

AS INFLUÊNCIAS DO PADRÃO CONSTRUTIVO NA VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DE TEMPERATURA DO AR: Um estudo de caso na Zona Oeste do Rio De Janeiro - RJ

THE INFLUENCES OF THE CONSTRUCTION PATTERN ON THE TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION OF AIR TEMPERATURE: A case study in the West Zone of Rio De Janeiro - RJ

RESUMO

Os variados padrões, formas e materiais construtivos presentes no espaço urbano, com características termodinâmicas distintas, pode modificar e influenciar as dinâmicas climáticas de um local. A compreensão dessas combinações que interferem nos elementos climáticos é de fundamental importância. Essa temática é explorada na literatura, ainda que careça de maior elucidação, sobretudo quanto à influência das formas urbanas e padrões construtivos na geração de microclimas urbanos em países de capitalismo tardio. Com isso, o objetivo deste trabalho é analisar as influências do padrão construtivo na variação espacial e temporal da temperatura do ar e da umidade relativa do ar em um condomínio situado na Zona Oeste do Rio de Janeiro – RJ. A metodologia se divide em: caracterização da área de estudo, criação da base geoespacial para geração do fator de visão do céu (FVC) e instalação de datalogger para registro horário, no intervalo de outubro de 2019 a setembro de 2020, dos dados da temperatura e umidade relativa do ar no condomínio. Como ponto de controle, foi escolhida a Estação Meteorológica de Santa Cruz, estação mais próxima à área de estudo. Os resultados sugerem que os padrões construtivos do condomínio apresentam influência na variação espacial dos elementos climáticos, exemplificado por uma diminuição mais lenta da temperatura no período noturno, bem como ar mais seco em relação ao ponto de controle. Contudo, considera-se que essas variáveis não devem ser consideradas como fatores determinantes na escala de análise proposta para este trabalho.

Palavras-Chave: Clima urbano; Fator de visão do céu; Padrão construtivo; Temperatura do ar.

ABSTRACT

The various patterns, forms, and construction materials present in urban spaces, each with distinct thermodynamic characteristics, can modify and influence the climatic dynamics of a location. Understanding these combinations that affect climatic elements is of fundamental importance. Although this topic is explored in the literature, it still lacks thorough elucidation, particularly regarding the influence of urban forms and construction patterns on the generation of urban microclimates in late capitalist countries. This study aims to analyze the influence of construction patterns on the spatial and temporal variation of air temperature and relative humidity in a condominium located in the West Zone of Rio de Janeiro, RJ. The methodology is divided into: characterization of the study area, creation of a geospatial database for generating the sky view factor (SVF), and installation of a datalogger to record hourly temperature and relative humidity data in the condominium from October 2019 to September 2020. The Santa Cruz Meteorological Station, the closest station to the study area, was chosen as the control point. The results suggest that the construction patterns of the condominium influence the spatial variation of climatic elements, evidenced by a slower decrease in temperature at night and drier air compared to the control point. However, these variables should not be considered as determining factors at the proposed scale of analysis for this study.

Keywords: Urban climate; Sky view factor; Constructive pattern; Air temperature

 **Higor Lopes Barcelos**¹
 **Núbia Beray Armond**²
 **Alexander Josef Sá Tobias da Costa**³

1 – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

2 – Indiana University Bloomington (IUB), Bloomington, Indiana, EUA.

3 – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Correspondência: higor.lopes.cg@hotmail.com

Recebido em: 31-03-2023

Aprovado em: 21-08-2024



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons BY-NC-SA 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução para fins não comerciais, com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.



INTRODUÇÃO

A alta densidade demográfica nas áreas urbanas do município do Rio de Janeiro reflete uma série de contradições inerentes aos processos de produção da cidade e do urbano, caracterizados por formas urbanas e materiais construtivos inadequados à realidade fluminense (SPOSITO, 2000). Materiais de baixo albedo, por exemplo, tendem a absorver e emitir mais energia, elevando a temperatura do ar ao redor. Grupos sociais mais vulneráveis são diretamente ou indiretamente afetados por esses materiais, ampliando sua exposição a fenômenos como ondas de calor ou frio, em comparação com grupos sociais de maior poder aquisitivo. Além da natureza dos materiais, as formas das construções em relação aos demais fatores do sítio urbano também exercem influência significativa na temperatura e umidade intraurbanas (SANT'ANNA NETO, 2011).

Em uma realidade de aumento das temperaturas médias globais (IPCC, 2022; TUHOLSKE, 2021)¹, as formas utilizadas na produção do espaço urbano, combinadas com relevo, vegetação e outros elementos, formam as características "naturais" do sítio urbano. Esses fatores podem atuar como determinantes geográficos do clima, que, dependendo de sua posição e intensidade, podem intensificar e diferenciar os elementos climáticos, acelerando ainda mais o processo das mudanças climáticas (ZHOU et al., 2017).

A influência causada pela morfologia urbana, composta pelas formas das áreas construídas, relevo e outras características geográficas, produz espaços com temperatura do ar, precipitação, direção e velocidade dos ventos distintas do ambiente rural ou adjacente. A grande variabilidade dessas combinações possibilita que cada cidade apresente um clima urbano específico (ZHOU et al., 2017; RIZWAN et al., 2007; ZAVATTINI, 2004). Essas características singulares formam a chamada Urban Canopy Layer (UCL) (OKE, 1976). A UCL é a camada da atmosfera mais próxima à superfície, abrangendo desde a superfície até a altura média das edificações, e é composta pelo ar retido entre os elementos da rugosidade urbana, como edificações, ruas e árvores. Devido a essas características, a UCL é de extrema importância para o bem-estar urbano, pois é nessa camada que a população vive e está exposta às suas dinâmicas.

¹ Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> > Último acesso dia 17/02/23

As edificações podem se transformar em barreiras inflexíveis para a circulação do vento e a dissipação do calor no período noturno, causando rugosidade na superfície. Edificações dispostas próximas umas das outras formam barreiras que geram feições semelhantes a canyons urbanos, estruturas formadas pelas paredes das edificações e pelo espaço ou via de circulação entre elas. Esse padrão construtivo faz com que, no interior da estrutura, a geometria controle o balanço de energia no ambiente, definindo o tempo dos processos e das trocas de energia, bloqueando ou dificultando a circulação do ar e, conseqüentemente, dificultando a dispersão do calor, levando a uma maior permanência da temperatura elevada (MACHADO, 2016; WU & LUNG, 2016; OKE, 1978).

