



Características térmicas e de conforto térmico em um campus universitário na Região Metropolitana de São Paulo

Thamiris Cañadas Cunico ¹, Maria Cleofê Valverde ^{2*}

¹Engenheira Ambiental e Urbana, Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil.

²Doutora em Meteorologia, Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil. (*Autor correspondente: maria.brambila@ufabc.edu.br)

Histórico do Artigo: Submetido em: 29/01/2026 – Revisado em: 04/03/2026 – Aceito em: 25/03/2026

RESUMO

Um dos fenômenos do clima urbano mais evidentes nos grandes centros urbanos é a ilha de calor intraurbana (ICIU), que representa uma versão mais concentrada do efeito mais amplo das Ilhas de Calor Urbanas. Isto é, em uma área urbana é possível encontrar áreas significativamente mais quentes do que outras, com influência direta da estrutura vertical das construções, da composição material, das avenidas com grande tráfego e dos rios urbanos. Nesse sentido, conhecer o campo térmico em diferentes escalas espaciais, desde a regional até a de edifícios individuais, é importante para o planejamento e definição de modelos urbanos sustentáveis. O presente trabalho teve por objetivo avaliar as características térmicas, de umidade do ar e de conforto térmico a céu aberto do campus da Universidade Federal do ABC em Santo André, Região Metropolitana de São Paulo. Os métodos incluíram medidas observacionais de variáveis atmosféricas in situ (métodos de transectos e pontos fixos) em locais com diferentes materiais de revestimento do solo. Também se elaborou um mapa de potencial térmico com base na estrutura física do Campus. Os resultados mostraram áreas específicas que representam núcleos de ICIU com intensidades de até 6,16°C (às 17h) em dias quentes da primavera, quando comparadas às áreas arborizadas do Campus, o que define níveis de estresse térmico conforme os índices avaliados. Situações como essas geram desconforto extremo para a comunidade que frequenta o campus. Uma gestão sustentável dos espaços abertos do Campus deve ser prioridade para minimizar os riscos da população universitária ao calor extremo.

Palavras-Chaves: Ilhas de Calor Intraurbana, Stress Térmico, UFABC.

ABSTRACT

The intra-urban heat island (IUHI) phenomenon constitutes a significant urban climate challenge in large metropolitan regions, reflecting a localized intensification of the broader Urban Heat Island effect. Specific urban zones demonstrate markedly higher temperatures, shaped by variables such as building height, material composition, major roadways, and proximity to urban rivers. A comprehensive understanding of the thermal field at multiple spatial scales, from regional contexts to individual buildings, is vital for informed planning and the advancement of sustainable urban models. This study assessed the thermal characteristics, air humidity, and outdoor thermal comfort of the Federal University of ABC campus in Santo André, within the São Paulo Metropolitan Region. The methodology comprised in situ observational measurements of atmospheric variables, employing both transect and fixed-point approaches at locations with diverse ground cover materials. A thermal potential map was also produced, reflecting the campus's physical structure. Results identified IUHI cores, where temperature intensities reached up to 6.16°C at 5 PM on hot spring days, relative to the campus's wooded areas. These conditions correspond to high levels of thermal stress as indicated by the evaluated indices, resulting in substantial discomfort for the campus community. Consequently, prioritizing sustainable management of open spaces is essential to mitigate the risks associated with extreme heat for the university population.

Keywords: Intra-urban Heat Islands, Thermal Stress, UFABC.

Cunico, T. C., & Valverde, M. C. (2026). Características térmicas e de conforto térmico em um campus universitário na Região Metropolitana de São Paulo. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.8, n.1, p.139-161.



Direitos do Autor. A Meio Ambiente (Brasil) utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

1. Introdução

Desde a Revolução Industrial, observam-se o crescimento acelerado das cidades e o aumento da urbanização. De acordo com o relatório da ONU-Habitat as áreas urbanas já abrigam 55% da população mundial, e esse número deve crescer para 68% até 2050. No Brasil, de acordo com o mesmo relatório, em 2015 a maior parte da população, 85,15%, vivia em áreas urbanas, e em 2020 essa porcentagem aumentou para 87,1%. Já em 2025 essa porcentagem será de 88,2% (UN-HABITAT, 2020).

A expansão desenfreada das áreas urbanas tem profundas implicações para o consumo de energia, as emissões de gases de efeito estufa, as mudanças climáticas e a degradação ambiental (UN-HABITAT, 2020). O aumento da aglomeração de pessoas em determinadas regiões faz com que haja uma transformação significativa do espaço geográfico, onde há mudanças no uso e ocupação do solo, o que frequentemente ocasiona a impermeabilização do solo urbano em substituição às áreas verdes por construções, aumentando assim, a rugosidade da superfície pelo adensamento dos edifícios e a verticalização que alteram o microclima desses ambientes (Santos et al., 2011; Oke, 1997; Oke et al., 2017; Amorim, 2024).

O processo de modificação do espaço pelo homem tem impacto direto na qualidade de vida da população e no meio ambiente, além de contribuir para a ocorrência de fenômenos como alagamentos, inundações, deslizamentos e alterações no clima. Neste último, observa-se a criação de um clima específico das áreas urbanas, denominado clima urbano, definido por Monteiro (2009) e Oke et al., (2017) como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

Um dos fenômenos mais evidentes entre as alterações climáticas causadas pelo clima urbano é a Ilha de Calor Urbana (IC), que é um “oásis inverso”, onde o ar e as temperaturas nas áreas urbanas são mais quentes do que em áreas rurais circundantes. A intensidade da IC, que é a diferença entre as temperaturas do ar urbano e rural, varia ao longo do dia e da noite. IC não causam apenas desconfortos térmicos, suas temperaturas mais elevadas têm sérios efeitos e impactam não somente o clima local e regional, como também os recursos hídricos, a qualidade do ar, a saúde, o funcionamento dos ecossistemas, além de induzir a poluição fotoquímica e criar padrões de circulação do ar que favorecem a dispersão de poluentes para longe da cidade (Gartland, 2010; Coutinho et al., 2015; Chen et al., 2023; Lopes et al., 2025).

Como citado anteriormente, a introdução de novos materiais de superfície, a criação do dossel urbano (camada de edifícios), grandes construções e estruturas urbanas, como shoppings, prédios e universidades, em determinadas regiões alteram o microclima, a temperatura do ar e da superfície, criando núcleos de IC entre suas construções, com características térmicas diferenciadas. Estas são as chamadas ilhas de calor intraurbanas (ICIU), ou áreas dentro de uma cidade que são mais quentes do que as demais. Esse conceito surge devido às diferenças significativas de temperatura dentro da extensão das IC devido a uma distribuição desigual de edifícios e calçadas que absorvem calor (Landicho & Blanco, 2019; Bruns & Simko, 2017; Kousis et al., 2021), e por isso precisa ser estudado e analisado a fim de mitigar seu desenvolvimento, expansão e efeitos nocivos para a população.

Nesse contexto, pesquisas têm sido direcionadas ao estudo das ICIU considerando áreas urbanas de menor escala espacial, como, por exemplo, municípios, bairros, ruas e campus universitários. Silva et al. (2016) analisaram as IC no campus universitário do Litoral Norte da Paraíba e encontraram resultados que evidenciaram a formação de ICIU com intensidades mais expressivas (4,9 °C) para o mês de janeiro e em áreas do campus mais impermeabilizadas durante o período de estiagem. Rocha et al., (2011) analisaram as ICIU noturnas em avenidas marginais a um córrego urbano, em São José do Rio Preto, São Paulo. Os autores verificaram uma diferenciação do comportamento térmico das áreas estudadas ao longo do eixo do córrego, em que as áreas com maior ocupação por construções e com maior pavimentação nas ruas e quadras perderam menos calor, levando à formação de ilhas de calor noturnas mais intensas. Nakata-Osaki et al. (2021) analisaram a relação da geometria urbana, relativa à altura das edificações e à largura da via (parâmetro H/W), com a formação das ilhas de calor, em um recorte no bairro Jardim, próximo ao centro do município de Santo

André – SP (Brasil). Os autores encontraram que, quanto maior o valor de H/W , maior a intensidade da ilha de calor urbana, associada a trechos de intensidade máxima acima de $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que permitiu concluir que a verticalização tem um impacto direto nas condições térmicas da região.

Ainda, é necessário diferenciar as IC atmosféricas e as de superfície, embora as duas denotem o incremento da temperatura em áreas urbanas, elas apresentam características específicas, a atmosférica mede o incremento das temperaturas do ar nos diferentes ambientes (urbano, intraurbano e rural), com picos de intensidade entre os horários das 14h às 18h (Valverde et al., 2020; Silva et al., 2016) ou no período noturno (Amorim, 2019; Silva et al., 2016). Isso varia dependendo da época do ano na qual se avalia a intensidade da IC. Por outro lado, a de superfície é o resultado do calor emitido pelos diferentes tipos de superfícies que compõem uma área urbana ou rural, com picos de intensidade noturna (Amorim, 2019; Kousis et al., 2021).

A presente pesquisa tem como área de estudo o campus da Universidade Federal do ABC (UFABC), no município de Santo André (SA), que se localiza no ABC Paulista, no sudeste da Região Metropolitana de São Paulo. Estudos relacionados com o clima urbano no ABC Paulista têm sido realizados por Valverde et al. (2020), e no que se refere à IC atmosférica, predomina uma maior intensidade desse fenômeno na primavera, com um valor médio de $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estudos que identificaram ICIU em Santo André - SA (Simeão e Scopel, 2016; Amaral, 2020; Nakata-Osaki et al., 2016; Nakata-Osaki et al., 2021) e São Bernardo do Campo - SBC (Simões et al., 2019) encontraram a magnitude da IC com base na geometria urbana e nas características atmosféricas, respectivamente.

Amaral (2020) relaciona a magnitude da IC no município de SA com a geometria urbana, identificando que em vias mais estreitas com geometrias mais homogêneas, com menor variedade de alturas, sejam com edificações de mais ou menos pavimentos, tendem a mostrar uma intensidade maior da IC. Já vias mais heterogêneas apresentam uma magnitude menor, provavelmente pela influência da geometria na circulação dos ventos e na exposição da via ao sol e à sombra, alterando o padrão de absorção da radiação solar.

