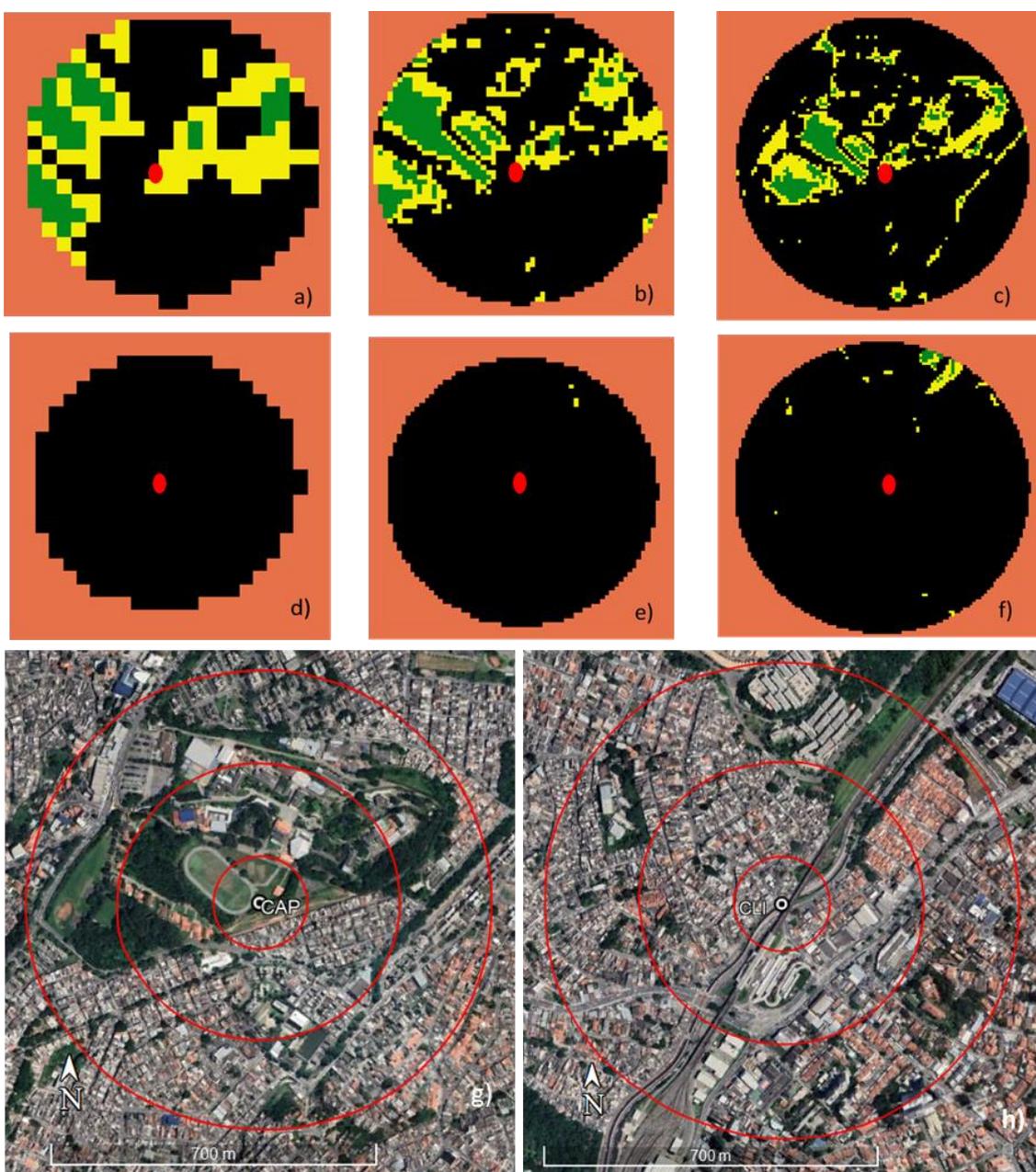
3.10 Campo Limpo (CLI) e Capão Redondo (CAP)

Duas estações próximas do Sul da cidade de São Paulo, CLI e CAP se diferenciam pela quantidade de verde nas proximidades. Ainda que em regiões com diferenças de relevo e urbanização, a estação CAP se destaca com a presença de vegetação do *campus* do Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP), onde se encontra instalada. Em contrapartida, CLI se configura como estação urbana próximo de corpo hídrico, assim como muitas outras estações do CGE. Este ponto se localização muito próximo à infraestrutura viária, dentre elas a linha dos serviços metropolitanos da capital.

A diferença obtida entre as estações é consideravelmente expressiva (figura 50), uma vez que CLI não traz nenhum pixel de NDVI>0,50 para 100m, enquanto CAP representa 37,0% de cobertura vegetal no entorno. Todavia, esta diferença é reduzida, ainda que o resultado se deva à abrangência de uma grande porção de território urbano

sem arborização por parte de CAP. CLI não apresenta grandes melhorias nos demais raios, quando apresenta 0,1% em 300m ao passo que em CAP são 26,4%, enquanto em 500m, são 1,6% de verde em CLI e 17,3% em CAP. Neste sentido, vê-se que as estações estão muito próximas entre si mas com realidades ambientais muito diferentes, assim como impactos climáticos ou de percepção de calor. CLI é uma das estações com menor porcentagem de cobertura vegetal retratada pelo NDVI.

