

## **Transformações Morfológicas e Impactos Microclimáticos em Cânions Urbanos: Análise Espacial e Temporal no Bairro Vila Rodrigues em Passo Fundo-RS**

**Isadora Cezar Caino**

Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS Educação, Brasil.

isadoracaino@gmail.com

ORCID iD 0000-0001-7194-9414

**Jéssica Braz**

Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS Educação, Brasil.

arqjessicabraz@hotmail.com

ORCID iD 0009-0001-1167-1526

**Manoela Peruzzo da Silva**

Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS Educação, Brasil.

mperuzzo.arq@gmail.com

ORCID iD 0009-0001-0113-353X

**Rangel Girardelo Vidmar**

Mestrando em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS Educação, Brasil.

rangelvidmar@gmail.com

ORCID iD 0009-0000-4710-9562

**Grace Tibério Cardoso**

Professora Doutora, ATITUS Educação, Brasil.

gracetiberio@hotmail.com

ORCID iD 0000-0002-1779-4631

## **Transformações Morfológicas e Impactos Microclimáticos em Cânions Urbanos: Análise Espacial e Temporal no Bairro Vila Rodrigues em Passo Fundo-RS**

### **RESUMO**

**Objetivo** – O artigo tem como objetivo analisar a morfologia dos cânions urbanos no bairro Vila Rodrigues, localizado em Passo Fundo-RS, investigando as transformações morfológicas ao longo do tempo e suas relações com as temperaturas da superfície terrestre.

**Metodologia** – A pesquisa adota uma abordagem empírica, fundamentada na análise morfométrica da configuração urbana (razão H/W, densidade construtiva, presença de vegetação) associada a dados de temperatura de superfície terrestre (Land Surface Temperature – LST), obtidos por meio de sensoriamento remoto. A análise se concentra em escala de bairro, permitindo uma leitura espacial e temporal detalhada das mudanças morfológicas e seus impactos microclimáticos.

**Originalidade/relevância** – O estudo se insere em um gap teórico relacionado à escassez de análises microclimáticas em escala de bairro, especialmente em cidades de médio porte como Passo Fundo-RS. Sua relevância acadêmica está na contribuição para o aprofundamento da compreensão sobre a relação entre morfologia urbana e clima local, com foco em áreas urbanas específicas e em constante transformação, como é o caso da Vila Rodrigues.

**Resultados** – Os principais resultados indicam que transformações morfológicas significativas no bairro, como o aumento da verticalização e do adensamento construtivo, estão associadas a elevações nas temperaturas superficiais. A substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis contribui para a intensificação das ilhas de calor urbanas.

**Contribuições teóricas/metodológicas** – O estudo contribui teoricamente ao reforçar a importância da análise integrada entre forma urbana e clima local, utilizando dados de sensoriamento remoto e parâmetros morfométricos. Metodologicamente, propõe uma abordagem replicável para diagnósticos ambientais urbanos em escala de bairro, com potencial de aplicação em diferentes contextos territoriais.

**Contribuições sociais e ambientais** – Do ponto de vista social e ambiental, o estudo oferece subsídios técnicos para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, com foco na melhoria do conforto térmico e na redução da vulnerabilidade das populações urbanas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cânions Urbanos. Morfologia Urbana. Planejamento Urbano.

## **Morphological Transformations and Microclimatic Impacts in Urban Canyons: A Spatial and Temporal Analysis in Vila Rodrigues, Passo Fundo, Brazil**

### **ABSTRACT**

**Objective** – This article aims to analyze the morphology of urban canyons in the Vila Rodrigues neighborhood, located in Passo Fundo, RS, by investigating morphological transformations over time and their relationship with land surface temperatures.

**Methodology** – The research adopts an empirical approach, based on the morphometric analysis of the urban configuration (H/W ratio, building density, presence of vegetation) associated with land surface temperature (LST) data obtained through remote sensing. The analysis focuses on the neighborhood scale, allowing for a detailed spatial and temporal reading of morphological changes and their microclimatic impacts.

**Originality/relevance** – The study addresses a theoretical gap related to the scarcity of microclimatic analyses at the neighborhood scale, especially in medium-sized cities such as Passo Fundo-RS. Its academic relevance lies in contributing to a deeper understanding of the relationship between urban morphology and local climate, with a focus on specific and rapidly transforming urban areas like Vila Rodrigues.

**Results** – The main results indicate that significant morphological transformations in the neighborhood, such as increased verticalization and building density, are associated with rises in surface temperatures. The replacement of vegetated areas by impervious surfaces contributes to the intensification of urban heat islands.

**Theoretical/methodological contributions** – The study contributes theoretically by reinforcing the importance of integrated analysis between urban form and local climate, using remote sensing data and morphometric parameters. Methodologically, it proposes a replicable approach for urban environmental diagnostics at the neighborhood scale, with potential for application in various territorial contexts.

**Social and environmental contributions** – From a social and environmental perspective, the study offers technical support for the development of more effective public policies to mitigate the effects of climate change, focusing on improving thermal comfort and reducing the vulnerability of urban populations.

**KEYWORDS:** Urban Canyons. Urban Morphology. Urban Planning.

## **Transformaciones Morfológicas e Impactos Microclimáticos en Cañones Urbanos: Análisis Espacial y Temporal en el Barrio Vila Rodrigues de Passo Fundo, Brasil**

### **RESUMEN**

**Objetivo** – Este artículo tiene como objetivo analizar la morfología de los cañones urbanos en el barrio Vila Rodrigues, ubicado en Passo Fundo, RS, investigando las transformaciones morfológicas a lo largo del tiempo y sus relaciones con las temperaturas de la superficie terrestre.

**Metodología** – La investigación adopta un enfoque empírico, basado en el análisis morfométrico de la configuración urbana (relación H/W, densidad edificatoria, presencia de vegetación) asociado a datos de temperatura de la superficie terrestre (LST), obtenidos mediante teledetección. El análisis se concentra a escala barrial, lo que permite una lectura espacial y temporal detallada de los cambios morfológicos y sus impactos microclimáticos.

**Originalidad/relevancia** – El estudio se inserta en una laguna teórica relacionada con la escasez de análisis microclimáticos a escala de barrio, especialmente en ciudades medianas como Passo Fundo-RS. Su relevancia académica radica en contribuir a una comprensión más profunda de la relación entre morfología urbana y clima local, con foco en áreas urbanas específicas y en constante transformación, como Vila Rodrigues.

**Resultados** – Los principales resultados indican que transformaciones morfológicas significativas en el barrio, como el aumento de la verticalización y de la densidad edificatoria, están asociadas a elevaciones en las temperaturas superficiales. La sustitución de áreas vegetadas por superficies impermeables contribuye a la intensificación de las islas de calor urbanas.

**Contribuciones teóricas/metodológicas** – El estudio contribuye teóricamente al reforzar la importancia del análisis integrado entre forma urbana y clima local, utilizando datos de teledetección y parámetros morfométricos. Metodológicamente, propone un enfoque replicable para diagnósticos ambientales urbanos a escala de barrio, con potencial de aplicación en diferentes contextos territoriales.

**Contribuciones sociales y ambientales** – Desde el punto de vista social y ambiental, el estudio ofrece aportes técnicos para el desarrollo de políticas públicas más eficaces en la mitigación de los efectos del cambio climático, con foco en la mejora del confort térmico y en la reducción de la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas.