O estudo de Simões e Scopel (2017) analisou dados de temperatura do ar para os verões dos anos de 2010 a 2017 para identificar a IC atmosférica no município de SA. A máxima magnitude encontrada foi de $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o mês de fevereiro de 2014, concentrando-se preferencialmente no setor norte do município. Os autores ressaltaram que a magnitude da ilha de calor apresentou marcante variabilidade espaço-temporal, influenciada pelo comportamento de outras variáveis atmosféricas que interferem na ocorrência do fenômeno como, por exemplo, a velocidade dos ventos na região e interferência da brisa marítima e a nebulosidade que influencia na radiação solar que é retida e liberada, além de que pode ser encontrado mais de um núcleo de IC devido às características térmicas da superfície e do tipo de uso e ocupação do solo (Simeão e Scopel, 2017).

Com base nos estudos citados, compreende-se que vários são os aspectos que influenciam a magnitude da ICIU, porém, quanto menor é a escala espacial e, conseqüentemente, a área de estudo, mais parâmetros devem ser incluídos para a análise. Na microescala (50 m – 200 m) ou na escala local (1,5 km) o tipo de revestimento das superfícies, seja das construções ou das pavimentações, impacta a temperatura da superfície e a do ar (Mizuno et al., 1990), sendo que as principais características dos materiais urbanos que modificam o microclima são o coeficiente de absorção da radiação solar, capacidade de armazenar calor (inércia térmica) e índice de permeabilidade (Almeida, 2006). Todas elas influenciam como o calor se dissipa, se concentra e se armazena no espaço urbano.

Outro fator que se destaca na ICIU é o Cânion Urbano, que é uma unidade da superfície urbana e é composto por duas superfícies verticais de altura (H) e por uma superfície horizontal (W), que representam as fachadas dos edifícios e a via de circulação urbana (ruas, avenidas etc.), respectivamente. A relação entre H/W geralmente é utilizada para cálculo de fluxos de ar, efeitos térmicos e acesso solar (Aguiar et al., 2017; Nakata-Osaki et al., 2016).

Nesse contexto, o presente estudo tem como principal objetivo identificar as características térmicas nas áreas abertas do campus da Universidade Federal do ABC (UFABC), em Santo André, São Paulo, identificando as ilhas de calor intraurbana (ICIU) atmosféricas e o conforto térmico, a fim de localizar pontos

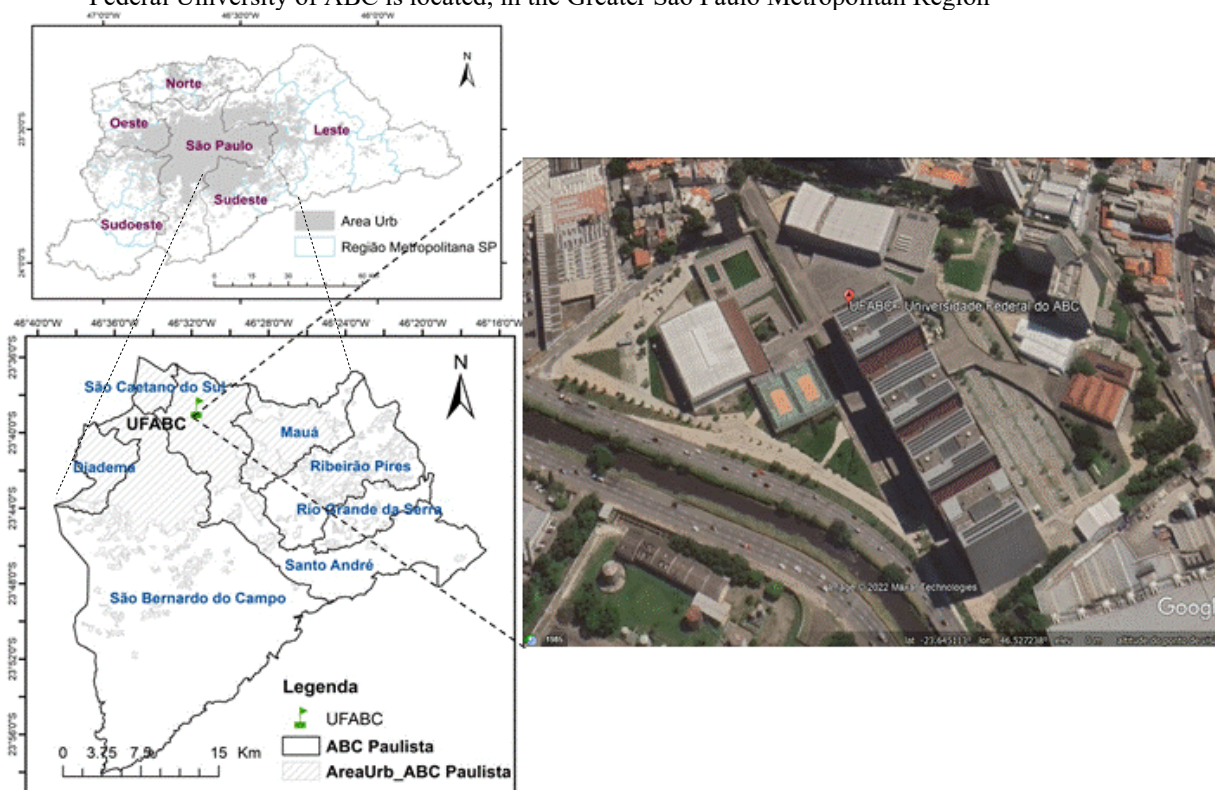
críticos de maior risco térmico que podem afetar principalmente o conforto da população universitária. Os resultados desta pesquisa visam contribuir para a gestão sustentável do campus em época de emergência climática.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o espaço da Universidade Federal do ABC (UFABC), no campus localizado no município de Santo André, na zona sudeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A figura 1 mostra a localização do campus em Santo André e no ABC Paulista.

Figura 1 – Localização geográfica do município de Santo André no ABC Paulista, onde está inserida a Universidade Federal do ABC, na RMSP
 Figure 1 – Geographic location of the municipality of Santo André in the ABC Paulista region, where the Federal University of ABC is located, in the Greater São Paulo Metropolitan Region



Fonte: Os autores
 Source: The authors

A universidade está localizada no bairro Santa Terezinha, local predominantemente residencial e comercial, próximo de grandes construções, como supermercados, lojas de material de construção, estações de trem, terminal de ônibus e um shopping. A UFABC também se encontra ao lado da Avenida do Estado, local com grande tráfego de veículos, além de se encontrar circunvizinha a indústrias, sendo a Rhodia a mais próxima e com o Polo Petroquímico de Capuava, se encontrando cerca de 6,0 km de distância. O campus foi construído na várzea do rio Tamanduateí, assim como todas as indústrias próximas, como é o caso da Rhodia.

2.2 Dados e Métodos

Para o estudo do campo térmico, da intensidade das ICIU e do conforto térmico, foram utilizados dados da Temperatura do ar (°C), Umidade Relativa do Ar (%) e Temperatura do Ponto de Orvalho (°C), obtidos através de medições pontuais e diárias, realizadas por termo-higrômetros da marca HOBO.

Para as medições pontuais, foram utilizados dois aparelhos do modelo MX 2301, já para as medições diárias, além dos aparelhos já citados anteriormente, também foram utilizados outros dois termo-higrômetros HOBO modelo U23-00. Os termo-higrômetros foram disponibilizados pelo Laboratório de Integração de Sistemas Ambientais e Urbanos – Seco (ISAUseco) da UFABC.

A fim de se obter a localização dos pontos de amostra, foi necessário determinar as coordenadas geográficas dos locais onde os dados foram coletados. Para isso, foi utilizado o aplicativo “Get Geo-Coordinates”, que forneceu a localização aproximada de cada ponto, com suas respectivas latitudes e longitudes.

Na identificação das características térmicas e ICIU, a metodologia combina a caracterização do meio físico e o mapeamento da temperatura e da umidade no campus da Universidade. Para o mapeamento da temperatura e umidade, inicialmente, os quatro termo-higrômetros foram calibrados com base nos registros de uma estação meteorológica automática (EMA), pelo período de uma semana, para posteriormente os registros dos termo-higrômetros serem comparados com os dados da EMA. Posteriormente, métricas de validação (como a correlação de Pearson, o erro médio e o erro quadrático médio) e o método de correção (*Direct Approach*) foram aplicados (Wilks, 2006; Lenderink et al., 2007; Oliveira et al., 2015) para garantir que não existam desvios de medições entre os termo-higrômetros.

2.2.1 Mapeamento e identificação do meio físico no campus

Para a identificação do meio físico, utilizaram-se os parâmetros de porcentagem de área construída, área verde, água, assim como o tipo de estrutura da construção. Essas informações apresentadas foram importantes para implementar a metodologia desenvolvida por Ferreira (2014) que consiste em integrar uma análise teórica, quantitativa e qualitativa, a fim de se obter uma identificação de áreas potencialmente quentes e frias em função da geometria, da estrutura e das formas urbanas do campus. O método consiste em classificar cada um dos parâmetros (Tabela 1) com um “potencial térmico” que definirá a interferência de cada um deles na temperatura do ar do campus.

A partir dessas informações, foram atribuídos pesos de 0 a 5 aos parâmetros, de acordo com o impacto deles na ICIU. O maior peso (5) se associa à maior influência da variável para a contribuição na ilha de calor.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados para a definição do potencial térmico
Table 1 – Parameters used to define the thermal potential

Parâmetros básicos	Parâmetros temáticos	Parâmetro Síntese
Altura das Edificações	Massa Construída	Potencial Térmico
Distância das Edificações	Fator de visão do céu	
Cânions Urbanos	Sombreamento	
Revestimento das edificações e pavimentos	Albedo	
Cor das edificações e pavimentos	Emissividade	
Tipo de cobertura das edificações		
Área das áreas verdes e água	Áreas verdes e água	

Área de Influência	Taxa de impermeabilização
Tipo de área verde e água	

Fonte: Adaptado de Ferreira (2014).

Para a elaboração do mapa foram utilizadas as mesmas coordenadas verificadas no transecto móvel, que serão mostradas na continuação. Em seguida, para cada ponto foram dados diferentes pesos para cada fator (água, albedo, áreas verdes, emissividade, massa construída e taxa de impermeabilização).