Uma técnica para identificar as influências da morfologia urbana no microclima é o Fator de Visão do Céu (FVC). O FVC representa a fração do céu que está livre para realizar a troca de energia com a atmosfera, permitindo que a superfície receba e libere calor, aquecendo-se e/ou esfriando-se. O FVC varia de 0, quando há total obstrução da superfície, a 1, quando não há obstáculos entre a superfície e a atmosfera. Quanto mais próximo de 1 for o percentual do FVC, menor tende a ser a temperatura, pois a energia absorvida durante o dia será liberada em ondas longas à noite. O inverso também é verdadeiro: quando o percentual de obstrução do FVC é mais próximo de 0, a temperatura do ar nesse local tende a permanecer elevada (MOREIRA et al., 2021; ZHANG et al., 2019; FERREIRA et al., 2016; CHEN et al., 2012).

No entanto, os referidos autores também afirmam que a relação entre o FVC e a temperatura do ar não é linear, dependendo de outros fatores como o desenho urbano, a relação entre a altura das edificações e o espaço entre elas, que podem formar os já mencionados cânions urbanos (CHATZIPOULKA et al., 2018; MORAIS et al., 2017; OKE, 1978). Além disso, é importante considerar as características termodinâmicas dos materiais construtivos utilizados.

Essas influências são percebidas pela população pelo que Monteiro (1976) denominou subsistema termodinâmico, responsável pelo conforto térmico. Monteiro definiu o clima urbano como fruto das relações dinâmicas entre a cidade e sua urbanização, formulando o modelo teórico-metodológico Sistema Clima Urbano (SCU). Para Monteiro (1976), a sociedade percebe e interage com os fenômenos climáticos no âmbito intraurbano de forma diferenciada. Nesse sentido, ele dividiu o SCU em três

subsistemas correspondentes aos canais de percepção: subsistema termodinâmico, subsistema físico-químico e subsistema hidrometeorológico. Neste trabalho, o enfoque foi dado ao subsistema termodinâmico, com ênfase na análise das áreas edificadas e pavimentadas que, devido à maior inércia térmica, tendem a contribuir para a elevação das temperaturas em ambientes intraurbanos.

Rampazzo (2015) afirma que, se os fatores condicionantes do clima são inerentes a cada local, existe uma variada gama de fatores ambientais e de organização do espaço urbano que repercutem negativamente no microclima. Nesse sentido, é fundamental desenvolver estudos que identifiquem esses fatores e suas influências nas variações do microclima, especialmente em regiões capitalistas, onde a paisagem é influenciada tanto por fatores sociais, como desigualdade de renda, gênero, poder ou raça, quanto por fatores físico-ambientais, como o clima (LAVE et al., 2019). Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar as influências do padrão construtivo na variação espacial e temporal da temperatura e umidade relativa do ar em um condomínio situado na Zona Oeste do Rio de Janeiro – RJ.

ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Primeiramente, escolheu-se o Condomínio Jardins de Campo Grande como local de estudo. Localizado no bairro de Inhoaíba, na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, o condomínio possui uma área de 27.242,8 m², composta por 12 prédios de cinco pavimentos cada. O padrão construtivo é adensado, com pouco espaçamento entre os edifícios. Existem algumas árvores nas extremidades, porém são poucas considerando a extensão do condomínio. Os prédios estão divididos em dois grupos: o primeiro, composto por oito prédios alinhados no sentido Norte-Sul, e o segundo, por quatro prédios alinhados no sentido Leste-Oeste (Figura 1). Esse padrão construtivo permite que os dois grupos recebam e interajam de maneira diferente com a radiação solar e a circulação dos ventos.

O condomínio está localizado em um bairro de padrão residencial, com casas de alvenaria e telhas de fibrocimento, e edificações que, em média, possuem até dois pavimentos. O padrão construtivo é adensado, com edificações muito próximas umas das outras. As ruas são asfaltadas e apresentam maior fluxo de veículos nos horários de pico. A arborização no entorno não é distribuída uniformemente, estando a vegetação

restrita a alguns terrenos vazios, em processo de especulação, principalmente nas vertentes norte e leste.

Figura 1. Condomínio Jardins de Campo Grande



Fonte: Google imagens e os autores do trabalho.

Para comparação, foi escolhida a estação meteorológica de Santa Cruz/RJ, devido à sua proximidade com o local de estudo (Figura 4). Ela foi selecionada como "ponto-controle" para representar a temperatura e a umidade relativa do ar padronizadas para a área de estudo, com mínima interferência da morfologia urbana. A estação está localizada no 1º Batalhão de Engenharia de Combate, no bairro de Santa Cruz, na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro. Santa Cruz é o sexto bairro com maior cobertura vegetal da cidade (MENDES et al., 2022) e é banhado a oeste pela Baía de Sepetiba. Devido à sua localização às margens da baía e ao norte pela Serra do Mar, o bairro é rota de entrada de sistemas atmosféricos na cidade, o que influencia os valores e a variabilidade de temperatura e umidade registrados na estação.

Em um segundo momento, foi elaborada a modelagem 3D das edificações, com o objetivo de gerar uma base geoespacial que permitisse a análise de características como o adensamento das construções e a geração dos gráficos de obstrução da abóbada celeste. Essa etapa foi realizada por meio do software Google Earth Pro® (MACHADO, 2016; ASSIS, 2016) (Figura 2). Em seguida, o arquivo em extensão .kmz foi convertido para extensão .lyr e, posteriormente, para formato .shp utilizando o software ArcMap 10.5®. No software ArcScene 10.5®, foi feita a extrusão da camada com os dados referentes à elevação das edificações, seguida da exportação do arquivo no formato .3D.

Figura 2. Modelagem 3D do Cond. Jardins de Campo Grande com a localização do medidor de temperatura e umidade do ar em vermelho.



Fonte: Os autores

No *Vivaty Studio*® 1.0, o arquivo *shapefile* 3D foi convertido para *.3ds* e, em seguida, no software *SketchUp*® 2017, foram extraídas as informações relacionadas ao FVC, ao gráfico de obstrução da abóbada celeste e às horas de incidência solar direta, com o auxílio do plugin *Lss Chronolux*. Esses dados foram extraídos do mesmo local onde foi instalado o medidor para a aquisição dos dados de temperatura e umidade relativa do ar. O datalogger da marca TFA, nome *KLIMALOGG PRO Thermo-Hygro-Logger*, foi instalado dentro de um abrigo meteorológico de madeira com furos nas laterais, em um suporte branco a 1,5m do chão (Figura 3), em um local público dentro do condomínio.

Por questões de segurança e integridade do aparelho, e para não interferir na dinâmica do condomínio, foi acordado com o síndico um local seguro que garantisse a integridade do aparelho e dos dados, sem causar interferências na circulação do condomínio. Por esse motivo, o *datalogger* não foi instalado em um local mais aberto e distante das edificações, como recomenda a literatura. Contudo, ele foi instalado em um local que representasse as características do padrão construtivo e que não interferisse no dia a dia dos moradores. O *datalogger* foi programado para registrar os valores de temperatura e umidade relativa do ar em intervalos de 1 hora, permanecendo no condomínio de outubro de 2019 a setembro de 2020.