**PALABRAS CLAVE:** Cañones Urbanos. Morfología Urbana. Planificación Urbana.

## 1 INTRODUÇÃO

O Relatório de Riscos Globais de 2024, publicado pelo Fórum Econômico Mundial, destaca os eventos climáticos extremos e as alterações críticas nos sistemas naturais como os principais riscos globais para a próxima década. Essa avaliação é corroborada por dados da Organização Meteorológica Mundial (OMM), que apontam que a temperatura média global próxima à superfície em 2023 superou em 1,45 °C ( $\pm 0,12$  °C) a média do período pré-industrial (1850–1900), sendo esse o ano mais quente já registrado (OMM, 2024).

No contexto brasileiro, os impactos das mudanças climáticas têm se manifestado de forma severa. Em 2023, o país registrou doze eventos climáticos extremos, sendo nove classificados como incomuns e dois como sem precedentes (OMM, 2024). Um dos episódios mais impactantes ocorreu no estado do Rio Grande do Sul, com a passagem de um ciclone extratropical que provocou inundações em larga escala, afetando diretamente mais de 340 mil pessoas e levando 92 municípios a decretarem estado de calamidade pública (OMM, 2024). Esses eventos evidenciam a urgência da adoção de medidas de adaptação e mitigação alinhadas às particularidades territoriais e fundamentadas em evidências científicas.

Nas cidades, as mudanças climáticas intensificam os desafios relacionados ao aumento das temperaturas, à perda de conforto ambiental e à ampliação da vulnerabilidade das populações em áreas densamente urbanizadas. Nesse contexto, a compreensão das condições microclimáticas urbanas é fundamental para subsidiar políticas públicas e estratégias de planejamento urbano climático. A morfologia urbana — ou seja, a configuração espacial do tecido construído — é um dos principais fatores que influenciam o microclima, afetando diretamente elementos como ventilação, sombreamento, retenção de calor e radiação solar incidente (Oke, 2006; Erell et al., 2015).

Destacam-se, nesse cenário, os cânions urbanos, formados pela relação entre edificações e vias públicas. As características morfológicas desses espaços, como a razão de aspecto (H/W), a densidade construtiva e a presença de vegetação, impactam significativamente a temperatura da superfície urbana e o conforto térmico (Oke, 2006; Erell et al., 2015; Lemos, Barbosa e Lima, 2022). A associação entre dados morfométricos e informações de temperatura de superfície terrestre (Land Surface Temperature – LST), obtidas por meio de sensoriamento remoto, tem se mostrado uma ferramenta eficaz na identificação de áreas críticas e na formulação de estratégias de mitigação baseadas na forma urbana (Wang et al., 2018; Vanhellemont, 2020).

Nas cidades de médio porte, como Passo Fundo, no norte do Rio Grande do Sul, a rápida transformação do tecido urbano, marcada por processos de verticalização e adensamento, evidencia a necessidade de estudos que investiguem as transformações morfológicas e seus efeitos sobre o clima local. No entanto, ainda são escassos os trabalhos voltados à análise detalhada dessas mudanças em escala de bairro.

Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo principal analisar a morfologia dos cânions urbanos no bairro Vila Rodrigues da cidade de Passo Fundo-RS, verificando as transformações morfológicas ocorridas ao longo do tempo e suas relações com as temperaturas superficiais. A partir dessa abordagem, busca-se gerar insumos técnicos que possam subsidiar o planejamento urbano climático e a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em escala local. Ao focalizar uma área urbana específica, o estudo contribui para a construção de um diagnóstico ambiental mais preciso, capaz de orientar

intervenções estratégicas fundamentadas em evidências espaciais e temporais.

### **1.1 Forma urbana, microclima e classificações morfotérmicas**

A relação entre a forma urbana e o microclima tem sido objeto de crescente atenção nas últimas décadas, especialmente diante da intensificação dos eventos climáticos extremos e do adensamento acelerado das cidades. Entre os elementos mais relevantes para a configuração das condições térmicas em áreas urbanas destacam-se os cânions urbanos, cujas geometrias — altura das edificações, largura das vias e orientação — influenciam diretamente os padrões de radiação solar, sombreamento e ventilação natural (Gäll et al., 2016; Lemos, Barbosa e Lima, 2022).

Diversos estudos indicam que a morfologia urbana atua como variável estruturante na modulação da temperatura de superfície terrestre (LST), sendo particularmente crítica em áreas com elevada densidade construtiva e reduzida permeabilidade do solo (Wang et al., 2018; Vanhellemont, 2020). A ausência de vegetação, combinada à compactação do tecido urbano, intensifica o armazenamento de calor e favorece a formação de ilhas de calor, principalmente em zonas centrais e bairros verticalizados.

Com base em critérios como a razão altura/largura (H/W) das vias, o grau de impermeabilização e a estrutura volumétrica das edificações, é possível categorizar os diferentes setores da cidade segundo seu potencial de interferência no clima local. As Zonas Climáticas Urbanas (urban climate zones – UCZs) oferecem uma referência útil nesse sentido. As UCZs de tipo 1 e 2 descrevem áreas com alta densidade, compostas por edificações contíguas ou torres próximas entre si, com percentuais de impermeabilização superiores a 85%. Tais áreas apresentam alta capacidade de modificação do microclima, com bloqueio à ventilação e acúmulo de calor. Já as UCZs de tipo 3 e 4 representam áreas de média densidade, onde há maior diversidade tipológica e, eventualmente, presença de vegetação nos lotes. As UCZs 5 a 7 descrevem contextos suburbanos ou rurais, com menor impacto climático devido à baixa verticalização e à maior presença de superfícies permeáveis (Oke, 2006).

O uso de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento tem ampliado a capacidade de análise da morfologia urbana e seus efeitos microclimáticos, viabilizando o mapeamento de padrões térmicos com maior precisão, inclusive em cidades de médio porte. Tais análises revelam áreas críticas que demandam atenção do planejamento urbano, sobretudo em territórios que enfrentam processos de verticalização acelerada, substituição de áreas verdes por superfícies construídas e aumento da vulnerabilidade socioambiental (Wang et al., 2018; Vanhellemont, 2020).

Diante da urgência climática, recentemente evidenciada por eventos extremos no sul do Brasil, cresce a demanda por estratégias urbanas baseadas em evidências e diagnósticos localizados. A literatura internacional tem destacado o potencial da modelagem urbana tridimensional e das análises morfológicas automatizadas como ferramentas para prever e mitigar os impactos térmicos em escala de bairro (Wang et al., 2018; Vanhellemont, 2020). Ao permitir a classificação dos espaços urbanos a partir de critérios objetivos e comparáveis, essas abordagens oferecem suporte técnico relevante à formulação de políticas públicas voltadas à adaptação climática e ao ordenamento territorial sensível às condições ambientais locais.

## **2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **2.1 Delimitação do estudo**

O estudo foi conduzido no bairro Vila Rodrigues da cidade de Passo Fundo, localizada no norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com população de 206.215 habitantes (IBGE, 2022). Classificada como cidade de médio porte, Passo Fundo vem passando por um processo de adensamento urbano progressivo nas últimas décadas, o que tem implicações diretas sobre o microclima local e a ocorrência de ilhas de calor urbanas.

