

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

MARTA LAURA MILHOMEM DA CRUZ

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO EM
AMBIENTES ESCOLARES POR MEIO DO ENVI-MET**

PALMAS

2022

MARTA LAURA MILHOMEM DA CRUZ

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO EM
AMBIENTES ESCOLARES POR MEIO DO ENVI-MET**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenharia
Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Liliane Flavia
Guimarães da Silva

Coorientador(a): Millena Lara Feitosa Moura

**PALMAS
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

C955a Cruz, Marta Laura Milhomem da
Análise da Influência da Vegetação no Conforto Térmico em Ambientes
Escolares por meio do ENVI-met / Marta Laura Milhomem da Cruz. –
Palmas, TO, 2022.
70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientadora: Dra. Liliane Flavia Guimarães da Silva
Coorientadora: Millena Lara Feitosa Moura

1. Vegetação. 2. Escolas. 3. ENVI-met. I. Guimarães da Silva, Liliane
Flavia. II. Feitosa Moura, Millena Lara. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARTA LAURA MILHOMEM DA CRUZ

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES ESCOLARES POR MEIO DO ENVI-MET

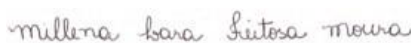
Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 10/06/2022

BANCA AVALIADORA



Dr.ª. Liliane Flavia Guimarães da Silva
Orientadora



Millena Lara Feitosa Moura
Coorientadora



Dr.ª. Elen Oliveira Vianna
Avaliadora

Thyago Phellip
França Freitas

Assinado de forma digital por
Thyago Phellip França Freitas
Dados: 2022.06.14 12:02:29
-03'00'

Me. Thyago Phellip França Freitas
Avaliador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ajudar fielmente a ultrapassar todos os obstáculos encarados ao longo do curso.

Aos meus pais Antonio e Aldeniza, meus irmãos Romário e Antonio Marcos e ao meu noivo Pedro, pessoas que me apoiaram em todos os momentos difíceis e compreenderam meu comprometimento e ausência em todo percurso para conclusão desse curso.

A Prof. Dra. Liliane, por ter aceitado meu convite como orientadora desempenhado tal função com dedicação, comprometimento e amizade.

A minha coorientadora Millena Lara, aos meus amigos e a todos que contribuíram ao longo desse curso, com incentivos, conselhos e ensinamentos que certamente contribuíram em minha formação acadêmica.

RESUMO

Nos últimos anos, muitas escolas têm seguido projetos padrões sem considerar que o conforto climático pode variar de acordo com as particularidades de cada região. Na expectativa de melhorar as condições desse conforto no ambiente escolar, este estudo buscou analisar a influência da vegetação na área externa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, por meio de simulação computacional utilizando o software ENVI-met. No estudo, fez-se comparações utilizando como parâmetro a temperatura, a umidade relativa e o PMV entre os blocos antigos e os blocos mais recentes. Os resultados apontaram melhores resultados nos três parâmetros em análise para o cenário com vegetação, tanto nos blocos antigos como para os novos. Ainda, foi possível visualizar que o turno mais desconfortável independentemente do bloco é o vespertino e o mais confortável é o turno matutino, período que pode favorecer um melhor desempenho para os alunos exercerem suas atividades.

Palavras-chave: Escolas. Simulação computacional. ENVI-met.

ABSTRACT

In recent years, many schools have followed standard projects without considering that the climatic comfort can vary according to the particularities of each region. In the hope of improving the conditions of this comfort in the school environment, this study sought to analyze the influence of vegetation in the outdoor area of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins, Palmas Campus, through computer simulation using ENVI-met software. In the study, comparisons were made using temperature, relative humidity and PMV as parameters between the old and the newer blocks. The results showed better results in the three parameters under analysis for the scenario with vegetation, both in the old and the new blocks. It was also possible to see that the most uncomfortable shift, regardless of the block, is the afternoon shift and the most comfortable is the morning shift, a period that may favor a better performance for students to carry out their activities.

Keywords: Schools. Computational simulation. ENVI-met.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de temperatura com os dados da estação A009 de Palmas – TO, no ano de 2021.	44
Gráfico 2 – Gráfico de umidade relativa com os dados da estação A009 de Palmas – TO, no ano de 2021.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de temperatura da estação A009 de Palmas – TO, no ano de 2021.....	43
Tabela 2 – Dados de umidade relativa da estação A009 de Palmas – TO, no ano de 2021.....	45
Tabela 3 – Resultados de temperaturas para os dois cenários, em 2021.	55
Tabela 4 – Resultados para umidade relativa do ar nos dois cenários, em 2021.....	59
Tabela 5 – Resultados para o índice de PMV nos dois cenários, em 2021.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Informações referente aos cenários simulados no ENVI-met	40
Quadro 2 – Materiais utilizados na modelagem dos blocos antigo e novos.....	41
Quadro 3 – Informações referentes as árvores na área de estudo.....	42
Quadro 4 – Níveis de conforto de acordo com o valor do PMV	60

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação de Umidade Relativa do ar (1)	26
Equação de Umidade Relativa do ar em porcentagem (2)	27
Equação de PMV (3).....	28

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sequência do processo de simulação no ENVI-met.	25
Figura 2 - Escala sétima de ASHRAE.....	28
Figura 3 - Localização do IFTO – Campus Palmas.....	31
Figura 4 - Vista aérea do campus Palmas do IFTO em 5 jul. 2021	32
Figura 5 - Planta baixa dos blocos 5A e 7A – Campus Palmas.	33
Figura 6 – Blocos antigos do IFTO – Campus Palmas	33
Figura 7 – Salas de aulas Bloco 7A do IFTO – Campus Palmas.	34
Figura 8 – Passarela entre o bloco 5A e o bloco 7A (blocos antigos) do IFTO – Campus Palmas	34
Figura 9 – Parte vegetativa entre os blocos antigos do IFTO – Campus Palmas.....	35
Figura 10 - Planta baixa dos blocos 16 e 17: Pavimento Térreo – Campus Palmas	35
Figura 11 – Pavimento térreo dos blocos novos do IFTO – Campus Palmas	36
Figura 12 – Circulação e Banheiros dos blocos 16 e 17 respectivamente, Pav. Térreo - Campus Palmas.....	36
Figura 13 - Planta baixa dos blocos 16 e 17: Pavimento Superior - Campus Palmas.....	36
Figura 14 – Pavimento superior dos blocos novos do IFTO – Campus Palmas	37
Figura 15 – Salas de aula do bloco 16 – Pav. Superior do Campus Palmas.....	38
Figura 16 – Ambientes a serem simulados no ENVI-met.....	39
Figura 17 - Plataforma de modelagem do ENVI-met.....	40
Figura 18 – Árvore: Pequi - localizada entre os blocos antigos do Campus Palmas	41
Figura 19 – Árvore: Fava-de-bolota – Localizada na entrada lateral do bloco (novo) 17 do Campus Palmas	42
Figura 20 - Plataforma de simulação: inserção de temperatura e umidade relativa do ar no ENVI-guide	46
Figura 21 – Plataforma de simulação: inserção de direção e ventilação do vento no ENVI-guide	46

Figura 22 - Interface do ENVI-core para início de simulação	47
Figura 23 - Vista superior das modelagens: A – Bloco antigo com vegetação atual; B- Bloco antigo com vegetação planejada; C – Bloco novo com vegetação atual e D – Bloco novo com vegetação planejada.....	49
Figura 24 - Vista 3D das modelagens: A – Bloco antigo com vegetação atual; B- Bloco antigo com vegetação planejada; C – Bloco novo com vegetação atual e D – Bloco novo com vegetação planejada.....	50
Figura 25 – Prancha de mapas de temperatura em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 1: blocos antigos (BA) - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos (BN) - D (10h), E (15h) e F (19h).....	51
Figura 26 - Prancha de mapas de temperatura em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 1: blocos antigos (BA) - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos (BN) - D (10h), E (15h) e F (19h)	52
Figura 27 - Prancha de mapas de temperatura em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)	53
Figura 28 - Prancha de mapas de temperatura em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)	54
Figura 29 - Prancha de mapas de umidade relativa em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 1: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)	56
Figura 30 - Prancha de mapas de umidade relativa em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 1: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h).....	57
Figura 31 - Prancha de mapas de umidade relativa em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)	58
Figura 32 - Prancha de mapas de umidade relativa em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)	58

Figura 33 - Prancha de mapas de PMV em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 1: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h) ...	61
Figura 34 - Prancha de mapas de PMV em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 1: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)	62
Figura 35 - Prancha de mapas de PMV em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h) ...	63
Figura 36 - Prancha de mapas de PMV em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil
ISO	International Organization for Standardization - Organização Internacional para a Normalização
MEA	Massa Tropical Equatorial
MTA	Massa Tropical Atlântica
PMV	Predicted Mean Vote - Voto Médio Predito

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Problema de pesquisa	18
1.2 Justificativa.....	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo Geral.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1 Conforto térmico	20
2.1.1 Conforto térmico em áreas escolares	20
2.1.2 Vegetação	21
2.1.3 Microclima	22
2.2 Simulação.....	23
2.3 ENVI-met.....	24
2.4 Parâmetros de análise no ENVI-met.....	25
2.4.1 Temperatura do Ar	26
2.4.2 Umidade Relativa do Ar.....	26
2.4.3 Voto Médio Estimado - PMV	27
2.4.4 Ventos.....	28
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	30
3.1 Objeto de Estudo.....	30
3.1.1 Palmas - TO.....	30
3.1.2 Campus Palmas - IFTO	31
3.2 Técnica e Instrumentos Utilizados	38
3.2.1 Modelagem.....	39
3.2.2 Etapa da Simulação	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 Planejamento vegetativo aplicados aos modelos	48
4.2 Efeitos da temperatura do ar nos cenários 1 e 2	50
4.3 Efeitos da umidade relativa do ar nos cenários 1 e 2.....	55
4.4 O conforto térmico nos cenários 1 e 2	59
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O conforto se dá por questões físico-ambientais nas quais se detectam condições naturais e de salubridade por meio de reações metabólicas associadas a condições adequadas de iluminação, acústica, conforto térmico, ventilação e dimensionamento espacial, fatores esses que interferem na qualidade do ambiente. Assim, o conforto térmico está diretamente relacionado ao desejo que o ser humano tem de sentir-se bem na sua localidade (SILVA, 2015).

No ambiente escolar, antes do conforto ser uma necessidade, ele precisa ser uma condição, isso devido à importância da percepção de quanto a temperatura do ambiente pode afetar no desempenho dos estudantes (CAIRRÃO, 2019). Infelizmente, na maioria das vezes, o ambiente escolar não apresenta condições muito confortáveis em suas edificações, isso porque a construção de uma escola em sua maioria costuma seguir projetos padrões independente de sua localidade. Devido a tais inadequações construtivas, o ambiente externo passa a ser um local procurado pelos estudantes, tanto para descanso como para realizar grupos de estudos ou de interação social. Apesar disso, nem sempre esses ambientes possuem conforto ao longo do dia, principalmente em regiões de clima quente como na cidade de Palmas, TO, que possui temperaturas elevadas durante todo o ano.

Com isso, uma boa alternativa para climatizar esses locais é o uso da vegetação, recurso frequente para alcançar o conforto térmico em ambientes urbanos pela sua eficiência na atenuação do ar (NERES; SILVA; PEREIRA, 2021). Ainda segundo os autores, a arborização urbana é uma alternativa que pode contribuir reduzindo o impacto da radiação solar na superfície, amortecendo o ruído, diminuindo a poluição do ar e o consumo de energia em regiões quentes.

Para avaliação do efeito da vegetação no conforto térmico, muitas pesquisas utilizam a técnica da simulação computacional para avaliar os parâmetros de conforto térmico, utilizando os dados locais da região em estudo. O instrumento utilizado nessa pesquisa foi o *software* ENVI-met, por expressar com eficiência os efeitos da vegetação, possibilitando a partir disso avaliar cenários existentes e planejados.

1.1 Problema de pesquisa

Muitas escolas utilizam projetos de edificação padrão, mas como cada local contém sua particularidade climática, nem sempre esses projetos conseguem atender às condições adequadas para o conforto térmico. Além disso, a preocupação na maioria dos projetos refere-se a mecanismos de ventilação e resfriamento para ambientes internos, negligenciando as áreas externas. Sem o uso de estratégias climáticas, torna-se difícil controlar as altas temperaturas, aumentando o desconforto ambiental, que pode causar fadiga e estresse ao estudante e, por consequência, gerar grandes desconcentrações e atrasos nas atividades exercidas.

Com base nisso, essa pesquisa investigou como a vegetação pode ser usada estrategicamente para melhorar o conforto térmico na área externa do campus Palmas do IFTO e como isso, como pode melhorar as condições de conforto dos seus estudantes. Sendo assim, o presente trabalho busca entender a seguinte questão: “Como a vegetação pode influenciar no conforto térmico da área externa do campus Palmas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins?”.

1.2 Justificativa

O conforto térmico é uma condição humana que promove o bem-estar de forma pessoal e coletiva propícia ao equilíbrio de temperatura de determinado ambiente. Devido à diversidade climática do país, o conforto passa a ser um propósito em cada ambiente para a maioria das atividades, devido a interferência que sua ausência pode causar. Assim, o ser humano busca diversos meios para adaptação do clima do local afim de garantir esse conforto.

Em ambientes abertos, a vegetação é um componente que pode promover vantagens climáticas significativas, levando em conta sua capacidade de aumentar a umidade relativa do ar, de diminuir temperaturas e favorecer áreas de sombreamento que são pontos procurados nas áreas externas em lugares de clima com elevadas temperaturas como na cidade de Palmas - TO.

Levando em questão o clima da cidade, as áreas externas no ambiente escolar tornam-se ambientes fundamentais para o arrefecimento do clima, utilizadas tanto para lazer do estudante como para estudo em determinados horários. No entanto, as alternativas de adequação climática em locais abertos dependem em sua maioria de fatores naturais como vegetação, vento

e iluminação e podem sofrer interferências de outros elementos como os materiais utilizados nas edificações, como o concreto e o aço utilizados na estrutura do campus.

Portanto, visando melhorar esses ambientes externos, o uso da vegetação mesmo que a longo prazo pode contribuir na rotina dos estudantes no que diz respeito a sensação de respirar um ar mais puro e garantir a sensação de conforto desses locais, isso porque favorece melhores condições de lazer, redução do estresse, benefícios na criação de grupos de estudos e métodos individuais de aprendizagem.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da vegetação no conforto térmico na área externa do campus Palmas do IFTO, por meio de simulação computacional, utilizando o *software* ENVI-met.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Validar o uso do software ENVI-met para o contexto do microclima do Campus Palmas, por meio da modelagem da vegetação atual;
- Comparar a eficiência da vegetação atual em relação uma vegetação planejada com base nos parâmetros de estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conforto térmico

Segundo a norma ASHRAE *Standard* 55 (ASHRAE, 2010), o conforto térmico se configura como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Assim, o conforto é a conjuntura subjetiva do ser humano em associar sua satisfação mental com o bem-estar físico.

O conforto térmico é a relação da harmonia dos fatores físicos naturais com o sistema termorregulador de cada indivíduo. Desse modo, pode ser entendido como dois lados diferentes: o pessoal que abrange o metabolismo e vestuário; e o ambiental que está relacionado à temperatura, umidade, velocidade do ar e temperatura média radiante (NÓBREGA; LEMOS, 2011).

Lamberts *et al.* (2016) afirmam que a condição de conforto térmico está relacionada com uma série de variáveis e que o indivíduo deve estar apropriadamente vestido e sem problemas de saúde ou de aclimação para avaliar tais condições. “Existe assim uma constante troca de calor entre o corpo e o meio, regida pelas leis da física e influenciada por mecanismos de adaptação fisiológica, por condições ambientais e por fatores individuais” (RUAS, 2002, p. 9).

Dessa maneira, Lamberts *et al.* (2016) ainda definem que devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biotipo e hábitos alimentares, que em conjunto com os fatores físicos-fisiológicos originam os índices de conforto térmico, fator que busca explicar a sensação de conforto do ambiente ao indivíduo.

2.1.1 Conforto térmico em áreas escolares

O conforto térmico no ambiente escolar é essencial para o desenvolvimento das atividades dos indivíduos, isso porque com a sua inadequação, podem surgir alterações como sonolência, apatia e desinteresse que prejudicam significativamente na execução dessas atividades.

Kowaltowski e Labaki (2001) explanam que as escolas utilizam em seus projetos necessidades padronizadas das atividades estipuladas pelos órgãos administrativos dos

equipamentos urbanos. Assim, na maioria das vezes, essas padronizações não levam em consideração as particularidades de locais específicas, resultando em ambientes escolares desconfortáveis.

As edificações de ensino abrigam uma certa quantidade de ocupantes por longos períodos, sendo a condição térmica uma das principais falhas encontradas em ambientes escolares e que passa a ser o motivo das alterações comportamentais e diminuição do rendimento escolar, motivo pelo qual as pesquisas tentam alcançar um ambiente termicamente confortável (STRAUB, 2016; CAIRRÃO, 2019).