Figura 50 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. CAP para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m; CLI para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m; imagem de satélite de f) CAP e g) CLI

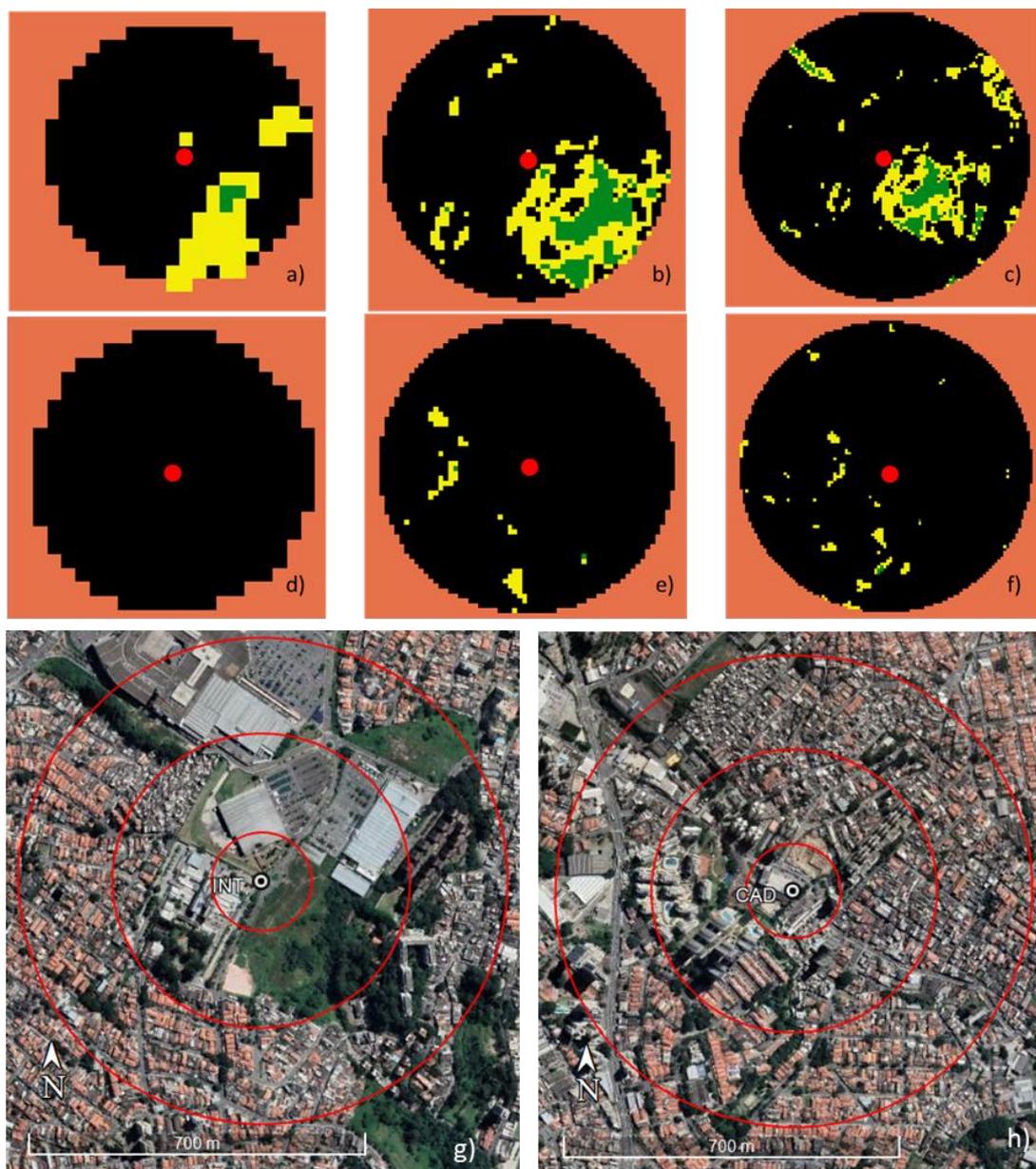


Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

3.11 Interlagos (INT) e Cidade Ademar (CAD)

INT e CAD, ainda que próximas, se diferenciam da mesma maneira que as duas anteriores, além de ambas se encontrarem na região Sul da cidade de São Paulo. Entre elas, CAD se mostra mais urbanizada, pela quase ausência de verde e pelas construções do entorno de altas dimensões (figura 51).