Entre fevereiro e dezembro de 2021, o setor da construção civil de Passo Fundo apresentou uma movimentação expressiva no mercado imobiliário. Segundo levantamento realizado pelo Sindicato das Indústrias da Construção e do Mobiliário de Passo Fundo (SINDUSCON), com participação de cerca de 75% das empresas construtoras da cidade, foram comercializados 564 apartamentos residenciais verticais, considerando imóveis em fase de lançamento, em obras ou em estoque. Essa movimentação resultou em um volume financeiro estimado em R\$381 milhões, evidenciando a força do setor no contexto local (SINDUSCON, 2023).

Essa tendência de crescimento se confirmou no ano seguinte: em 2022, o setor imobiliário de Passo Fundo cresceu 22,5%, com R\$ 521 milhões movimentados, dos quais R\$ 160 milhões durante a feira Construímos, uma das principais feiras da indústria da construção no norte gaúcho (SINDUSCON, 2023). Em janeiro de 2025, a Secretaria de Obras de Passo Fundo divulgou que havia mais de 100 edifícios verticais em construção, totalizando aproximadamente 6 mil unidades, entre residenciais e comerciais. Alguns desses edifícios superaram os 130 metros de altura e alcançam até 40 pavimentos, sendo estes localizados na Vila Rodrigues (O NACIONAL, 2025).

A escolha do bairro considerou critérios como diversidade morfológica, densidade construtiva e relevância no contexto do planejamento urbano municipal. A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa, descritiva e exploratória, com foco na análise das transformações morfológicas em cânions urbanos e sua relação com as temperaturas de superfície terrestre (LST) ao longo do tempo.

A figura 1 ilustra os cânions urbanos escolhidos no bairro com indicação da direção dos visuais para a coleta das temperaturas superficiais. O objetivo é entender de que maneira a configuração urbana afeta as condições microclimáticas, especialmente no que diz respeito às temperaturas e ao conforto térmico. Esta análise faz parte de um debate mais amplo sobre mudanças climáticas, enfatizando a relevância de investigações locais para um planejamento urbano mais adaptável e resiliente.

[illegible]

### **2.3.1 Coleta e Processamento de Dados**

Foram utilizadas imagens orbitais dos satélites Landsat 8 e 9 (sensor OLI-TIRS), referentes aos anos de 2011 e 2024, selecionadas com base em baixos índices de nebulosidade e compatibilidade com o período do verão, a fim de garantir maior confiabilidade na análise térmica. O processamento das imagens foi realizado na plataforma Google Earth Engine (GEE), a partir da qual foram extraídos os dados de Temperatura da Superfície Terrestre (LST) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Paralelamente, foram utilizados dados vetoriais em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para o mapeamento das edificações e das vias, possibilitando a identificação e categorização dos cânions urbanos presentes na área de estudo.

### **2.3.2 Análise Morfométrica**

A análise morfométrica incluiu o cálculo da razão altura/largura (H/W), obtida a partir da média da altura das edificações e da largura das vias, parâmetro essencial para a caracterização do grau de confinamento dos cânions urbanos. Também foi estimado o fator de cobertura do solo, com base na proporção entre superfícies impermeáveis e vegetadas, utilizando o NDVI como indicador de suporte. Com base nesses dados morfológicos e nos padrões construtivos observados, foi aplicada a classificação das Zonas Climáticas Urbanas (UCZs), conforme a tipologia proposta por Oke (2006), permitindo identificar o potencial de modificação microclimática de cada setor analisado.

### **2.3.3 Termografia Aplicada**

Durante o verão de 2024, foi realizada a medição in loco das temperaturas superficiais nas fachadas e calçadas dos cânions urbanos selecionados, utilizando uma câmera termográfica Testo 865. As medições foram conduzidas em pontos estratégicos previamente definidos, com o objetivo de captar as variações térmicas em diferentes tipos de superfícies e orientações. Paralelamente, foram monitoradas as condições ambientais de controle, com registros simultâneos de temperatura e umidade relativa do ar em horários e específicos, a fim de garantir a consistência e a comparabilidade dos dados obtidos.

### **2.4 Análise Temporal Comparativa**

A análise temporal concentrou-se na variação da altura média das edificações ao longo dos anos e nas alterações observadas na razão entre altura e largura das vias (H/W), parâmetro fundamental para a caracterização morfológica dos cânions urbanos. Complementarmente, investigou-se a evolução da cobertura vegetal por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a distribuição térmica da superfície urbana, obtida a partir dos dados de Temperatura da Superfície Terrestre (LST), possibilitando a identificação de padrões espaciais de aquecimento associados às transformações morfológicas ocorridas no período analisado.

### **2.5 Integração e Representação Gráfica**

Na etapa final da metodologia, foram gerados mapas temáticos representando a altura das edificações, os índices de vegetação (NDVI) e as temperaturas de superfície terrestre (LST), com o objetivo de identificar espacialmente as áreas críticas do bairro. A esses mapas somaram-se fichas descritivas contendo a síntese das principais condições morfológicas e térmicas dos cânions urbanos analisados. Também foram elaborados perfis visuais e cortes transversais dos trechos selecionados, permitindo a comparação gráfica entre os diferentes períodos temporais. Por fim, foi realizada a simulação da evolução das sombras projetadas ao longo do dia, considerando a morfologia atualizada das edificações e os efeitos sobre a insolação e ventilação nos espaços urbanos.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

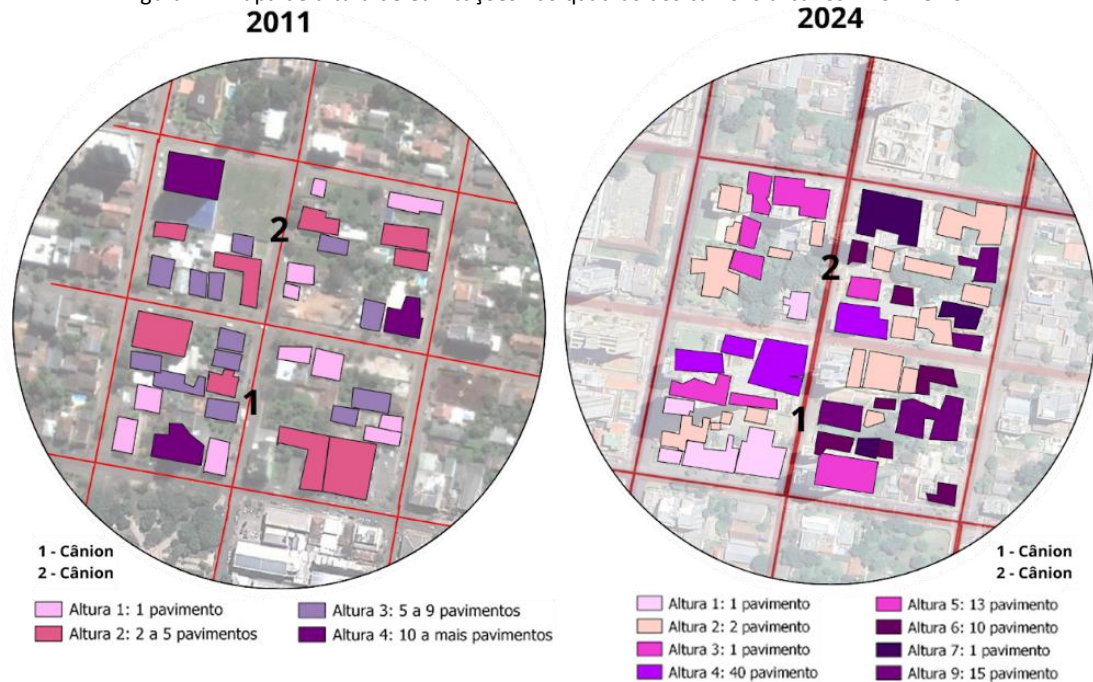
Entre os anos de 2011 e 2024, a paisagem urbana dos cânions analisados passou por significativas transformações morfológicas, conforme revelam os mapas de alturas. Em 2011, o cânion 1 apresentava predominância de edificações térreas ou com até dois pavimentos, com construções espaçadas e presença de áreas vegetadas nos lotes, características que o aproximavam da Zona Climática Urbana (UCZ) 3 ou mesmo UCZ 5, segundo a classificação de Oke (2006). Esses tipos de zona são marcados por desenvolvimento urbano de média a baixa densidade, com relativa permeabilidade do solo e menores impactos no microclima urbano (Figura 2).