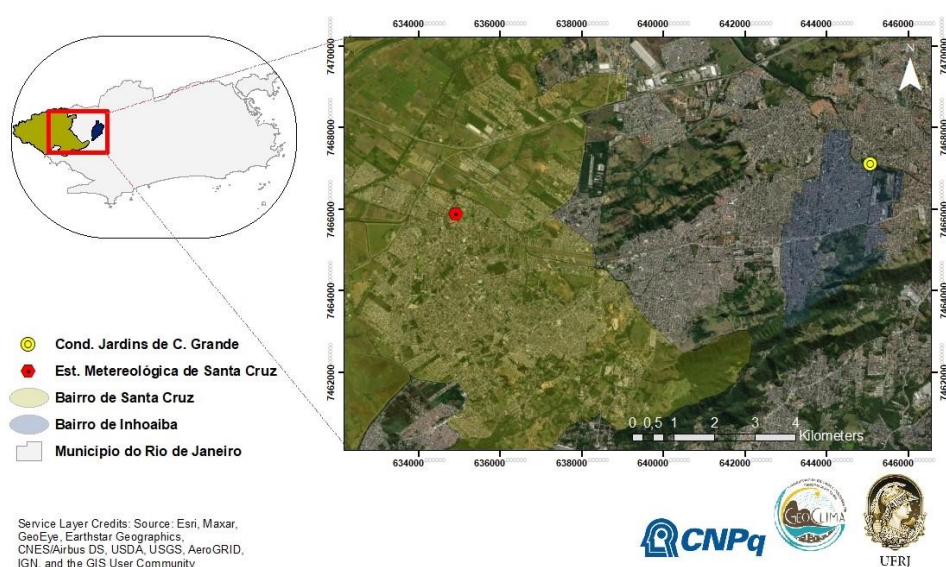
Figura 3. A- Equipamento *datalogger* de temperatura e umidade do ar TFA KLIMALOGG PRO Thermo-Hygro-Logger. B – Abrigo de madeira branco com furos nas laterais a 1,5 metros de altura. C- Estação meteorológica de Santa Cruz.



Fonte. A- Site do produto, disponível em: <https://www.tfa-dostmann.de/produkt/profi-thermo-hygrometer-mit-datenlogger-funktion-klimalogg-pro-30-3039/>. B – Os autores. C- Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, disponível em: <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/dados-meteorologicos/info-estacoes/>

Os dados de temperatura foram tabulados no Microsoft Excel® 2010, onde foram elaborados uma tabela e um gráfico com a média horária da temperatura e da umidade relativa do ar por estação, com o propósito de comparação.

Figura 4. Localização do Cond. Jardins de C. Grande e da Est. Met. de Santa Cruz no município do Rio de Janeiro – RJ



Fonte: Os autores

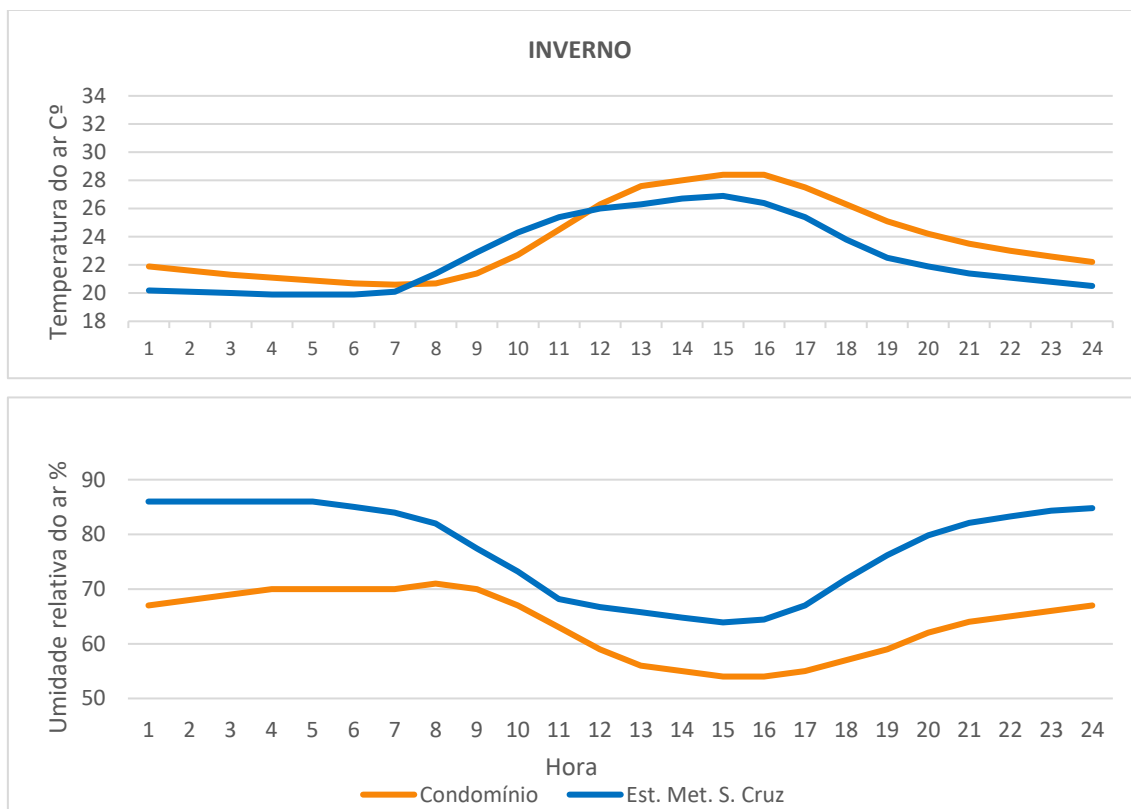
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A temperatura média horária no condomínio variou significativamente ao longo dos dias e das estações, refletindo as influências de suas características morfológicas. De maneira geral, observou-se que o condomínio apresentou uma dinâmica de variação da temperatura do ar semelhante entre as estações de inverno, verão e primavera, registrando médias mais altas nos períodos da madrugada (0h às 6h), tarde (13h às 17h) e noite (18h às 23h). Em contraste, a Estação Meteorológica de Santa Cruz apresentou as temperaturas médias mais altas apenas no período da manhã (7h às 12h) (Figuras 5, 6 e 7). Na estação de outono, no entanto, essa dinâmica foi diferente; o condomínio apresentou temperaturas mais altas apenas na madrugada e após as 16h, enquanto o ponto de controle registrou temperaturas mais elevadas do período da manhã até o final da tarde.

Outra característica notável foi que, na estação de outono, ao contrário das anteriores, o condomínio não registrou uma temperatura máxima média mais alta do que a Estação Meteorológica de Santa Cruz. Ainda assim, o condomínio terminou o dia de outono com uma média de temperatura 1,8°C maior do que a registrada na Estação Meteorológica de Santa Cruz (Figura 8).