A partir disso, Nascimento e Silva (2019) enfatizam que proporcionar o conforto necessário para o desempenho das funções do ambiente escolar deveria ser uma preocupação imediata no projeto de uma escola. Conforme Dias (2009), quando se constrói o ambiente escolar dentro dos padrões específico para o local, o mesmo pode estimular permanentemente a criatividade dos alunos, favorecendo o desenvolvimento de suas atividades.

Para Oliveira (2011), as árvores são elementos fundamentais para a paisagem escolar, pois atua na melhoria da qualidade do ar, da água, dos solos e do clima, reduzindo calor devido ao sombreamento da superfície e elevando a umidade do ar devido à evapotranspiração. No entanto, Angelini e Ugeda (2020) afirmam que mesmo que as escolas tenham árvores, deve-se ter o cuidado não só estético, mas funcional, distribuindo a vegetação principalmente nas áreas de convívio, pois são locais apropriados para os estudantes utilizarem para descanso ou desenvolvimento de outras atividades nas horas vagas e acabam não sendo utilizados devido à falta de proteção de incidência solar.

Dessa forma, Silva (2013) evidencia que o uso da vegetação se torna uma das melhores estratégias para manutenção de microclima agradável, o que destaca a importância vegetativa em ambientes escolares, visto que a presença de árvores na área externa configura um cenário de clima mais agradável.

2.1.2 Vegetação

A manutenção de um microclima agradável em climas tropicais é fundamental. Entre várias estratégias, o uso de vegetação utilizada corretamente qualifica o meio urbano. No entanto, com o crescimento das cidades, os ambientes anteriormente naturais, ricos em

vegetação, passaram a ser compostos de materiais estritamente urbanos, reduzindo a presença de árvores nesse cenário e tendo o seu ambiente natural alterado (SILVA, 2013).

A vegetação contribui de forma significativa para o estabelecimento dos microclimas, pois o próprio processo de fotossíntese auxilia na umidificação do ar através do vapor d'água que libera. Em geral, a vegetação tende a estabilizar os efeitos do clima sobre seus arredores imediatos, reduzindo os extremos ambientais (ROMERO, 2000).

O conceito de vegetação é caracterizado pelo conjunto de árvores em uma determinada região. Para Pinheiro *et al.* (2021), a vegetação se torna importante devido a sua capacidade de proporcionar conforto térmico por meio do sombreamento necessário para o uso da cidade como espaços de interações e convivência. “Nesse sentido, a falta de vegetação, entre outros aspectos, é um dos fatores responsáveis pelas mudanças no clima urbano” (NERES; SILVA; PEREIRA, 2021).

Um espaço gramado pode absorver maior quantidade de radiação solar e, por sua vez, irradiar uma quantidade menor de calor que qualquer superfície construída, uma vez que grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada para seu processo metabólico, enquanto em outros materiais toda a energia absorvida é transformada em calor (ROMERO, 2000, p. 13).

O uso da vegetação pode trazer vantagens para os ambientes de acordo em como é planejada, levando em consideração os fatores que compõem o local, quais materiais serão utilizados nas edificações e a posição e quantidade da vegetação a ser utilizada. Gomes e Silva (2020) falam em seu estudo em como a vegetação pode melhorar o conforto térmico do local, principalmente em locais onde há arborização apresentam distanciamento entre as copas. Shinzato (2009) também cita que é preferível que distribuição da vegetação aconteça em pequenos grupos.

Desse modo, o efeito da vegetação é capaz de controlar o microclima através de dois mecanismos, diretamente pelo sombreamento proporcionado pela copa das árvores e indiretamente pelo processo de evapotranspiração que relaciona a quantidade dos estômatos nas folhas com uma adequada condição no solo e na atmosfera (SHINZATO, DUARTE, 2018).

2.1.3 Microclima

Decorrente da acelerada urbanização nas metrópoles, surgem os microclimas que são pequenas variações de clima em uma região específica. Segundo Borges (2009), esses

microclimas podem influenciar diretamente nos principais elementos climáticos no seu entorno como a topografia, vegetação e edificações.

Segundo Nóbrega e Lemos (2011, p. 94) “o meio urbano é alvo das mais arbitrárias práticas modificadoras da paisagem ocasionadas pelo homem”. Assim, esses microclimas surgem a partir das alterações provocadas pelo ser humano, exemplos disso são as derrubadas de árvores, aumento de edificações, pavimentação asfáltica, aumento do uso de carros nas cidades, entre outros.

Essas alterações impactam no conforto térmico da região por apresentar características desconfortáveis para as pessoas que residem nesse local. Assim, os principais impactos acontecem na elevação da temperatura, diminuição da umidade do ar e sensação térmica alta.

Com base nisso, percebe-se que muitos dos problemas causados no processo de urbanização são ligados intimamente ao microclima, uma vez que as variáveis do clima urbano afetam não somente os espaços abertos, mas também nos espaços construídos repercutindo diretamente no conforto dos usuários (SILVA, 2013).

Dessa forma, é evidenciado a importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima local, beneficiando a qualidade de vida dos habitantes nos ambientes urbanos e melhorando o conforto térmico do mesmo (PINHEIRO, 2017).

2.2 Simulação

As simulações computacionais tem sido um instrumento eficaz para avaliar a influência da vegetação nas condições de conforto em ambientes externos. A simulação computacional é um método de representação relacionado diretamente com a comprovação da eficiência de um projeto com a realidade, ou seja, permite que os fenômenos naturais sejam avaliados na aplicação da pesquisa em questão. A simulação disponibiliza interfaces aprimoradas que permitem aos usuários criações tridimensionais de construção, simulação e resultados no entendimento dos fenômenos naturais (CAMPOS, 2018).

Antigamente, executar simulações demandava profissionais com um alto grau de especialização, tempo e custos. Com o avanço do mundo digital, surgiram ferramentas computacionais que são desenvolvidas para a projeção de arquitetura no mercado do *design*

e da construção civil. Essas ferramentas objetivam a modelagem e avaliação visual do projeto de forma mais atrativa (SILVA, 2013).

Para analisar as condições de conforto térmico vigentes de um determinado ambiente, as simulações computacionais são de suma importância devido à capacidade de calcular as complexas relações entre arquitetura da construção, o ambiente externo e os sistemas da edificação. Na atualidade, para cada área de estudo existem programas específicos capazes de caracterizar o interesse da pesquisa, inclusive em estudos bioclimáticos. Desse modo, se faz necessário a utilização de dados extraídos *in loco* para resultados mais próximos da realidade.

A expressão simulação bioclimática é o processo de simulação computacional que utiliza necessariamente dados bioclimáticos específicos do lugar para o seu desenvolvimento. O termo bioclimático qualifica a simulação quando garante que esta recebe um conteúdo local, que por sua vez, qualifica o objeto a ser avaliado pois indica que os resultados advindos serão gerados a partir de uma base de dados não genérica, mas específica daquele sítio (SILVA, 2013, p. 87).

Para análises de projeto em relação ao conforto térmico, existem programas específicos capazes de estudar de forma característica o ambiente de estudo, gerando dados mais próximos da realidade e verificando o impacto que a edificação pode sofrer no seu desempenho ambiental.

Dessa maneira, com simulação computacional é possível que estudos sejam executados durante a fase de projeto. Assim, a simulação está relacionada a aplicação de tecnologias de alto desempenho em um modelo com alto nível de detalhamento, que garante o avanço no projeto possibilitando as adequações e resoluções necessárias em busca de melhor qualidade no conforto térmico.

2.3 ENVI-met

Contribuindo nos avanços em estudos de conforto térmico urbano, foram elaborados modelos computacionais e *softwares* ao longo dos anos para analisar o conforto térmico dos indivíduos tanto em ambientes internos como em espaços abertos. Dentre os modelos, destaca-se o *software* ENVI-met, programa desenvolvido por Michael Bruse e equipe de pesquisadores do Departamento de Geografia da Universidade de Bochum (SILVA, 2013, p. 58).

O ENVI-met é um *software* de simulação tridimensional de microclima que favorece soluções sustentáveis em ambientes de contínuas mudanças. O *software* dispõe de versão

gratuita e versão mais elaborada, sua versão gratuita possui opções de saída e análises reduzidas e tamanho de domínio limitado entre 50x50x40 (ENVI-MET, 2022).

O processo de simulação com o *software* (figura 1) na sua versão gratuita inicia-se com modelagem no *Spaces*, seguindo com o ENVI-guide para a criação de arquivos de simulação, realizando a simulação no ENVI-core e BIO-met (sendo esse específico para índices de conforto térmico humano) e finalizando com a análise dos resultados no Leonardo que permite a extração de mapas com legendas autoexplicativos.

Figura 1 - Sequência do processo de simulação no ENVI-met.



Fonte: ENVI-met (2022).

Andrade e Romero (2018, p. 55) explanam que “os dados de entrada do ENVI-MET, devem ser atenciosamente preparados, para que os resultados sejam o mais realístico possível, sendo uma fase importante antes do início das simulações”. Os autores apontam também sobre os resultados do *software*, apresentando uma precisão satisfatória de cálculos, sendo uma ferramenta simplificada que oferece diversos formatos de saídas como mapas e gráficos autoexplicativos.

O programa ENVI-met oferece diversos parâmetros ambientais, pois avalia as interações entre a vegetação, o solo e o ar. Considera dentre eles os parâmetros: temperatura, umidade e o PMV (*Predicted Mean Vote* – Voto Médio Estimado), um índice de conforto térmico que será explicado mais adiante. De forma mais detalhada, os cálculos do modelo de microclima incluem: radiação de onda curta e longa, fluxo de sombreamento, irradiação do edifício e vegetação, representação tridimensional de árvores, entre outros (SILVA, 2013, p. 59; ENVI-MET, 2022).

2.4 Parâmetros de análise no ENVI-met

Os parâmetros analisados nos resultados das simulações no ENVI-met foram: temperatura, umidade relativa do ar e voto médio estimado (PMV), utilizando ainda informações sobre os ventos.

2.4.1 Temperatura do Ar

A temperatura é definida como o nível de calor que existe no ambiente. Esse calor é resultante da ação dos raios solares ou nível de calor existente num corpo. Além do mais, pode ser explicada pela física como uma grandeza termodinâmica intensiva comum a todos os corpos que estão em equilíbrio térmico. Ainda, podemos descrevê-la como aquela que determina a sensação de quanto ela está quente ou fria ao entrar em contato com um objeto (BARBIN; SPANÓ; PÉCORA, 2005).

“A relação entre as taxas de aquecimento e esfriamento da superfície da terra é o fator determinante da temperatura do ar” (ROMERO, 2000 p. 16). Posto isso, a temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico, visto que a perda de calor do corpo entre a pele e o ar pelos mecanismos termorreguladores caracterizam a sensação de conforto (LAMBERTS *et al.*, 2016).

De acordo com Romero (2000) a temperatura do ar está relacionada com a radiação solar que é absorvida pelos níveis inferiores da atmosfera, que depende também da intensidade e da duração da presença do sol na abóbada celeste. Ainda, “a variação da temperatura na superfície da Terra resulta basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de local para local” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014 p. 77).

2.4.2 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar pode ser definida como a relação entre a quantidade de água presente no ar e a quantidade máxima que pode haver na temperatura do mesmo. Nas palavras de Lamberts (2011, p. 60) a umidade relativa do ar “é o montante de vapor de água do ar, em relação com o máximo montante de vapor de água que o ar pode conter a uma dada temperatura”.

A umidade relativa é a razão entre a pressão do vapor de água do ar úmido e a pressão de vapor saturado para uma mesma temperatura e mesma pressão atmosférica total, conforme a equação a seguir:

$$e = \frac{Pa}{Pas} \quad (1)$$

Onde:

e = umidade relativa;

P_a = pressão parcial do vapor de água (N/m²);

P_{as} = pressão de vapor saturado (N/m²).

Quando expressa em porcentagem, escreve-se:

$$UR = 100 \cdot e \quad (2)$$

Onde:

UR = umidade relativa (%).

Fonte: Lamberts (2011, p. 61)

2.4.3 Voto Médio Estimado - PMV

O Voto Médio Estimado, mais conhecido como PMV (*Predicted Mean Vote*), é um índice fundamentado e normatizado pela ISO 7730 (ISO, 2005) elaborada com base no método de Fanger, que na década de 1970 considerou o índice como o balanço térmico do corpo humano (SILVA, 2013; PEREIRA, 2019).

Andrade e Romero (2018, p. 62) definem o índice como “o valor médio dos votos de sensação térmica de um grupo de indivíduos, tendo em vista o metabolismo humano e as energias trocadas pelo corpo para manutenção do seu equilíbrio térmico, ou estado de conforto”.

Segundo Santos (2018, p. 30), o PMV “representa as sensações térmicas médias das pessoas submetidas a determinadas condições ambientais e individuais, através de uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio”.

Sendo uns dos parâmetros mais utilizados para estudos de conforto térmico devido a sua capacidade de determinar as sensações térmicas de um indivíduo, o mesmo “pode ser obtido quando há dados sobre a atividade (taxa metabólica) e a vestimenta (isolamento térmico) e quando as quatro variáveis ambientais temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar” (PEREIRA, 2019, p. 37) e é medido conforme a ISO 7726 (ISO, 1998).

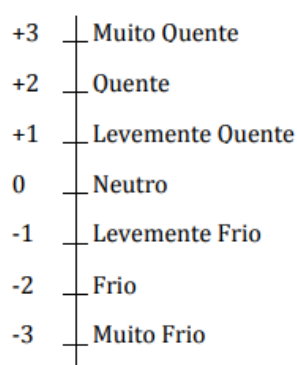
Desse modo, o PMV pode ser calculado tanto por respostas dos indivíduos relacionando sua sensação com o ambiente térmico, como também por meio de um modelo matemático que correlaciona os fatores pessoais e ambientais (SANTOS, 2018).

Por meio de pesquisa experimental o índice PMV estabelece uma escala de sete pontos, que varia de muito quente (+3) a muito frio (-3) e no valor zero condiz à sensação de conforto.

Além do mais, valores acima de +0,5 indicam desconforto por elevadas temperaturas e valores abaixo de -0,5 indicam desconforto por baixas temperaturas (CAMPOS, 2018; PEREIRA, 2019).

A escala de sete pontos utilizada nos estudos de Fanger é utilizada até hoje para determinar as sensações térmica das pessoas (LAMBERTS, 2011) e é representada pela ASHRAE e ISO 10551 (ISO, 1995) que a adaptou considerando condições extremas de frio e calor (figura 2).

Figura 2 - Escala sétima de ASHRAE.



Fonte: Lamberts (2011, p. 15)

Através das equações matemáticas que representam o índice de Fanger, segundo estudos em câmaras climatizadas na Dinamarca usando a escala sétima da ASHRAE, torna-se possível compreender que elas incluem importantes parâmetros do microclima. Desta forma, para análise da sensação real sentida pelo indivíduo utiliza-se a seguinte fórmula do PMV (SILVA, 2013; ANDRADE E ROMERO, 2018; LAMBERTS, 2011):

$$PMV = (0,303 e^{-0,036M} + 0,028) \cdot L \quad (3)$$

Onde:

PMV = voto médio estimado;

M = atividade desempenhada pela pessoa (taxa metabólica W/m²);

L = carga térmica atuante sobre o corpo (BTU's).

Fonte: Lamberts (2011, p. 17)

2.4.4 Ventos

O vento é a ação da movimentação do ar na superfície terrestre, influenciado pela altitude, topografia e rugosidade do solo. Assim, representa o deslocamento horizontal de uma massa de ar que ocorre em consequência dos contrastes de pressão atmosférica em grandes

espaços quando duas massas de ar de densidades diferentes interagem. Desse modo, o movimento do ar é causado pelas diferenças de pressão atmosférica e uma das principais causas da distribuição dos ventos é o desequilíbrio de radiação entre as latitudes baixas e altas (ROMERO, 2000; ATAÍDE *et al*, 2015; LAMBERTS, 2016).

Segundo Lamberts (2016) as regiões de topografia acidentada desviam o vento, alteando sua direção e velocidade. Dessa forma, a direção pode ser caracterizada como a rota que o vento segue e em qual ponto da bússola o vento sopra e a velocidade é quando a intensidade que os ventos se formam (FORSDYKE, 1981).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa seguiu método quantitativo e qualitativo, com levantamento de dados para aplicação em simulação computacional utilizando o *software* ENVI-met. A pesquisa foi um estudo de caso sobre a influência da vegetação no ambiente escolar realizado em dois locais na área externa do campus Palmas do IFTO, com simulação comparativa da vegetação atual e seguindo com planejamento arbóreo dos locais escolhidos.