Por outro lado, o cânion 2, já em 2011, apresentava edificações mais altas e adensadas, com construções de dois a cinco pavimentos e menor espaçamento entre os edifícios, configurando uma paisagem urbana mais compacta. Esse padrão construtivo o aproximava da UCZ 2, que se refere a áreas de alta densidade com edificações contínuas, elevada impermeabilização do solo e maior potencial de interferência no clima local (Figura 2).

Em 2024, observa-se um processo de verticalização mais acentuado, especialmente no cânion 1, que passou a abrigar edificações com mais de dez pavimentos, algumas alcançando até treze ou quinze andares. Essa mudança reflete uma transição para a UCZ 1, categoria que abrange áreas intensamente urbanizadas, com prédios altos, justapostos, praticamente nenhuma superfície permeável e expressiva capacidade de alteração das condições microclimáticas, como o aumento da temperatura e a retenção de poluentes (Figura 2).

O cânion 2, embora não tenha alcançado os mesmos níveis de verticalização, também registrou crescimento significativo, com predominância de edifícios entre cinco e nove pavimentos e alguns atingindo até treze. Assim, sua classificação permanece mais compatível com a UCZ 2, mantendo o perfil de alta densidade, mas com menor altura média em comparação ao cânion 1.

Figura 2 - Mapa de altura de edificações nas quadras dos cânions urbanos - 2011 e 2024



Fonte: Os autores (2025).

Essas alterações morfológicas, associadas ao aumento dos índices de  $H/W$  e à compactação dos espaços urbanos, indicam uma intensificação dos processos de retenção de calor, redução da ventilação e aumento das sombras projetadas, com implicações diretas sobre o conforto térmico e a qualidade ambiental urbana.

Em 2011, a altura média do cânion urbano 1 era de aproximadamente 3 metros, dado que sua morfologia era predominantemente composta por edificações térreas. No mesmo período, o cânion 2 apresentava construções de maior porte, resultando em uma altura média de cerca de 9 metros. Considerando que a largura da via em ambos os cânions é de aproximadamente 17 metros, foi possível calcular a razão entre altura e largura ( $H/W$ ) para esse ano: 0,18 no cânion 1 e 0,53 no cânion 2, classificados, portanto, como cânions abertos ou parcialmente abertos.

Com base nas características morfológicas observadas, o cânion 1 pode ser associado à Zona Climática Urbana 4 (UCZ 4), que corresponde a áreas urbanas de baixa a média densidade, com edificações térreas de grande porte, como galpões e centros comerciais, frequentemente acompanhadas por extensas áreas pavimentadas. Essa configuração tende a apresentar baixa rugosidade e significativa impermeabilização do solo, com impactos diretos na dinâmica microclimática local.

Já o cânion 2 apresenta características compatíveis com a UCZ 3, representativa de zonas urbanas com média densidade construtiva, compostas por edificações residenciais geminadas ou isoladas, porém próximas entre si, além de pequenas unidades comerciais. Este tipo de ocupação promove maior rugosidade superficial e elevação do índice de impermeabilização, contribuindo para modificações significativas no balanço térmico e na ventilação urbana.

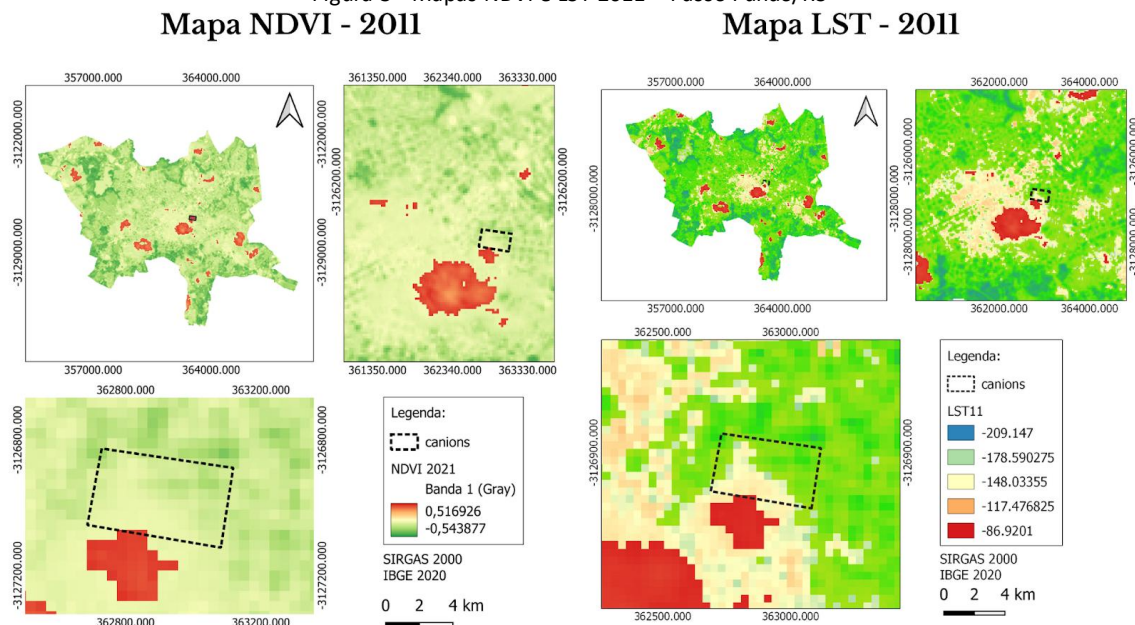
Em 2024, em decorrência do processo de verticalização observado no bairro, verificou-se um aumento significativo na altura média das edificações. O cânion 1 passou a apresentar uma altura média de 28,32 metros, enquanto o cânion 2 atingiu 21,42 metros.

Consequentemente, observou-se uma elevação nos valores de H/W, que alcançaram 1,66 para o cânion 1 e 1,26 para o cânion 2, refletindo alterações relevantes na morfologia urbana local.

A nova configuração do cânion 2, com edificações de múltiplos pavimentos dispostas de forma contínua e com reduzido afastamento entre si, aproxima-se da tipologia urbana descrita na Zona Climática Urbana 2 (UCZ 2). Essa categoria é representativa de áreas com alta densidade construtiva e edificações de 2 a 5 andares, geralmente adjacentes ou agrupadas em lotes estreitos, como observado em centros urbanos consolidados. Tal conformação urbana intensifica a retenção de calor e reduz o potencial de ventilação natural, promovendo alterações microclimáticas significativas, como o aumento da temperatura superficial e a redução da amplitude térmica diária.

