

MAIDA PASSAMAI BALDOTTO E EDNA APARECIDA NICO RODRIGUES

O efeito do vidro refletivo no microclima urbano: fachadas de edifícios comerciais

The effect of reflective glass on the urban microclimate: facades of commercial buildings

El efecto del vidrio reflectante en el microclima urbano: fachadas de edificios comerciales

Maida Passamai Baldotto

Mestra em Arquitetura e Urbanismo na área de concentração Cidade e Impactos no Território pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES (2022). Pós-graduada em Arquitetura, Construção e Gestão de Edificações Sustentáveis pela Faculdade Unyleya (2020). Arquiteta e Urbanista pela UFES (2018).

Her Master's degree in Architecture and Urbanism focused on City and Territorial Impacts was obtained from the Graduate Program in Architecture and Urbanism (PPGAU) at the Federal University of Espírito Santo – UFES (2022). Additionally, she has completed a postgraduate program in Architecture, Construction, and Management of Sustainable Buildings at Faculdade Unyleya (2020). Her undergraduate degree is in Architecture and Urbanism from UFES (2018).

Máster en Arquitectura y Urbanismo en el área de concentración de Ciudad e Impactos en el Territorio por el Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo (PPGAU) de la Universidad Federal de Espírito Santo - UFES (2022). Especialista en Arquitectura, Construcción y Gestión de Edificaciones Sostenibles por la Facultad Unyleya (2020). Arquitecta y Urbanista graduada por la UFES (2018).

maidapbaldotto@gmail.com

Edna Aparecida Nico Rodrigues

Graduação em Arquitetura e Urbanismo (1991) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (2008). Doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidad del Bío-Bío, Chile. Atualmente é professora associada nível II na Universidade Federal do Espírito Santo atuando na graduação e na pós graduação em Arquitetura e Urbanismo (nível mestrado e doutorado). Como pesquisadora, junto ao Laboratório de Planejamento e Projetos, desenvolve pesquisas na área de tecnologia do ambiente construído, desempenho e conforto térmico, tipologias de janelas, simulações e metodologias de avaliação, como também em grupos de pesquisa nas áreas de qualidade do ar, ventilação natural e conforto ambiental.

She holds a Bachelor's degree in Architecture and Urbanism (1991) and a Master's degree in Civil Engineering from the Federal University of Espírito Santo (2008). She completed her Ph.D. in Architecture and Urbanism at the Universidad del Bío-Bío, Chile. Currently, she is Associate Professor level II at the Federal University of Espírito Santo, where she teaches in the undergraduate and postgraduate programs in Architecture and Urbanism (Master's and Ph.D. levels). As a researcher, she is involved with the Planning and Design Lab, where research in the field of built environment technology, thermal performance and comfort, window typologies, simulations, and evaluation methodologies are conducted. Additionally, she participates in research groups focused on air quality, natural ventilation, and environmental comfort.

Grado en Arquitectura y Urbanismo (1991) y maestría en Ingeniería Civil de la Universidad Federal de Espírito Santo (2008). Doctorado en Arquitectura y Urbanismo de la Universidad del Bío-Bío, Chile. Actualmente es profesora asociada nivel II en la Universidad Federal de Espírito Santo, donde enseña en pregrado y posgrado en Arquitectura y Urbanismo (nivel maestría y doctorado). Como investigadora, en colaboración con el Laboratorio de Planificación y Proyectos, desarrolla investigaciones en el área de tecnología del ambiente construido, desempeño y confort térmico, tipologías de ventanas, simulaciones y metodologías de evaluación, así como en grupos de investigación en calidad del aire, ventilación natural y confort ambiental.

edna.rodrigues@ufes.br

Resumo

O aumento acelerado da população urbana é preocupante, conforme os centros urbanos se desenvolvem, é perceptível a diminuição das áreas verdes, o crescimento das superfícies pavimentadas e do adensamento urbano. As mudanças ambientais, e especialmente o aumento previsto da temperatura global, fazem com que o fenômeno das ilhas de calor agrave os estresses térmicos, sendo os efeitos mais severos nas áreas urbanas, afetando principalmente o nível do usuário. A envoltória do edifício (vedações verticais, aberturas e cobertura) tem papel de destaque em relação à interferência ao meio externo. A utilização de superfícies refletivas na pele da edificação, pode causar alterações significativas nas condições ambientais do entorno, provocando superaquecimento do local, ofuscamento e até riscos à saúde do pedestre. Edificações com grandes áreas envidraçadas vêm se consolidando como um estilo internacional de arquitetura comercial adotado em vários países e seguindo este caminho, a utilização do vidro, principalmente o refletivo está crescendo em determinados bairros de Vitória/ES. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi analisar o efeito do uso de vidro refletivo em fachadas de edificações comerciais, no microclima urbano na cidade de Vitória/ES. A metodologia adotada foi dividida em quatro etapas: caracterização do objeto de estudo e as variáveis físicas e climáticas, medições microclimáticas, simulações computacionais e parâmetros de análise dos resultados. Os resultados obtidos demonstraram que os fatores comparados entre os cenários hipotéticos: temperatura do ar, temperatura radiante média, Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e Índice Climático Térmico Universal (UTCI) apresentaram uma tendência de aumento nos cenários com o uso de vidro refletivo, nos horários mais quentes do dia, mas as diferenças não foram significativas, estando os valores em uma faixa inferior a 1°C. Concluindo-se que há uma interferência do vidro refletivo no meio urbano, porém é mínima para o pedestre, quase inexistente no microclima estudado.