3.1 Objeto de Estudo

3.1.1 Palmas - TO

Localizada na parte central do Tocantins, Palmas foi iniciada no cerrado brasileiro como uma cidade planejada com área aproximadamente de 30.400 hectares na latitude 10°10' sul, longitude 48°20' oeste e altitude média de 230,0m, com recorte com perfil longitudinal no sentido Sul/Norte à margem direita do rio Tocantins a Oeste e a serra do Lajeado a Leste (SEPLAN, 2001; IBGE, 2011; LIMA, 2018).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2021, a capital apresentou em seu território uma área de 2.227,329 km² com a estimativa populacional de 313.349 habitantes. O IBGE também registrou no ano de 2010 uma porcentagem de 79,90% referente a arborização em vias públicas, mesmo assim Palmas ainda é considerada uma das capitais mais quentes do Brasil (CARDOSO, 2018).

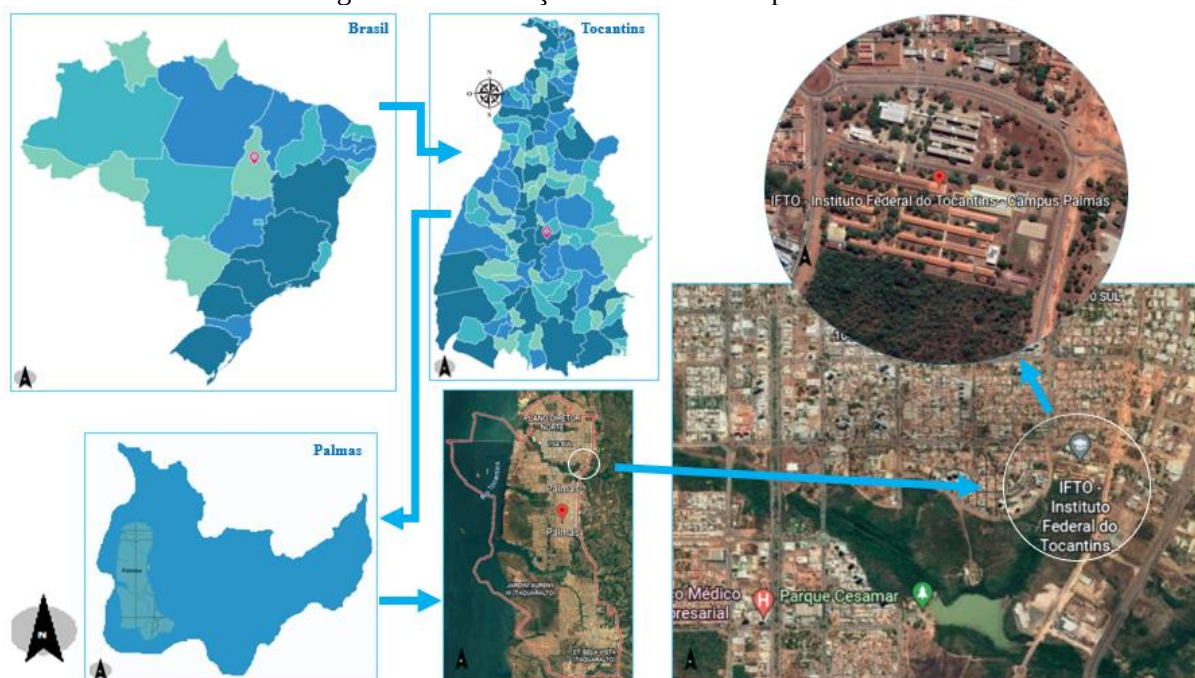
O clima da capital é conhecido pelas suas elevadas temperaturas, sendo entre maio e setembro os meses mais secos e outubro a abril o período chuvoso. O Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) já registrou temperaturas que superaram 40°C no mês de setembro no ano de 2017, considerado um dos meses mais quentes do ano. Dessa forma, o clima da cidade costuma ser predominantemente quente, mesmo em sua estação fresca.

A cidade está localizada em região onde as massas de ar atuantes que se destacam são: Massa Tropical Atlântica (MTA) e a Massa Tropical Equatorial (MEA) descendente dos quadrantes leste e norte. Desse modo, Palmas é marcado pela sazonalidade do regime climático enfatizado entre a primavera-verão e o outono-inverno (LIMA, 2018; SOUZA, 2010).

3.1.2 Campus Palmas - IFTO

O objeto de estudo é o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO - Campus Palmas, localizado na capital do estado (ver figura 3), que abrange principalmente ensino médio e superior sendo referência em ensino desde a data de sua inauguração em 2003 (IFTO, 2022). O mesmo funciona nos períodos matutino, vespertino e noturno e é organizado entre blocos numerados com salas de aulas, com fins laboratoriais, administrativo, guarita, auditórios, garagem, almoxarifado, biblioteca, área de vivência, refeitório, ginásio e área esportiva com quadras, campo de futebol e piscina (figura 4).

Figura 3 - Localização do IFTO – Campus Palmas



Fonte: IBGE (2022); Google Earth (2022), organizado pela autora (2022).

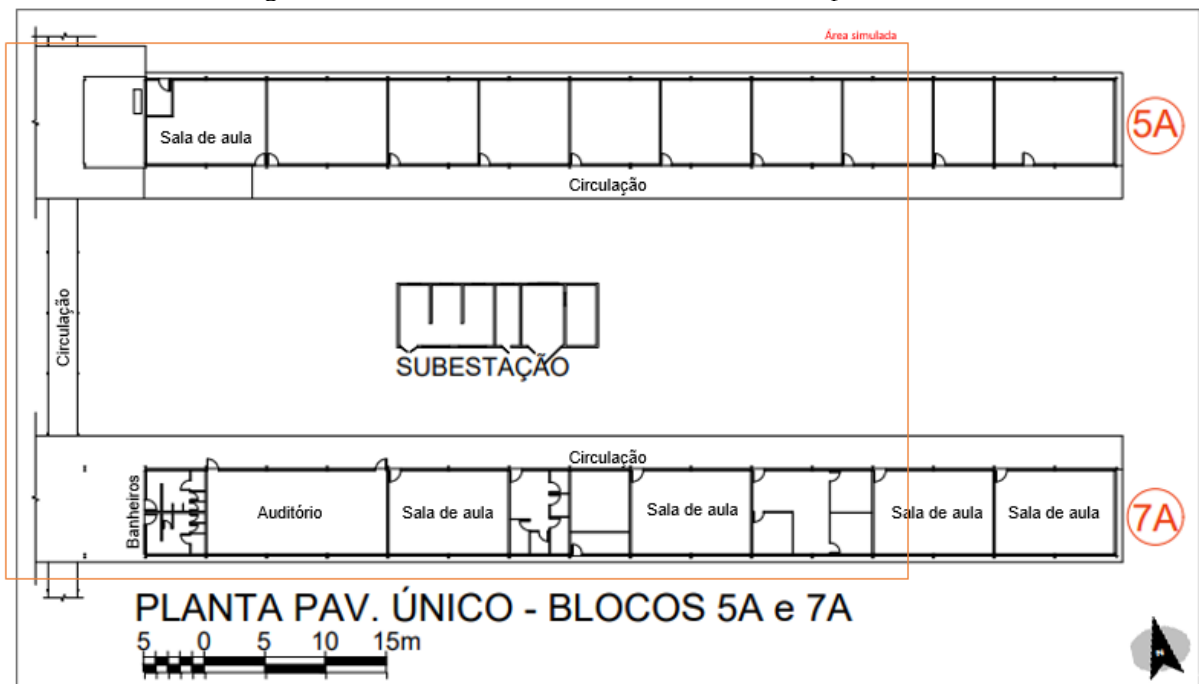
Figura 4 - Vista aérea do campus Palmas do IFTO em 5 jul. 2021



Fonte: Google Earth (2022), organizado pela autora (2022).

Conforme o relatório da Direção geral do Campus Palmas do ano 2018, o campus apresenta área total de 128.508,38m² e aproximadamente 31.879,59m² de área construída com capacidade aproximadamente para 4000 alunos (IFTO, 2022). A maior parte dos blocos segue o modelo construtivo original da fundação do Campus (figuras 5 a 9) e a outra parte contém arquitetura contemporânea, com padrões construtivos mais recentes (figuras 10 a 15). Ainda, entre os blocos contém uma área não construída com árvores na busca de amenizar o clima quente característico da região.

Figura 5 - Planta baixa dos blocos 5A e 7A – Campus Palmas.



Fonte: Acervo do IFTO (2022).

Figura 6 – Blocos antigos do IFTO – Campus Palmas



Fonte: Foto da autora (2022).

Figura 7 – Salas de aulas Bloco 7A do IFTO – Campus Palmas.



Fonte: Foto da autora (2022).

Figura 8 – Passarela entre o bloco 5A e o bloco 7A (blocos antigos) do IFTO – Campus Palmas



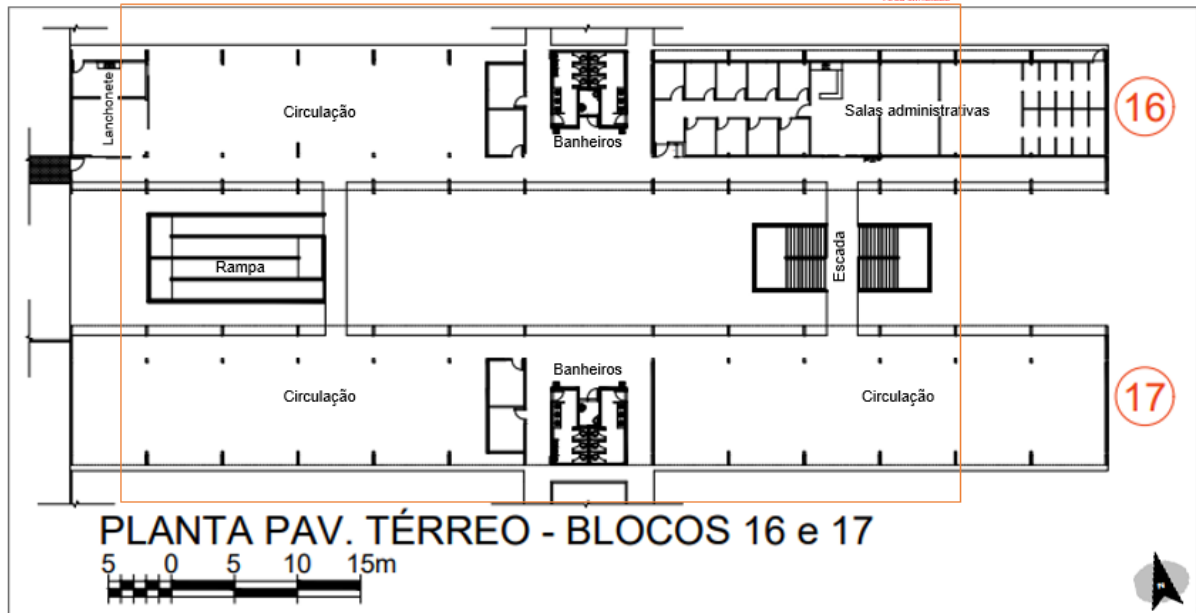
Fonte: Foto da autora (2022).

Figura 9 – Parte vegetativa entre os blocos antigos do IFTO – Campus Palmas



Fonte: Foto da autora (2022).

Figura 10 - Planta baixa dos blocos 16 e 17: Pavimento Térreo – Campus Palmas



Fonte: Acervo do IFTO (2022).

Figura 11 – Pavimento térreo dos blocos novos do IFTO – Campus Palmas



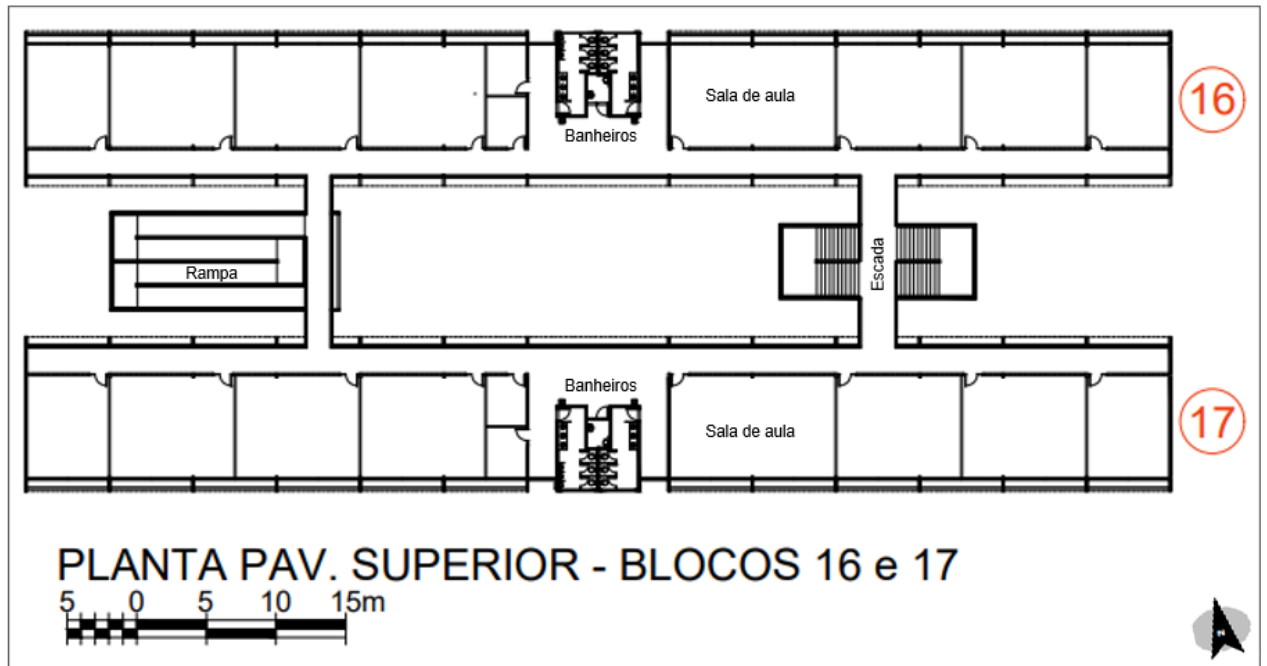
Fonte: Foto da autora (2022).

Figura 12 – Circulação e Banheiros dos blocos 16 e 17 respectivamente, Pav. Térreo - Campus Palmas



Fonte: Fotos da autora (2022).

Figura 13 - Planta baixa dos blocos 16 e 17: Pavimento Superior - Campus Palmas



Fonte: Acervo do IFTO (2022).

Figura 14 – Pavimento superior dos blocos novos do IFTO – Campus Palmas



Fonte: Foto da autora (2022).

Figura 15 – Salas de aula do bloco 16 – Pav. Superior do Campus Palmas



Fonte: Foto da autora (2022).

3.2 Técnica e Instrumentos Utilizados

A técnica de estudo adotada nessa pesquisa foi a da simulação computacional utilizando como instrumento o *software* ENVI-met na sua versão lite 5.0.2 disponível em sua versão gratuita. Seguindo a premissa de simulação comparativa adotada por Nascimento e Silva (2019), fez-se a simulação de forma fracionada devido a limitação de tamanho estabelecido na versão gratuita do *software* de 50x50x40 pixels.

Adotaram-se dois cenários (figura 16), sendo o primeiro cenário com a vegetação atual e o segundo com vegetação planejada em pontos estratégicos, ambos aplicados em dois ambientes do campus, um ambiente situa-se entre os blocos antigos 5A e 7A e o outro entre os blocos novos 16 e 17, na perspectiva de observar a influência da tipologia construtiva dos edifícios além da vegetação no conforto térmico dos estudantes nas áreas externas do campus no início e no final do período seco.

Figura 16 – Ambientes a serem simulados no ENVI-met



Fonte: Google Earth (2022), organizado pela autora (2022).

No método utilizado por Campos (2018) que fez simulações em seu estudo com foco em avaliar o conforto térmico na praça Afonso Pena no Rio de Janeiro utilizando-se de seis horários diferentes ao longo do dia para verificar o índice. Com base nisso, nesse estudo foi aplicado à simulação a configuração geométrica, os materiais utilizados e dados microclimáticos para aferir resultados em três horários do dia no intuito de verificar o conforto nos três turnos. As variáveis analisadas, além do que foi preconizado por Rosseti *et al.* (2015), que utiliza para análise dos resultados de temperatura e umidade relativa do ar, foi incluída a análise do PMV, um dos índices mais utilizados em análises de conforto térmico.

3.2.1 Modelagem

Para desenvolver as modelagens no ENVI-met, foi necessário organizar a configuração dos dados de entrada na localização do modelo e na geometria do modelo. Os dados utilizados na localização dos modelos foram latitude e longitude de Palmas com fuso horário predominante do Brasil, e na geometria dos modelos, por a malha do ENVI-met ser adimensional, foram adotadas dimensões de 50x30x20 metros, alongada adaptando-se à forma dos blocos, com pixels equivalentes a 1x1x1 metros.