Figura 51 - Caracterização do entorno de estações meteorológicas. INT para os raios a) 100m, b) 300m, c) 500m; CAD para os raios d) 100m, e) 300m, e) 500m; imagem de satélite de f) CAP e g) CLI



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

INT é a estação com maior presença de verde, presente nas cercanias graças a remanescentes e arborização viária. INT configura-se como a estação mais verde. CAD não apresenta cobertura vegetal em 100m, valor que cresce para 2,0% em 300m, ao passo que em INT a porcentagem é de 20,7%. Em 500m, INT apresenta 12,2% de verde, enquanto CAD, 1,9%. Percebe-se que, mesmo com o avanço do raio, há pouca presença de infraestrutura verde no bairro onde CAD está inserida, realidade bem diferente de INT.

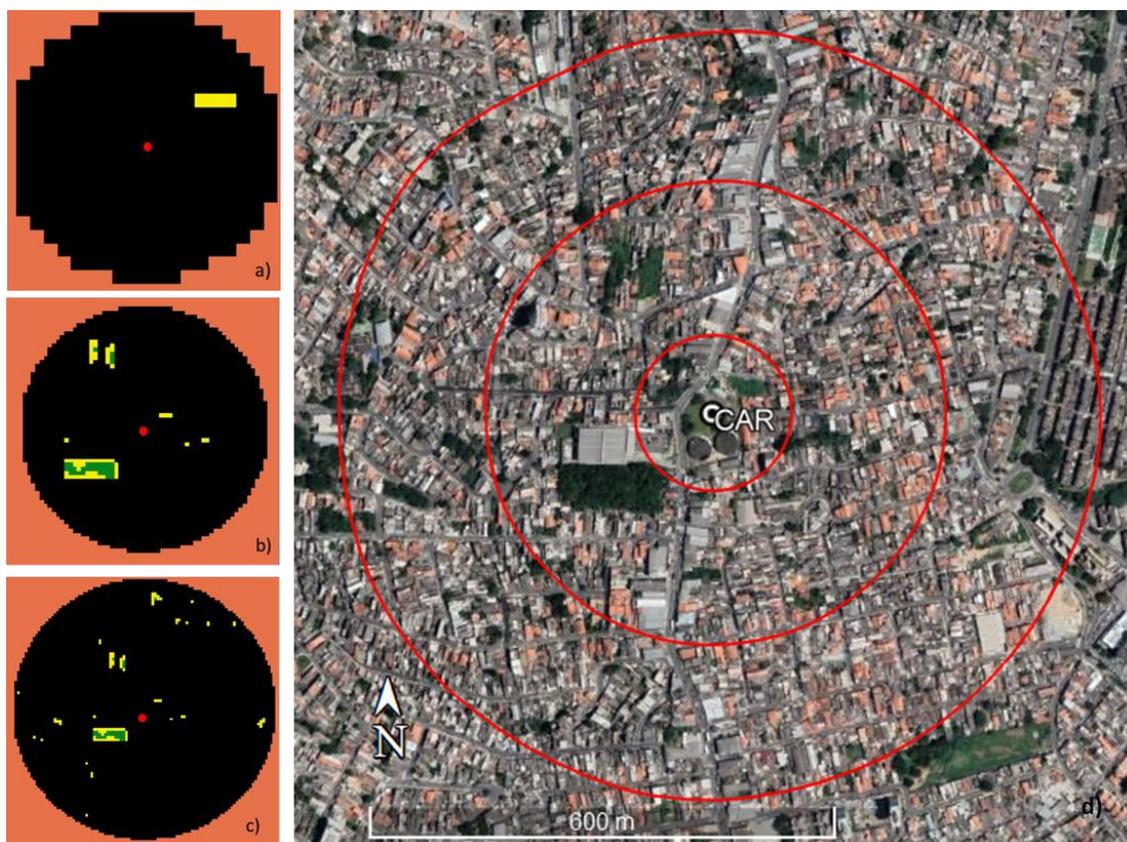
3 Estações fora da cidade de São Paulo

Além das estações supracitadas, estão entre as selecionadas três pontos de medição em cidades da RMSP, sendo elas Carapicuíba, Guarulhos e Mauá.

3.1 Carapicuíba (CAR)

Localizada próxima à região Oeste da capital, Carapicuíba se situa entre as cidades de Osasco e Barueri. Quanto à posição geográfica da estação meteorológica, se dispõem cercada de casas e pequenos trechos de arborização viária, assim como muitas outras estações já descritas, incluindo um adensamento a poucos metros da medição (figura 52). Este ponto de medição está sitiado num ponto de intensa urbanização, mas em um espaço aberto, e pouco arborizado. Pela figura 52 vê-se a pouca porcentagem de cobertura vegetal em 100m, através dos pixels de NDVI, equivalente a 1,0%. Em 300m, esta quantidade aumenta para 3,3%, e nota-se um contorno de formato retangular, retratando um pequeno adensamento de árvores, algumas classificadas como maduras e bem adensadas pelo próprio NDVI, ao lado do estacionamento de um supermercado. Em 500m, a cobertura vegetal representa apenas 2,0%.

Figura 52 - Caracterização do entorno de estação meteorológica CAR para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura (NDVI>0,62); Amarelo: vegetação escassa, rasteira (NDVI entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente (NDVI<0,50).