Para determinar o peso atribuído àquela coordenada geográfica, foi determinada uma área de 50 m² a fim de se verificar se o fator observado estava presente e a porcentagem de sua presença. O mesmo procedimento foi realizado para cada um dos parâmetros, em que cada um deles teve um peso diferente. Com os pesos determinados para cada fator em cada área, os dados foram georreferenciados através do software QGIS, onde para cada fator foi elaborada uma camada de interpolação. Por fim, juntaram-se todas as camadas para se obter o peso total, a partir da média dos pesos de cada local.

2.2.2 Mapeamento das características térmicas e de umidade

2.2.2.1 Transecto móvel

O transecto foi realizado a pé e os percursos que foram percorridos foram analisados previamente, cobrindo quase na sua totalidade as áreas abertas do campus. Em alguns setores não foram necessariamente linhas retas devido à irregularidade das construções do campus.

No percurso do transecto foram utilizados os termo-higrômetros ao redor e dentro de toda a universidade, em espaços abertos, para obter as medições de temperatura, umidade relativa do ar e ponto de orvalho. Os pontos do transecto são apresentados na figura 2, onde as coordenadas de cada ponto obtiveram-se do “Get Geo-Coordinates”, detalhado na seção anterior.

Figura 2 – Pontos de medição para o transecto no campus da UFABC em Santo André
Figure 2 – Measurement points for the transect on the UFABC campus in Santo André



Fonte: Os autores
Source: The authors

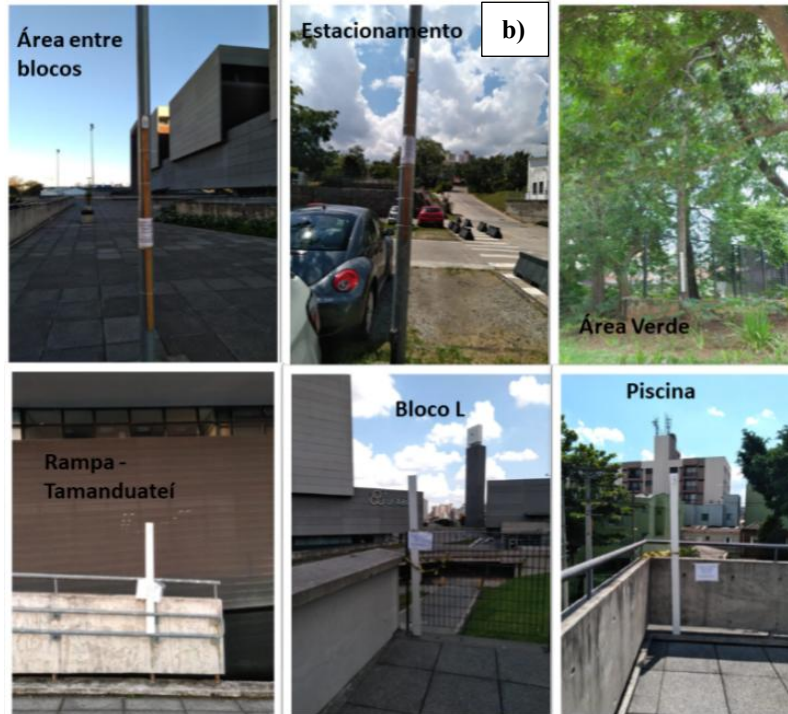
As medidas foram realizadas em dois horários em um mesmo dia, sendo o primeiro às 14h e o segundo às 18h, nos dias 06 e 13 de março de 2020. Durante o transecto, as medições foram a cada 15 segundos e os dados foram gravados no sensor e acessados por *bluetooth* em formato de planilha *xlsx*. Em seguida, foram combinados os horários obtidos nos dados dos termo-higrômetros e no GPS, para se identificar o local em que as medidas foram observadas.

2.2.2.2 Medidas Fixas

Em uma segunda forma de análise, foram escolhidos pontos específicos dentro do campus e fixados os termo-higrômetros, a uma altura de 2 m por períodos de 5 a 7 dias, programados para realizar as medições a cada 15 minutos, a fim de comparar os registros de temperatura e umidade entre os pontos. Os pontos foram escolhidos (Figura 3a) de acordo com as características físicas, material construído e distância de áreas de vegetação ou água, sendo estes a quadra esportiva, piscina, área aberta próxima ao Bloco L, estacionamento, área com vegetação, áreas abertas entre os Blocos e rampa próxima ao Rio Tamandateí mostrados na Figura 3b.

Figura 3 – Pontos de medição para os ciclos diurnos de temperatura e umidade
Figure 3 – Measurement points for the diurnal temperature and humidity cycles





Fonte: Os autores
Source: The authors

Assim, foram realizados cinco registros com duração entre cinco e sete dias, os quais foram denominados de experimentos (Figura 3), dois no verão (17/03/2020-22/03/2020 e 29/12/2020-04/01/2021), um no final do inverno (28/08/2020-02/09/2020) e dois no final da primavera (02/12/2020 – 09/12/2020 e 11/12/2020-18/12/2020).

2.2.2.3 Identificação da ICIU e sua intensidade

Para o cálculo da intensidade da ilha de calor (ΔT) intraurbana utilizaram-se os dados horários obtidos nos pontos fixos ao longo do dia por meio da equação 1, derivada do modelo simplificado de Oke (1997), onde $\Delta T_{(urb, rur)}$ corresponde à diferença de temperatura entre uma área urbana e uma área rural.

$$\Delta T_{(urb, rur)} = T_{urb} - T_{rur} \quad (1)$$

Porém, como se está trabalhando em uma área totalmente urbana, onde está localizado o campus, e não se têm uma área rural (T_{rur}), mas se tem locais com características térmicas mais frias (i.e., áreas vegetadas), foi adaptado o cálculo do ΔT , que foi a diferença entre áreas mais quentes e menos quentes do campus, detectados a partir da construção do ciclo diurno das temperaturas horárias.

2.2.2.4 Cálculo do conforto térmico

Para o cálculo do conforto térmico, foram calculados o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e o

Índice de Desconforto Humano (IDH) a partir dos dados obtidos nas medições diárias. O ITU é um dos índices utilizados para ambientes abertos que permitem quantificar o “estresse” no ambiente urbano (Barbirato et al., 2007). A equação 2, utilizada para a obtenção do ITU, foi apresentada por Barbirato et al. (2007) e expressa a relação entre esse índice e as variáveis de Temperatura do ar (T_a), em °C, e umidade relativa do ar (UR) em %.

$$ITU = 0,8 * T_a + \left(\frac{T_a * UR}{500} \right) \quad (2)$$

Também, foi calculado o Índice de Desconforto Humano (IDH) que define em dado grau qual o efeito do desconforto térmico no indivíduo e foi proposto por Ono e Kawamura (1991). Os autores apresentaram a equação em seu estudo sobre áreas tropicais e o centro-sul da China tendo um bom aproveitamento para áreas de clima quente e úmido. A equação 3 do IDH relaciona a T_a e a Temperatura do Ponto de Orvalho (T_d), ambas em °C.

$$IDH = 0,99 * T_a + 0,36 * T_d + 41,5 \quad (3)$$

Os limites de classificação para o ITU e o IDH para os níveis de conforto são apresentados na Tabela 2. Ambos os índices foram calculados, a fim de se avaliar o conforto térmico e comparar os dois métodos.

Tabela 2 - Critérios de Classificação dos índices ITU e IDH
Table 2 - Classification Criteria for the ITU and HDI indices

ITU	Nível de Conforto	IDH	Efeitos
21 < ITU < 24	Confortável	IDH > 80	Estresse devido ao calor
24 < ITU < 26	Levemente Desconfortável	75 > IDH > 80	Desconfortável devido ao calor
ITU > 26	Extremamente Desconfortável	60 > IDH > 75	Confortável
Fonte: Adaptado de Nóbrega e Lemos (2011)		55 > IDH > 60	Desconfortável devido ao frio
		IDH < 55	Estresse devido ao frio
Fonte: Adaptado de Ono e Kawamura (1991)			

3. Resultados e Discussão

3.1 Mapeamento e identificação do meio físico

O campus possui 76.950,35 m² de área, com uma área construída de 67.302,71 m² (87,46%), e a sua estrutura com a altura dos Blocos é mostrada na Figura 4a. O campus é composto pelos Blocos A (que conta com três torres), B (uma torre), Biblioteca (Bloco C), Restaurante Universitário (Bloco D), Centro Esportivo (Bloco E), Bloco F (próximo às piscinas), Laboratórios (Bloco L) e a Torre do Relógio juntamente à Avenida dos Estados. O espaço também conta com áreas de convivência, estacionamento, duas quadras e duas piscinas. As áreas de corpos de água (piscina e espelho d'água) constituem uma área de 1.585,11 m² (2,06%) e as áreas verdes de 8.062,53 m² (10,48%). Essas informações estão disponíveis no site da universidade.

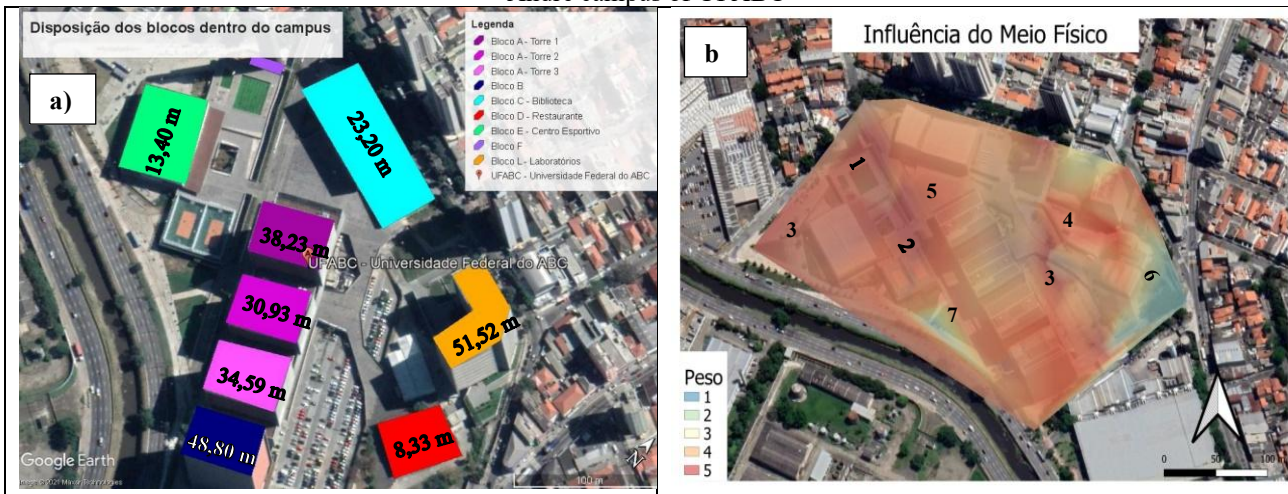
O campus possui um total de 15.523,37 m² de área permeável e 61.426,98 m² de área impermeável. Esses dados foram estimados com a ferramenta régua do *Google Earth Pro*. É importante destacar que os resultados de medição são estimativas, podem não ser 100% precisos e não substituem as medições no local.