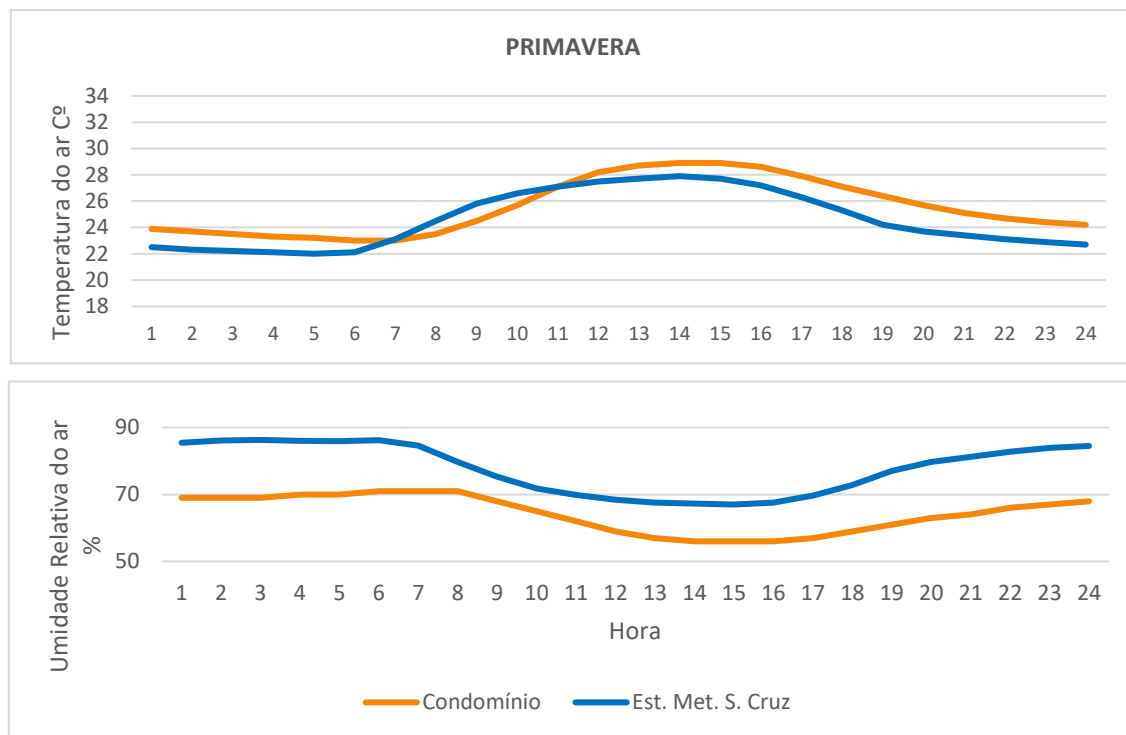
Em relação à média horária da umidade relativa do ar, a Estação Meteorológica de Santa Cruz apresentou-se consistentemente como o ponto mais úmido nas quatro estações. De modo geral, a umidade relativa do ar comportou-se de forma inversa à temperatura, apresentando maiores porcentagens durante a madrugada, uma queda no início da manhã e um aumento no início da noite. Essa dinâmica foi observada em ambos os pontos. Mesmo em seu momento mais seco, a Estação Meteorológica de Santa Cruz registrou uma média horária de umidade relativa do ar superior à do condomínio, com diferenças de quase 10% no inverno, 11% na primavera e 10,3% no verão (Figuras 5, 6 e 7). A estação de outono foi a única em que a diferença entre os dois pontos, no momento mais seco, foi menor, registrando uma discrepância de apenas 3,8% de umidade entre os dois locais (Figura 8).

Figura 5. Média horária de temperatura e umidade relativa do ar da estação de inverno.



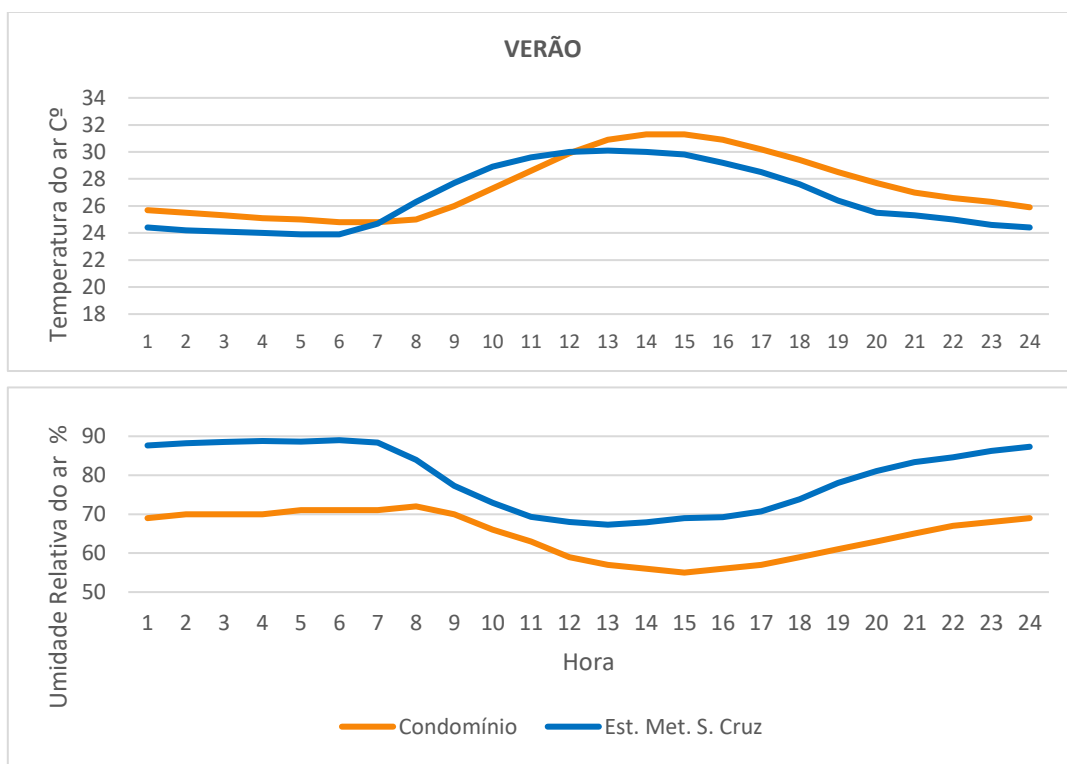
Fonte. Os autores

Figura 6. Média horária de temperatura e umidade relativa do ar da estação da primavera.