Palavras-chave: Vidro refletivo. Microclima urbano. ENVI-met. Edifícios comerciais.

Abstract

The accelerated urban growth rate is alarming. As urban centers develop, it is noticeable the decrease in green areas while the increase of paved surfaces and built up density. Environmental changes, and especially the predicted increase in global temperature, make the phenomenon of heat islands aggravate thermal stresses, with the most severe effects in urban areas, mainly affecting the user level. The building envelope (vertical sealing, openings and roof) plays a prominent role in terms of interference with the external environment. The use of reflective surfaces on the skin of the building can severely affect the surroundings, causing overheating, glare and even risks to the health of the pedestrian. Buildings with large glass façade have been consolidating themselves as an international style of commercial architecture adopted in several countries and consequently, the use of glass, mainly the reflective type, is growing in certain neighborhoods of Vitória/ES. Thus, the objective of this research was to analyze the effect of using reflective glass on facades of commercial buildings, in the urban microclimate of the city of Vitória/ES. The methodology adopted was divided into four stages: characterization of the object of study and the physical and climatic variables, microclimatic measurements, computer simulations

and parameters for analysis of the results. The results show that the factors compared between the hypothetical scenarios: air temperature, mean radiant temperature, Physiological Equivalent Temperature (PET) and Universal Thermal Climate Index (UTCI) demonstrate an increasing trend in the scenarios with the use of reflective glass, at the hottest times of the day, but the differences were not significant, with values in a range below 1°C. This indicates that there is an interference of reflective glass in the urban environment, but it is minimal for the pedestrian in the studied microclimate.

Keywords: Reflective glass. Urban microclimate. ENVI-met. Commercial buildings.

Resumen

El aumento acelerado de la población urbana es preocupante. A medida que los centros urbanos se desarrollan, se observa una disminución de las áreas verdes, un crecimiento de las superficies pavimentadas y un aumento de la densificación urbana. Los cambios ambientales, especialmente el aumento previsto de la temperatura global, hacen que el fenómeno de las islas de calor agrave el estrés térmico, siendo los efectos más severos en las áreas urbanas, afectando principalmente al nivel del usuario. La envolvente del edificio (cerramientos verticales, aberturas y cubierta) desempeña un papel destacado en relación con la interferencia con el entorno externo. El uso de superficies reflectantes en la piel del edificio puede causar cambios significativos en las condiciones ambientales del entorno, provocando el sobrecalentamiento del lugar, deslumbramiento e incluso riesgos para la salud del peatón. Los edificios con grandes áreas acristaladas se están consolidando como un estilo internacional de arquitectura comercial adoptado en varios países, y siguiendo esta tendencia, el uso de vidrio, especialmente el reflectante, está creciendo en ciertos barrios de Vitória/ES. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue analizar el efecto del uso de vidrio reflectante en fachadas de edificios comerciales en el microclima urbano de la ciudad de Vitória/ES. La metodología adoptada se dividió en cuatro etapas: caracterización del objeto de estudio y las variables físicas y climáticas, mediciones microclimáticas, simulaciones computacionales y parámetros de análisis de los resultados. Los resultados obtenidos mostraron que los factores comparados entre los escenarios hipotéticos: temperatura del aire, temperatura radiante promedio, Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e Índice Climático Térmico Universal (UTCI) presentaron una tendencia al aumento en los escenarios con el uso de vidrio reflectante durante las horas más calurosas del día, pero las diferencias no fueron significativas, ya que los valores se mantuvieron dentro de un rango inferior a 1°C. En conclusión, existe una interferencia mínima del vidrio reflectante en el entorno urbano y casi inexistente en el microclima estudiado para el peatón.

Palabras clave: Vidrio reflectante. Microclima urbano. ENVI-met. Edificios comerciales.

Introdução

O processo de urbanização está acelerado, grandes áreas de superfícies naturais estão se transformando em ambientes artificiais construídos pelos homens e sob tais processos, a industrialização urbana se intensifica e as populações urbanas aumentam rapidamente (LI et al., 2022). O número de habitantes que viviam em cidades em 2018 era de 55%, ou seja, a maior parte da população mundial. Em 1950 esse quantitativo era inferior, cerca de 30%, com a maioria situada em áreas rurais. Entretanto em 2050 a previsão é de que 68% da população mundial viva nas cidades (UNITED NATIONS, 2019).

De acordo com Santamouris (2013) e Oke (2002), as mudanças ambientais, e principalmente o aumento previsto da temperatura global, fazem com que o fenômeno das ilhas de calor agrave os estresses térmicos, sendo os efeitos mais severos em ambientes urbanos. Para Alvarez e Bragança (2018), embora no contexto mundial as ilhas de calor sejam uma preocupação fundamental, especialmente quando se trata de impactos resultantes das mudanças climáticas, é importante atentar-se ao nível do usuário, principalmente em regiões de clima quente e úmido, cujo aumento de temperatura pode significar a perda do uso dos ambientes externos por sua condição inóspita.