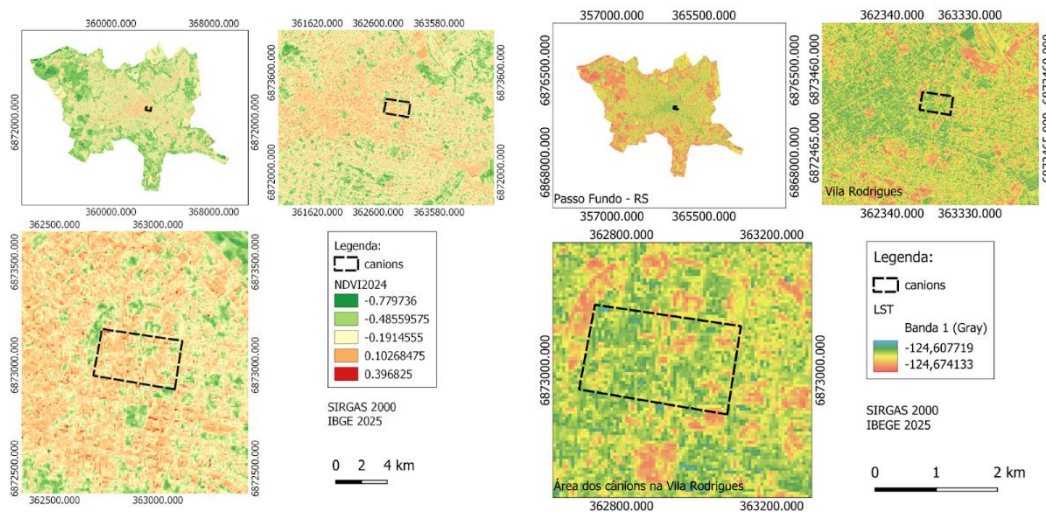
Essa análise é corroborada pelos dados de Temperatura de Superfície (LST) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que permitem aprofundar a compreensão dos efeitos microclimáticos associados às transformações morfológicas ocorridas entre 2011 e 2024 (Figuras 3 e 4). A evolução da relação altura/largura (H/W) nos dois cânions urbanos da Vila Rodrigues, com valores que superam o índice 1, sinaliza um padrão de adensamento que favorece a retenção de calor e compromete a circulação de ar. Esses efeitos se manifestam diretamente na distribuição espacial das temperaturas e na cobertura vegetal da área.

Figura 3 - Mapas NDVI e LST 2011 – Passo Fundo/RS



Fonte: Os autores (2025).

Figura 4 - Mapas NDVI e LST 2024 – Passo Fundo/RS  
**Mapa NDVI - 2024** **Mapa LST - 2024**



Fonte: Os autores (2025).

A partir da análise das imagens de satélite para os períodos de verão de 2011 e 2024, que apresentam o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a Temperatura da Superfície Terrestre (LST), é possível observar importantes características ambientais da área dos cânions urbanos localizada na Vila Rodrigues. A região destacada em ambas as representações evidencia contrastes significativos entre cobertura vegetal e comportamento térmico da superfície.

No mapa de NDVI, que indica a presença de vegetação por meio de uma gradação do verde claro (menor vegetação) ao verde escuro (maior vegetação), nota-se que a área dos cânions apresenta, majoritariamente, valores intermediários. Isso sugere uma cobertura vegetal esparsa e descontínua, possivelmente limitada à arborização viária e a pequenos fragmentos de vegetação nos lotes. A ausência de grandes áreas verdes ou de cobertura arbórea contínua compromete o potencial de regulação térmica do tecido urbano local. Em contrapartida, o mapa de LST revela que a mesma área dos cânions apresenta predominância de tons amarelados a alaranjados, indicando temperaturas de superfície mais elevadas em comparação com outras partes da cidade. Essa condição está associada à maior densidade construtiva, ao elevado grau de impermeabilização do solo e à escassez de cobertura vegetal significativa — elementos típicos de zonas urbanas mais consolidadas.

A relação inversa entre os dois indicadores é clara: onde há menor presença de vegetação, as temperaturas tendem a ser mais altas. No caso da Vila Rodrigues, essa correlação negativa evidencia o impacto da urbanização densa sem compensações ambientais adequadas. A configuração morfológica dos cânions, marcada por construções altas e ruas estreitas, aliada à baixa densidade vegetal, contribui para o acúmulo de calor e a intensificação de ilhas de calor urbanas.

Comparando os mapas NDVI entre os anos de 2011 e 2024, observa-se uma redução significativa da vegetação, especialmente nas áreas destacadas dos cânions. Em 2011, a região apresentava valores mais elevados de NDVI, indicativos da presença de gramíneas, árvores esparsas e terrenos ainda não edificadas. Já em 2024, os valores de NDVI são mais baixos,

revelando a substituição desses elementos naturais por edificações e pavimentações.

A comparação dos mapas de LST reforça essa tendência: em 2011, a área dos cânions exibia temperaturas superficiais moderadas, com predominância de tons intermediários que indicavam certa capacidade de regulação térmica. Em 2024, há um agravamento do cenário térmico, com tons mais quentes predominando e revelando o aumento das temperaturas superficiais. A perda da vegetação e o adensamento urbano contribuíram diretamente para a intensificação das ilhas de calor.

Essas transformações são visivelmente confirmadas nas imagens de rua (Figura 5) dos anos de 2011 e 2024, para os cânions 1 e 2. Em 2011, observa-se uma paisagem urbana menos densa, com terrenos vagos, vegetação aparente e construções de menor porte, o que favorecia a permeabilidade do solo e a ventilação natural. Já em 2024, a verticalização das edificações é evidente, com a substituição de áreas abertas por edifícios altos e calçadas pavimentadas, o que acarreta maior sombreamento artificial, aumento da massa construída e menor presença de áreas vegetadas. O Cânion 1, por exemplo, passou de uma configuração mais aberta para um trecho dominado por edifícios multifamiliares e áreas impermeáveis. O Cânion 2, por sua vez, apresenta um crescimento vertical mais moderado, mas ainda assim com perda de permeabilidade e aumento da densidade construtiva.

Essas observações reforçam a importância da integração de estratégias de infraestrutura verde no planejamento urbano, especialmente em áreas de alta densidade como os cânions analisados. A incorporação de vegetação urbana, arborização das vias, telhados verdes e a preservação de espaços permeáveis pode mitigar os efeitos térmicos adversos e promover maior conforto ambiental para a população, além de contribuir para a resiliência climática das cidades frente ao avanço das mudanças climáticas.

### **3.1 Transformações morfológicas dos cânions urbanos (2011–2024) com base na relação H/W**

A evolução urbana nos dois trechos analisados da Rua General Osório, em Passo Fundo-RS, revela alterações significativas na morfologia dos cânions urbanos, impactando diretamente a proporção geométrica entre altura das edificações (H) e largura da via (W) (Figura 5).