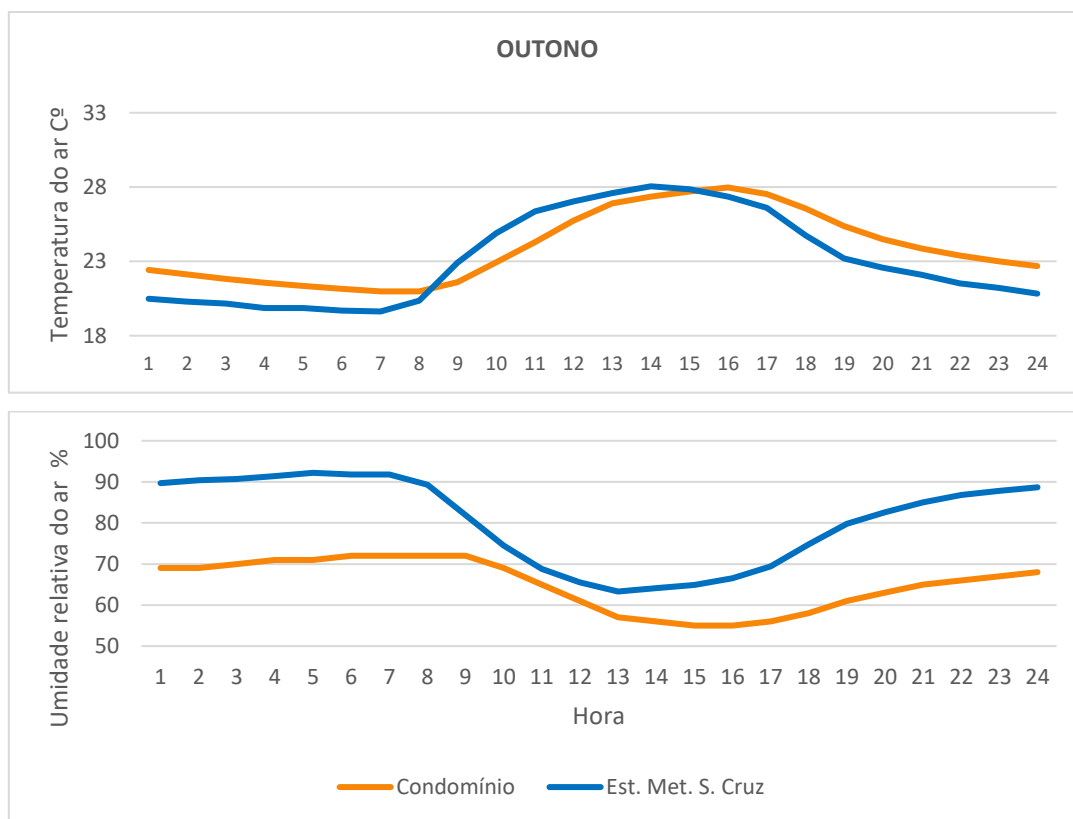
Fonte. Os autores

Figura 7. Média horária de temperatura e umidade relativa do ar da estação de Verão.



Fonte. Os autores

Figura 8. Média horária de temperatura e umidade relativa do ar da estação de Outono.

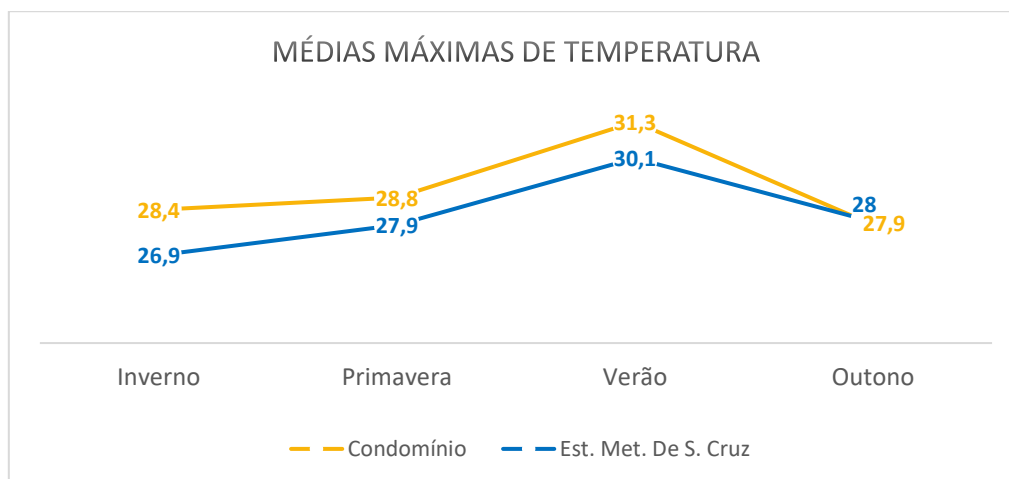


Fonte. Os autores

Com os dados, foi possível observar que o condomínio apresentou, em três estações, a temperatura média horária máxima mais alta, exceto no outono, quando a Estação Meteorológica de Santa Cruz registrou 0,1°C a mais de temperatura (Figura 9). Os horários em que os dois pontos registraram a média máxima também variaram entre eles e entre as estações. A Estação Meteorológica de Santa Cruz registrou a média máxima em horários fixos, permanecendo nessa temperatura por um período de uma hora. Em contraste, o condomínio apresentou um padrão mais volátil, com a temperatura máxima permanecendo estável por mais de uma hora, exceto na estação de outono (Tabela 1).

Embora os dois pontos tenham registrado a máxima no mesmo horário, o condomínio demonstrou uma inércia térmica maior, especialmente na estação de verão. Nesse período, o condomínio registrou a temperatura máxima às 13h, uma hora após a Estação Meteorológica de Santa Cruz, e manteve essa temperatura até as 14h, duas horas depois da Estação Meteorológica de Santa Cruz. No outono, ocorreu uma situação semelhante, com uma diferença de duas horas entre os pontos.

Figura 9: Média horária máxima de temperatura do ar por estação.



Fonte. Os autores

Tabela 1: Horário de registro das maiores temperaturas médias por estação

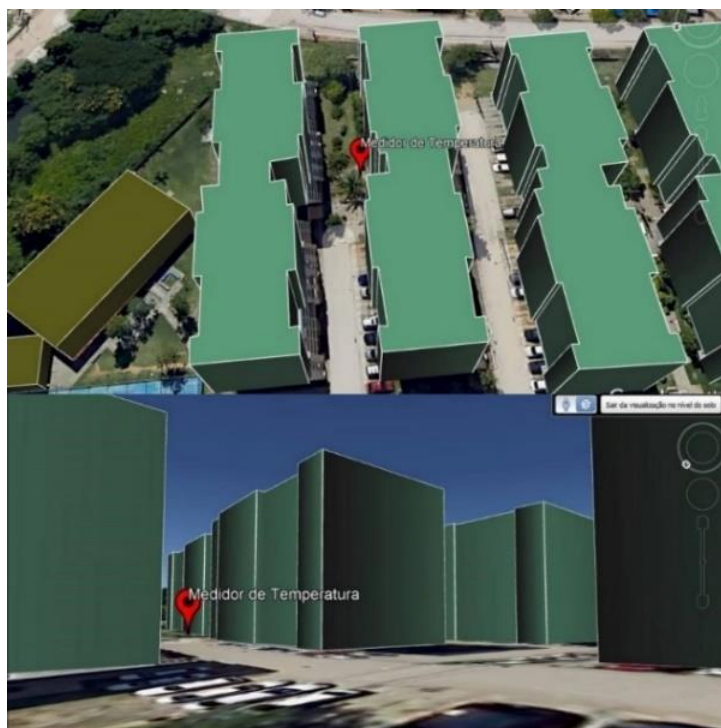
	Condomínio	Est. Met. S. Cruz
Inverno	14h/15h	14h
Primavera	13h/14h	13h
Verão	13h/14h	12h
Outono	15h	13h