No entanto, as áreas identificadas foram visitadas *in situ*. As áreas permeáveis são locais onde há absorção ou escoamento de água, como, por exemplo, onde há vegetação, e a área do estacionamento que não possui um piso impermeabilizado é coberta com pedregulho, pois foi idealizada para que houvesse escoamento e absorção da água da chuva, já as áreas impermeáveis são os locais onde o solo é pavimentado (Cunico, 2021).

Tendo como base as informações apresentadas nesta seção, bem como os pesos e variáveis determinadas conforme explicado na metodologia (Tabela 1), foi elaborado o mapa temático do potencial térmico mostrado na Figura 4b.

Figura 4 – Identificação da estrutura urbana vertical no campus (a) e o mapa do potencial térmico do campus de Santo André da UFABC

Figure 4 – Identification of the vertical urban structure on campus (a) and the thermal potential map of the Santo André campus of UFABC



Fonte: Os autores
Source: The authors

Observa-se que as áreas abertas próximas à piscina (1), à quadra esportiva (2), aos estacionamentos (3), à área próxima ao Bloco L (4) e a uma área entre os Blocos C e A (Torre 1) (5) possuem um maior potencial térmico do que as demais áreas, de acordo com a metodologia aplicada. Já as áreas vegetadas próximas ao restaurante e à Portaria 7 (6) e a parte da rampa próxima ao rio Tamanduateí (7) representam as áreas potencialmente menos quentes (Figura 4b).

As áreas potencialmente mais quentes têm a característica de ausência de áreas verdes, são construídas de material impermeável e de asfalto, são mais afastadas de corpos d'água e estão mais próximas de áreas com maior porcentagem de área construída, onde todos esses parâmetros têm os maiores pesos (Tabela 1).

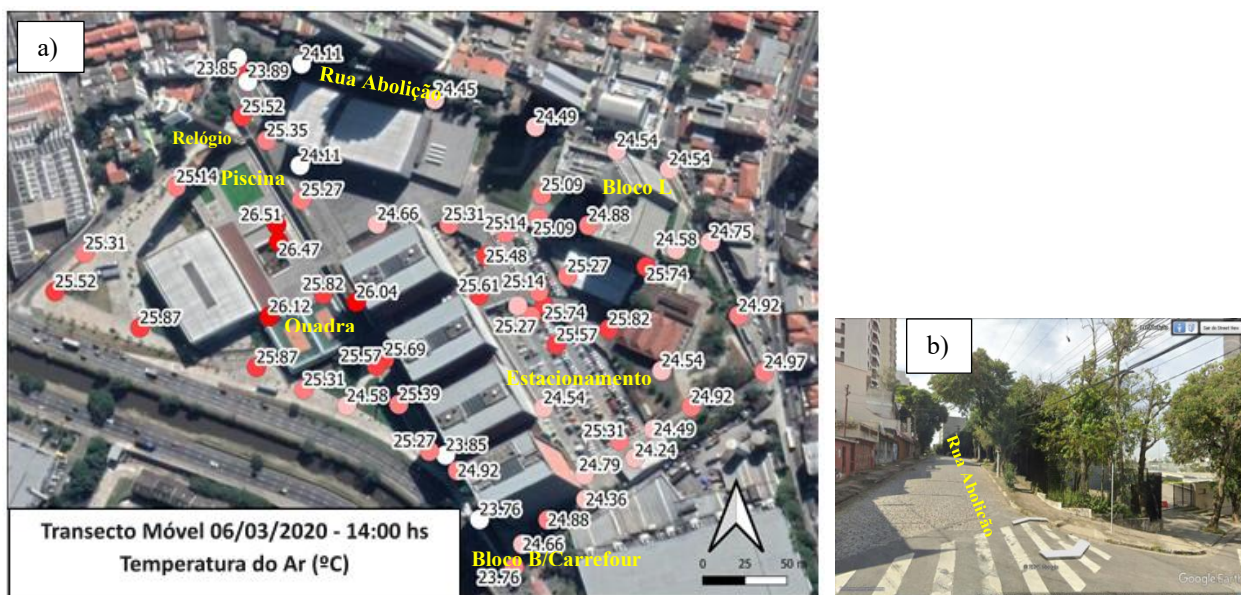
Considerando a área próxima ao Bloco L, ela também está longe de corpos d'água e tem uma alta porcentagem de massa construída. Em contraponto, a área próxima ao restaurante e a Portaria 7, são as áreas de menor peso, isso se deu por ser uma área com porcentagem alta de áreas verdes, para o albedo e a emissividade foi considerada como área vegetada, o que a classifica com peso 1 nos dois quesitos e baixa densidade de área construída.

Outras áreas externas, como a região entre o Bloco B e o início da rampa próxima ao rio Tamanduateí, por exemplo, apesar de não ser uma área arborizada, o chão é coberto de grama, o que a classifica como peso 1 para albedo e emissividade, a densidade de massa construída é baixa e está em um buffer de 50 metros do espelho d'água, que se encontra entre o Bloco B e o Bloco A.

3.2 Identificação das características térmicas através do resultado do transecto móvel

As figuras 5 e 6 apresentam a espacialização dos dados de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente, obtidos durante a primeira medida do transecto móvel realizado no dia 06 de março de 2020, entre as 14h e 15h. As temperaturas entre os diferentes pontos oscilaram entre 23,76 °C e 26,51 °C, sendo a diferença 2,75 °C (Figura 5). A umidade oscilou entre 56% e 63% (Figura 6), com uma diferença de 7%.

Figura 5 - Espacialização das medidas da temperatura do ar (°C) obtida no dia 06/03/2020 às 14h (a) Os círculos indicam a localização da medida. (b) Imagem da Rua Abolição - limite do campus
 Figure 5 - Spatial representation of air temperature (°C) measurements obtained on 06/03/2020 at 2:00 PM (a) Circles indicate the location of the measurement. (b) Image of Abolição Street - campus boundary



Fonte: Os autores
 Source: The authors

Observa-se na Figura 5a que as áreas das quadras esportivas e a área próxima à piscina se encontram mais quentes, com temperaturas oscilando entre 26,04°C e 26,51°C. Essas áreas são abertas e com pouca interferência de sombra das torres do Bloco A ou B. Especificamente, as quadras são áreas totalmente asfaltadas e cercadas por alamedados (fios de arame galvanizado entrelaçados), que estão fixados em estruturas metálicas e envolvem as quadras formando um cercado. Esse tipo de material tem a propriedade de reter e armazenar calor, que logo é emitido e contribui para o aumento da temperatura. Além disso, as pinturas das quadras são de cores mais escuras e, portanto, absorvem mais radiação de ondas curtas, eliminando mais radiação de ondas longas para o ambiente.

Como essas medições foram realizadas às 14h, a radiação acumulada no material do piso das quadras do período entre 10h e 14h está sendo liberada ao ambiente em forma de calor (ondas longas) com um atraso (inércia térmica). Essa pode ser uma explicação do porquê dessa área apresentar as mais altas temperaturas. Por outro lado, o local de menor temperatura foi verificado na área da entrada do Carrefour, próxima ao Bloco B, que nesse horário estava sombreada pelo referido Bloco, atenuando a temperatura.

Outra área, diferenciada nas medidas, que oscilou entre 23,89°C e 24,54°C foi a área que compreende o limite norte do campus com a rua Abolição. Esta rua contorna uma fileira de árvores que definem o limite

do Campus, como pode ser observado na Figura 5b, além de que, do lado oposto da rua, se localizam prédios de até 10 andares que fazem sombra, todos esses fatores contribuem para que essa área seja menos quente, como evidenciado na Figura 5a.

Na Figura 6 observa-se o campo de umidade relativa; a região com maior umidade (63,02%) se encontra próxima à esquina da Rua Santa Adélia com a Abolição.

Figura 6 - Espacialização das medidas da umidade relativa do ar (%). Dia 06/03/2020 às 14:00hs
Figure 6 - Spatial distribution of relative air humidity measurements (%). March 6, 2020 at 2:00 PM.



Fonte: Os autores
Source: The authors

Além disso, toda a área próxima à rua Abolição apresenta umidade relativa maior do que 60%. Essa região, conforme observado na Figura 5b, possui uma fileira de árvores que contribui com a umidade do ar, devido ao processo de evapotranspiração. Já os menores índices de umidade relativa foram encontrados, principalmente, na área externa próxima às quadras na Avenida do Estado se estendendo até o ponto do fretado (estacionamento), na esquina com a rua Santa Adélia, na área interna entre as quadras e a piscina. Todas essas áreas são impermeabilizadas e abertas, com alta incidência de raios solares.

É importante observar também que para todos os pontos medidos próximos à Avenida do Estado, as umidades se encontram relativamente baixas apesar de estarem próximas ao rio Tamanduateí. O único ponto nessa região que apresentou uma umidade relativa mais alta foi em frente ao bloco B.

A segunda medição seguindo o mesmo percurso foi realizada às 18:00 do mesmo dia (06/03), a fim de se entender como as temperaturas e a umidade se comportam em horários mais próximos ao pôr do sol, onde a temperatura do ar tende a cair. Durante o transecto, as temperaturas variaram entre 21,66°C e 19°C nos diferentes locais, ou seja, a diferença foi de 2,66°C. Já a umidade relativa do ar variou entre 77,80% e 67,12%, tendo uma diferença de 10,68%, muito maior que a diferença na amostragem do horário da tarde (14h).

A área entre o Bloco B e o Carrefour foi o local que apresentou as maiores temperaturas, variando entre 21,66°C e 21,10°C. A parte lateral dessa área se encontra em um local com presença de sombra durante a maior parte do dia, devido à presença do Bloco B, mas isso contribui também para que ocorra uma perda radiativa mais lenta quando comparada às áreas mais abertas. Os valores de umidade relativa, nessas mesmas áreas, variaram entre 68,08% e 76,99%.