A envoltória do edifício (vedações verticais, aberturas e cobertura) tem papel de destaque em relação à interferência ao meio externo. A utilização de superfícies refletivas na pele da edificação, pode causar alterações significativas nas condições ambientais do entorno, provocando superaquecimento do local, ofuscamento e até riscos à saúde do pedestre (YANG; GROBE; STEPHEN, 2013). Mehaoued e Lartigue (2019) afirmam que as fachadas de vidro refletivos são usadas para reduzir a insolação direta no interior do edifício, mas em climas quentes, a radiação solar direta do entorno construído é emitida para o ambiente exterior da edificação e conseqüentemente, poderá haver um aumento da carga para resfriamento objetivando o conforto do ambiente. Assim como o objeto de estudo desta pesquisa que está inserido em temperaturas mais altas e tem como foco o entorno urbano.

Edificações com grandes áreas envidraçadas vêm se consolidando como um estilo internacional de arquitetura comercial, adotado nos mais diversos países (ANDREIS; BESEN; WESTPHAL, 2014). Num país como o Brasil em que boa parte do território tem climas com elevadas temperaturas e uma grande incidência solar, o calor é uma questão que requer atenção de arquitetos e paisagistas, podendo ser caracterizado como um problema para um material como o vidro (OLIVEIRA, 2016). Aburas et al. (2021), afirmam que as janelas são um ponto fraco do isolamento térmico de um edifício, constituindo um maior consumo de energia para controlar a temperatura interna. Portanto, melhorar o desempenho das unidades envidraçadas atrai cada vez mais atenção na área de tecnologia de economia de energia em edificações (LIU et al., 2018). No entanto, é perceptível que muitos desses estudos se concentram na insolação direta e quantidade de luminosidade no interior do edifício e não com os danos causados aos pedestres.

A cultura de ambiente climatizado artificialmente vinculada à imagem de edifícios de escritórios com cortinas de vidro, vistos como símbolo de poder, impedem o adequado uso das aberturas para uma maior ventilação natural e a utilização de materiais apropriados para o conforto térmico nos ambientes comerciais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). De acordo com Gonçalves (2015) a prática norte-americana na produção da arquitetura comercial, iniciada na década de 1960, influenciou escritórios brasileiros quanto ao método de projeto considerando o clima, criando uma ideia de

que seria inviável o uso da ventilação natural em edifícios comerciais.

Por meio do estudo realizado por Maioli et al. (2016) foi possível constatar que após a virada do século XX para o XXI aproximadamente 73% das edificações construídas na cidade de Vitória/ES continha o vidro refletivo em suas esquadrias. Dentre eles, nenhuma obra analisada dispunha de proteção solar externa.

Ao considerar o aumento contínuo do uso de vidro refletivo nas fachadas das edificações comerciais em bairros de Vitória, e a taxa de radiação solar refletida pela superfície desse material, o objetivo deste trabalho foi analisar o efeito do uso de vidro refletivo em fachadas de edificações comerciais, no microclima urbano na cidade de Vitória/ES.

No âmbito da importância de ampliar as pesquisas sobre o ambiente atmosférico, a fim de entender melhor como o microclima urbano pode ser influenciado por agentes construídos e considerando o agravamento das modificações no clima e a exposição humana ao desconforto térmico, este estudo justifica-se ao analisar o desempenho do vidro refletivo no entorno urbano, junto às simulações computacionais.

Metodologia

O procedimento metodológico consistiu em quatro etapas: 1. Caracterização do objeto de estudo e as variáveis físicas e climáticas; 2. Medições microclimáticas; 3. Simulações computacionais; e 4. Parâmetros de análise dos resultados.

Caracterização do objeto de estudo e as variáveis físicas e climáticas

Vitória está situada na região Sudeste do país, localiza-se a 20°10'09" de latitude Sul e 40°20'50" de longitude Oeste de Greenwich [1]. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima de Vitória é classificado como Aw, isto é, clima tropical com inverno seco (CLIMATE-DATA.ORG, s.d).

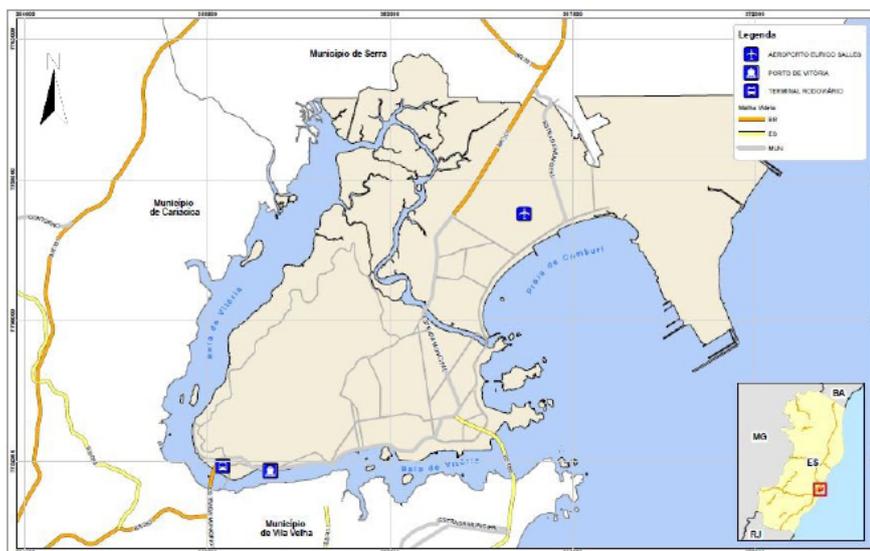


FIGURA 1 – Localização de Vitória/ES

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 2022.