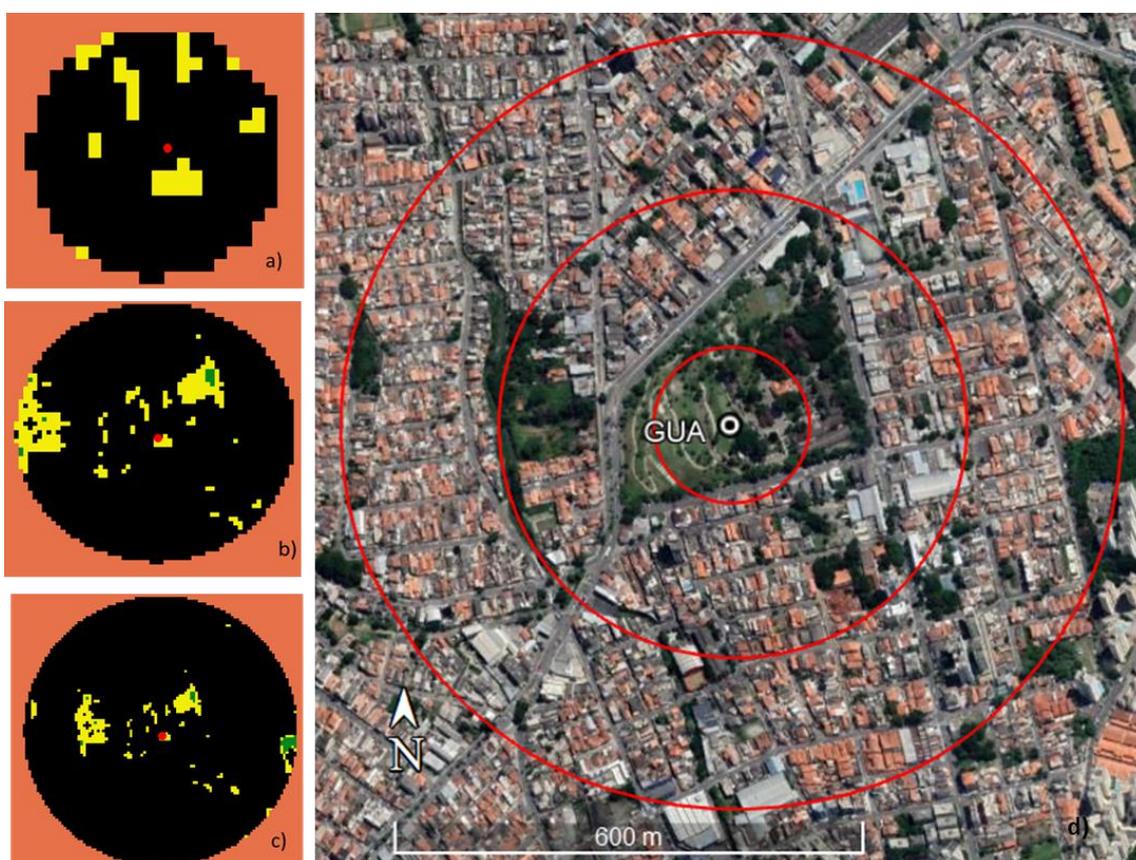
3.2 Guarulhos (GUA)

As medições meteorológicas do ponto de Guarulhos se encontram dentro do Parque Bom Clima (Parque Jorge Balsalobre Maciel) inserido em um contexto de núcleo urbano (figura 53). Este parque conta com maioria de vegetação rasteira (gramíneas), além de algumas unidades arbóreas má distribuídas no espaço verde. Se trata de uma estação da CETESB, também conhecida por “Paço Municipal”, e se encontrar próxima à Prefeitura do município. Guarulhos se apresenta na porção Nordeste do estudo (entre as zonas Leste e Norte de São Paulo).

Apesar de GUA encontrar-se dentro de uma praça, a porcentagem de verde obtida pode ser considerada aquém do esperado para um parque, primeiramente pelo fato de se encontrar poucas unidades maduras ou de grande porte, além de se disporem muito distantes entre si no espaço em que se encontram. Além disso, esta infraestrutura verde é

marcada por pequenos canteiros de vegetação rasteira, as quais não foram detectadas pela faixa escolhida de NDVI ($>0,50$). Este tipo de vegetação pode ser considerado em desenvolvimento, com baixa atividade clorofilar/fotossintética, o que dificulta a detecção do infravermelho via satélite em valores mais altos de NDVI. Para os valores de 100m e 300m de raio da área de influência, a quantidade de verde registrada foi similar, 9,9% e 8,6%, respectivamente. Contudo, para 500m, este valor cai para 4,2%. Através da análise das imagens da figura x, pode-se notar o contorno dos espaços da praça, além de um adensamento na parte superior e inferior.