Por outro lado, a área menos quente foi o estacionamento, onde as temperaturas variaram entre 19°C e 19,3°C. A área do estacionamento passa a parte da tarde com a presença de sombra por conta dos blocos A e B, o que pode ser a possível explicação para essa região apresentar as menores temperaturas nesse horário. Em contrapartida, essa região do estacionamento foi a que apresentou os valores de umidade relativa mais altos, acima de 76%.

Os pontos amostrados na área próxima à Av. dos Estados e ao rio Tamanduateí, no horário das 18h, apresentaram temperaturas mais altas. Fatores como a poluição (gases e aerossóis) que retêm calor emitido pelos carros, além do calor irradiado pelas águas do Tamanduateí nesse horário do dia (devido ao seu calor específico) podem ter contribuído para o aumento da temperatura, porém isso precisa ser melhor comprovado com um maior número de medições.

Uma nova medição foi realizada no dia 13 de março de 2020, seguindo o mesmo percurso do transecto, nos horários das 14h e 18h. Para o horário das 14h, as temperaturas variaram entre 30,71°C e 27,15°C, apresentando uma diferença de temperatura de 3,56°C, esse dia foi mais quente quando comparado com o dia 06 de março. Já a umidade relativa do ar variou entre 67,51% e 58,10% tendo, assim, uma diferença de 9,41%. As áreas que apresentaram as maiores temperaturas, de uma forma geral, foram as mesmas identificadas nas medidas do dia 06/03 às 14h. A quadra esportiva e os arredores da piscina, com temperaturas oscilando entre 30,71°C e 30,16°C. Além da área, próxima à Torre do Relógio e à rua Santa Adélia (30,07°C), área aberta sem vegetação e sombra, com um solo composto todo por asfalto.

Em contraponto, as áreas que apresentaram as menores temperaturas foram a região em frente ao Bloco B e entre ele e o Carrefour, que é um local que se encontra sombreado durante a maior parte do dia, o que diminui a influência dos raios solares e a retenção do calor. O outro local que apresentou as menores temperaturas, assim como a primeira medição do dia 06, foi ao longo da Rua Abolição (Figura 6).

Ao observar os dados de umidade relativa, a região que apresentou o valor mais alto foi em frente ao bloco B, na lateral do mesmo e na extremidade leste do estacionamento, com umidades variando entre 67,09% e 64,63%. Essas áreas estão próximas à Avenida do Estado, ao Rio Tamanduateí e ao Espelho D'água que fica embaixo do Bloco B e tem influência sobre a umidade. Os locais que apresentaram as menores umidades relativas foram próximos ao ponto do fretado (Rua Santa Adélia) e a região entre a piscina e a quadra. A piscina estava quase vazia no dia da medição, além de apresentar as temperaturas mais quentes.

Na última medição do dia 13 de março de 2020 às 18h, o tempo mudou e apresentou uma leve garoa, por esse motivo, houve pouca variação da temperatura, entre 23,03°C e 21,53°C, porém, a umidade relativa foi maior que no dia 06 de março no mesmo horário e variou entre 85,50% e 78,70%, com uma diferença de 6,80%. Os pontos que apresentaram as maiores temperaturas e menor umidade relativa foram novamente a região lateral entre o Bloco B e o Carrefour, a extremidade leste do estacionamento e ao longo da Rua Oratório, desde a portaria 7 até a esquina com a Rua Abolição, com temperaturas entre 23,03°C e 22,26°C. Durante o período da tarde, a maior parte dessa área não possui sombreamento, o local é composto majoritariamente de material impermeabilizante, o que contribui para a incidência e armazenamento de calor. Também, a Rua Oratório possui um intenso fluxo de carros durante o período, o que contribui para o aumento da temperatura na região.

Para os valores de umidade relativa obtidos durante o percurso, no dia 13 de março de 2020 às 18:00h, observou-se que a região em que se obtiveram as maiores umidades relativas, entre 85,05% e 84,60%, foi na região central da universidade, entre o estacionamento, a passarela e a lateral do bloco A. Outro local que apresentou altas umidades foi ao redor da piscina, e variou de 85,50% a 84,77%.

A tabela 3 apresenta um resumo das temperaturas e umidades e das suas diferenças nos dias do transecto móvel. A maior diferença, de um local para outro, foi no dia 13 de março às 14h, quando se obtiveram as temperaturas mais altas. Já a menor diferença se deu no mesmo dia às 18h, devido à garoa que ocorreu durante o transecto.

Tabela 3 - Diferença de temperatura de ar e umidade relativa entre o ponto mais quente e o ponto mais frio nas quatro medições do percurso realizado no campus da UFABC

Table 3 - Difference in air temperature and relative humidity between the hottest and coldest points in the four measurements taken during the route taken on the UFABC campus

Data	Hora	Maior temperatura (°C)	Menor temperatura (°C)	Diferença de temperatura (°C)	Maior Umidade Relativa (%)	Menor Umidade Relativa (%)	Diferença de Umidade Relativa (%)
06/03/2020	14:00	26,51	23,76	2,75	63,00	56,00	7,00
	18:00	21,66	19,00	2,66	77,80	67,12	10,68
13/03/2020	14:00	30,71	27,15	3,56	68,08	76,99	9,41
	18:00	23,03	21,53	1,50	67,51	58,10	6,80

No dia 06 de março, as condições meteorológicas se apresentaram mais estáveis e não houve ocorrência de garoa como ocorreu no dia 13 de março às 18h.

3.3 Estimativa da intensidade das ilhas de calor atmosféricas intraurbanas no campus de Santo André

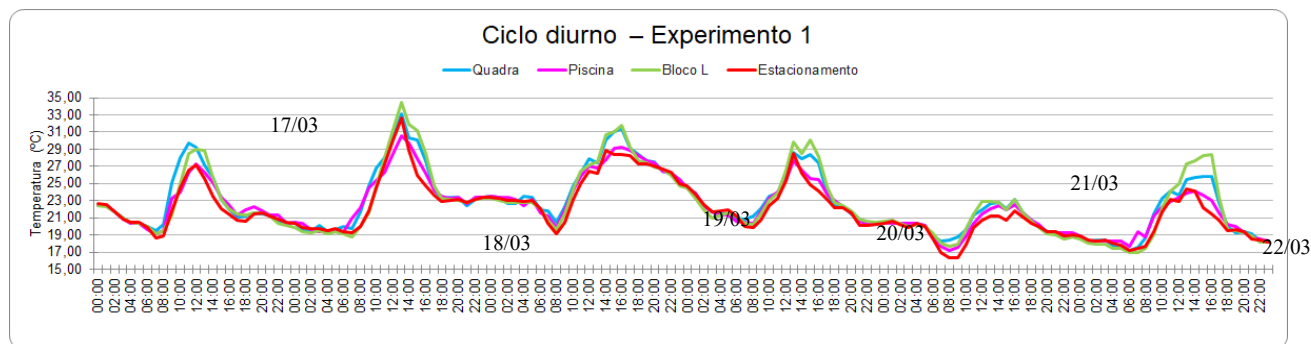
A fim de se estimar a intensidade (ΔT) das ICIU dentro do campus, os termo-higrômetros foram fixados em diferentes pontos, como explicado na seção da metodologia. Os dados da média horária da temperatura obtidos para os cinco experimentos foram organizados e elaborados em gráficos do ciclo diurno em cada local para realizar comparações entre eles e obter o ΔT . A Tabela 4 sintetiza os resultados das intensidades (ΔT) e mostra os valores médios para cada experimento realizado.

Tabela 4 - ΔT médios estimados nos cinco experimentos
Table 4 - Estimated average ΔT values for the five experiments

Experimento - Área mais fria	ΔT	ΔT
Experimento 1 (17 a 22/03/2020) - Estacionamento	4,87°C (Bloco L)	3,97°C (Quadra)
Experimento 2 (28/08 a 02/09/2020) – Área arborizada 1	4,16°C (Área aberta entre Bloco A e Biblioteca)	2,01°C (Estacionamento)
Experimento 3 (02 a 09/12/2020) – Área arborizada 2	3,03°C (Estacionamento)	2,22°C (Bloco L)
Experimento 4 (11 a 18/12/2020) – Bloco L	2,97°C (Torre 3)	1,69°C (Bloco L)
Experimento 5 (29/12/2020 a 04/01/2021) - Área arborizada 1	5,08°C (Área aberta entre Bloco A e Biblioteca)	1,22°C Área arborizada 2

O primeiro experimento ocorreu entre os dias 17 e 22 de março de 2020, no final do verão. Os pontos escolhidos para a fixação dos medidores foram a área das quadras esportivas, a área das piscinas, a área próxima ao Bloco L e o estacionamento. A Figura 7 mostra o ciclo diurno para os 6 dias, e observa-se, além da variabilidade dia após dia, a diferença das temperaturas entre os pontos, nos horários das 10h às 16h, destacando-se com valores mais altos de temperatura a quadra esportiva e a área próxima ao Bloco L.

Figura 7 - Ciclo diurno obtido no experimento 1 entre os dias 17 até 22 de março de 2020
 Figure 7 - Diurnal cycle obtained in experiment 1 between March 17 and 22, 2020



Fonte: Os autores
 Source: The authors

Nas medições do transecto e do mapa do potencial térmico, o local da quadra já tinha sido detectado como um dos mais quentes do campus. Já, sobre a região próxima ao Bloco L, uma possível explicação é que o local em que o termo-higrômetro foi instalado apresenta pouca sombra e, apesar de não se formar um cânion urbano, há dois prédios próximos, um se encontra na Rua Oratório e o outro prédio é o próprio Bloco L, o que faz com que o calor fique armazenado nessa área, além de ser próximo à rua movimentada, o que faz com que o fluxo de carros influencie a temperatura da região.

Por outro lado, o estacionamento apresentou as menores temperaturas, o que também pode ser explicado pela diminuição de fluxo de carros no período, uma vez que a entrada no campus foi limitada devido à pandemia do COVID-19.