Sendo a modelagem uma representação da realidade e uma estratégia para visualizar com antecedência os ambientes, essa pesquisa seguiu com a execução de quatro modelos,

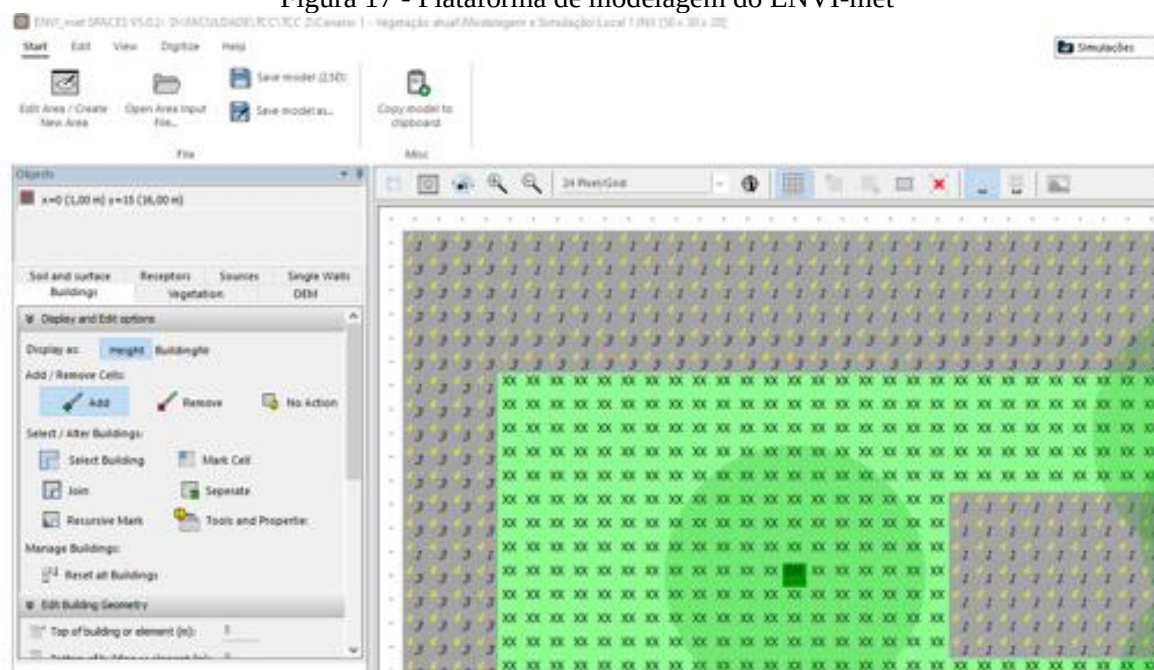
divididos em dois locais e em dois cenários conforme explica o Quadro 1. A imagem da figura 17 ilustra a plataforma no ato da modelagem, que utilizou os materiais semelhantes a realidade dos blocos, conforme listados no memorial descritivo.

Quadro 1 – Informações referente aos cenários simulados no ENVI-met

Cenário 1	Vegetação Atual	Bloco antigo	28 jun. 2021	Simulação 1
		Bloco novo	28 jun. 2021	Simulação 2
		Bloco antigo	20 set. 2021	Simulação 3
		Bloco novo	20 set. 2021	Simulação 4
Cenário 2	Vegetação Planejada	Bloco antigo	28 jun. 2021	Simulação 5
		Bloco novo	28 jun. 2021	Simulação 6
		Bloco antigo	20 set. 2021	Simulação 7
		Bloco novo	20 set. 2021	Simulação 8

Fonte: Elaborado e organizado pela autora (2022).

Figura 17 - Plataforma de modelagem do ENVI-met



Fonte: ENVI-met (2022).

Na modelagem dos blocos foram utilizados: para os blocos antigos, parede de tijolos e telhado cerâmico; telhas de aço nas coberturas das circulações; grama e árvores esféricas de médio porte por conter o formato das copas mais semelhantes com as das árvores do local em estudo. Nos blocos novos, também foram utilizados o mesmo material nas paredes, telhado, grama e árvores de médio porte, diferindo do primeiro modelo apenas na passarela de concreto entre os blocos e árvore de grande porte presente na entrada lateral do bloco 17 (ver quadro 2).

Quadro 2 – Materiais utilizados na modelagem dos blocos antigo e novos

Materiais adotado nos modelos no ENVI-met	
Bloco antigo	Bloco novo
[0100B3] Brick wall (reinforced) - Parede de tijolos (reforçada)	[0100B3] Brick wall (reinforced) - Parede de tijolos (reforçada)
[0100R1] Roofing: Tile - Cobertura: telha	[0100R1] Roofing: Tile - Cobertura: telha
[0100ST] Steel (one layer) - Aço (uma camada)	[0100C4] Concrete (Filled block) - Concreto (bloco preenchido)
[0100XX] Grass 25cm - Grama 25cm	[0100XX] Grass 25cm - Grama 25cm
[DM] Spherical, medium trunk, dense, medium (15cm) - Esférico, tronco médio, denso, médio (15cm)	[DM] Spherical, medium trunk, dense, medium (15cm) - Esférico, tronco médio, denso, médio (15cm)
	[DM] Spherical, large trunk, dense, medium (15cm) - Esférico, tronco grande, denso, médio (15cm)

Fonte: Elaborado e organizado pela autora (2022).

Em relação as árvores existentes nos ambientes estudados, temos nos blocos antigos 13 árvores de médio porte entre eles, utilizando a subestação como referência, à frente há uma árvore, outra na lateral e as demais na parte detrás. Nos blocos novos foram identificadas 2 árvores, uma de médio porte uma entre os blocos e a outra de grande porte na entrada lateral do bloco 17. Essas árvores são conhecidas popularmente como Pequi e Fava-de-bolotas (ver figuras 18 e 19) e ambas são indicadas pelo plano de arborização de Palmas (2016), o quadro 3 detalha melhor as informações de cada uma.

Figura 18 – Árvore: Pequi - localizada entre os blocos antigos do Campus Palmas



Fonte: Foto da autora (2022).

Figura 19 – Árvore: Fava-de-bolota – Localizada na entrada lateral do bloco (novo) 17 do Campus Palmas



Fonte: Foto da autora (2022).

Quadro 3 – Informações referentes as árvores na área de estudo

Árvores das áreas modeladas		
	Pequi	Fava de Bolotas
Nome Científico	Caryocar brasiliense Cambess	Parkia platycephala Benth
Nome popular	Pequi	Fava de Bolotas
Origem	Nativa	Nativa
Porte	Médio	Grande
Forma de Copa	Globosa	Umbeliforme
Diâmetro da copa	10m	12 a 20m

Fonte: Plano de arborização de Palmas (2016); organizado pela autora (2022).

3.2.2 Etapa da Simulação

Com o fim da modelagem, iniciou-se a fase de simulação com a inserção dos dados meteorológicos relacionado aos dias escolhidos e informações sobre dados de saída no ENVI-guide. Para a escolha dos dados, fez-se a análise com dados do INMET (2022) para o ano de 2021, a escolha se deu por ser um ano recente e também para evitar que o mesmo não tenha sofrido com as interferências do El Niño em 2016, que afetou os anos posteriores. Cabral

(2016), explica o El Niño como um aquecimento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, cujos efeitos são conhecidos e recorrentes no clima em todas as regiões do País.

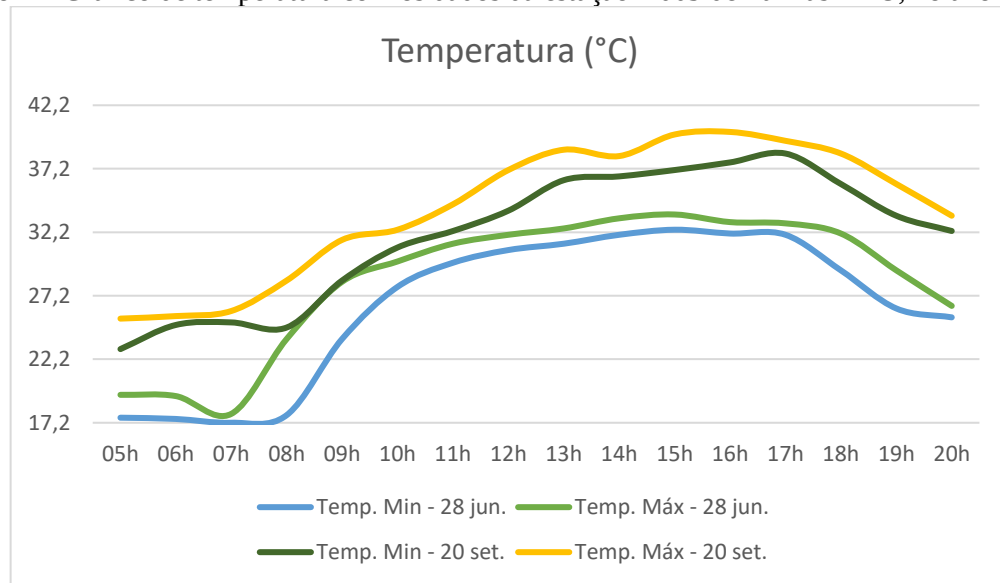
O critério para selecionar os dias foi através da temperatura máxima e mínima, com base nesse parâmetro, ao verificar os dados anuais no INMET os dias escolhidos foram: 28 jun. 2021 com temperatura mínima de 17,2 °C às 7h e 20 set. 2021 com temperatura máxima de 40,1°C às 16h (tabela 1 e gráfico 1), na perspectiva de comparar o período de temperaturas mais elevadas e menos elevadas do ano. Utilizou-se os dados da estação meteorológica automática A009, pois na inserção dos dados no software são necessários valores de máximos e mínimos tanto para temperatura como para umidade relativa (tabela 2 e gráfico 2) e a estação convencional (83033) não fornece valores de máximo e mínimo, disponibilizando dados apenas para três horários do dia.

Tabela 1 – Dados de temperatura da estação A009 de Palmas – TO, no ano de 2021.

Temperatura (°C)				
28 jun.			20 set.	
Hora	Temp. Max.	Temp. Min.	Temp. Max.	Temp. Min.
05h	19,4	17,6	25,4	23
06h	19,3	17,5	25,6	24,9
07h	17,9 (menor máx.)	17,2	26	25,1
08h	23,8	17,8	28,4	24,7
09h	28,3	23,8	31,6	28,4
10h	29,9	27,9	32,4	31
11h	31,3	29,8	34,4	32,3
12h	32	30,8	37,1	33,9
13h	32,5	31,3	38,7	36,3
14h	33,3	32	38,2	36,6
15h	33,6	32,4	39,9	37,1
16h	33	32,1	40,1 (maior máx.)	37,7
17h	32,9	32	39,4	38,4
18h	32,1	29,2	38,4	36
19h	29,2	26,2	36	33,5
20h	26,4	25,5	33,5	32,3

Fonte: INMET (2022); elaborado e organizado pela autora (2022).

Gráfico 1 – Gráfico de temperatura com os dados da estação A009 de Palmas – TO, no ano de 2021.



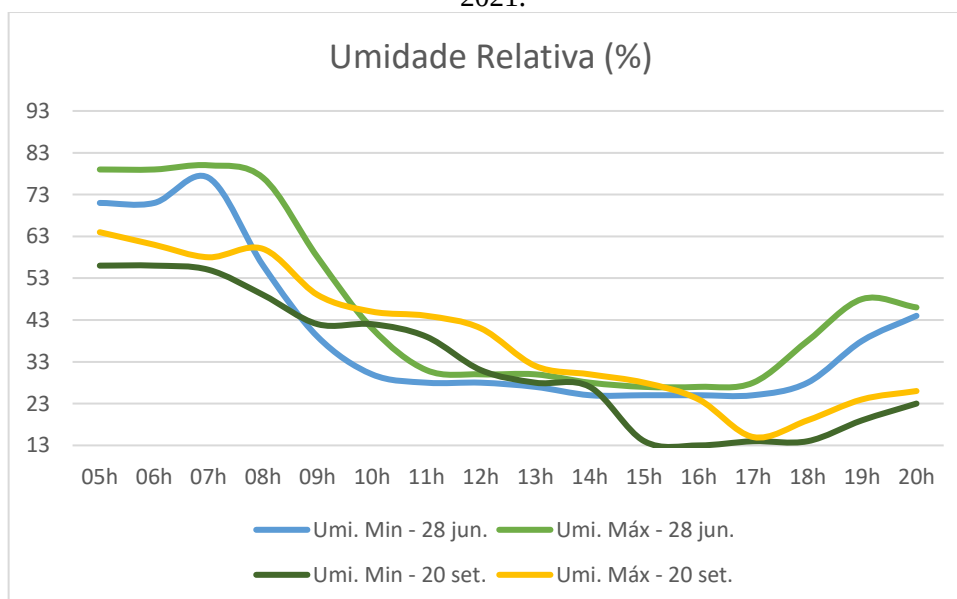
Fonte: Elaborado e organizado pela autora (2022).

Tabela 2 - Dados de umidade relativa da estação A009 de Palmas - TO, no ano de 2021.

Umidade Relativa (%)				
	28 jun.		20 set.	
Hora	Umi. Max.	Umi. Min.	Umi. Max.	Umi. Min.
05h	79	71	64	56
06h	79	71	61	56
07h	80	77	58	55
08h	77	56	60	49
09h	58	39	49	42
10h	41	30	45	42
11h	31	28	44	39
12h	30	28	41	31
13h	30	27	32	28
14h	28	25	30	27
15h	27	25	28	14
16h	27	25	24	13
17h	28	25	15	14
18h	38	28	19	14
19h	48	38	24	19
20h	46	44	26	23

Fonte: INMET (2022); elaborado e organizado pela autora (2022).

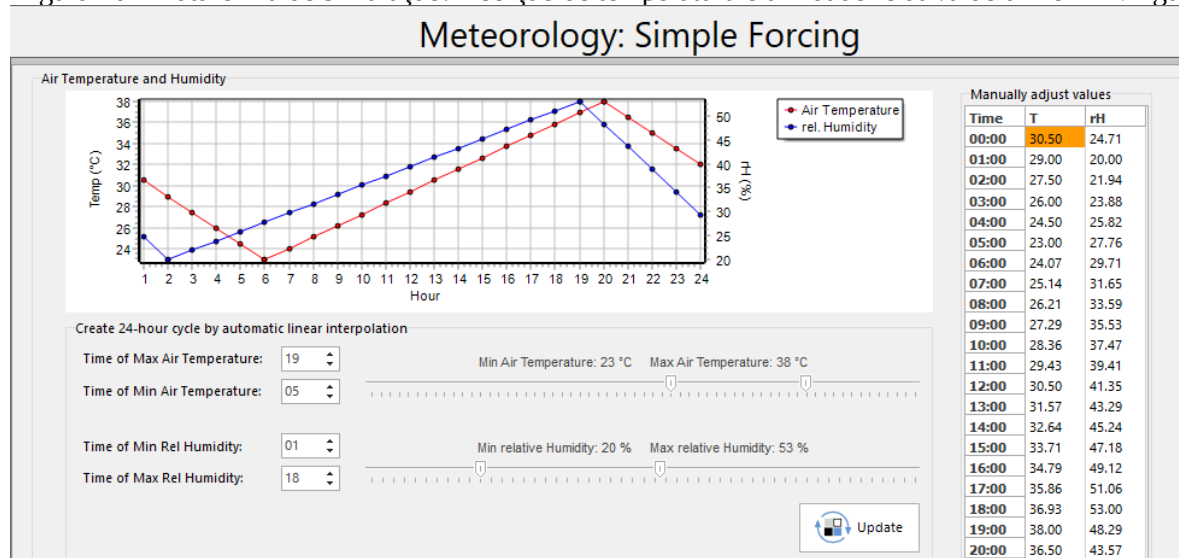
Gráfico 2 - Gráfico de umidade relativa com os dados da estação A009 de Palmas - TO, no ano de 2021.



Fonte: Elaborado e organizado pela autora (2022).

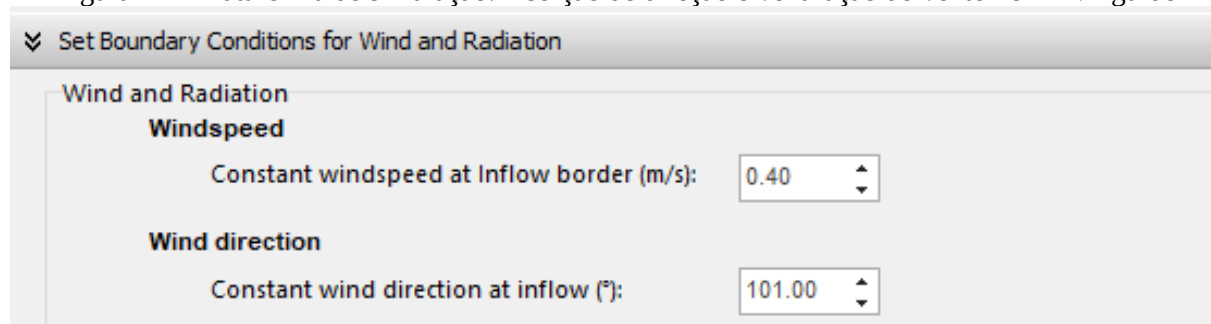
Na fase de inserção dos dados, optou-se pela metodologia simples como expressa a figura 20, devido a sua opção de inserção de dados de forma manual, assim foram inseridos os dados de temperatura máxima e mínimo e de dados de umidade relativa máxima e mínima para casa dia, além disso para direção e velocidade do vento foram adotados valores referentes ao horário de início das simulações (ver figura 21), em 28 jun. foram utilizados 0,4m/s para velocidade do vento e 101 graus para direção e no dia 20 set. utilizou-se 0,4m/s e 2 graus respectivamente, esses dados foram extraídos da estação meteorológica de Palmas mencionada anteriormente, disponibilizada pelo INMET (2022). Desse modo, prosseguiu com a checagem e rodagem da simulação no ENVI-core (figura 22) para posteriormente observar seus resultados para os horários 10h, 15h e 19h para cada cenário nos dois dias.