Figura 5 - Comparativo visual das transformações morfológicas nos Cânions 1 e 2 (Rua Prestes Guimarães, Passo Fundo-RS) entre os anos de 2011 e 2024



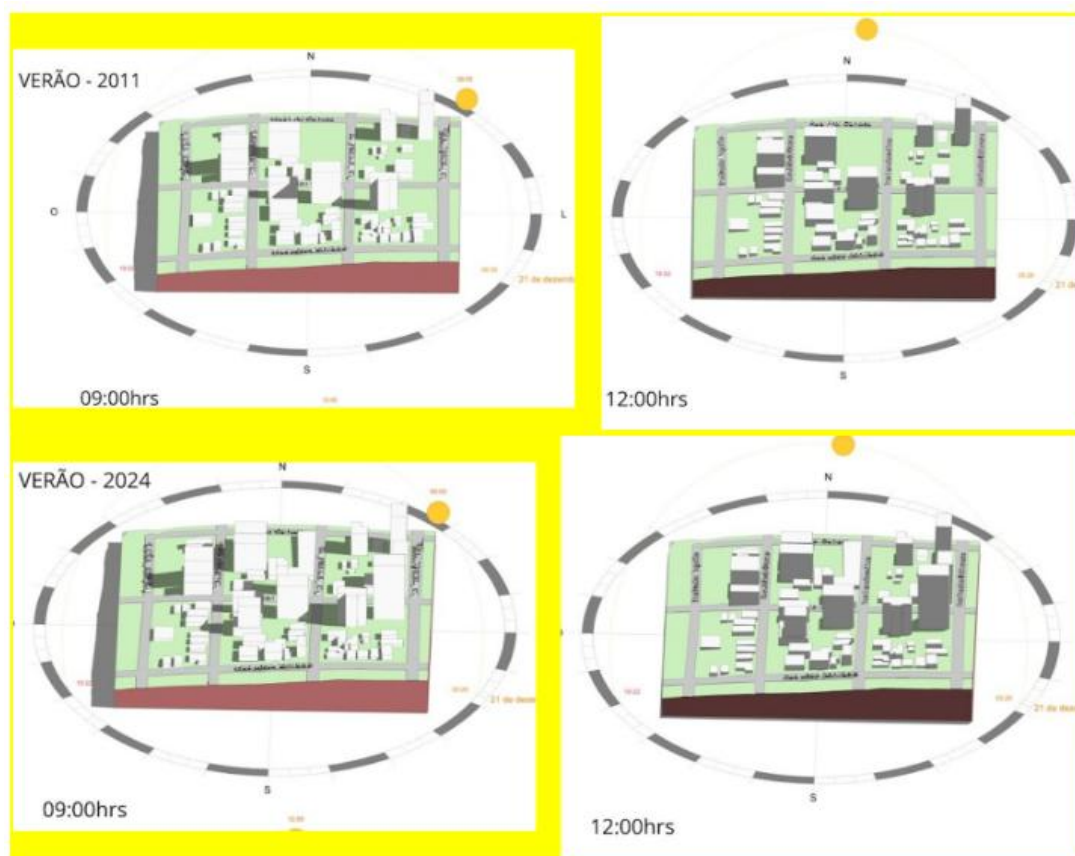
Fonte: Os autores (2025).

Em 2011, o Cânion 1 apresentava baixa ocupação e edificação predominantemente horizontal, com grandes vazios urbanos e poucos edifícios. A relação H/W era próxima de 0,3, configurando um espaço aberto, com ampla exposição solar e reduzido sombreamento sobre a via. Em 2024, observa-se um adensamento vertical expressivo, com edifícios que ultrapassam os 10 pavimentos, inseridos em uma malha urbana mais consolidada. A relação H/W passa a se aproximar de 1,2, indicando um espaço urbano mais confinado. Esse novo perfil favorece o sombreamento longitudinal ao longo do dia, o que potencialmente reduz a absorção de calor pelas superfícies pavimentadas, além de alterar a circulação do ar e a dispersão de poluentes.

No caso do Cânion 2, em 2011 já havia uma ocupação mais consolidada, porém com edificações de altura moderada (2 a 4 pavimentos), resultando em uma relação H/W de aproximadamente 0,5. A configuração permitia boa ventilação e insolação direta nas fachadas e na via.

Em 2024, embora tenha havido algum incremento vertical, a relação H/W manteve-se relativamente estável, situando-se entre 0,6 e 0,7. Ainda se trata de um espaço com maior abertura em relação ao Cânion 1, o que implica menor sombreamento e maior exposição das superfícies à radiação solar direta. Isso contribui para temperaturas superficiais mais elevadas, especialmente em horários de maior insolação.

Figura 6- Comparativo de sombreamento nos Cânions 1 e 2, entre os anos de 2011 e 2024



Fonte: Os autores (2025).

Com base na comparação entre os cenários de verão dos anos de 2011 e 2024 (Figura 6), observa-se um impacto significativo do sombreamento artificial gerado pelas edificações no ambiente externo, especialmente quando analisado à luz da classificação proposta por Oke (2006). A tipologia urbana identificada em 2024 revela um adensamento construtivo evidente, com aumento da altura e da densidade dos edifícios, o que altera substancialmente as condições de insolação e ventilação natural nos espaços livres.

Às 09h da manhã, no ano de 2011, às áreas externas ainda recebiam boa incidência de radiação solar direta, especialmente nas vias e espaços verdes, o que caracteriza uma condição mais próxima de cânions urbanos rasos, conforme a tipologia de Oke. Em contraste, em 2024, as sombras projetadas pelos novos edifícios mais altos são significativamente mais extensas e contínuas, especialmente nas porções leste e central do conjunto. Esse aumento do sombreamento matinal aponta para a transformação do espaço em cânions urbanos profundos, com maior relação entre a altura das edificações (H) e a largura das vias (W).

Ao meio-dia, quando o sol está em sua posição mais alta, as diferenças entre os dois períodos tornam-se ainda mais claras. Em 2011, as sombras eram menores e as áreas abertas permaneciam bem iluminadas. Já em 2024, mesmo nesse horário, grandes porções do espaço urbano permanecem sombreadas, o que indica um bloqueio significativo da radiação solar direta devido à verticalização. A morfologia urbana se aproxima da categoria de “Compact High-rise” proposta por Oke, com edifícios altos e pouco espaçamento entre eles.

Esse cenário impacta diretamente o microclima urbano. A redução do fator de visada do céu (Sky View Factor) dificulta a perda de calor por radiação durante a noite, contribuindo

para a intensificação do efeito de ilha de calor urbana. Além disso, a limitação da insolação direta compromete o desempenho térmico de ambientes externos e pode dificultar o desenvolvimento da vegetação em áreas com sombreamento constante. Há também um potencial comprometimento da ventilação natural entre os blocos, devido à configuração mais fechada do tecido urbano.

Portanto, a análise evidencia que a transformação morfológica urbana até 2024 levou à intensificação do sombreamento artificial, impactando negativamente o conforto ambiental externo. Essa condição reforça a importância do planejamento urbano pautado na climatologia urbana, com especial atenção às proporções entre altura e espaçamento das edificações, à criação de corredores de ventilação e à preservação de áreas abertas com acesso ao sol, de modo a mitigar os efeitos térmicos negativos e promover a qualidade ambiental no espaço urbano.