Em geral, as temperaturas foram mais altas no horário das 10h às 16h (Figura 7). O dia 18 de março de 2020 foi o mais quente do primeiro experimento, com as temperaturas chegando a 34,75°C, já o dia mais frio foi 21 de março, onde a temperatura máxima não passou dos 24°C, isso se deu pela passagem de uma frente fria na região, segundo o Boletim do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC, que trouxe nebulosidade, frio e chuva fraca intermitente (cerca de 0,7mm) para o município.

Como o local do estacionamento foi identificado como o ponto menos quente, foi calculado o ΔT e verificou-se a magnitude dos locais mais quentes (Quadra, Bloco L e Piscina), assim como os seus horários (Tabela 5). O Bloco L e a quadra foram os locais que apresentaram maior ΔT ; destaca-se o Bloco L por apresentar os maiores valores após as 14h, com um valor médio de ΔT de 4,87°C (exceto o dia 21, em que houve a passagem da frente fria). Na área da quadra esportiva, o valor médio foi de 3,97 °C.

Tabela 5: Diferença de temperatura (ΔT) para o Experimento 1, tendo como ponto menos quente o Estacionamento
 Table 4: Temperature difference (ΔT) for Experiment 1, with the Parking Lot as the coolest point

Data	Quadra		Piscina		Bloco L	
	Hora	ΔT (°C)	Hora	ΔT (°C)	Hora	ΔT (°C)
17/03/2020	10h	3,97	14h	2,02	14h	3,98
18/03/2020	09h	3,76	09h	3,54	17h	6,56
19/03/2020	16h	3,59	09h	2,45	18h	4,40
20/03/2020	16h	3,79	16h	1,91	17h	5,81
21/03/2020	09h	2,95	10h	2,01	18h	2,86

22/03/2020	16h	4,77	7h	2,83	17h	5,30
------------	-----	------	----	------	-----	------

O segundo experimento foi realizado entre os dias 28 de agosto e 02 de setembro de 2020, durante o outono, e compreendeu os pontos de uma área exposta entre os blocos da Biblioteca e o Bloco A (Torre 1), o estacionamento e a área arborizada em frente ao Restaurante Universitário. Durante os dias 31 de agosto e 01 e 02 de setembro, as temperaturas não variaram muito, pois houve o declínio devido à entrada de uma massa de ar frio.

Para esse experimento, também foi construído o gráfico do ciclo diurno e, como era o esperado, o local menos quente foi a área arborizada que está localizada frente ao restaurante universitário, e o local mais quente foi a área aberta entre o Bloco A – Biblioteca. O ΔT mais alto foi de $6,16^{\circ}\text{C}$ às 15h, no dia 28 de agosto, o que deixa muito clara a importância das áreas verdes na minimização da intensidade dos núcleos ilhas de calor intraurbanos dentro do campus. A área arborizada, em frente ao restaurante, conta apenas com uma fileira de árvores, o que faz com que o local possua sombra durante todo o período do dia, bloqueando a incidência solar. Além disso, a evapotranspiração das árvores ameniza a temperatura e contribui para um aumento na umidade do ar, por isso é um espaço muito concorrido pelos alunos.

O experimento 3 foi realizado entre os dias 02 e 09 de dezembro de 2020, no final da primavera, e os pontos para realizar as medições foram a área próxima ao Bloco L, a parte central do estacionamento e uma área mais arborizada, próxima ao portão 7 da universidade. Esse local possui uma maior cobertura de vegetação do que a área escolhida para o experimento 2. Nesse ciclo de medições, o estacionamento se apresentou como o local mais quente e a área arborizada foi a menos quente nos horários de maior radiação. Durante a maioria dos dias a temperatura não superou os 30°C e o dia 05 de dezembro foi o dia menos quente devido à passagem de uma frente fria que atuou no litoral de São Paulo e afetou o ABC Paulista, apresentando o céu encoberto no decorrer do dia, por isso, apresentou temperaturas semelhantes entre os três pontos verificados. A maioria dos ΔT para esse experimento se deu no período da manhã, e a maior diferença de temperatura ($5,41^{\circ}\text{C}$) foi entre o estacionamento e a área arborizada, no dia 04 de dezembro, às 09h. O valor médio do ΔT para a área do estacionamento foi de $3,03^{\circ}\text{C}$ e para o Bloco L foi de $2,22^{\circ}\text{C}$.

O experimento 4 foi realizado entre os dias 11 e 18 de dezembro de 2020, durante a primavera e incluiu dois novos pontos, mais próximos a corpos de água, como o rio Tamanduateí e o Espelho D'água (Rampa do Tamanduateí), a fim de se avaliar o impacto desta na umidade e, além de se manter o terceiro termo-higrômetro no ponto próximo ao Bloco L. Para a estimativa do ΔT , e com base no ciclo diurno, para os dias mais quentes (12, 13, 14, 15 e 17 de dezembro) o local próximo do Bloco L se mostrou como o local menos quente, sendo o local escolhido junto à Torre 3 e ao Espelho D'água que apresentou temperaturas ligeiramente maiores, durante os horários mais quentes do dia, apesar de ser uma região que passa a parte da manhã coberta pela sombra da Torre 3 do Bloco A, pode ter uma contribuição de calor emitido pela superfície da Torre 3. Porém, as diferenças não foram tão altas. O ΔT médio para esses dias foi de $2,97^{\circ}\text{C}$.

Nos demais dias (11, 16 e 18 de dezembro), o Bloco L se apresentou ligeiramente mais quente entre os demais. Esses dias apresentaram temperaturas menos quentes, abaixo dos 30°C , e durante a maior parte do dia as temperaturas foram muito próximas. O ΔT médio para esses dias foi de $1,69^{\circ}\text{C}$.

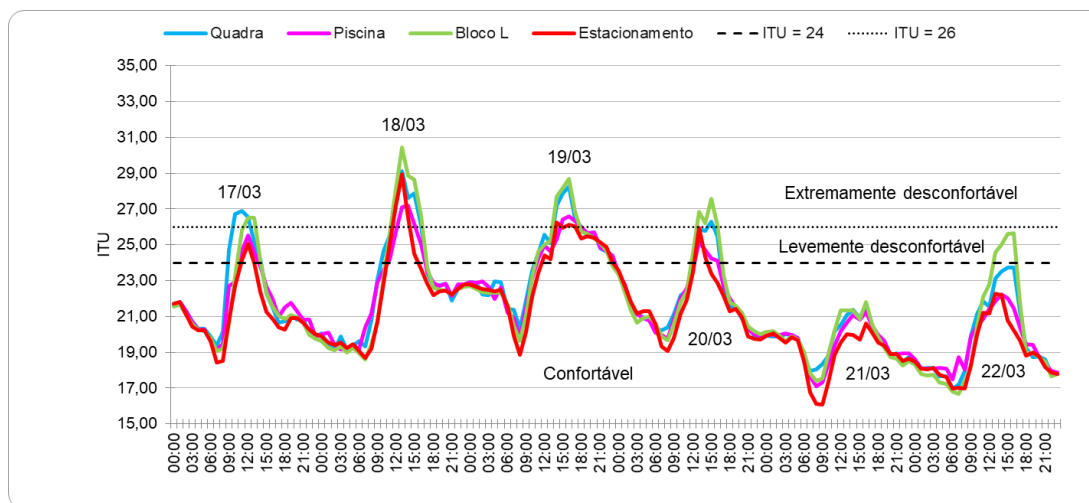
Entre os dias 29 de dezembro de 2020 e 04 de janeiro de 2021, época de verão, foi realizado o quinto experimento, e foram analisadas duas áreas arborizadas, em frente ao restaurante universitário e próximas à Portaria 7 (Rua Abolição) e a área aberta entre o Bloco A e a Biblioteca, a fim de se comparar duas áreas vegetadas com densidades arbóreas diferentes e uma área aberta impermeabilizada. O dia 30 de dezembro foi o dia mais quente do experimento e apresentou o ΔT entre a área aberta (Bloco A e a Biblioteca) e a área arborizada próxima ao restaurante de $5,08^{\circ}\text{C}$. O dia 02 de janeiro apresentou uma queda na temperatura, segundo o CPTEC, o fato ocorreu devido à combinação de um cavado de níveis médios com um vórtice ciclônico que afetou a região.

3.4 Cálculo do Conforto Térmico

Ao se tratar de ilhas de calor, outro fator importante a se considerar é o conforto térmico da região. A fim de determiná-lo, foram calculados o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e o Índice de Desconforto Humano (IDH) para todos os pontos medidos nos experimentos descritos na seção de metodologia.

A Figura 8 apresenta o ITU para os quatro pontos escolhidos no primeiro experimento (17 a 22 de março de 2020), enquanto a Figura 9 apresenta o IDH para os mesmos pontos e dias.

Figura 8 - Índice de Temperatura e Umidade – Experimento 1 (17/03 a 22/03)
Figure 8 - Temperature and Humidity Index – Experiment 1 (March 17 to March 22)

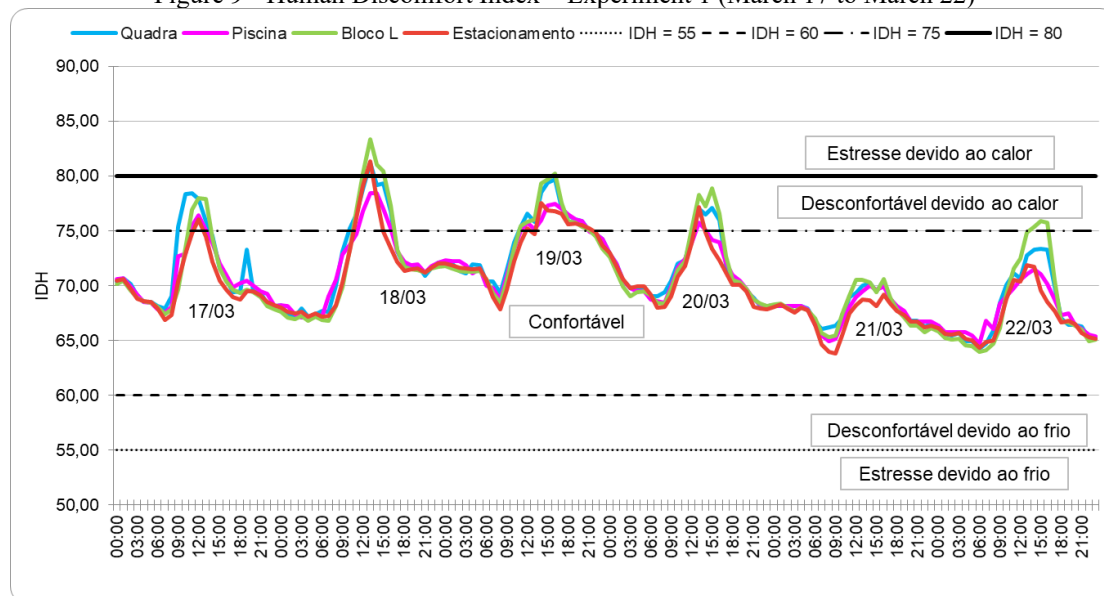


Fonte: Os autores
Source: The authors

Observa-se que as estimativas dos índices de conforto se alinham com as características térmicas e os ΔT encontrados nas seções anteriores. Para o índice ITU em todos os dias (exceto o dia 21/03 devido à influência da frente fria), os locais mais quentes identificados pelo ΔT , o Bloco L e a quadra esportiva, experimentaram um desconforto extremo das 10h às 13h. E nos dias mais quentes, 18/03 e 19/03, também os locais (menos quentes) próximos à Piscina e ao Estacionamento chegaram ao nível de extremamente desconfortável, apesar de ter sido por um breve período. Já para os dias 21 e 22 de março, todos os locais observados se mantiveram confortáveis durante todo o dia, com exceção do Bloco L no dia 22, que teve um pequeno pico durante o período mais quente e foi classificado no nível levemente desconfortável.