Figura 20 - Plataforma de simulação: inserção de temperatura e umidade relativa do ar no ENVI-guide



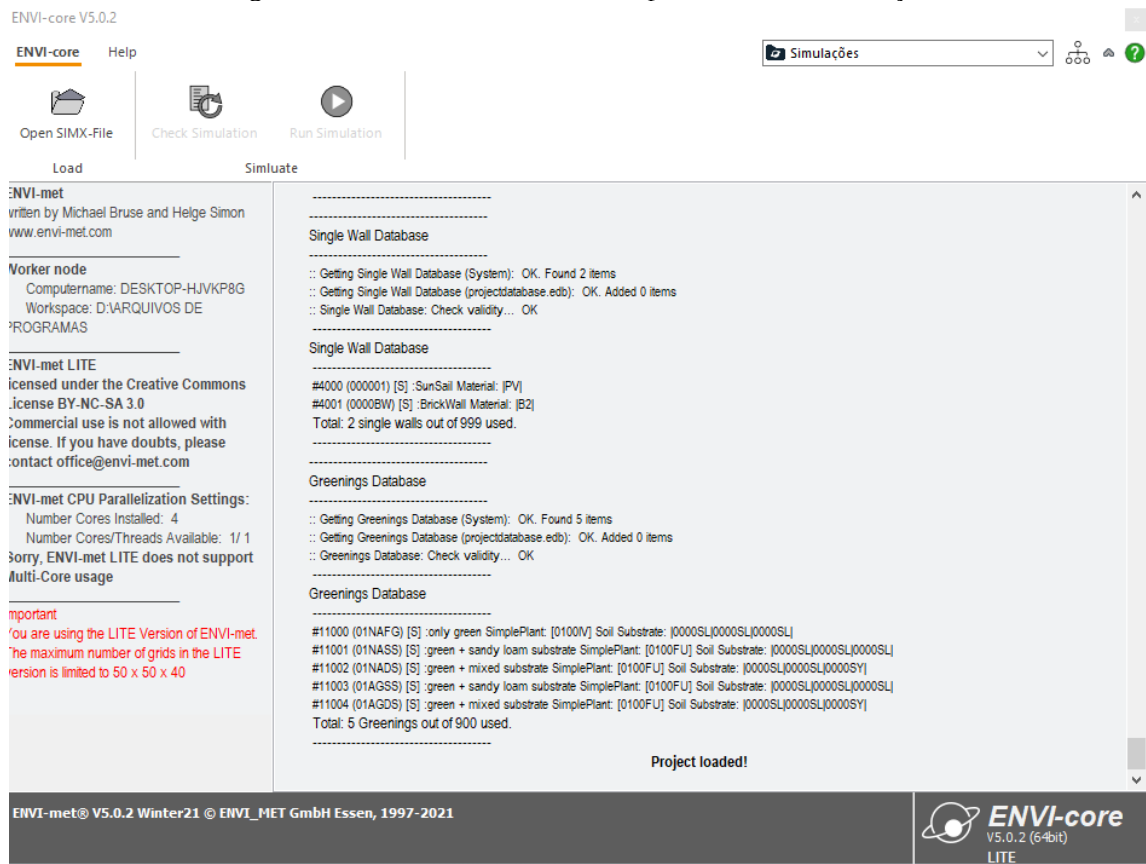
Fonte: ENVI-met (2022).

Figura 21 – Plataforma de simulação: inserção de direção e ventilação do vento no ENVI-guide



Fonte: ENVI-met (2022).

Figura 22 - Interface do ENVI-core para início de simulação



Fonte: ENVI-met (2022).

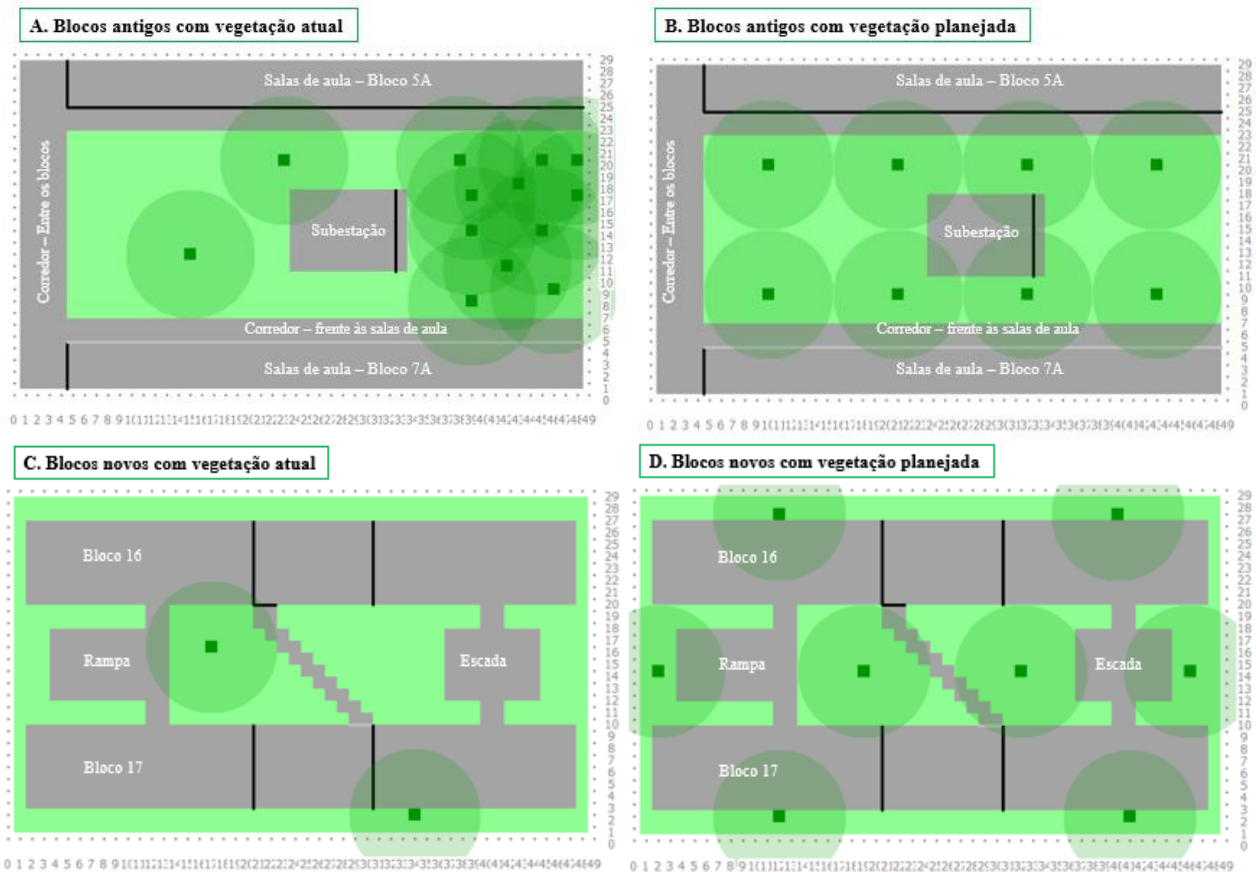
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Planejamento vegetativo aplicados aos modelos

Seguindo o Plano da Arborização Urbana de Palmas (2016), foram adotadas no planejamento vegetativo dos blocos o método de arborização para parques, praças e jardins nas áreas entre os blocos e orientações para arborização em calçadas na parte externa dos blocos, de acordo com as recomendações do plano. Nesse caso, o mesmo não especifica uma quantidade mínima ou máxima de árvores, informando que podem ser dispostas aleatoriamente, formando maciços com espaçamento padrão de um metro a partir do diâmetro da copa ou espaçamento igual a copa no caso de querer a sombra contínua, as árvores devem ser prioritariamente compostas por espécies autóctones e nativas do cerrado.

Nos blocos antigos, as árvores foram distribuídas e reduzidas da sua quantidade original para 8 unidades, baseando-se no estudo de Gomes e Silva (2020 p. 8) que falam das árvores “quando dispostas em grupos, formando uma espécie de bosque, a vegetação cria uma barreira que dificulta a ventilação, melhorando o conforto apenas próximo à árvore”. Nos blocos novos, deixou-se apenas a árvore *Caryocar brasiliense* Cambess (pequi), por ser a árvore com modelo mais semelhante as árvores disponíveis no banco de dados do *software* ENVI-met e acrescentou-se mais 7 unidades da mesma nas partes internas e externas dos blocos (devido ao espaço), totalizando uma quantidade de 8 árvores em cada ambiente no segundo cenário (figura 23).

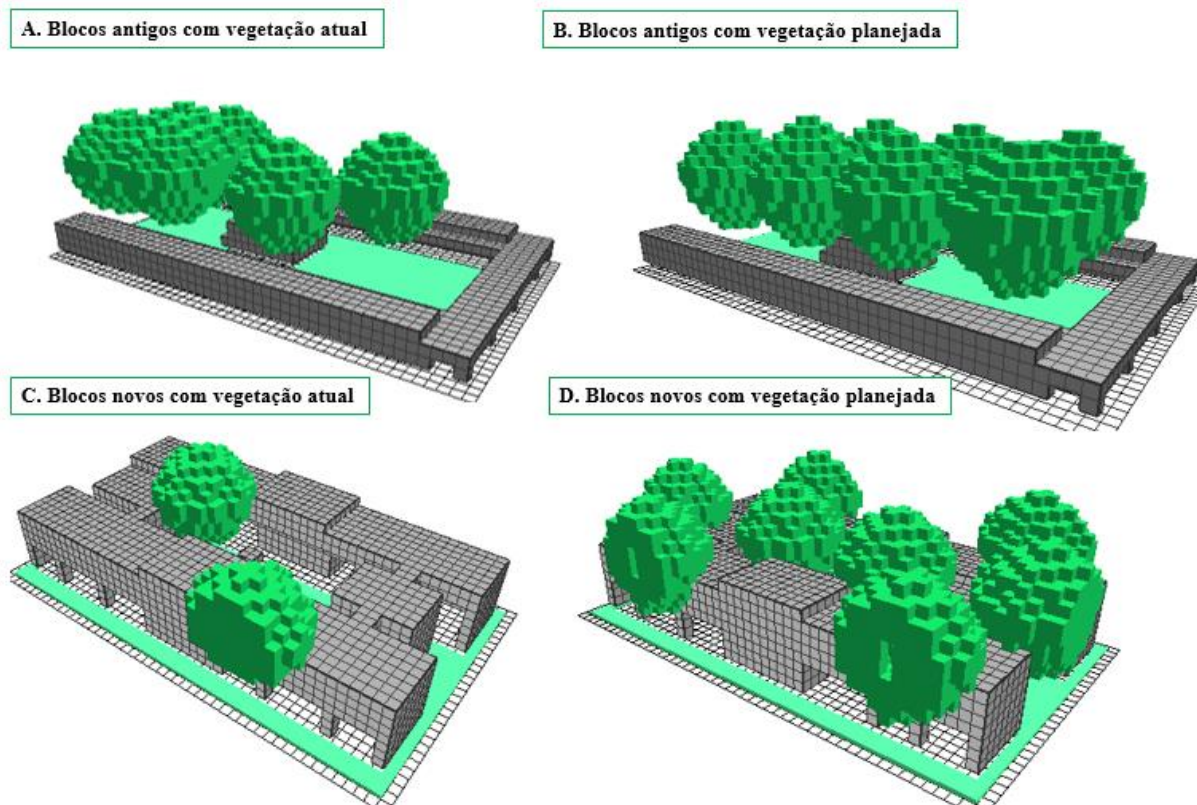
Figura 23 - Vista superior das modelagens: A – Bloco antigo com vegetação atual; B- Bloco antigo com vegetação planejada; C – Bloco novo com vegetação atual e D – Bloco novo com vegetação planejada



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

Ao modelar, foi possível converter o modelo para visualização em 3D (figura 24), permitindo a análise geométrica e verificação do modelo. De acordo com Shinzato (2009) precisa ser criada uma área de transição em volta do modelo chamada de nesting grids, que deve ser configurada e testada de acordo com o modelo e tem a função de evitar instabilidades nos cálculos de borda dos fluxos de vento e radiação. Seguindo o método de Nascimento e Silva (2019) optou-se por deixar os pixels das bordas livres e sem preenchimento de edificações ou vegetação para não interferir nos resultados.

Figura 24 - Vista 3D das modelagens: A – Bloco antigo com vegetação atual; B- Bloco antigo com vegetação planejada; C – Bloco novo com vegetação atual e D – Bloco novo com vegetação planejada



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

No intuito de facilitar a visualização dos dados extraídos na simulação, os resultados foram organizados por parâmetro, iniciando por temperatura, seguindo com umidade relativa e finalizando com o índice de conforto térmico PMV. Seguiu-se com a análise por mês e horário, assim os mapas comparativos compreendem três horários do dia simbolizando os três turnos de funcionamento do campus, sendo eles: 10h (matutino), 15 (vespertino) e 19h (noturno).

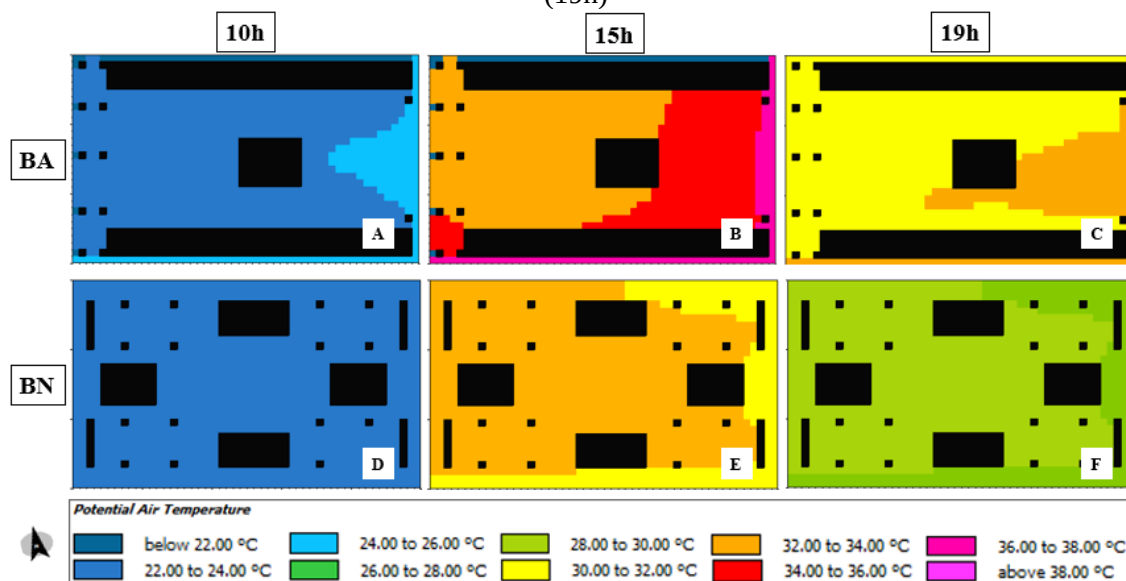
4.2 Efeitos da temperatura do ar nos cenários 1 e 2

No cenário com vegetação planejada em relação ao cenário com vegetação atual, foi possível identificar significativas variações de temperatura entre os três períodos ao longo do dia tanto para o mês de junho como para o mês de setembro. Conforme os mapas ilustrados mais adiante, analisou-se como a vegetação se comportou tanto nos blocos antigos como os blocos novos em ambos os meses, identificando que as maiores temperaturas se deram no período vespertino e as menores no período matutino.

O mês de junho representado pela figura 25, expressa valores com uma variação de 25°C a 35°C para os blocos antigos e entre a faixa de 23°C a 33°C para os blocos novos. Nos blocos

antigos é possível visualizar uma variação maior de temperatura nos três turnos, com temperaturas mais elevadas na área onde se encontra a maior quantidade da vegetação, Gomes e Silva (2020) explicam que isso acontece em decorrência da disposição das árvores em conjunto, que acaba se tornando um obstáculo para a ventilação.