Para estabelecer a área de estudo na cidade de Vitória, realizou-se uma análise por meio de um mapa de temperatura superficial da cidade, direcionada principalmente para as áreas com a presença de edificações de uso comercial. A variação de temperatura de superfície foi importante para conhecimento das condições da cidade de Vitória e norteou a escolha da área a ser estudada para o bairro Enseada do Suá [2], que é uma região comercial planejada, com potencial de crescimento e apresentou temperaturas elevadas, apesar de estar próximo a linha da costa recebendo o efeito direto da brisa marítima.

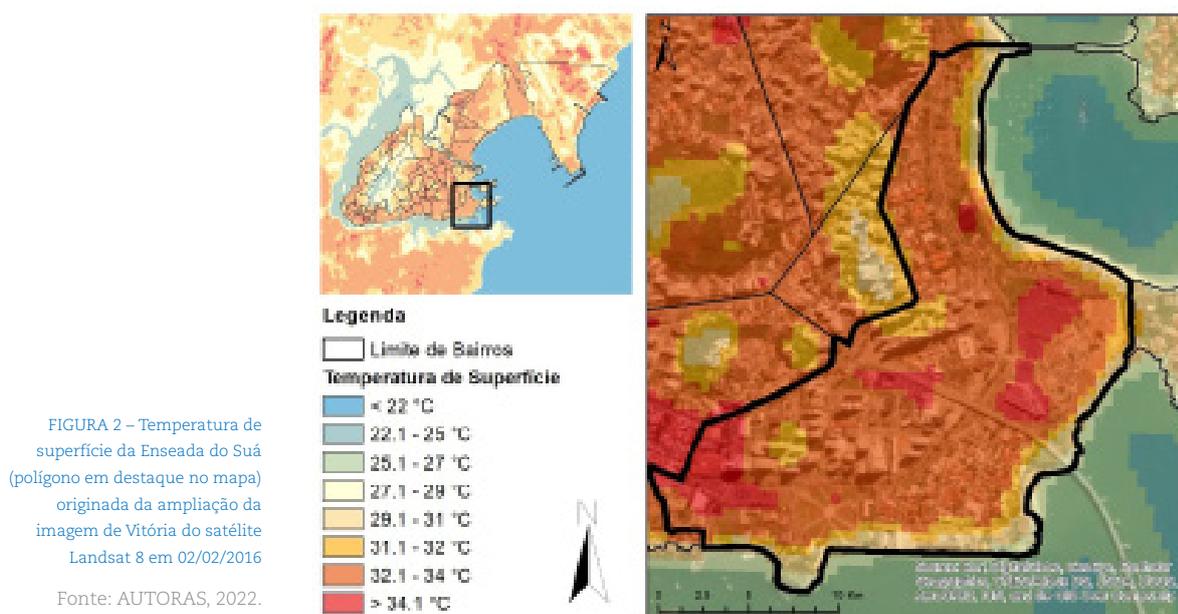


FIGURA 2 – Temperatura de superfície da Enseada do Suá (polígono em destaque no mapa) originada da ampliação da imagem de Vitória do satélite Landsat 8 em 02/02/2016

Fonte: AUTORAS, 2022.

Segundo a Prefeitura Municipal de Vitória (2016) a região da Enseada do Suá é a nova centralidade da capital e de acordo com Espindula e Mendonça (2017), a localização do bairro é privilegiada, com proximidade ao mar e com a ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça (“Terceira Ponte”) que liga o município de Vila Velha, fazendo parte de uma área de eixo de negócios e valorização imobiliária.

Destefani (2020) constatou, após análise das edificações mais recorrentes na região da Enseada do Suá, que devido à falta de limites para o gabarito em diversas quadras do bairro, definido no Plano Diretor Urbano (PDU), muitos edifícios comerciais altos foram construídos nas últimas décadas. Além disso, percebeu que existem diversos lotes vazios ou que são utilizados para a atividade de estacionamento o que reflete o potencial de crescimento do bairro com a futura destinação de recursos do setor imobiliário e investimentos em construções.

Destefani (2020) também evidencia o caráter contemporâneo das edificações da Enseada do Suá, com o uso de grandes janelas, e o emprego do vidro como material predominante na maioria das fachadas, confirmando a tendência ao estilo internacional da arquitetura. Entre as edificações comerciais analisadas (com mais de 10 pavimentos), 15 dos 17 edifícios apresentaram pele de vidro, e 9 deles são com esquadrias de vidro refletivo.

Esses dados reforçam a pesquisa de Maioli et al. (2016) em que foi identificado que, após a transição do século XX para o XXI, os edifícios construídos na cidade de Vitória utilizaram predominantemente esquadrias compostas de vidro em suas aberturas e cerca de 73% dessas edificações empregaram o tipo de vidro refletivo.

Delimitação do recorte urbano e definição dos cenários

O recorte da área para simulação seguiu a limitação da grade de modelagem do programa ENVI-met na versão gratuita, que é de 50 x 50 x 40 células (*grid*, respectivamente nos eixos X, Y e Z). Para a definição do tamanho dos *grids*, foi considerada a área total do recorte urbano de 185 x 115m. Com a utilização da grade de 5 x 5 pôde ser inserido o trecho a ser estudado, e com poucas deformações do original, sendo que tal módulo viabilizou a representação de calçadas, vias, afastamentos e gabaritos das edificações com nível satisfatório de especificidade e representatividade, além de ser aceitável para estudos em que a prioridade da simulação não é a vegetação (informação verbal)¹, totalizando uma área de 37 x 23 *grids* e com área de 21.275m².