Fonte. Os autores

Essa dinâmica de temperatura pode ser explicada pela combinação de vários fatores, como o padrão construtivo, FVC, exposição à radiação solar direta e as diferentes características termodinâmicas dos materiais construtivos presentes no ambiente. O Condomínio Jardins de Campo Grande possui um padrão construtivo mais "adensado", com ruas estreitas e prédios relativamente altos e próximos, que formam verdadeiros cânions urbanos, dificultando a chegada de radiação solar direta em seu interior (Figura 10). No entanto, devido à instalação do abrigo meteorológico entre dois prédios alinhados em uma posição próxima à trajetória solar (Leste-Oeste), houve um maior recebimento de radiação solar direta, permitindo a iluminação do abrigo ao longo do dia.

Dessa forma, em média, foi registrada uma maior incidência de radiação solar direta ao longo dos dias. Nas estações de outono e inverno, foram registrados os maiores totais, ultrapassando 11 horas diárias de luz solar direta. Na estação da primavera, houve uma leve diminuição, com o abrigo recebendo aproximadamente 7 horas e 39 minutos de luz solar, englobando o período da manhã e início da tarde. Contudo, essa dinâmica não foi observada na estação do verão, quando a localização do abrigo, próxima ao edifício, projetou um sombreamento que bloqueou a ação direta da radiação solar ao longo dessa estação (Figura 11).

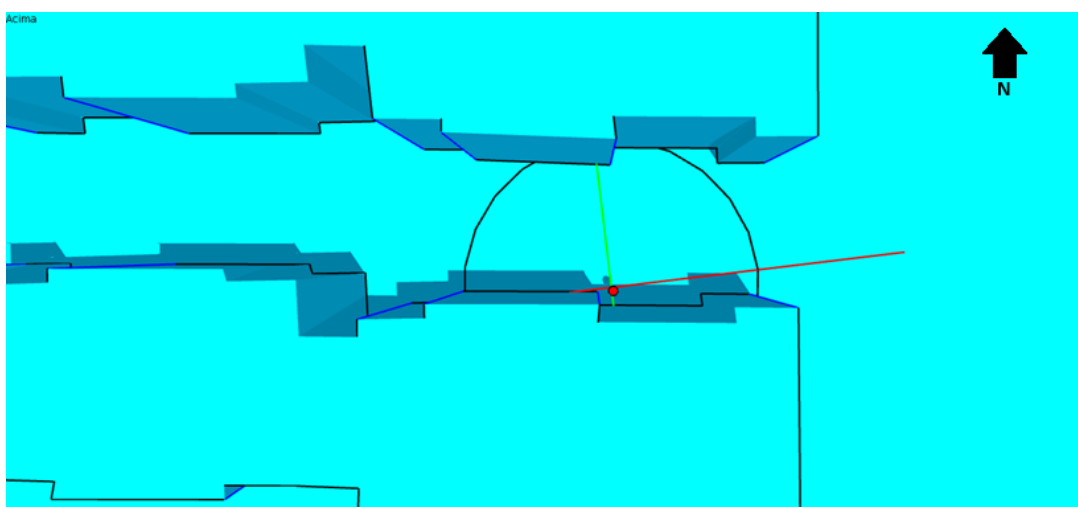
Figura 10: Modelagem 3D da altura das edificações com a localização do datalogger em vermelho no Condomínio.



Fonte: Os autores

Isso pode ser explicado pelo fato de que, embora o alinhamento seja favorável à radiação, no verão, no hemisfério sul, o sol está mais ao sul do equador celeste. Isso faz com que superfícies ao norte voltadas para o sul sejam mais iluminadas pelos raios solares do que superfícies ao sul voltadas para o norte. Devido à altura do prédio e ao fato de o ponto 1 estar localizado bem próximo à sua base, em uma vertente voltada para o norte, o edifício projetou sua sombra em sua base próxima, bloqueando a ação direta dos raios solares sobre o abrigo.

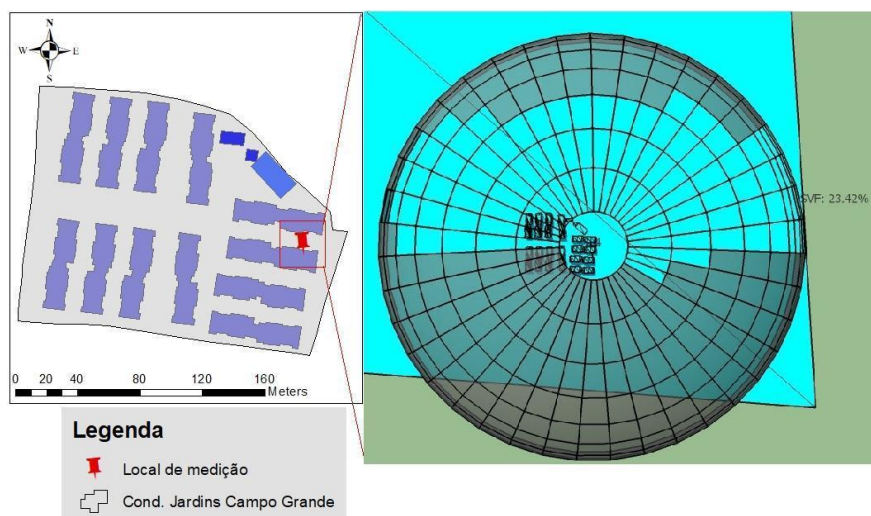
Figura 11: Projeção da sombra às 12 horas na estação de verão no Cond. Jardins de Campo Grande.



Fonte: Os autores

Esse padrão construtivo do condomínio resulta em um FVC de apenas 23,42%, ou seja, quase 3/4 da abertura do local escolhido para a atmosfera está obstruída pelas construções (Figura 12). Essa característica sugere que, nesse ponto, a temperatura do ar tende a permanecer mais alta, pois a alta rugosidade proporcionada pelo desenho das edificações do condomínio pode formar obstáculos que impeçam a liberação de energia em ondas longas durante o dia e à noite, fazendo com que as médias de temperatura não diminuam tanto à noite e de madrugada. Na Estação Meteorológica de Santa Cruz, esse padrão não foi observado, pois ela está localizada em um terreno amplo e aberto, longe de qualquer construção, natural ou artificial, que possa bloquear a chegada ou saída de energia.