Figura 25 – Prancha de mapas de temperatura em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 1: blocos antigos (BA) - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos (BN) - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

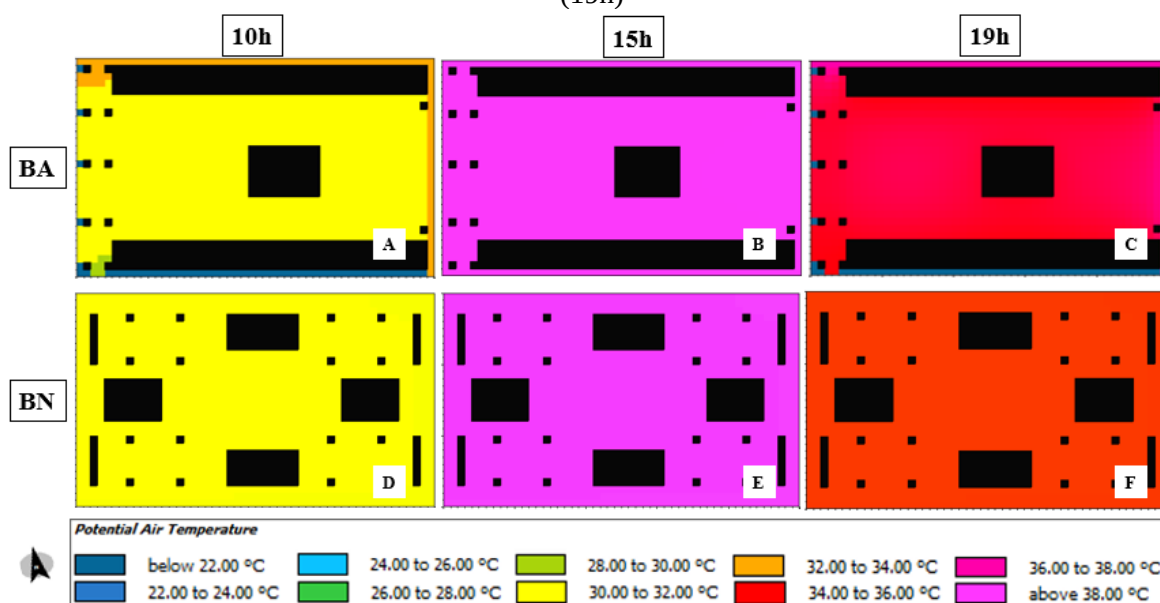
Os blocos novos, obtiveram valores de temperatura mais baixas que os blocos antigos, o que pode confirmar em como a configuração do posicionamento das árvores podem influenciar na variação de temperatura do ambiente, visto que o mesmo apresenta árvores dispostas de forma totalmente diferentes do ambiente anterior, contendo apenas uma árvore na parte entre os dois blocos e a outra na parte externa do bloco 17. Assim, os blocos apresentaram menos variações no mesmo local, permitindo que o mapa térmico tivesse a cor mais unificada, já que essa variou de acordo com a temperatura nos determinados locais.

Ainda foi possível visualizar que o período vespertino e noturno apresentou maiores temperaturas que o período matutino em ambos os locais, isso devido a capacidade que os materiais possuem de absorver e armazenar calor ao longo do dia, embora que o período noturno ainda contenha altas temperaturas mesmo sem a radiação solar. Segundo Shinzato (2009 p. 20) esse fato acontece porque “durante o dia, a radiação solar aquece as superfícies e este calor é armazenado nos materiais urbanos, sendo liberado no período noturno.”

Para o mês de setembro (figura 26), ambos os blocos possuíram valores semelhantes de temperatura em decorrência da forma em como a cidade recebe a insolação, assim os dois locais resultaram em temperaturas maiores que 30°C em todos os períodos do dia, sendo o matutino o período de temperatura mais amenas com faixa de 30°C a 31°C e o período vespertino o mais quente com temperaturas superando os 38°C, esse fato é ligado a característica do clima predominante da cidade de Palmas.

Em vista disso, essas alterações são influenciadas pela urbanização implementada em conjunto com o adensamento de certas áreas, além da dinâmica social e econômica da cidade (PIRES e VELOSO, 2019). Ainda, no período noturno se mantiveram altas temperaturas, em decorrência do grande aumento de temperatura que se obteve ao longo do dia e no armazenamento de calor nos materiais da edificação, como já mencionado anteriormente.

Figura 26 - Prancha de mapas de temperatura em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 1: blocos antigos (BA) - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos (BN) - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022); organizado pela autora (2022).

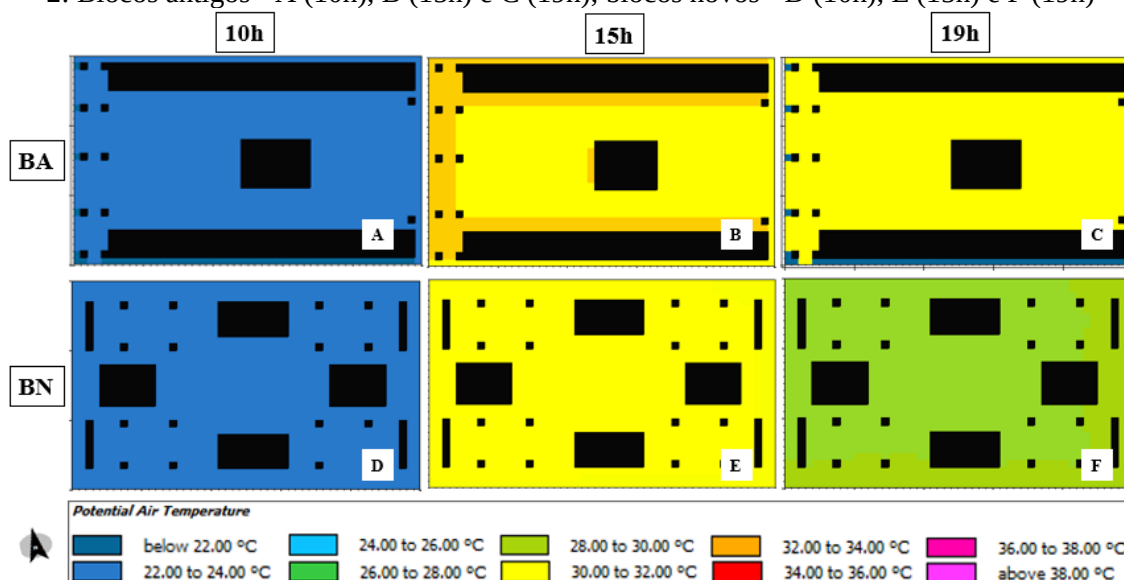
Logo, nesse cenário, apesar de que ambos os meses possuíram altas temperaturas principalmente no período vespertino e noturno, observou-se que o mês de junho em relação ao mês de setembro obteve menores temperaturas com variações de até 5,72°C entre os meses na parte da tarde e de até 4,91°C na parte da noite, no período da manhã, obteve-se variação de até 6,34°C.

Desse modo, tanto o período da tarde como o da noite apresentaram as maiores temperaturas com apenas 0,80°C de diferença de um horário para o outro em análise dos dois

blocos (antigos e novos) no mesmo horário em conjunto, podendo perceber que em ambos os meses esse período continuou quente. Já no horário das 10h, que representa o período matutino, obteve maior variação de um mês para outro, pois no mês de junho as temperaturas não ultrapassaram os 26°C em nenhum dos locais, diferente de setembro que ultrapassou os 30°C nos dois.

Com vegetação planejada (figuras 27 e 28), o mês de junho apresentou variação de 23,62°C a 33,97 nos blocos antigos e de 23,18°C a 32,42°C nos blocos novos, obtendo uma redução de até 1,56°C em relação ao cenário anterior. Mesmo que os blocos antigos tenham permanecido nas mesmas faixas de temperatura que o cenário anterior, todos os horários sofreram reduções.

Figura 27 - Prancha de mapas de temperatura em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)

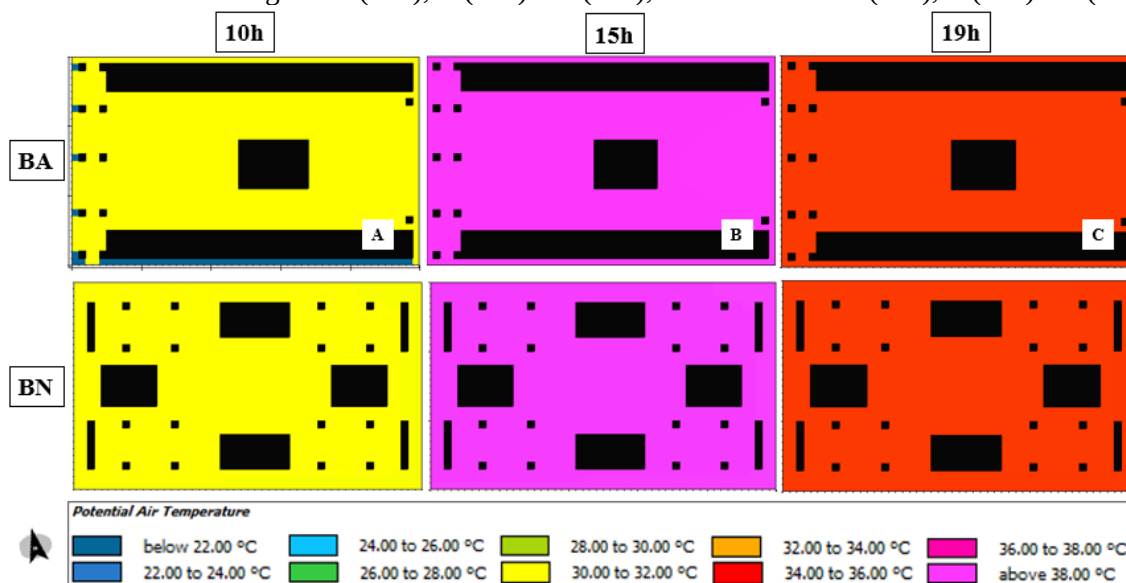


Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

Os três horários obtiveram reduções significativas, nos blocos antigos os valores saíram de 25,18°C para 23,62°C pela manhã, de 34,85°C para 33,50°C na parte da tarde que conforme ilustra o mapa, essa faixa acima de 32°C foram onde estão os corredores dos blocos e que no local onde foram reorganizadas as árvores a temperatura reduziu para faixa dos 30°, no período da noite as variações foram de 32,42°C para 31,02°C. Os blocos novos também permaneceram nas mesmas faixas, com reduções de 23,76°C a 23,18°C no turno matutino, de 32,78°C e 32,42°C no vespertino e de 28,93°C para 28,58°C no noturno.

Notou-se uma uniformização nas cores dos mapas, isso porque ao reorganizar o cenário com árvores dispostas de forma linear, essa pode ter contribuído para que a passagem do vento não fosse completamente impedida, diminuindo e padronizando a temperatura do ambiente (GOMES E SILVA, 2020). Analisado um bloco e outro foi notado valores mais próximos entre eles, continuando com maiores diferenças apenas no período noturno que obteve uma variação de 2,44°C de um para o outro.

Figura 28 - Prancha de mapas de temperatura em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022); organizado pela autora (2022).

No mês de setembro, os dois locais também continuaram com os valores de temperatura semelhantes, mas mesmo assim tiveram reduções de até 0,30°C para os blocos antigos e de até 0,48°C para os blocos novos.

Portanto, com o planejamento arbóreo tanto nos blocos antigos como nos novos, pôde-se verificar vantagens para a redução na temperatura, isso porque a mesma a vegetação contém benefícios que reduzem os impactos no microclima, melhoram a qualidade do ar e promove áreas sombreadas (SHINZATO, 2009). Entre os cenários (tabela 3) se observou uma maior redução de temperatura principalmente no período da manhã em ambos os locais, isso porque no período matutino contém menos irradiações que os demais. Pode-se observar também que em junho obteve-se maiorias variações entre os blocos que no mês de setembro, provavelmente pela forma que se encontravam as árvores no primeiro cenário, já que no segundo cenário as variações seguiram na mesma proporção nos dois blocos, tendo variação apenas de 0,13°C entre junho e setembro.

Tabela 3 – Resultados de temperaturas para os dois cenários, em 2021.

		Temperatura (%)					
		28 jun.			20 set.		
		10h	15h	19h	10h	15h	19h
	INMET	31,70	28,90	38,50	33,00	34,75	27,77
Cenário 1	Bloco antigo	25,18	34,85	32,42	31,01	39,82	36,13
	Bloco novo	23,76	32,78	28,93	30,72	39,26	35,04
Cenário 2	Bloco antigo	23,62	33,50	31,02	30,66	39,51	35,83
	Bloco novo	23,18	32,42	28,58	30,24	38,90	34,80

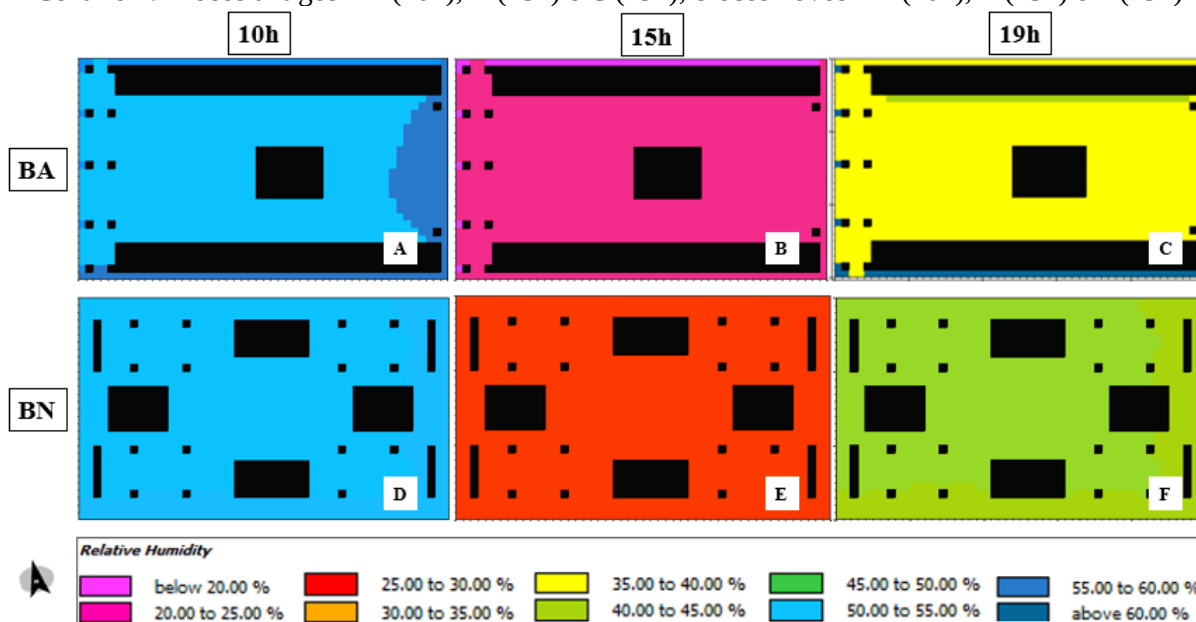
Fonte: INMET (2022); ENVI-met (2022); organizado pela autora (2022).

4.3 Efeitos da umidade relativa do ar nos cenários 1 e 2

Com os mapas a seguir, foi possível visualizar que o período matutino é o período que apresentou maior umidade e que os demais períodos foram os mais secos nos dois meses tanto para os blocos antigos como para os blocos novos. Ainda, pôde se observar que o cenário com vegetação planejada, conseguiu reduzir de forma significativa a umidade relativa nos dois blocos.

A umidade relativa do ar para o mês de junho (figura 29) variou de 24% a 52% nos blocos antigos e de 26% a 55% nos blocos novos, os períodos de maiores umidades relativas são na parte da manhã e conforme os mapas térmicos pôde ser observado que na área onde tinha a maior quantidade de árvores a umidade passou dos 55%.

Figura 29 - Prancha de mapas de umidade relativa em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 1: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



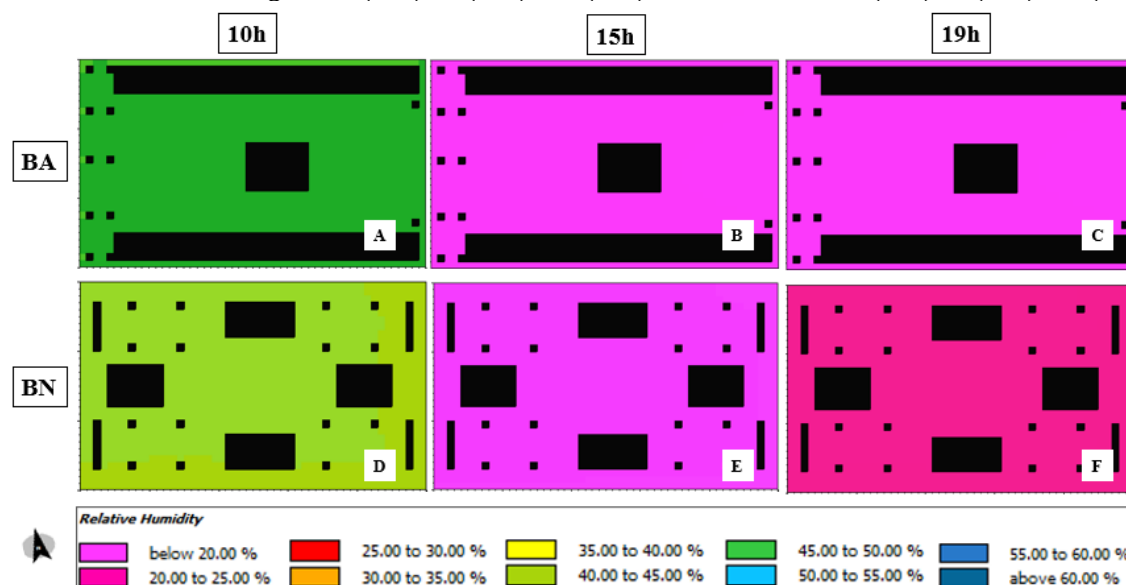
Fonte: ENVI-met (2022); organizado pela autora (2022).