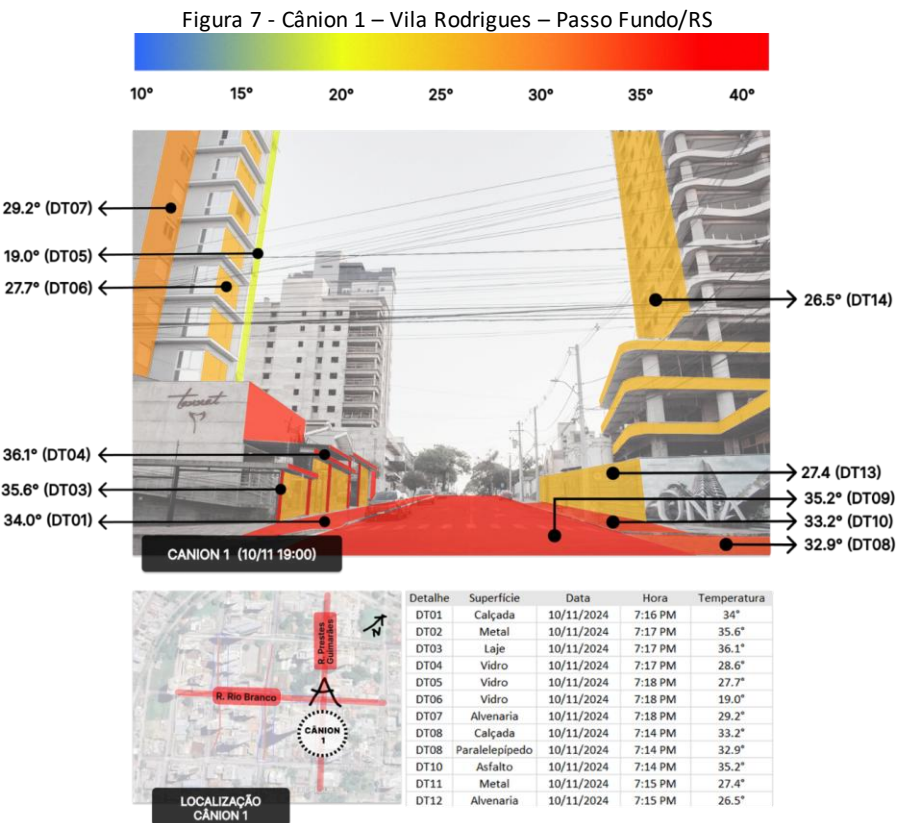
A Tabela 1 apresenta as informações meteorológicas da cidade de Passo Fundo no dia 10/11/2024, onde os dados foram obtidos:

Tabela 1 - Informações Meteorológicas de Passo Fundo - RS em 10/11/2024

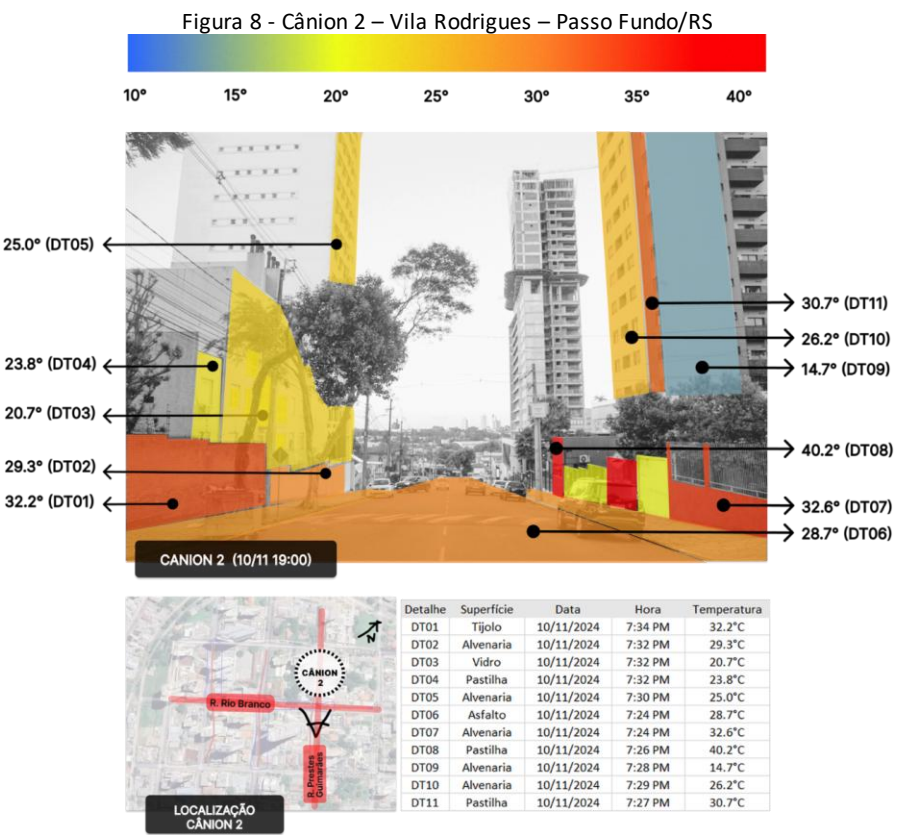
Condições Diárias Gerais			
Data	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	% Umidade
10/11/2024	17°C	26°C	68% - 80%
Condições por Horário			
Hora	Temperatura		% Umidade
19:00	22°C		70%
20:00	21°C		75%

Fonte: Os autores (2025).

A análise dos perfis transversais dos cânions urbanos de Passo Fundo revela diferenças significativas no comportamento térmico dos espaços analisados, decorrentes diretamente das proporções geométricas (relação altura/largura - H/W), orientação solar, materiais construtivos predominantes e presença de vegetação (Figuras 7 e 8) .



Fonte: Os autores (2025).



Fonte: Os autores (2025).

A análise comparativa entre os dois cânions urbanos estudados revela diferenças

significativas nas temperaturas superficiais, diretamente relacionadas às características morfológicas e ao sombreamento gerado pelas edificações. No Cânion 1, os dados termográficos evidenciam as maiores temperaturas superficiais registradas, mesmo com a medição ocorrendo às 19h00, quando a temperatura do ar era de 22 °C e a umidade relativa do ar, de 70%. As superfícies mais críticas quanto ao acúmulo de calor foram as metálicas e as calçadas asfaltadas, com destaque para os pontos DT02 (metal) com 35,6 °C, DT03 (laje) com 31,4 °C, DT11 (metal) com 35,2 °C e DT01 (calçada) com 34 °C. Esses resultados apontam para o papel significativo dos materiais de baixa refletância solar (albedo reduzido) e alta capacidade de absorção térmica no aumento das temperaturas superficiais, especialmente em áreas com pouca vegetação e baixa incidência de sombreamento.

Por outro lado, o Cânion 2, medido sob as mesmas condições climáticas, apresentou temperaturas substancialmente mais baixas em várias superfícies, como DT08 (alvenaria) com 14,7 °C, DT09 (alvenaria) com 16,2 °C e DT10 (alvenaria) com 18,2 °C. Esses dados indicam um comportamento térmico mais favorável, associado à morfologia urbana mais verticalizada e compacta, que promove um sombreamento mais eficaz ao longo do dia. A tipologia morfológica desse cânion se aproxima do padrão "Compact High-rise" (Oke, 2006), com edifícios altos e alinhados, o que resulta em um sombreamento contínuo e profundo. Essa configuração reduz significativamente a exposição direta das superfícies à radiação solar, contribuindo para a mitigação do aquecimento superficial em grande parte da área. Entretanto, mesmo no Cânion 2, foram identificados pontos críticos de calor, como DT11 (pastilha) com 30,7 °C e DT01 (tijolo) com 32,2 °C, sugerindo que a escolha dos materiais e a orientação das fachadas continuam influenciando o microclima local, ainda que em menor escala. A análise morfológica mostra que, no Cânion 1, a configuração é mais aberta, com edificações de menor altura e maior espaçamento entre elas, caracterizando um "canyon raso" (Oke, 2006). Essa morfologia favorece o acúmulo de calor por permitir uma maior exposição à radiação solar direta durante o dia, agravada pela baixa presença de vegetação e pela predominância de materiais com alto potencial de aquecimento.