O índice IDH (Figura 9), diferente do ITU só no dia 18/03, que foi o mais quente, os locais do Bloco L, a Quadra e inclusive o Estacionamento estiveram na faixa mais extrema (estresse devido ao calor), no horário das 12h às 16h.

Figura 9 - Índice de Desconforto Humano – Experimento 1 (17/03 a 22/03)
Figure 9 - Human Discomfort Index – Experiment 1 (March 17 to March 22)



Fonte: Os autores
 Source: The authors

Nos outros dias, todos os pontos chegaram ao nível desconfortável devido ao calor durante o período mais quente do dia, exceto nos dias 21 e 22 de março, em que os quatro pontos se mantiveram na classificação confortável, devido à entrada da frente fria. Já no Bloco L, o dia 22 foi classificado como desconfortável devido ao calor.

No segundo experimento (28/08/2021 até 02/09/2021), que incluiu a área aberta entre o Bloco A e a Biblioteca, o estacionamento e a área arborizada, o ITU apresentou o máximo valor nos dias 28, 29 e 30, situando-se na região extremamente desconfortável, seguido pela área do estacionamento, principalmente nos períodos mais quentes do dia, coincidindo com os horários de intensidade da IC extrema. A área arborizada, no horário mais quente do dia (13h), chegou a se situar na faixa do levemente desconfortável e inclusive chegou ao limite do início da faixa extremamente desconfortável (dia 29/08 e 30/08). Nos outros dias houve a entrada da frente fria, e todos os locais ficaram na faixa de confortável.

Diferentemente, para o IDH nos três primeiros dias (28/08, 29/08 e 30/08), só a área mais quente (área aberta entre o Bloco A e a Biblioteca) se situou na faixa “estresse devido ao calor”. Para os dias 29/08 e 30/08, tanto o estacionamento como a Área Arborizada chegaram ao nível desconfortável devido ao calor no horário das 15h. A área arborizada nos outros horários se situou na faixa de confortável.

No terceiro experimento (02/12/2020 até 09/12/2020), que comparou as áreas: Bloco L, estacionamento e área arborizada. Somente no dia 03/12, que apresentou as mais altas temperaturas, tanto o estacionamento quanto o Bloco L chegaram ao nível de “extremamente desconfortável” no período das 9h às 16h segundo o ITU, enquanto a área arborizada se manteve em levemente desconfortável. Já o IDH, no local do Estacionamento e do Bloco L, não alcançou a faixa de “estresse devido ao calor”, nem no dia 03/12/2020, porém ficou na faixa de “desconfortável devido ao calor” nos dias em que não teve influência da frente fria.

No experimento 4 (de 11 a 18 de dezembro de 2020), em que foram monitorados os pontos das áreas do Bloco L, da Torre 3 e da rampa próxima ao rio Tamanduateí, o ponto da Torre 3 foi considerado o mais quente segundo o ΔT . Nos dias de mais altas temperaturas (12/12 a 15/12 e 17/12), todos os três pontos se situaram

na faixa de “extremamente desconfortável” segundo o ITU. Já o IDH só alcançou a faixa mais extrema (estresse devido ao calor) no ponto da Torre 3 nos dias 13/12 e 14/12.

O experimento 5 (29 de dezembro de 2020 e 04 de janeiro de 2021) que monitorou duas áreas com vegetação de diferentes densidade de arborização e a área aberta entre o Bloco A e a Biblioteca, em termos dos índices de conforto, as áreas arborizadas não apresentaram diferenças significativas nos dias mais quentes (29/12 e 30/12), e nos dias que houve instabilidade devido a um cavado (02/01/2021 e 03/01/2021) a área arborizada próxima ao restaurante se apresentou com os valores mais baixos de ITU e IDH na faixa confortável. Nos dias 29/12, 30/12 e 01/01 a área aberta (Bloco A – Biblioteca) alcançou a faixa “extremamente desconfortável” considerando o ITU. Para o IDH, só a área aberta alcançou a faixa “estresse devido ao calor” no dia 30/12.

3.5 Discussão dos resultados

Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar diferenças significativas nas características térmicas em uma escala espacial de campus universitário, entre os ambientes externos construídos, onde a configuração e disposição de prédios, vias, corredores e áreas vegetadas influenciam a formação de microclimas, criando núcleos térmicos mais quentes ou menos quentes, devido à constituição dos materiais dos quais foram construídos e à forma como a transferência de calor absorvida é emitida.

Muitos outros estudos que têm analisado as características térmicas e de conforto térmico em campus universitários (Santos et al., 2011; Freitas et al., 2014; Silva et al., 2016; Debiasi e Souza, 2017) têm encontrado resultados semelhantes, diferenciando-se principalmente na intensidade dos núcleos das ilhas de calor e no nível de desconforto térmico devido aos diferentes tipos de cobertura do solo. E todos os estudos concordam com a necessidade de um planejamento ambiental adequado e um ordenamento territorial mais sustentável no campus universitário.

No campus de Santo André da UFABC, as áreas ao ar livre mais quentes identificadas pelos registros dos transectos e sensores fixos foram aquelas mais impermeabilizadas (quadra esportiva e áreas abertas próximas a prédios - Bloco L e Biblioteca) constituídas por materiais de concreto e cercadas por alambrados, como a quadra esportiva. Os materiais da construção civil, tais como o concreto, a cerâmica e fios de arame, apresentam alta condutividade térmica e capacidade calorífica, absorvendo e mantendo o calor no ambiente urbano (Mizuno et al., 1990; Almeida, 2006; Dimoudi, et al., 2013).

Outro fator a ser analisado é o conceito de cânions urbanos, resultante da verticalização das cidades, que representa a geometria urbana, relativa à altura (H) das edificações e ao espaçamento entre elas (W), sendo indicativo da formação das ilhas de calor (Nakata-Osaki et al., 2021; Aguiar et al., 2017). O campus de Santo André, é um modelo de campus que se estende verticalmente, em vez de horizontalmente, e possui mais de 8 prédios verticais de até 51,5 m (H) de altura (Figura 4) como é o caso do Bloco L. Sendo assim o campus também comporta cânions urbanos, e apresenta valores do parâmetro H/W maiores, em áreas mais quentes do campus, como é o caso da área aberta entre a Biblioteca e a Torre 1, uma das áreas mais quentes identificadas pelos registros de temperatura e pelo mapa de potencial térmico estimado. Este resultado sugere que a verticalização também tem um impacto direto nas condições térmicas do seu entorno, como já referenciado em outros estudos de Nakata-Osaki et al. (2021) e Aguiar et al., (2017).

Por outro lado, no balanço de energia urbano, a visão do céu em áreas abertas é um importante fator para o equilíbrio térmico, e para as trocas de calor e dispersão de ondas longas emitidas pelas superfícies e fachadas (Oke, 2021). Em áreas muito verticalizadas, a faixa de céu disponível a partir de um observador (ou sensor de temperatura) na área urbana é primordial para entender a distribuição da temperatura (Debiasi e Souza, 2017). No campus de Santo André houve áreas nas quais a visão do céu era mínima ao longo do dia, como foi o caso da área entre o Bloco B e a saída para o Carrefour. Inclusive, foi nessa área que nas medidas dos transectos se tiveram as temperaturas mais baixas.

Também era esperado que as áreas menos quentes e com maior conforto térmico fossem aquelas com maior vegetação (próximas ao restaurante universitário e à Portaria 7) e com maior sombreamento (corredor entre o Bloco B e a saída para o Carrefour e o limite norte do campus com a rua Abolição, que contorna uma fileira de árvores), e o mapeamento da temperatura e da umidade relativa conseguiu identificar claramente essas diferenças.

As árvores têm funções primordiais na mitigação das ilhas de calor urbanas, pois oferecem sombra, reduzem a incidência solar e resfriam o ar por meio da evapotranspiração, aumentando a umidade do ar e resfriando o entorno, equilibrando as temperaturas nas cidades (Gartland, 2010; Chen et al., 2023). No estudo, verificou-se que, nos dias mais quentes (18/03/2020 e 30/12/2020) do período analisado, a intensidade da ICIU foi de 6,5 °C e 5,08 °C, respectivamente, na área entre o Bloco A e a Biblioteca, quando comparada às áreas verdes (fileiras de árvores próximas ao restaurante universitário - RU). Isso significa que nesses dias e horários, as árvores próximas ao RU minimizaram o desconforto térmico em seu entorno, com uma redução da temperatura do ar de até 6°C quando comparada às áreas expostas. Porém, a porcentagem de áreas verdes no campus é muito baixa (10,48%), pelo que ações estruturais que tenham como objetivo minimizar as ICIU devem definir a proporção de áreas verdes recomendada para amenização das condições climáticas locais, assim como a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento máximo permitido (Duarte e Serra, 2003).

Em estudos realizados para outros campi universitários como os de São Carlos (Debiasi e Souza, 2017) e o Campus I da Universidade Federal da Paraíba (Santos, et al., 2011), houve o consenso de que fatores como o coeficiente de vegetação urbana e a manutenção e preservação das áreas verdes são os elementos mais significativos para a determinação de um padrão térmico com maior conforto.