Figura 12: Representação gráfica do condomínio e do fator de visão do céu (FVC).



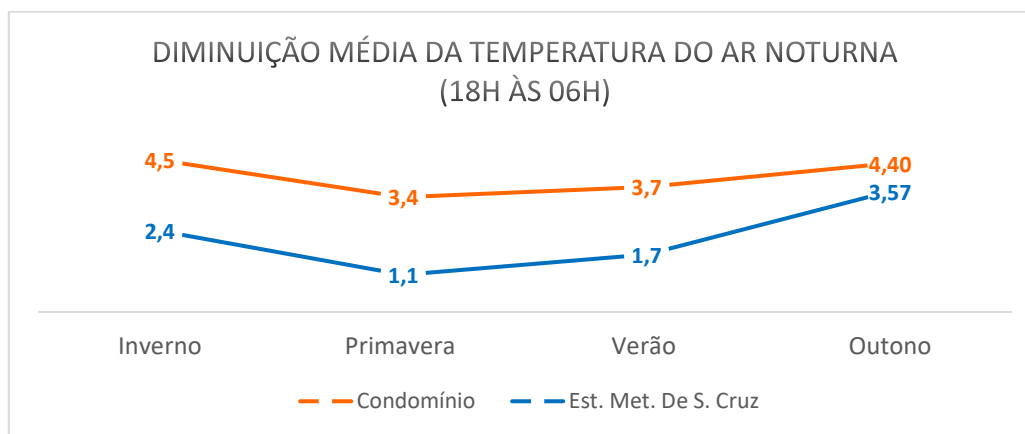
Fonte: Os autores

A maior porcentagem de bloqueio do céu no condomínio, com a formação de cânions urbanos em seu interior, fez com que, no período da manhã, a radiação solar tivesse dificuldades em adentrar entre os espaços dos edifícios, consequentemente, a temperatura do ar não se elevou muito nesse período. Contudo, ao longo do dia, a radiação que conseguiu alcançar a superfície não pôde ser totalmente liberada em ondas longas para a atmosfera devido ao baixo FVC. Isso explica a diferença cronológica entre os pontos em alcançar a temperatura média máxima (Tabela 1), e o condomínio permanecer com temperaturas mais elevadas do que o ponto de controle, mesmo após a iluminação solar (Figuras 5, 6, 7 e 8). A Estação Meteorológica de Santa Cruz, devido às características morfológicas de seu entorno e à instalação em um abrigo meteorológico em terreno aberto, sem interferência de elementos construídos, apresentou um FVC de quase 100%, possibilitando as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera e uma maior diminuição da temperatura do ar.

A discrepância na variação de amplitude térmica registrada no período noturno entre os pontos (Figura 13) é outro indicativo de que o padrão construtivo, a umidade relativa do ar e os materiais com diferentes características termodinâmicas usados na construção influenciaram a dinâmica de variação da temperatura do ar registrada pelos medidores. A umidade relativa do ar é um importante indicativo que se relaciona à variação de temperatura do ar devido à capacidade de calor específico da água, que tende a reduzir as amplitudes térmicas. O condomínio apresenta um córrego urbano em uma de

suas extremidades; contudo, o padrão construtivo do condomínio, somado à alta pavimentação e impermeabilização do solo, baixo FVC e menor quantidade de superfícies vegetadas, pode ter suplantado uma possível influência causada por esse fator geográfico.

Figura 13. Diminuição média da temperatura do ar no período noturno (18h às 06h)



Fonte: Os autores

Sugere-se que o local de instalação do abrigo de temperatura e umidade relativa do ar também pode ter influenciado os registros de umidade, embora essa possibilidade ainda necessite de estudos posteriores para comprovação. O medidor foi instalado entre o bloco de prédios com alinhamento Leste-Oeste, ficando paralelo ao trajeto do córrego (Figura 14). Como o córrego está situado ao norte em relação ao condomínio, uma das possibilidades seria que o alinhamento dos blocos pode ter formado uma barreira à entrada de umidade advinda desse corpo d'água. Essa barreira pode ter sido fortalecida pela altura e proximidade entre os prédios, dificultando a circulação do ar e, consequentemente, a troca de umidade com o ambiente ao redor. A combinação desses fatores pode ter resultado em um ponto de medição menos úmido em comparação à Estação Meteorológica de Santa Cruz. No entanto, além de estudos futuros para comprovação dessa possibilidade, também reitera-se a relevância do papel da circulação atmosférica em recortes espaciais mais significativos, que também potencialmente apresentam papel fundamental na variação temporal desse elemento climático.

Figura 14: Localização do medidor de temperatura e umidade (círculo vermelho), em relação ao córrego urbano (Linha azul), no Cond. Jardins de C. Grande.



Fonte: Os autores

Como a umidade relativa do ar é um fator importante na diminuição da temperatura e, conseqüentemente, na amplitude térmica, a menor porcentagem de umidade registrada no condomínio deveria possibilitar uma grande diminuição da temperatura do ar, exibindo uma expressiva amplitude térmica. Essa dinâmica é parcialmente observada, pois o condomínio apresenta uma maior diminuição da temperatura e uma maior amplitude térmica em relação à Estação Meteorológica de Santa Cruz em números absolutos (Figura 13). Entretanto, o seu padrão construtivo e o alto bloqueio do FVC não permitiram que a superfície e os materiais construtivos de seu entorno liberassem completamente a radiação recebida ao longo do dia.

Na Estação Meteorológica de Santa Cruz ocorre o inverso. Por mais que o local de instalação apresente quase 100% de FVC, permitindo uma ótima troca de energia entre a superfície e a atmosfera, a alta umidade relativa do ar, advinda de sua localização próxima à Baía de Sepetiba e em um terreno bastante vegetado, impede que isso ocorra tão facilmente devido à elevada capacidade de calor específico da água. Conseqüentemente, a temperatura não se altera muito durante o dia, não se aquecendo tanto, e também durante a noite e a madrugada, não liberando muito calor para a atmosfera.

Ou seja, embora o condomínio apresente uma taxa de diminuição média da temperatura acima da registrada no ponto de controle, ele não consegue alcançar a mesma temperatura registrada na Estação Meteorológica de Santa Cruz (Figuras 5, 6, 7 e 8). Isso evidencia que a combinação do padrão construtivo e do FVC modifica os elementos do clima, como a temperatura e a umidade relativa do ar, produzindo condições climáticas únicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O padrão construtivo do condomínio, especialmente quanto às suas características morfológicas, possivelmente influenciou os elementos do microclima local, atuando como um fator geográfico do clima nesta escala. Por meio da caracterização, foi possível observar que o formato do condomínio influenciou a variação temporal da temperatura e umidade relativa do ar. Entretanto, observa-se também que, no contexto do microclima urbano, o padrão construtivo sozinho não é um fator determinante para explicar a dinâmica de temperatura e umidade relativa do ar na área de estudo. Há necessidade de aprofundar os estudos na área, considerando outros fatores que também possam influenciar essa dinâmica, como os materiais construtivos com diferentes características termodinâmicas, a velocidade e a direção dos ventos no local de medição, por exemplo.