Figura 53 - Caracterização do entorno de estação meteorológica GUA para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite



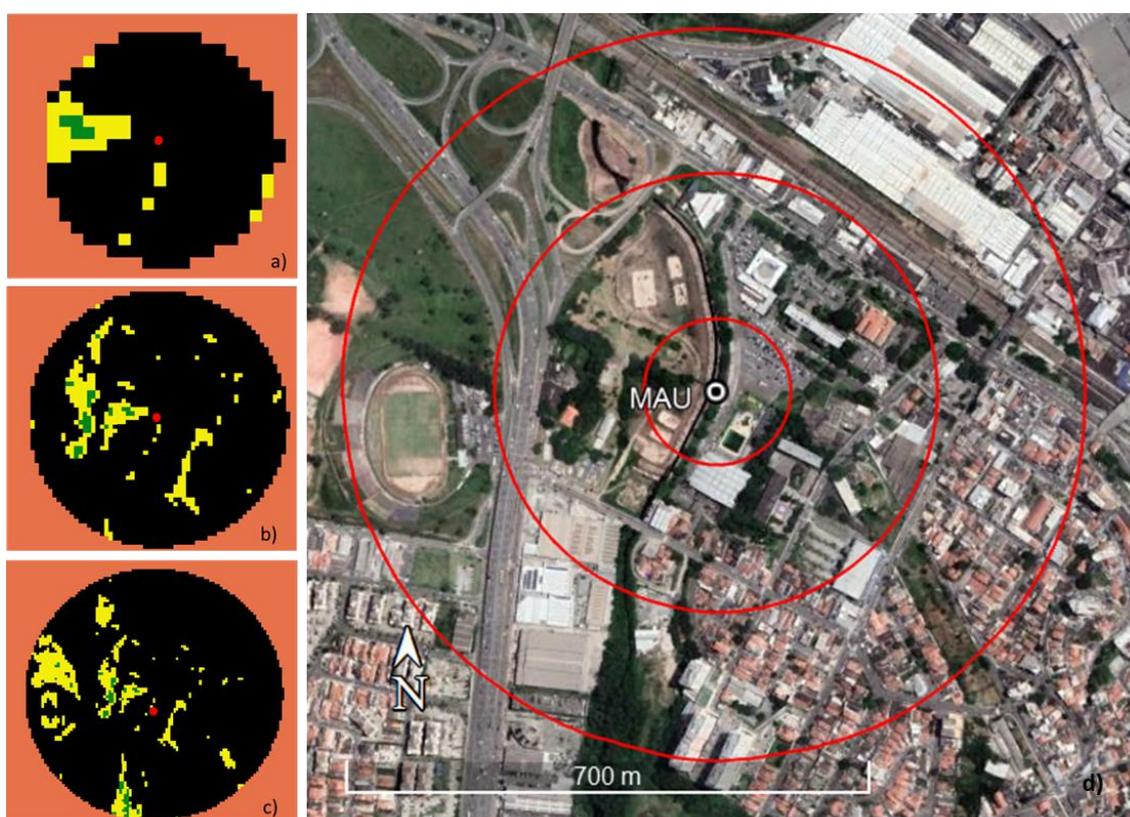
Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

3.3 Mauá (MAU)

Por último, a estação Mauá está sob custódia da CGE e da Prefeitura do mesmo município, próximo a uma área de acúmulo de águas pluviais (figura 54). Juntamente a

estas estruturas, faz-se presente o Parque da Juventude e algumas espécies vegetativas, contudo com disposição esparsa no território. Mauá se localiza na porção Sudeste, entre a região Leste da capital e a cidade de Santo André. MAU é outra estação na qual o $NDVI > 0,50$ não variou expressivamente nos diferentes raios. A porcentagem para 100m ficou em 10,7%, enquanto para 300m se revelou como 9,4% e em 500m, 9,9%. A predominância foi de vegetação jovem/não adensada.

Figura 54 - Caracterização do entorno de estação meteorológica MAU para os raios a) 100m, b)300m, c) 500m quanto ao NDVI registrado; d) imagem de satélite



Legenda – Verde: vegetação moderada/densa, madura ($NDVI > 0,62$); Amarelo: vegetação escassa, rasteira ($NDVI$ entre 0,50 e 0,62); Preto: vegetação inexpressiva ou inexistente ($NDVI < 0,50$).

Apêndice II - Cálculo do WBGT pela metodologia de Liljegren (2008)

1. Temperatura do bulbo úmido

Para obtenção da T_w , recorre-se à equação do balanço de massa da mecha úmida (7), pela qual é possível compreender o funcionamento da transferência de massa envolvendo perdas e ganhos de água devido ao calor envolvido no material para a atmosfera.

$$\omega(1 - x_\omega) = k_x A(x_\omega - x_a) \quad (7)$$

ω : fluxo molar de vapor d'água da mecha para o ar;

k_x : coeficiente de transferência convectiva de massa;

x_ω : fração molar do vapor na superfície da mecha;

x_a : a fração molar de vapor d'água do ambiente;

A : área da superfície da mecha, simplificada como sendo o produto entre o diâmetro D e a largura L ($A=\pi DL$).