Com as dimensões do recorte urbano limitadas pelo programa, procurou-se por um espaço dentro do bairro em que fossem presentes: edificações comerciais com uso de vidro refletivo na fachada, terrenos vazios com possibilidade da inserção de novos edifícios, espaço de circulação e de permanência para pedestres [3].



FIGURA 3 – Vista 3D do recorte urbano

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, 2022.

As edificações da área selecionada possuem altura máxima de 66 metros. Assim, considerando os tamanhos dos *grids* no eixo “z” de 4, o tamanho da área no editor de criação para a altura ficou em 33 *grids* (z).

Para definição dos cenários propostos, considerou-se as constantes transformações da paisagem urbana, estando os índices urbanísticos diretamente associados a estes processos. Foram definidos como foco de análise os índices relacionados ao adensamento e verticalização, diretamente ligados à caracterização da morfologia da área e a predominância do vidro refletivo nas fachadas das edificações. Assim sendo, foram propostos quatro cenários (cenários 02, 03, 04 e 05) com base no cenário 01 de referência:

Cenário 01: conformação urbana existente, 02 edificações comerciais com fachadas em vidro refletivo, 02 terrenos vazios, estacionamento/pracha e 01 construção comercial de 03 pavimentos. O cenário 01 foi modelado para calibração do programa ENVI-met, sem comparativo com os outros cenários. Os cenários 02, 03, 04 e 05 tiveram seus resultados comparados entre si, pois possuem a mesma quantidade de edificações, com diferenciação no quantitativo de vidro refletivo ou o tipo de vidro nas fachadas.

¹ Informação fornecida por Carolina S. Gusson e Paula Shinzato no curso básico do modelo ENVI-met V5, realizado de forma on-line, em julho de 2022.

Os modelos dos edifícios que foram colocados nos terrenos dos cenários hipotéticos (02, 03, 04 e 05) inspiraram-se na estrutura da edificação encontrada por Destefani (2020), mas com adaptações para atendimento aos índices de controle urbanístico. Foi definido a partir do levantamento em campo, observando os edifícios altos comerciais existentes na região, sendo uma estrutura de pelo menos 14 pavimentos tipo, mais 01 pavimento garagem e o térreo, totalizando aproximadamente 48m de altura.

Cenário 02: conformação urbana hipotética, em que permaneceram as duas edificações comerciais com fachadas em vidro refletivo, estacionamento/prça, e acrescentaram-se aos lotes vazios, bem como no terreno ocupado pela construção comercial de 3 pavimentos, os edifícios 01, 02 e 03 com o predomínio de 100% de revestimento de vidro refletivo nas fachadas, excluindo o pavimento garagem (2º andar) e os acessos para o mesmo (no térreo), que não costumam ser de vidro [4].

Cenário 03: conformação urbana hipotética, idêntica ao cenário 02, porém com o predomínio de 50% de revestimento de vidro refletivo nas fachadas das torres das edificações 01, 02 e 03 propostas, excluindo o pavimento garagem (conforme explicado anteriormente) e o térreo, a fim de verificar a influência do vidro na altura do pedestre [5].

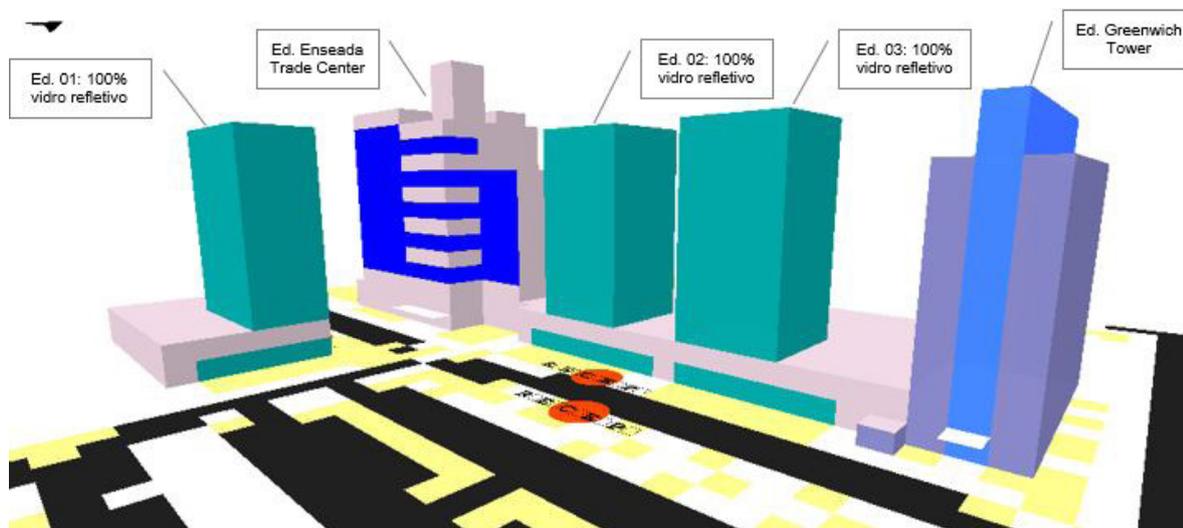


FIGURA 4 – Cenário 02

Fonte: AUTORAS, 2022.