O Condomínio Jardins de Campo Grande experienciou dinâmicas na variação de temperatura e umidade relativa do ar que, em parte, são explicadas pela influência dos padrões construtivos. Essas variações tornam cada estado de tempo registrado único, criando uma dinâmica própria na Camada Limite Urbana (Urban Canopy Layer – UCL) local. De acordo com Oke (1976), na UCL, a temperatura é influenciada pela morfologia das edificações do entorno e pela natureza e características dos materiais construtivos utilizados.

A metodologia utilizada apresentou potencialidades para o estudo das influências dos padrões construtivos na variação da temperatura do ar. A análise do FVC, somada à temperatura e umidade média horária do ar, mostrou-se uma combinação interessante para relacionar a variação de temperatura ao formato das edificações. Contudo, as dificuldades relacionadas ao local de instalação do medidor, somadas à disponibilidade de apenas um datalogger instalado dentro do condomínio, limitaram o entendimento das dinâmicas internas do mesmo.

De maneira geral, foi possível perceber que o formato mais “adensado” do condomínio, com prédios de cinco pavimentos próximos uns aos outros, possibilitou a formação de estruturas semelhantes a cânions urbanos dentro do condomínio. Esse padrão construtivo, por exemplo, fez com que o condomínio apresentasse uma maior obstrução da abertura da superfície para a atmosfera e consequente maior inércia térmica. O FVC no Condomínio Jardins de Campo Grande, de 23,42%, influenciou na diminuição mais lenta da média da temperatura do ar no período da madrugada. O alinhamento dos edifícios também pode ter influenciado na chegada e circulação da umidade do córrego urbano, modificando a influência de um fator geográfico próximo ao condomínio.

A soma desses fatores fez com que o condomínio não conseguisse se resfriar no período noturno e alcançar a temperatura registrada no ponto de controle, mesmo quando o condomínio não tenha alcançado a temperatura mais alta, como no outono, onde ainda apresentou a madrugada mais quente. Ou seja, o padrão construtivo funcionou como um fator geográfico do clima, anulando ou até mesmo potencializando elementos do clima e características “naturais” do sítio. Entretanto, como mencionado anteriormente, essas características morfológicas não são fatores determinantes nesta escala e local de análise. Para o aprofundamento e amadurecimento da pesquisa, outros fatores devem ser levados em consideração, o que se pretende abordar nos próximos passos desta investigação

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, D. C. **O conforto térmico associado às variáveis de cobertura da terra na região central de Juiz de Fora (MG)**. 196f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, programa de pós-graduação em geografia, Juiz de Fora p.196. 2016.
- FERREIRA, G. R.; FIALHO, E. S. Campo térmico x fator de visão do céu: estudo da área central do município de viçosa-mg em episódios de outono e inverno/2014. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v.42, n. 2: 1-25, 2016.
- CHATZIPOULKA, C.; COMPAGNON, R.; KAEMPF, J.; NIKOLOPOULOU, M. Sky view factor as predictor of solar availability on building façades. **Solar Energy**, 170: 1026 – 1038, 2018. DOI 10.1016/j.solener.2018.06.28. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.06.28>.
- CHEN, L. et al. Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. **International Journal of Climatology**, 32: 121 – 136, 2012. DOI 10.1002/joc.2243. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.2243>

- LAVE, R.; WILSON, M. W.; BARRON, E. S. Intervenção: Geografia Física Crítica, **Espaço Aberto, PPGG – UFRJ**, Rio de Janeiro, v.9, n., p. 77-94, 2019.
- MACHADO, A.L. **Impactos da verticalização e adensamento urbano das edificações em topoclimas e mesoclimas na porção norte do município de nova lima (MG)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2016.
- MENDES, J.; ARMOND, N.; SILVA, L. Ilhas de calor urbanas de superfície, ondas de calor e de frio no município do Rio de Janeiro – RJ (2015 - 2019). **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 30, p. 133–155, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.14908.
- MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IG/USP, 1976.
- MORAIS, M. V. B. et al. Effective albedo estimates for the Metropolitan Area of São Paulo using empirical sky-view factors. **Urban Climate**, 21: 183 – 194, 2017. DOI 10.1016/j.uclim.2017.06.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.06.007>.
- MOREIRA, A. B. et al. O fator de visão do céu e as características climáticas locais do Recife – PE/ Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 28, 2021. ISSN: 2237-8642, 1980-055X, DOI: 10.5380/rbclima.v28i0.71518. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/71518>. Acesso em: 6 jun. 2024
- OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuem & Co. LTD, 1978. 372p.
- OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat island. **Atmosphere, British Columbia**, nº 4, v. 14, p. 268-277, 1976.
- RAMPAZZO, C. R. **Clima e produção do espaço urbano: Contribuição ao estudo da geografia do clima no contexto das cidades de São Carlos e Marília**. Dissertação (Mestrado em geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.
- RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y. C.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, 20(1): 120 – 128. DOI 10.1016/S1001-0742(08)60019-4. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4).
- SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 7, v. 8, 2011.
- SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização**. Geografia contexto, 2000.
- TUHOLSKE, C. et al. Global urban population exposure to extreme heat. **PNAS**, 118(41): e2024792118. DOI 10.1073/pnas.2024792118. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.2024792118>.
- WU, C.-D.; LUNG, S.-C. C. Application of 3-D Urbanization Index to assess impact of urbanization on air temperature. **Scientific Reports**, 5(24351): srep24351, 2016. DOI 10.1038/srep24351. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep24351>
- ZAVATTINI, J. A. A razão da influência: uma teoria do clima. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 1, nº. 1, 2005. ISSN: 2237-8642, 1980-055X, DOI:

10.5380/abclima.v1i1.25236. Disponível em:
<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25236>. Acesso em: 6 jun. 2024

ZHANG, J.; GOU, Z.; LU, Y.; LIN, P. The impact of sky view factor on thermal environments in urban parks in a subtropical coastal city of Australia. **Urban Forestry & Urban Greening**, 44: 126422, 2019. DOI 10.1016/j.ufug.2019.126422. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126422>

ZHOU, B.; RYBSKI, D.; KROPP, J. P. The role of city size and urban form in the surface urban heat island. **Scientific Reports**, 7(4791): s41598-017-04242-2, 2017. DOI 10.1038/ s41598-017-04242-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>