Sabe-se que, através da Lei dos Gases, a fração molar do vapor d'água é expressa como a razão entre o número de mols de vapor d'água (n_{vapor}) pelo número de mols totais da amostra (n_{total}), e igual à razão entre a pressão de vapor de água (e) pela pressão atmosférica total (P) (8). Desta, procede a simplificação da equação (9) para se obter uma expressão para ω , onde e_w é a pressão de vapor d'água na mecha e e_a é a pressão de vapor d'água no ar ambiente.

$$x = \frac{n_{\text{vapor}}}{n_{\text{total}}} = \frac{e}{P} \quad (8)$$

$$\omega = k_x A \left(\frac{e_w - e_a}{P - e_w} \right) \quad (9)$$

Ainda para o cálculo de T_w , é necessário recorrer à equação do balanço de energia da mecha (10). Nesta equação, os termos da esquerda representam a energia perdida pela mecha por evaporação, onde se fazem presentes os termos da massa molar da água ($M_{\text{H}_2\text{O}}$), e o calor de vaporização (ΔH), além do próprio fluxo molar de vapor d'água da mecha para a atmosfera (ω). Enquanto isso, os termos da direita qualificam a energia obtida pela mecha por processos de convecção e radiação. Neles, se encontram a área da mecha (A), as temperaturas do ar (T_a) e do bulbo úmido (T_w), além do coeficiente de

transferência de calor convectivo (h) e do fluxo de calor radiante líquido da atmosfera para a mecha (ΔF_{net}).

$$\omega M_{H_2O} \Delta H = hA(T_a - T_w) + \Delta F_{net} \quad (10)$$

Substituindo a equação 9 em 10, obtêm-se a equação 11 resolvida para T_w .

$$T_w = T_a - \frac{k_x - \Delta H M_{H_2O}}{h} \left(\frac{e_w - e_a}{P - e_w} \right) + \frac{\Delta F_{net}}{Ah} \quad (11)$$

Contudo, a equação obtida ainda demanda recorrer a elementos da dinâmica do escoamento da mecânica dos fluidos, como o fator de *Chilton-Colburn* ($j_h = j_m$) para a transferência de calor (j_h) e massa (j_m). Estes elementos podem ser descritos com base nos números de *Nusselt* (Nu), *Reynolds* (Re), *Prandtl* (Pr), *Sherwood* (Sh) e *Shmidt* (Sc), resultando em $j_h \equiv Nu Re^{-1} Pr^{-1}$ e $j_m \equiv Sh Re^{-1} Sc^{-1}$. Através da manipulação destes números, encontra-se uma nova relação para k_x/h , que por analogia entre a transferência de calor e massa resulta na equação 12, sendo a igual 0,56. Além disso, c_p é o calor específico do ar à pressão constante.

$$\frac{k_x}{h} = \frac{1}{c_p M_{ar}} \left(\frac{Pr}{Sc} \right)^a \quad (12)$$

Por fim, substituindo-a na equação 11, tem-se novamente a T_w na equação 13.

$$T_w = T_a - \frac{\Delta H M_{H_2O}}{c_p M_{ar}} \left(\frac{Pr}{Sc} \right)^a \left(\frac{e_w - e_a}{P - e_w} \right) + \frac{\Delta F_{net}}{Ah} \quad (13)$$

Em resumo, os índices da equação final são obtidos através de cálculos e de medições. Em primeiro lugar, a Temperatura do ar (T_a) é obtida pela medição simples nas estações meteorológicas. Já as massas molares da água M_{H_2O} e do ar M_{ar} são estabelecidas pela química da atmosfera e consideradas como aproximadamente 18g/mol e 29g/mol, respectivamente. A Pressão (P) foi definida como constante igual a 930hPa, valor condizente com a média para a região de estudo. Outro valor definido constante é o calor de vaporização da água (ΔH), igual a 540cal/g a 100°C, assim como o calor específico do ar à pressão constante (c_p), igual a 0,24cal/g. Como já mencionado anteriormente, a constante a é igual a 0,56 e os números de *Prandtl* (Pr), e *Shmidt* (Sc) são facilmente obtidos pelas suas respectivas fórmulas. O primeiro envolve a razão entre o produto do calor específico do ar à pressão constante (c_p) e da viscosidade do ar e a condutividade térmica do ar. Enquanto isso, o segundo número é obtido pela razão entre a viscosidade do ar pelo produto da densidade do ar e a difusividade do vapor d'água no ar. Estes valores irão variar de acordo com a temperatura do ar.