As 15h foi o horário com menor umidade, a mesma não passou dos 30% sendo mais baixas ainda nos blocos antigos que obtiveram maiores temperatura nesse horário, já as 19h a umidade conseguiu atingir os 40% pois segundo Shinzato (2009) “a diminuição nos ganhos de radiação durante a noite resulta em uma redução na temperatura da folha em relação ao ar”.

Entre os locais notou-se que os blocos antigos obtiveram maiores variações com até 6,8% de diferença em relação aos novos, isso porque na área entre os blocos 5A e 7A possui uma quantidade maior de árvores do que nos blocos 16 e 17, essa vegetação no local contribuiu para o aumento da umidade devido ao seu processo de evapotranspiração na superfície das folhas, que amenizam o calor do meio e o transformam em umidade (SHINZATO, 2009; PLANO ÁRBOREO DE PALMAS, 2016; CAMPOS, 2018).

Como setembro é um mês que apresentou elevadas temperaturas, consequentemente a umidade relativa do ar foram mais baixas que no mês de análise anterior (ver figuras 29 e 30), assim os blocos antigos obtiveram umidades entre 18% e 47% enquanto os blocos novos variaram entre 19,51% e 42%, sendo a parte matutina a com maior umidade em ambos os locais. Nesse caso, os locais entre si não tiveram tanta diferença como no mês de junho, principalmente no período vespertino e noturno que nos mapas apresentam cores bem semelhantes evidenciando assim o quanto o mês de setembro é seco.

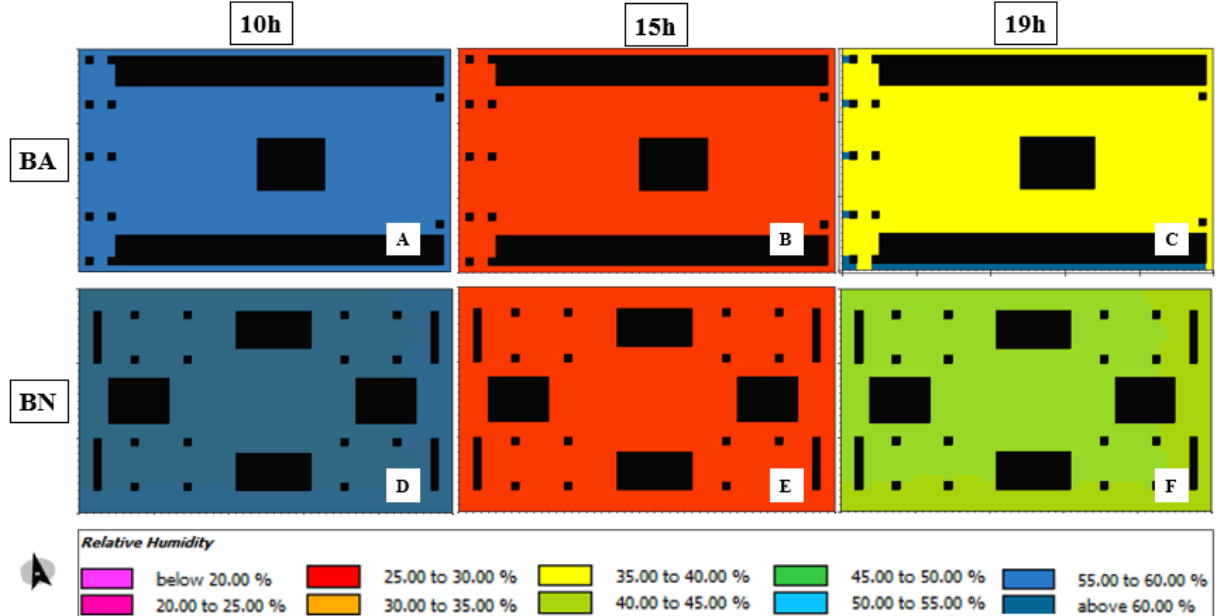
Figura 30 - Prancha de mapas de umidade relativa em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 1: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022); organizado pela autora (2022).

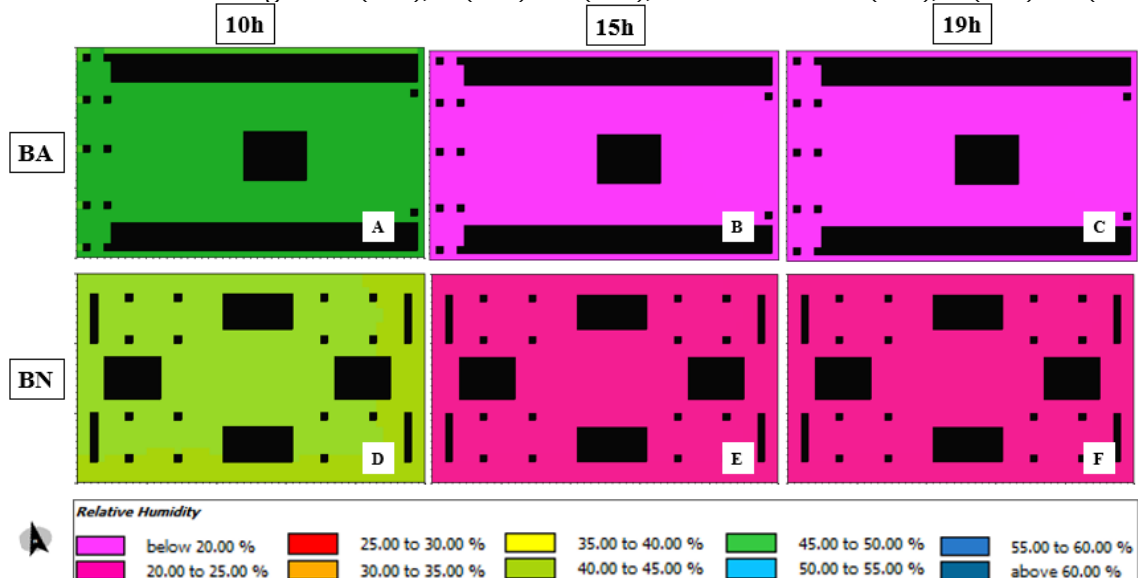
No mês de junho, com o cenário de vegetação planejada, foi capaz suavizar a diferença entre os dois ambientes (ver figura 31), com até 3,01% de diferença nos blocos antigos e 4,22% nos blocos novos em relação ao cenário anterior. O horário matutino e o vespertino apresentaram algumas mudanças nas suas faixas, as 10h saiu da faixa de 50% para a de 55% nos blocos antigos e nos blocos novos saiu de 50% para quase 60%, já no horário de 15h, a mudança de faixa foi apenas para os blocos antigos que foi de 24,88% para 25,02%. No mês de setembro (figura 32), não houve muitas diferenças do cenário anterior quanto a mudança na posição de suas faixas, havendo alterações apenas no horário de 15h para os blocos novos, que saiu de 19,51% para 20,20%. Mesmo permanecendo com as mesmas faixas, todas as umidades relativas aumentaram com o planejamento arbóreo.

Figura 31 - Prancha de mapas de umidade relativa em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

Figura 32 - Prancha de mapas de umidade relativa em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

Entres os dois cenários (tabela 4), notou-se maiores diferenças para o mês de junho entre os blocos, devido a grande diferença de temperatura entre ambos, mas após o planejamento arbóreo conseguiu obter-se de valores de umidades mais elevados que o no cenário sem vegetação. Com os mapas térmicos do mês de setembro, analisaram-se bastantes semelhanças entre os cenários e uma grande diferença entre o período matutino com os demais, apresentando

essas umidades relativas bem baixas com até 29,39% de diferença em relação ao período da manhã.

Tabela 4 - Resultados para umidade relativa do ar nos dois cenários, em 2021.

		Umidade Relativa (%)					
		28 jun.			20 set.		
		10h	15h	19h	10h	15h	19h
INMET		35,50	26,00	43,00	43,50	21,00	21,50
Cenário 1	Bloco antigo	52,00	24,88	35,20	47,00	18,37	18,01
	Bloco novo	54,98	26,00	42,00	42,47	19,51	21,11
Cenário 2	Bloco antigo	55,01	25,02	38,00	48,39	19,00	19,22
	Bloco novo	59,20	26,39	45,33	43,70	20,20	22,00

Fonte: INMET (2022); ENVI-met (2022); organizado pela autora (2022).

4.4 O conforto térmico nos cenários 1 e 2

Para verificar o conforto térmico nos ambientes, utilizou-se como parâmetro o índice PMV, que foi extraído do programa através do plugin BIO-met. No mesmo foi inserido dados de entrada para uma pessoa considerada jovem (visando alcançar os alunos do campus), do sexo masculino, com 20 anos de idade, 1,78m altura, pesando 80kg e com índice percentual de vestimenta de 0,5 considerando calça e camiseta, a taxa metabólica basal foi calculada pelo próprio *software* considerando que os alunos estavam realizando atividade sedentária.

A partir dos resultados do índice para os dois cenários, fez-se a leitura e interpretação dos dados com base no quadro 4 que estabelece o nível de conforto adotado na pesquisa de Nascimento e Silva (2013).

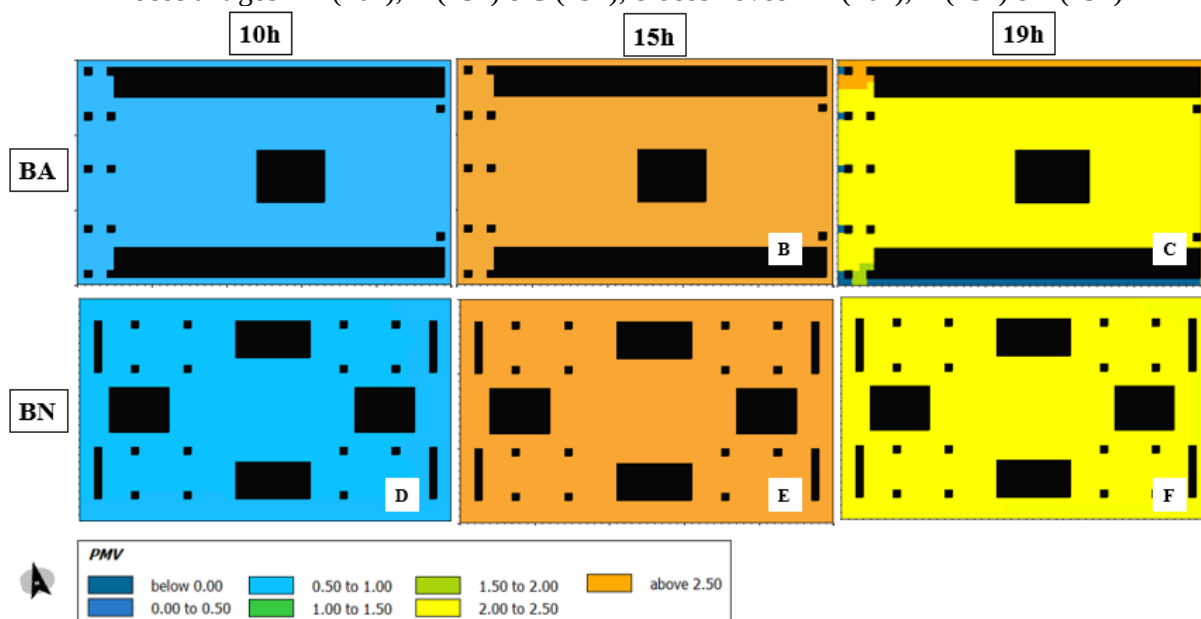
Quadro 4 - Níveis de conforto de acordo com o valor do PMV

Valor de PMV	Nível de Conforto
-0,5 até 0	Confortável
0 até 0,5	Confortável
0,5 até 1,0	Levemente quente
1,0 até 1,5	Pouco quente
1,5 até 2,0	Quente
2,0 até 2,5	Muito quente
Acima de 2,5	Extremamente quente

Fonte: Nascimento e Silva (2019); organizado pela autora (2022).

No primeiro cenário, referente ao mês de junho, os índices de PMV foram do “levemente quente” ao “extremamente quente” tanto nos blocos antigos como nos blocos novos (ver figura 33), os mesmos apresentaram valores bem próximos entre si com pequenas variações entre eles, ambos tiveram o período da tarde como o mais desconfortável com valores acima de 2,5 nos dois locais, com faixas de “extremamente quente”, o período vespertino também obteve desconforto com valores acima de 2,0 nas faixas de “muito quente” e o turno matutino foi o único período com índice mais próximo ao “confortável” com valores de 0,50 (blocos antigos) e 0,49 (blocos novos) coincidindo com o horário que possuiu as menores temperaturas e maiores umidade relativas para o período.

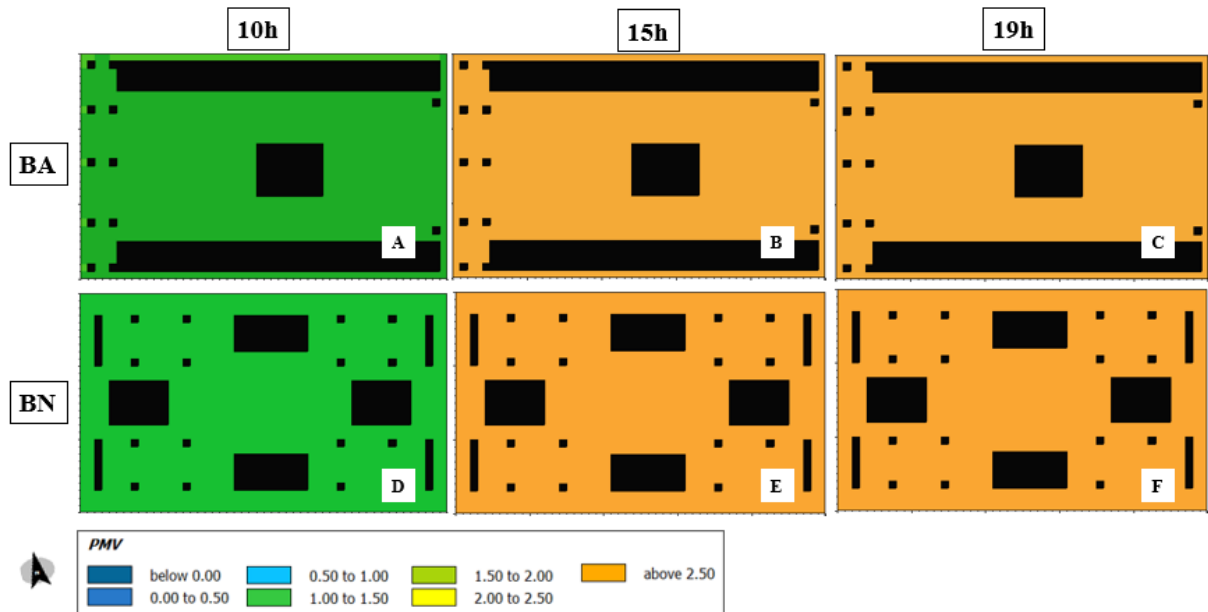
Figura 33 - Prancha de mapas de PMV em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 1:
Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

No mês de setembro (figura 34), os blocos apresentam mesmas faixas sendo elas do “pouco quente” ao “extremamente quente”, diferente do mês anterior esse não se apresenta “confortável” em nenhum período do dia e tanto o período da tarde como o da noite contém faixas de “extremamente quente” com valores acima de 2,5. O fato principal desse desconforto se dar pelas altas temperaturas nesses períodos, que superaram os 38°C e tiveram umidades relativas baixas e deixando o clima seco, ainda contribuindo com essa situação tem-se o armazenamento de calor pelos materiais nas edificações e a influência da disposição das árvores nos ambientes.