Também, se destaca que durante os registros das temperaturas e umidades nos pontos fixos, foi evidente em todos os experimentos que as condições de tempo atmosférico influenciaram o valor do ΔT da ICIU, chegando a ser o valor de temperatura muito próximo entre os diferentes pontos mapeados, o que originou um ΔT menor que 1°C nos horários diurnos e noturnos, preferencialmente. Isto ocorria principalmente com a entrada das frentes frias e a ocorrência de chuva.

4. Considerações Finais

A partir do estudo, percebe-se que o meio físico que compõe a região observada tem grande influência na temperatura e na umidade relativa do ar. O mapa temático do potencial térmico identificou no Campus, os locais potencialmente mais quentes (área das quadras esportivas, da piscina e as áreas abertas entre o Bloco A e a Biblioteca, e a região próxima ao Bloco L) que se caracterizam por ter ausência de vegetação, solo impermeável, um tipo específico de cobertura, albedo e emissividade, o que mostra que a constituição do material no qual ela foi construída, como cimento e tinta cinza, por exemplo, tem influência nas características térmicas e no conforto térmico do local.

As medições de temperatura através do transecto móvel também verificaram essas áreas como as mais quentes, principalmente nos horários entre as 14h e 17h, mas podem mudar após as 18h, isso porque os locais sombreados também mudam conforme a posição do sol e, por conta disso, pode-se concluir que a presença de sombra pelas Torres em uma área também influencia na sua temperatura, uma vez que a incidência da radiação solar e a retenção de calor são menores.

Por meio do ciclo diurno da temperatura em pontos fixos, verificou-se que as áreas mais quentes encontradas no campus podem ser ICIU na microescala, com intensidades de até 6,56°C (às 17h) em dias muito quentes e sem interferência de nebulosidade, como foi o caso da área aberta próxima ao Bloco L e da área aberta entre o Bloco A e a Biblioteca, quando comparadas às áreas arborizadas do campus. Considerando que a maior parte do campus possui apenas 10,48% de áreas verdes, uma solução para aumentar o conforto térmico é a criação de novas áreas vegetadas e a plantação de mais árvores.

Outro aspecto verificado sobre a intensidade da ICIU é que ela é mais expressiva quando não existe a

influência de sistemas atmosféricos de escala sinóptica, tais como frentes frias, massas de ar frio ou chuvas persistentes, o que atenua consideravelmente o ΔT como observado nos experimentos dos pontos fixos.

A avaliação do conforto térmico utilizou dois índices, o ITU e o IDH, e ambos identificaram o maior desconforto, quando o valor do ΔT era mais alto, principalmente nas áreas abertas do Bloco L e a área aberta entre o Bloco A e a Biblioteca, que chegaram a “estresse térmico”, principalmente quando comparadas com as áreas mais arborizadas, o que reforça a importância de criar mais áreas verdes para melhorar a qualidade de vida das pessoas que frequentam o Campus. Também se verificou que o índice IDH é mais sensível aos dias mais quentes, de altas temperaturas e com altos valores de ΔT , quando comparado ao ITU que identificou mais dias com desconforto térmico.

Dessa forma, verifica-se a importância do mapeamento das características térmicas do campus universitário, pois pode auxiliar na gestão sustentável e de conforto térmico das áreas abertas de convivência do campus de Santo André da UFABC. Trabalhos futuros devem focar no estudo da implementação de soluções ou intervenções estruturais baseadas na natureza que minimizem as altas temperaturas e, conseqüentemente, o risco ao calor da população que frequenta o campus da UFABC.

5. Referências

Aguiar, L. F. M. C., Silva, M. V. C., Gandu, A. W., Rocha, C. A., & Cavalcante, R. M. (2017). Caracterização de Cânions Urbanos e seus Efeitos Climáticos em Área com Intenso Processo de Verticalização na Cidade de Fortaleza, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 10(04), 1046-1058.

Almeida, E. M. A. (2006). **A configuração urbana e sua relação com os microclimas: estudo de frações urbanas na cidade de Maceió**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil.

Amaral, L. C. (2020). **Análise da relação entre o zoneamento urbano e a intensidade de ilhas de calor urbanas – uma contribuição para o planejamento urbano**. Monografia, Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, Brasil.

Amorim, M. C. C. T. (2019). Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. Esp., 22-46.

Amorim, M. C. C. T., Dubreuil, V., Teixeira, D. C. F., Amorim, A. T. & Brabant, C. (2024). Exceptional heat island intensities also occur in medium-sized cities. **Urban Climate**, 53, 101821,

Barbirato, G. M.; Souza, L. C. L. & Torres, S. C. (2007). **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: UFAL, p. 21-51.

Bruns, J. & Simko, V. (2017). Stable hotspot analysis for intra-urban heat islands. *Gi_Forum*, Salzburg, Austria.

Chen, S., Bao, Z., Ou, Y. & Chen, K. (2023). The synergistic effects of air pollution and urban heat island on public health: A gender-oriented nationwide study of China, **Urban Climate**, 51, 101671.

Coutinho, S. M. V., Martins, A. M. B. B.; Jr, A. P. (2015). Cidades e mudanças globais: Redes acadêmicas e desafios interdisciplinares. In: *Ciência das mudanças climáticas e sua interdisciplinaridade*. São Paulo: Annablume, p. 208-209.

- Cunico, T. C. (2021). **Análise das características térmicas e ilha de calor no Campus Universitários da UFABC em Santo André - SP**. Monografia de Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana, Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo, Brasil.
- Duarte, D. H. S., & Serra, G. G. (2008). Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, 3 (2), 7–20.
- Debiazi, P. R. & Souza, L. C. L. (2017). Contribuição de parâmetros do entorno urbano sobre o ambiente térmico de um campus universitário. **Ambiente Construído**, 17 (4), 215–232.
- Dimoudi, A.; Kantzioura, A.; Zoras, D.; Pallas, C.; Kosmopoulos, P. (2013). Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. **Energy and Buildings**, 64, 1-9.
- Ferreira, C. C. M. (2014). Modelo para análise de variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, 10(14), 50-75.
- Freitas, A. F., Santos, J. S., & Almeida, N. V. (2014). Avaliação do conforto térmico do Campus IV – Rio Tinto aplicada ao ordenamento territorial ambiental. **Caminhos de Geografia**, 15(50), 89-99.
- Gartland, L. (2010). **Ilhas de Calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo. Oficina de textos, 256 p.
- Kousis, I., Pigliatile, I. & Pisello, A. (2021). Intra-urban microclimate investigation in urban heat island through a novel mobile monitoring system. **Sci Rep** 11, 9732. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88344-y>
- Landicho, K. P. & Blanco, A. C. (2019). Intra-urban heat island detection and trend characterization in metro Manila using surface temperatures derived from multi-temporal Landsat data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-4/W19, 275–282, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-275-2019>.
- Lenderink, G.; Buishand, A.; Deursen, W. (2007). Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrology and Earth System Science**, 11(3), 1145-1159.
- Lopes, H. S., Vidal, D. G., Cherif, N., Silva, L. & Remoaldo, P. C. (2025). Green infrastructure and its influence on urban heat island, heat risk, and air pollution: A case study of Porto (Portugal). **Journal of Environmental Management**, 376, 124446.
- Monteiro, C. A. F. (2009). O estudo do clima urbano no Brasil. In: *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, p. 19.
- Mizuno, M., Nakamura, Y., Murakami, H. & Yamamoto, S. (1990). Effects of land use on urban horizontal atmospheric temperature distributions. **Energy and Buildings**, 15(1-2), 165-176.
- Nakata-Osaki, C. M., Souza, L. C. L. de, & Rodrigues, D. S. (2016). Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, 16 (3), 73-87.

Nakata-Osaki, C. M., Amaral, L. C. M., & Caneo, I. L. (2021). Estudo sobre as ilhas de calor na cidade de Santo André: uma análise com base na geometria urbana. **Anais do 9º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**. Evento Digital, Bauru - SP.

Nóbrega, R. S., & Lemos, T. V. S. (2011). O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade de Recife. **Revista de Geografia (RECIFE)**, 28(1), 93-109.

Oke, T. R. (1997). Urban climates and global environmental change. In: Applied climatology: principles and practice. Oxon: Routledge, cap 21, p. 274.

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J. A. (2017). Urban climates. Cambridge University Press, Cambridge, 10.1017/9781139016476, p. 274.

Oliveira, G. G.; Pedrollo, O. C.; Castro, N. M. R. (2015). As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo modelo ETA CPTEC/HADCM3: avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do Rio Ijuí, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 30(1), 101-121.

Ono, H. S. P., & Kawamura, T. (1991). Sensible Climates in Monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, 35(1), 39-47.

Rocha, L. M. V., Souza, L. C. L. & Castilho, F. J. V. (2011). Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído**, 11(3), 161–175.

Santos, J, S., Silva, V, P, R., Araújo, L, E., Lima, E, R, V., & Costa, A, D, L. (2011) Análise das condições do conforto térmico em ambiente urbano: Estudo de caso em Campus Universitário. **Revista Brasileira De Geografia Física**, 02, 336-353.

Silva, I. A.; Santos, J. S., & Vieira, M. L. S. (2016). Análise das ilhas de calor em um campus universitário no Litoral Norte da Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**. 2, 469-479.

Simeão, A. B., & Scopel, S. B. (2017). **Estudo e identificação de ilhas de calor urbanas e intraurbanas atmosféricas nos municípios de São Bernardo do Campo e Santo André - SP**. Monografia de Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana, Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo, Brasil.

Simeão, A. B., & Scopel, S. B.; Valverde, M. C. (2019). Estudo da ilha de calor urbana atmosférica em São Bernardo do Campo-SP e propostas de mitigação. **Revista Hipótese**, 5, 671-698.

UN-Habitat. World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). p. 418.

Valverde, M. C.; Coelho, L. H.; Cardoso A. O.; Paiva Junior, H.; Brambila, R.; Boian, C.; Martinelli, P.; & Valdambri, N. M. (2020). Urban climate assessment in the ABC Paulista Region of São Paulo, Brazil. **Science of the Total Environment**, 735, 139303.

Wilks, S. (2006). **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2nd ed. Academic Press, London 634p.