Ainda com as variáveis da equação de T_w , tem-se as pressões de vapor tanto no ambiente (e_a) quanto na mecha (e_w). Estes dois valores são calculados conforme a metodologia seguida, considerando $e_a = UR * e_{sat}(T_a)$ e $e_w = e_{sat}(T_w)$, a pressão de saturação. Por fim, considera-se que para o psicrômetro da temperatura do bulbo úmido o fluxo de calor radiante líquido da atmosfera para a mecha (ΔF_{net}) é igual a zero, o que elimina todo o termo mais à direita de (13), juntamente com todas as demais variáveis. É por meio destas variáveis utilizadas em (13) que se faz possível afirmar a dependência desta variável com aquelas medidas nas estações meteorológicas. Neste caso, o resultado será influenciado pela Temperatura do Ar (diretamente, presente na expressão) e pela Velocidade do Vento e Umidade do Ar (indiretamente, influenciando outras variáveis). Apenas a irradiação solar não será empregada nesta etapa, sendo melhor discutida no tópico da Temperatura do Globo Negro. Portanto, para a obtenção de T_w , bastam os dados obtidos das medições daquelas três variáveis.

Como mencionado na metodologia, o cálculo de T_w tem como primeira tentativa a Temperatura do Ponto de Orvalho (T_d), encerrando o processo quando há uma diferença menor que $0,02^\circ\text{C}$ em módulo entre o T_w novo e o T_w anterior. Para indicar este primeiro valor de início da iteração, calculou-se T_d por meio de (14).

$$T_d = \frac{-237,3 * \ln(e_{sat}) - 429,41}{19,078955 - \ln(e_{sat})} \quad (14)$$

2. Temperatura do globo negro

Já para a Temperatura do Globo Negro (T_g), o procedimento é mais simplificado. Sendo uma variável influenciada pela radiação solar, parte-se da equação do balanço de energia do globo negro (15), uma vez que este é o objeto originalmente utilizado para a medição.

$$A \varepsilon_g \sigma T_g^4 + Ah(T_g - T_a) = \frac{A \varepsilon_g \sigma}{2} (\varepsilon_a T_{sfc}^4 + \varepsilon_{sfc} T_{sfc}^4) + \frac{A(1-\alpha_g)(1-f_{dir})S}{2} + \frac{A(1-\alpha_g)f_{dir}S}{4\cos\theta} + \frac{A(1-\alpha_g)\alpha_{sfc}S}{2} \quad (15)$$

ε_g : emissividade do globo;

A: área da superfície do globo;

σ : constante de Stefan-Boltzmann;

ε_a : emissividade do ar;

ε_{sfc} : emissividade da superfície;

T_{sfc} : temperatura da superfície;

α_g : o albedo do globo negro;

α_{sfc} : albedo da superfície;

S : irradiação solar direta incidente no globo;

θ : ângulo do zênite.

Para uma melhor disposição da fórmula, reorganizam-se os termos até a obtenção da T_g , obtendo-se a equação final (10).

$$T_g^4 = \frac{(1+\varepsilon_a)T_a}{2} - \frac{h(T_g-T_a)}{\varepsilon_g\sigma} + \frac{s(1-\alpha_g)}{2\varepsilon_g\sigma} \left[1 + \left(\frac{1}{2\cos\theta} - 1 \right) f_{dir} + \alpha_{sfc} \right] \quad (16)$$

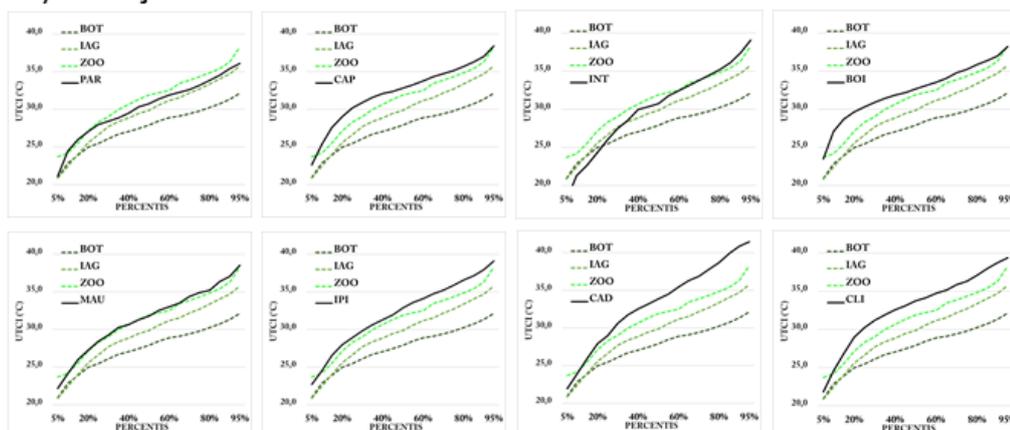
Para estudos com medições para o WBGT, Liljegren et al. (2008) fizeram uma aproximação dos valores de ε_g , α_g e α_{sfc} mediante observações noturnas e diurnas, chegando a valores respectivamente iguais a 0,95, 0,05 e 0,45, também adotados nesta pesquisa. Para o cálculo de f_{dir} , assumiu-se valor igual a 0 quando o zênite (θ) era maior que $89,5^\circ$, ao passo que seria calculado caso contrário pela expressão $f_{dir} = \exp(3 - 1,34S' - 1,65/S')$, onde $S' = S/S_{max}$, sendo S_{max} a irradiação solar máxima calculada por $S = S_0 \cos(\theta) / d^2$. Assume-se que S_0 seja a constante solar, igual a $1367W/m^2$ e d a distância Terra-Sol. É importante ressaltar que o ângulo zenital pode ser obtido através das informações das coordenadas geográficas (latitude e longitude). Por último, coeficiente de transferência de calor convectivo (h), é o mesmo utilizado para o cálculo de T_w , também conhecido como coeficiente de transferência térmica, a depender da temperatura.