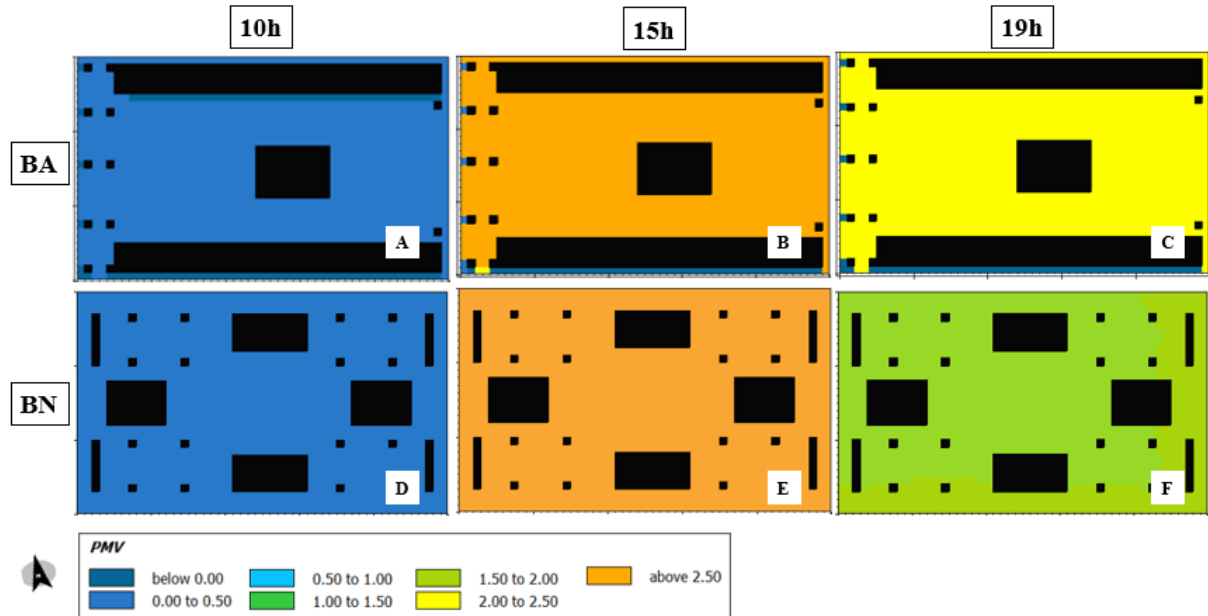
Figura 34 - Prancha de mapas de PMV em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 1: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

No segundo cenário, após o planejamento arbóreo o mês de junho (figura 35) apresentou melhorias no conforto térmico dos ambientes e redução de faixas do “levemente quente” para o “confortável” tanto nos blocos antigos como nos novos e do “muito quente” para o “pouco quente” nos blocos novos. Em relação aos dois ambientes, os blocos novos possuíram melhores variações no índice de conforto chegando até -0,12 as 10h, provavelmente pelas menores temperaturas que tiveram, enquanto os blocos antigos só mudaram a posição do índice no horário das 10h.

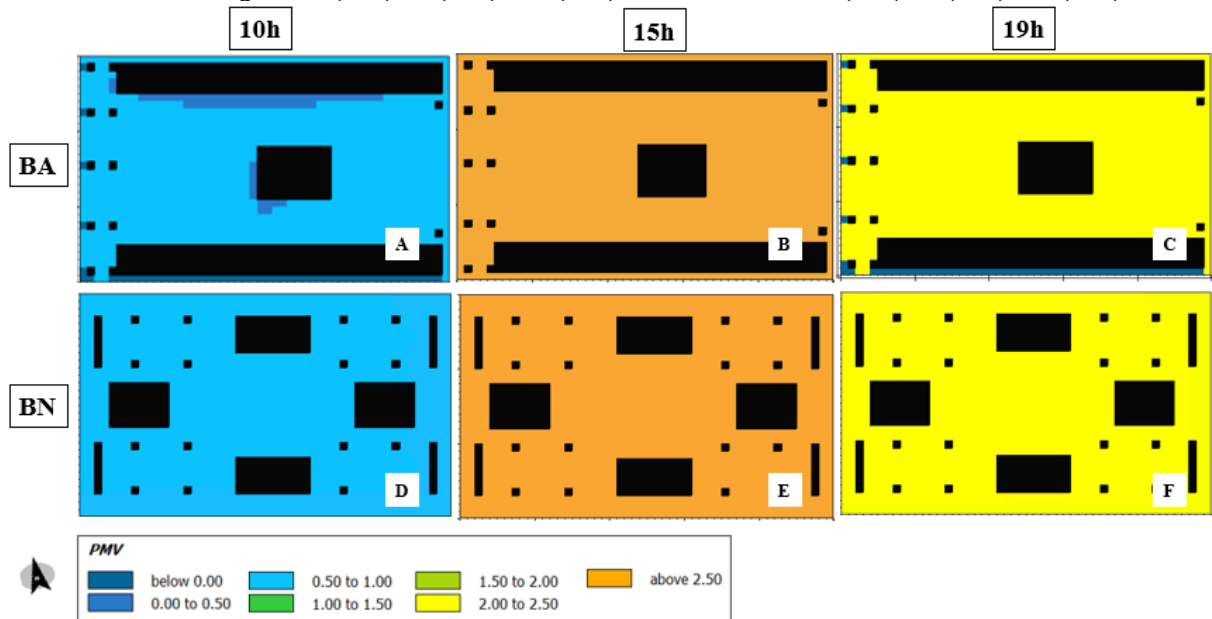
Figura 35 - Prancha de mapas de PMV em planta baixa para o mês de junho de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

No mês de setembro (figura 36), com o planejamento vegetativo, as mudanças foram significativas para os dois locais principalmente no período matutino e vespertino. As 10h, o índice caiu de “pouco quente” para “levemente quente” e as 19h o índice foi de “extremamente quente” ao “muito quente” em ambos os locais. Nenhum dos períodos atingiu o nível “confortável”, isso devido ao de setembro ser mês do ano que as temperaturas em Palmas são bastantes elevadas e por consequência apresentam grandes desconfortos.

Figura 36 - Prancha de mapas de PMV em planta baixa para o mês de setembro de 2021 no Cenário 2: Blocos antigos - A (10h), B (15h) e C (19h); blocos novos - D (10h), E (15h) e F (19h)



Fonte: ENVI-met (2022), organizado pela autora (2022).

Nos dois cenários (tabela 5) foi notável a redução do desconforto ao longo do dia com valores chegando até 0,61 entre eles. Mesmo que os locais continuassem com mesmas faixas, todas conseguiram obter reduções. Em ambos os cenários, o mês de junho se apresentou mais agradável e o período vespertino foi o que obteve maiores níveis de desconforto na faixa de “extremamente quente”, já o matutino foi o que apresentou maiores variações nos dois locais. No cenário planejado as variações dos blocos entre si possuíam valores mais próximos que no cenário anterior, isso pela implantação do planejamento arbóreo semelhante nos locais.

Tabela 5 - Resultados para o índice de PMV nos dois cenários, em 2021.

		PMV					
		28 jun.			20 set.		
		10h	15h	19h	10h	15h	19h
Cenário 1	Bloco antigo	0,50	2,60	2,15	1,03	2,74	2,50
	Bloco novo	0,49	2,57	2,10	1,18	2,60	2,42
Cenário 2	Bloco antigo	0,00	2,53	1,93	0,80	2,59	2,33
	Bloco novo	-0,12	2,45	1,95	1,00	2,50	2,31

Fonte: ENVI-met (2022); organizado pela autora (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O foco da pesquisa se deu em realizar análises comparativas de simulações realizadas no software ENVI-met para verificar os efeitos microclimáticos da vegetação na edificação escolar do campus Palmas do IFTO, avaliando o conforto térmico dos estudantes entre os entornos dos blocos antigos e dos blocos novos.

Através dos resultados das simulações notou-se diferenças entre um cenário e outro obtendo reduções nos três parâmetros analisados, a temperatura sofreu uma redução até 1,56°C, a umidade relativa do ar aumentou em até 4,22% e o nível de conforto térmico que variou do “extremamente quente” até o “confortável”. Com base nesses resultados, verificou-se que a vegetação é uma importante aliada como estratégica para melhorar os ambientes externos, isso porque “mitiga o aquecimento urbano não por resfriar o ar, mas por se aquecer menos do que as superfícies inertes” (DUARTE, 2015).

Logo, a aplicação da vegetação não é capaz de solucionar todo o desconforto da escola, mas ela apresenta uma boa solução para melhorar o microclima escolar e contém grande vantagem para amenizar o estresse térmico causado por calor aos alunos, assim o horário de melhor conforto para os estudantes no campus é no período matutino, visto que é um turno no qual a temperatura e o índice de conforto são mais baixos que os demais chegando ao confortável no mês de junho. Enquanto o turno vespertino, seja o período com maiores temperaturas superando 38 °C às 15h no mês de setembro.

O papel da vegetação no campus é essencial, pois através dos estudos no ENVI-met foi possível visualizar como seu uso pode melhorar as condições microclimáticas do local. No entanto, mesmo que o campus contenha uma quantidade considerável de área verde que contém muita superfície exposta (terra aparente) e vegetação baixa (grama), há lugares que precisam de mais atenção nessa questão, como os entornos das novas edificações mais utilizadas e em áreas de vivência.

Ainda, quanto ao uso do software ENVI-met que apesar de suas limitações da versão gratuita, mostrou-se acessível para modelar e simular ambientes urbanos em suas interações com o meio, conseguindo avaliar o microclima em diferentes escalas do espaço urbano com dados próximos aos dados do INMET. O mesmo é disponibilizado sem custos, mas precisar ser utilizado com atenção, observando a inserção correta dos dados ao programa, a análise dos

modelos de vegetação existentes no banco de dados do software e a área a ser modelada devido ao limite permitido pelo programa.

Ao considerar a vegetação como uma vantagem para o conforto térmico no ambiente escolar, recomenda-se que o estudo do planejamento arbóreo seja abordado e inserido no projeto das escolas conforme as necessidades de cada região, pela vantagem de melhorar no desempenho dos alunos visto que o conforto influencia de forma significativa no bem estar do mesmo.

Logo, tanto a vegetação como o software se mostraram eficazes para compreender o conforto térmico dos alunos no campus ao longo dos dias simulados, pois permitiu a visualização em como os efeitos do microclima de Palmas pode interferir no desempenho dos alunos devido as suas altas temperaturas e períodos secos principalmente no vespertino.

Assim sendo, esse trabalho tem o potencial de contribuir para estudos futuros em ambientes escolares de locais afetados pelo microclima. Para novos estudos aconselha-se estudar a influência da vegetação no conforto térmico em outras áreas do campus, comparando diferentes quantidades e disposições das árvores, levando em consideração a localização e tipologia das edificações afim de propor um planejamento arbóreo para o campus.

REFERÊNCIAS

- ANGELINI, Pablinne; UGEDA, José. Conforto térmico em ambiente escolar na cidade de Cuiabá – MT: um estudo de caso da escola municipal professora Maria Dimpina Lobo Duarte. **BG Journal**, Ituiutaba, v.11, n.1, p. 145-176, 2020.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2010.
- ATAÍDE et al. Interação árvores e vento: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 523-536, 2015
- ANDRADE, Paulo; ROMERO, Marta. **Análise do desempenho térmico dos materiais superficiais do contexto urbano do SIA/ DF**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo - Paranoá, 2018.
- BARBIN, Eduardo; SPANÓ, Júlio; PÉCORA, Jesus. **Unidades Métricas Correlacionadas à Temperatura**. Laboratório de Pesquisa em Endodontia da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto -USP, 2005.
- BORGES, Marcus. **Influência do ambiente construído no microclima urbano** – estudo de caso no campus da Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação (Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- CABRAL, José. **Relato técnico-científico**. Fundação Universidade do Tocantins. Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação. Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos. Palmas, 2016.
- CAIRRÃO, Giselly. **Conforto térmico no ambiente escolar**: uma análise metacognitiva com aplicação da cortina térmica sustentável. Dissertação (Pós-Graduação em Rede Nacional de Ensino das Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- CAMPOS, Maíra. **O uso do ENVI-met na análise microclimática urbana: a praça Afonso Pena – Tijuca, RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- CARDOSO, Marcos. **Plano de Monitoramento dos recursos hídricos superficiais – Palmas, TO – Brasil**. Dissertação (Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para Gestão Municipal de Recursos Hídricos), Palmas, 2018.
- DIAS, Adriana. **Avaliação das condições de conforto térmico e acústico de salas de aula em escola de tempo integral – estudo de caso da escola Padre Josimo em Palmas TO**. Brasília – DF, 2009.
- DUARTE, Denise. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano**. Tese (Livre docência – Departamento de Tecnologia e Arquitetura) – FAUUSP, São Paulo, 2015.
- ENVI-MET. **Programas**. Palmas. Disponível em: <https://www.envi-met.com/software/>. Acesso em: 20 fev. 2022.GOOGLE.

FORSDYKE, A. G. **Previsão do tempo e clima**. São Paulo: Melhoramentos, 1981, 159 p.

Google Earth. Version 7.3.0.3832 (64-bits). 2017. Palmas, TO. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-10.19949814,-48.31147899,282.52982326a,935.93732835d,35y,51.02031675h,10.82973432t,0r>. Acesso em: 21 fev. 2022.

GOMES, Bárbara; SILVA, Caio. **Análise comparativa da vegetação urbana e o seu impacto no conforto térmico na escala local**. Caso do Distrito Federal – DF. ENSUS - VIII ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, p. 46-56, Palhoça, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. Censo Brasileiro de 2011. Palmas: IBGE, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. Cidades. IBGE, 2022.

IFTO - INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS. **Apresentação institucional - Campus Palmas**. Palmas, 2022. Disponível em: <http://www.ifto.edu.br/palmas/acesso-a-informacao-palmas/institucional>. Acesso em: 10 fev. 2022.

IFTO - INSTITUTO FEDERAÇÃO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS. CAMPUS PALMAS. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA. **Relatório de Gestão Resumido–2010/2018**. Instituto Federação de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2018.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – **INMET**. Tabela de dados das estações. Palmas - TO, 2022.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**. Thermal environments instruments and methods for measuring physical quantities. Geneva, 1998.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**: ergonomics of thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Geneva, 1995.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2005.

KOWALTOWSKI, Doris; LABAKI, Silvia. **Conforto e ambiente escolar**. Cadernos de Arquitetura. Bauru, DAUP/FAAC/UNESP, n. 3 jul./dez. 2001.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress Térmico**. Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Editora Eletrobras/ PROCEL, 2014.

LAMBERTS, Roberto. *et al.* **Desempenho térmico em edificações**. 2016. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

LIMA, Joeslan. **Dinâmica Climática, Queimadas e Doenças respiratórias em Palmas – TO**. Dissertação (Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.

NASCIMENTO, Luna; SILVA, Caio. **O conforto térmico em áreas escolares: análise da vegetação por meio do ENVI-met**. International Building Performance Simulation Association, Argentina, 2019.

NERES, Danilo; SILVA, Luma; PEREIRA, Miréria. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano em município do Sul do Tocantins**. Research, Society and Development, v. 10, 2021.

NÓBREGA, Ranyére; LEMOS, Thiago. **Microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife**. Revista de Geografia (UFPE), Pernambuco, v. 28, 2011.

OLIVEIRA, A. S. **Influência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, 146f., Cuiabá, 2011.

PREFEITURA DE PALMAS. **Plano de arborização urbana de Palmas**. Palmas, 2016.

PEREIRA, Adriana. **Análise do conforto térmico para usuários de uma Moradia universitária e do desempenho térmico de sua envoltória**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PINHEIRO, ANA. et al. A influência da vegetação no conforto dos usuários em praça pública de vitória – ES. **XII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – Palmas – TO**. Palmas, 2021.

PINHEIRO, Clebio. **A importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima**. Dissertação (Pós-Graduação em Gestão e Educação Ambiental) – Faculdade Montenegro, Petrolina, 2017.

PIRES, Erika, VELOSO, Gabriel. Variação da temperatura de superfície diurna e noturna no município de Palmas – TO. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos**, p. 1449-1452, 2019.

RUAS, Álvaro. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. 2002. Tese (Doutorado em concentração de Saneamento) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ROMERO, M.A.B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Brasília: Editora UnB, 128p, 2000.

ROSSETI, K. de A. C.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. de J. A.; CALLEJAS, I. J. A.; KUHNEN, I. A.; NOGUEIRA, J. de S. Efeitos da incorporação de vegetação em telhados de zona urbana em clima tropical continental. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 2, p. 121–128, 2015.

SANTOS, Juliana. **O uso do PMV para avaliação do conforto térmico em edifício de escritório tipo plano aberto e sua viabilidade de aplicação em clima quente e úmido**.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2018.

SEPLAN - SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DO MEIO AMBIENTE. Diretoria de Pesquisas e Informação (DPI). Regiões - Estado do Tocantins. Palmas: Seplan/DPI, 2001.

SHINZATO, Paulo. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. Dissertação – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 173p. São Paulo, 2009.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 197- 215, 2018.

SILVA, Caio. **O Conforto térmico de cavidades urbanas**: contexto climático do distrito federal. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, Brenda; XAVIER, Tatiana; SILVA, Fabiana; ALVAREZ, Cristina. **O impacto da distribuição de vegetação no microclima de ambiente urbanos**. Portugal, 2015.

SOUZA, Lucas B. Novas cidades, velhas querelas: episódios pluviais e seus impactos na área urbana de Palmas (TO), primavera-verão 2009/2010. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, Palmas, v.9, n. 1, p. 165-177, 2010.

STRAUB, Karen. **Determinação da temperatura de neutralidade em salas de aula do ensino superior para as zonas bioclimáticas do estado de mato grosso**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Cuiabá. Cuiabá, 2016.