Dessa forma, constata-se que a morfologia urbana exerce um papel central na dinâmica térmica das áreas estudadas. O Cânion 1 apresenta maior suscetibilidade ao superaquecimento superficial devido à menor eficiência no sombreamento e à escolha inadequada de materiais construtivos. Já o Cânion 2, embora beneficie-se do sombreamento proporcionado pela verticalização e proximidade das edificações, pode enfrentar limitações quanto à ventilação natural e ao resfriamento noturno, em função do baixo Sky View Factor, o que pode acarretar retenção de calor em determinadas condições.

Em termos de planejamento urbano, os resultados indicam a necessidade de estratégias diferenciadas para cada contexto morfológico. No caso do Cânion 1, recomenda-se o uso de materiais de alto albedo, a introdução de elementos de infraestrutura verde e a reorganização das proporções entre altura e afastamento entre edifícios. Para o Cânion 2, é fundamental assegurar a ventilação cruzada entre edificações e considerar a aplicação de revestimentos com boa performance térmica nas fachadas. Assim, a análise conjunta da morfologia urbana e das condições microclimáticas permite orientar intervenções que contribuam para o conforto térmico e a mitigação das ilhas de calor em áreas urbanas verticalizadas.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada entre morfologia urbana e temperaturas de superfície em dois cânions urbanos localizados no bairro Vila Rodrigues, em Passo Fundo-RS, permitiu evidenciar a relação direta entre transformações espaciais e impactos microclimáticos em escala local. Entre os anos de 2011 e 2024, observou-se um processo acentuado de verticalização e adensamento construtivo nos dois setores analisados, especialmente no Cânion 1, que passou de uma configuração aberta e predominantemente térrea para um padrão morfológico mais fechado, com edificações que ultrapassam os dez pavimentos.

A partir da evolução da razão altura/largura ( $H/W$ ), identificou-se a transição de cânions abertos para cânions profundos, conforme a tipologia de Oke (2006), o que implicou em alterações significativas na incidência solar, no sombreamento projetado e na ventilação natural. Tais modificações contribuíram diretamente para o agravamento das condições térmicas superficiais, como demonstrado pelos dados de LST (Temperatura da Superfície Terrestre) e pelas medições térmicas com câmera termográfica.

Nos mapas de LST de 2024, registraram-se temperaturas elevadas nas superfícies construídas, especialmente naquelas com baixa refletância e alta absorção térmica, como lajes expostas, calçadas asfaltadas e fachadas metálicas. Essas áreas críticas coincidem com setores de alta densidade e reduzida vegetação, reforçando o padrão já apontado na literatura (Errell et al., 2015; Wang et al., 2018; Vanhellemont, 2020) sobre a correlação entre compactação urbana e intensificação das ilhas de calor. Por outro lado, os dados também mostraram que o sombreamento artificial gerado por edificações mais altas pode contribuir para a mitigação pontual da temperatura superficial, embora essa mesma morfologia possa comprometer a ventilação e aumentar a retenção noturna de calor devido à baixa visada do céu (Sky View Factor). A análise da vegetação, por meio do NDVI, também evidenciou a substituição de áreas verdes por superfícies impermeáveis, o que acentuou a perda da capacidade de regulação térmica nos dois cânions. A ausência de vegetação contínua, combinada à alta densidade construtiva, contribui para a degradação do conforto térmico e aumento da vulnerabilidade climática, sobretudo em cidades de médio porte com processos recentes de transformação urbana, como é o caso de Passo Fundo.

Diante disso, o estudo reforça a necessidade de incorporar parâmetros microclimáticos nos instrumentos de planejamento urbano e ordenamento territorial. Estratégias como a recomposição da infraestrutura verde, o uso de materiais de alto albedo, a criação de corredores de ventilação e a regulação da relação  $H/W$  são medidas essenciais para a mitigação dos efeitos térmicos negativos. Do ponto de vista metodológico, a abordagem adotada demonstrou ser eficaz para a identificação de áreas críticas e pode ser replicada em outros contextos urbanos similares, oferecendo suporte técnico à formulação de políticas públicas mais sensíveis às particularidades climáticas locais.

Portanto, este estudo contribui para o avanço da discussão sobre morfologia urbana e clima local ao evidenciar que, mesmo em cidades médias, os efeitos da configuração espacial sobre o microclima são significativos e demandam atenção qualificada por parte do planejamento urbano, especialmente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos estudantes da disciplina Climatologia Aplicada ao Projeto Arquitetônico e Urbano, turma 2024.2, pelo empenho no levantamento de informações, registros fotográficos, mapeamentos e análises prévias dos cânions urbanos estudados. As contribuições do grupo foram fundamentais para a construção da base empírica e para o aprofundamento da abordagem morfológica e microclimática desenvolvida neste artigo.

## 6 REFERÊNCIAS

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. London: Routledge, 2015. 288 p.

GÄAL, L. P. M.; LEONHARDT, C. R.; PEZZUTO, C. C. Influência da geometria urbana no microclima de cânions urbanos. In: **BRAZILIAN TECHNOLOGY SYMPOSIUM**, 2016, Campinas. *Anais...* Campinas: [s.n.], 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades@ – Passo Fundo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/passo-fundo.html>. Acesso em: 5 abr. 2025.

LEMONS, Daniel Conforte da Silva; BARBOSA, Sabrina Andrade; LIMA, Fernando Tadeu de Araújo. A influência de cânions urbanos no conforto térmico: o caso de Juiz de Fora. *PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 13, n. 00, p. e022016, 2022. DOI: 10.20396/parc.v13i00.8665783. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8665783>. Acesso em: 5 abr. 2025.

O NACIONAL. Com mais de 100 prédios em construção, “2025 pode ser um ano de consolidação do mercado imobiliário em Passo Fundo”. *O Nacional*, Passo Fundo, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://www.onacional.com.br/cidade/2/2025/01/10/com-mais-de-100-predios-em-const,129862>. Acesso em: 5 abr. 2025.

OE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, [S.l.], v. 84, p. 179–190, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0153-0>.

OMM – ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. *Estado do Clima Global 2023*. Genebra: OMM, 2024. Disponível em: <https://public.wmo.int>. Acesso em: 2 abr. 2025.

PASSO FUNDO. Lei Complementar nº 170, de 26 de dezembro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI) do Município de Passo Fundo. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/passo-fundo/lei-complementar/2006/17/170/lei-complementar-n-170-2006-dispoe-sobre-o-plano-diretor-de-desenvolvimento-integrado-pddi-do-municipio-de-passo-fundo>. Acesso em: 5 abr. 2025.

SINDUSCON – Sindicato das Indústrias da Construção e do Mobiliário de Passo Fundo. Mercado imobiliário cresce 22,5% em 2022. Passo Fundo, 27 jan. 2023. Disponível em: <https://sindusconfp.com.br/noticia/mercado-imobiliario-cresce-225-em-2022/>. Acesso em: 5 abr. 2025.

VANHELLEMONT, Q. Combined land surface emissivity and temperature estimation from Landsat 8 OLI and TIRS. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, [S.l.], v. 166, p. 390–402, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.007>.

WANG, Ran et al. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: a case study of Hong Kong. *Urban Climate*, [S.l.], v. 24, p. 567–576, jun. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2017.10.001>.