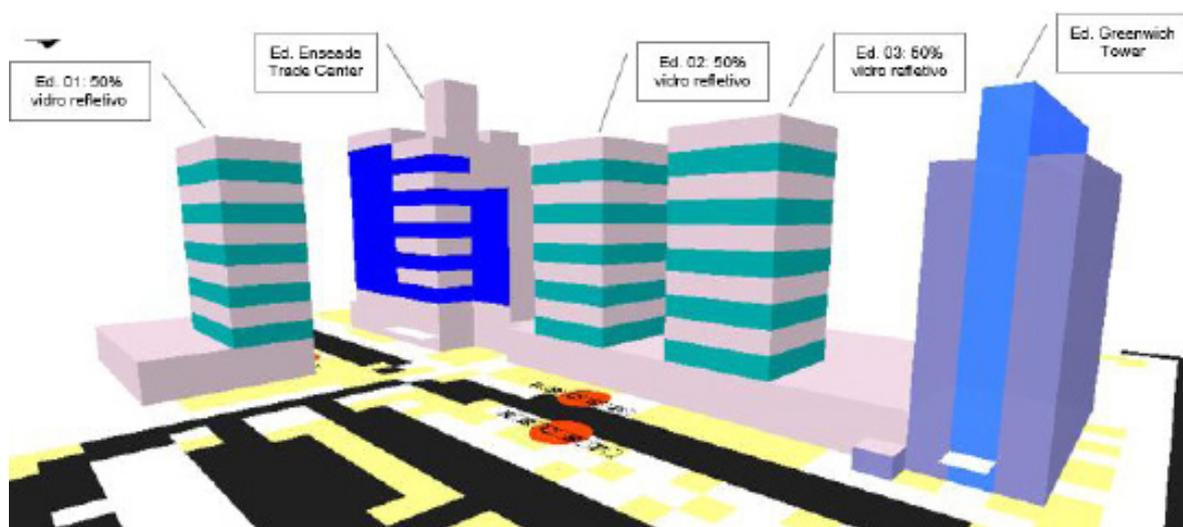


FIGURA 5 – Cenário 03

Fonte: AUTORAS, 2022.

Cenário 04: conformação urbana hipotética, idêntica ao cenário 02 e 03, porém com o predomínio de 27,7% de revestimento de vidro refletivo nas fachadas da torre do edifício 01 e 25% de predomínio dos vidros refletivos nas torres das edificações 02 e 03. Essa diferença de porcentagem de 25% para 27,7% ocorreu pela intercalação dos vidros nas torres, eles têm o tamanho fixado pelo *grid* definido, e o tamanho das empenas influencia na quantidade possível de ser inserida. O pavimento garagem e o térreo pelos mesmos motivos já explicados anteriormente, não tiveram a inserção de vidros [6].

Cenário 05: conformação urbana hipotética, idêntica aos cenários 02, 03 e 04, porém com o predomínio de 50% de revestimento de vidro incolor nas fachadas das torres dos edifícios 01, 02 e 03, além de quase 100% do térreo, excetuando-se os acessos ao pavimento garagem. A opção de simular o vidro incolor em oposição ao refletivo, foi pelo uso comum dele principalmente no térreo, e pela diferença do potencial de reflexão [7].

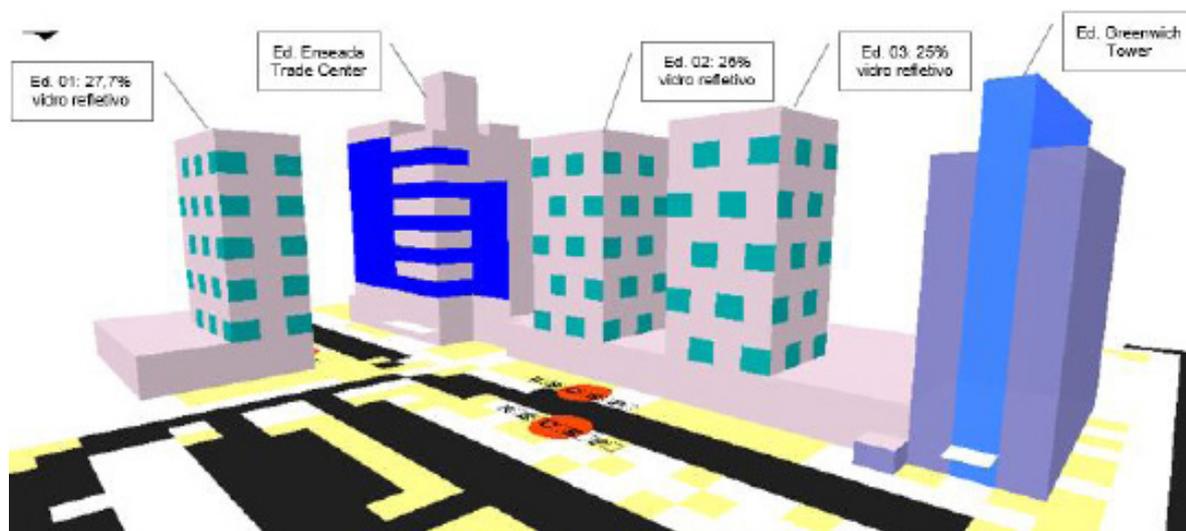


FIGURA 6 – Cenário 04

Fonte: AUTORAS, 2022.



FIGURA 7 – Cenário 05

Fonte: AUTORAS, 2022.