O procedimento para o cálculo da T_g é similar ao da T_w , com exceção de que, para a primeira tentativa, faz-se a partir da T_a . Portanto, para que o WBGT possa ser obtido, bastam apenas as quatro variáveis meteorológicas que interferem no conforto térmico: a Temperatura do Ar (T_a), a Umidade Relativa do Ar (UR), a Velocidade do Vento (V) e a Irradiação Solar (R).

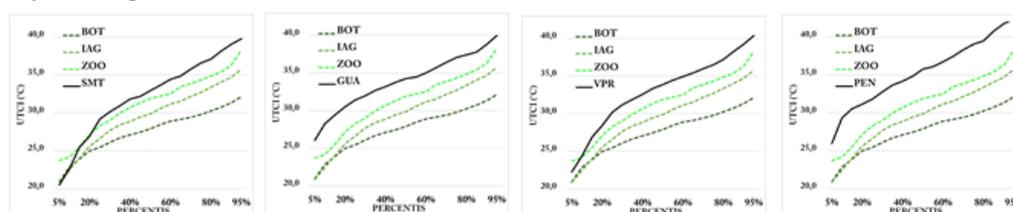
Para o cálculo do WBGT por esta metodologia, utilizou-se uma rotina de Casanueva et al. (2019), que emprega todos os passos demonstrados. Foram inseridas as medições das variáveis meteorológicas nas estações pré mencionadas. A rotina foi reproduzida em linguagem R, através da interface do R Studio, versão 4.0.3 (R STUDIO, 2021).

Apêndice III – Gráficos de percentis do UTCI máximo entre BOT, ZOO e demais estações

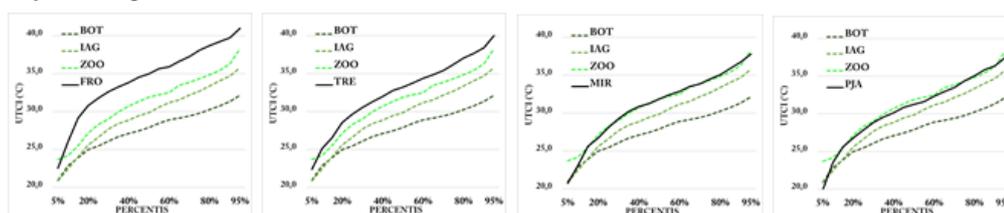
1) ESTAÇÕES ZONA SUL



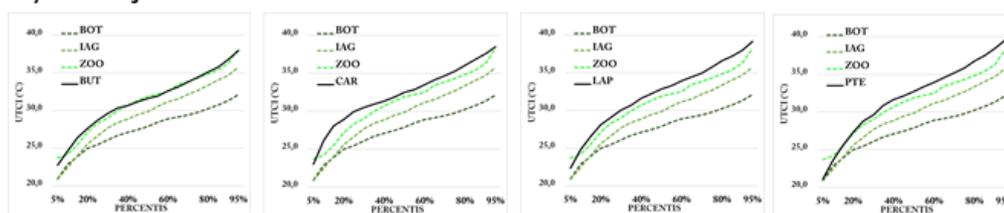
2) ESTAÇÕES ZONA LESTE



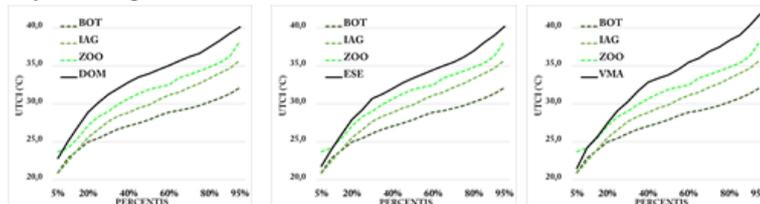
3) ESTAÇÕES ZONA NORTE



4) ESTAÇÕES ZONA OESTE



5) ESTAÇÕES ZONA CENTRO



Legenda – 1) Comparações com as estações do Sul nesta ordem: PAR, CAP, INT, BOI, MAU, IPI, CAD, CLI. 2) Comparações com as estações do Leste nesta ordem: SMT, GUA, VPR, PEN. 3) Comparações com as estações do Norte nesta ordem: FRO, TER, MIR, PJA. 4) Comparações com as estações do Oeste nesta ordem: BUT, CAR, LAP, PTE. 5) Comparações com as estações do Centro nesta ordem: DOM, ESE, VMA.