Os materiais dos edifícios (concreto) e do solo (asfalto, solo natural e concreto para calçadas) utilizados nos cenários foram escolhidos no *Default* do ENVI-met, enquanto os vidros, que são os elementos de análise da pesquisa, foram criados no *Database* de acordo com as suas especificações [8].

Ed. Enseada Trade Center		Ed. Greenwich Tower	
Database-ID: [B6MA01]	Database-ID: [B1MA01]	Database-ID: [B6MA01]	Database-ID: [B6MA01]
Name: vidro refletivo azul cobalto	Name: reflexivo azul cobalto	Name: reflexivo vidro azulado	Name: reflexivo vidro azulado
Color: [Blue]	Color: [Blue]	Color: [Blue]	Color: [Blue]
Parameter	Value	Parameter	Value
Default Thickness	0.00800	Default Thickness	0.00838
Absorption	0.58000	Absorption	0.45000
Transmission	0.11000	Transmission	0.34000
Reflection	0.31000	Reflection	0.20000
Emissivity	0.90000	Emissivity	0.90000
Specific Heat	750.00000	Specific Heat	750.00000
Thermal Conductivity	1.00000	Thermal Conductivity	1.00000
Density	2500.00000	Density	2500.00000
Extra ID	0	Extra ID	0
Vidro refletivo Ed. 01, 02 e 03		Vidro incolor Ed. 01, 02 e 03	
Database-ID: [B5MA01]	Database-ID: [B6MA01]	Database-ID: [B6MA01]	Database-ID: [B6MA01]
Name: reflexivo profa cobalto	Name: habitat incolor cobalto	Name: habitat incolor cobalto	Name: habitat incolor cobalto
Color: [Blue]	Color: [Blue]	Color: [Blue]	Color: [Blue]
Parameter	Value	Parameter	Value
Default Thickness	0.00838	Default Thickness	0.00800
Absorption	0.38000	Absorption	0.30000
Transmission	0.20000	Transmission	0.57000
Reflection	0.42000	Reflection	0.13000
Emissivity	0.90000	Emissivity	0.90000
Specific Heat	750.00000	Specific Heat	750.00000
Thermal Conductivity	1.00000	Thermal Conductivity	1.00000
Density	2500.00000	Density	2500.00000
Extra ID	0	Extra ID	0

FIGURA 8 – Vidros usados nas simulações

Fonte: AUTORAS, 2022.

Medição Microclimática

Segundo Duarte (2015), apesar do programa ENVI-met ser utilizado para simulação em diversos climas e ter resultados satisfatórios, a calibração do modelo é fundamental para a identificação das particularidades climáticas do local e seu contexto urbano, visando alcançar resultados mais confiáveis. Desta forma, foram comparados os dados medidos em campo com os dados simulados, analisando assim, a margem de erro.

Nas medições microclimáticas em campo se destacam as que são obtidas por meio de miniestações instaladas em pontos fixos e em transectos móveis. A última técnica citada foi escolhida em razão dos seguintes aspectos:

- Possibilidade de obter uma quantidade maior de pontos de monitoramento, com reduzido número de aparelhos. O que é importante para a caracterização do campo térmico, devido a variação climática ocasionada pela heterogeneidade do meio urbano;
- Facilidade e agilidade para instalação e permanência da miniestação meteorológica em um ponto fixo, durante o período de monitoramento;
- Necessidade de menos pessoas envolvidas (equipe de voluntários), dado o momento no qual foi realizada a pesquisa (pandemia de COVID-19); e
- Segurança dos equipamentos e pessoas envolvidas.

Os horários definidos para a coleta foram às 09h, 12h, 15h e 21h. De acordo com Werneck (2018) os horários de 09h, 12h, 15h e 18h são denominados horários sinóticos e cobrem parcialmente uma faixa de horários padronizados pela *World Meteorological Organization* (WMO) para registro nas estações meteorológicas. Já o horário de 21h foi escolhido pois, para Fialho (2009) já transcorreram cerca de 3 horas do pôr-do-sol, o que possibilita analisar outra dinâmica urbana, de uma possível ilha de calor noturna. Além disso, 18h é um horário de trânsito intenso na área escolhida para medição e poderia causar defasagem na coleta.

A medição de campo foi realizada no verão de 2022, em alguns dias de fevereiro e março. Seguindo as recomendações encontradas na literatura científica, foram escolhidos dias com condição de clima estável, ou seja, sem chuva e com céu limpo, selecionando-se o dia 23 de fevereiro para as simulações.

Simulações computacionais

Nas simulações utilizou-se a versão 5.0.3 *Summer 2022* do ENVI-met. O programa foi o escolhido pois tem se destacado em pesquisas voltadas para análises em microescala. Kamel (2021), Jänicke, Milošević e Manavvi (2021) defendem que o ENVI-met é um dos softwares mais usados para investigar e analisar o tecido urbano. Para Brozovsky et al. (2021) é uma ferramenta usada frequentemente para avaliar o conforto térmico em espaços ao ar livre.

Primeiramente, realizou-se a modelagem e geração do arquivo em extensão .INX do cenário 01. Após, criou-se um arquivo de simulação no formato .SIMX com informações do dia escolhido para simular. Esse arquivo foi modificado até encontrar um com resultados de temperatura e umidade do ar mais próximos da medição feita em campo na Enseada do Suá. A partir do arquivo de simulação escolhido [9] foram simulados os cenários 02, 03, 04 e 05.

Data de início (Start Date):	22/02/2022	Autora
Horário de início (Start time):	21:00	Autora (direcionamento c-adapt)
Horas totais da simulação (Total Simulation Time)	27h	Autora
Simple forcing	22-02 21:00h até 23:00 23-02 00:00 até 20:00	Estação automática A612-Vitória do INMET
Umidade específica em 2500m (g/kg) (Specific humidity in 2500m)	8.00	Padrão (direcionamento c-adapt)
Velocidade do vento constante na borda de entrada m/s (Constant windspeed at inflow border m/s)	7	Média da predominância do dia 23/02/22 - Estação SBVT aeroporto Vitória
Direção constante das ventos na entrada (graus) (Constant winds direction at inflow)	50	Direção predominante em Vitória no dia 23/02/2022 - Estação SBVT aeroporto Vitória
Comprimento de rugosidade em microescala da superfície (m) (Microscale roughness length of surface)	0.01	Padrão (direcionamento c-adapt)
Nuvens baixas (Low clouds)	1	SBVT - decodificado do METAR
Nuvens médias (Medium clouds)	0	SBVT - decodificado do METAR
Nuvens altas (High clouds)	0	SBVT - decodificado do METAR
Seção opcional (Optional section)	Seção de saída (Output options) - Intervalo de saída: receptores e edifícios (min) (output interval: receptors and buildings) - 60	

FIGURA 9 – Resumo das informações inseridas na ferramenta ENVI-guide do arquivo .SIMX escolhido para as simulações dos cenários 02, 03, 04 e 05

Fonte: AUTORAS, 2022.

Parâmetros de análise dos resultados

Com base nos resultados das simulações dos cenários 02, 03, 04 e 05 foram comparados os valores da Temperatura do Ar (Tar), da Temperatura Radiante Média (TRM), da Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e do Índice Climático Térmico Universal (UTCI), a uma altura a nível do pedestre de 1,20m, definida por conta da divisão do tamanho do *grid*, que teve como altura determinada em 4m.

A TRM pode ser estimada por meio de simulação no programa ENVI-met, medida em °C e é influenciada pelas propriedades térmicas e radiantes dos materiais no seu entorno bem como pelo sombreamento entre os edifícios (GUSSON, 2020). De acordo com a ASHRAE (2001) a TRM é definida como a temperatura de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual a transferência de calor radiante no ambiente não uniforme real. Pode ser a variável mais apropriada para caracterizar diferenças em meios urbanos de condições de conforto térmico em comparação com variáveis meteorológicas tradicionais, como a temperatura do ar, especialmente em ambiente urbano complexo (GUSSON, 2020).

De acordo com De Arruda e Masiero (2021), o PET e o UTCI são índices de conforto térmico indicados para o estudo de espaços abertos, sendo que as simulações computacionais por meio de softwares bioclimáticos como ENVI-met e RayMan são uma alternativa para a estimativa de tais índices, enquanto a medição em campo abrange o uso de equipamentos caros e um processo trabalhoso.

O PET foi introduzido por Höppe e Mayer em 1987, consiste em descobrir, por meio de modelo numérico, a temperatura do ar na qual em uma situação típica, o balanço térmico do corpo humano é mantido (HIRASHIMA, 2010). A temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média, metabolismo de trabalho e vestimenta, são os dados considerados para a obtenção do índice (SILVA, 2014). A cidade de Vitória/ES, possui uma proposta de calibração do índice PET desenvolvida por Silva (2014), que foi considerada para a discussão dos resultados [10].

Sensação térmica	PET para Europa Matzarakis e Bayer (1996)	PET para Vitória
Muito frio	≤ 4°C	—
Frio	4°C < PET ≤ 8°C	18°C < PET ≤ 20°C
Frio moderado	8°C < PET ≤ 13°C	—
Levemente frio	13°C < PET ≤ 18°C	20°C < PET ≤ 22°C
Neutro	18°C < PET ≤ 23°C	22°C < PET ≤ 30°C
Levemente quente	23°C < PET ≤ 29°C	30°C < PET ≤ 34°C
Calor moderado	29°C < PET ≤ 35°C	—
Quente	35°C < PET ≤ 41°C	34°C < PET ≤ 46°C
Muito quente	> 41°C	> 46°C

FIGURA 10 – Intervalos de PET para Vitória

Fonte: SILVA, 2014.

O UTCI, inicialmente desenvolvido pela *International Society of Biometeorology* (ISB), resulta em uma temperatura equivalente a um ambiente de referência, sendo válido para todo o intervalo de trocas de calor entre corpo e o ambiente. É também classificado em categorias de estresse térmico, por faixas da temperatura resultante, variando de extremo estresse para o frio a extremo estresse para o calor (BRÖDE, 2022) [11]. É considerado como um dos índices mais abrangentes para o cálculo do estresse térmico em espaços externos, sendo válido para todos os climas, estações e das escalas micro e macro (DUARTE, 2018).

Faixas de UTCI (°C)	Categoria de estresse
Acima de +46	Extremo estresse para o calor
+38 a +46	Muito forte estresse para o calor
+32 a +38	Forte estresse para o calor
+26 a +32	Moderado estresse para o calor
+9 a +26	Sem estresse térmico
+9 a 0	Pouco estresse para o frio
0 a -13	Moderado estresse para o frio
-13 a -27	Forte estresse para o frio
-27 a -40	Muito forte estresse para o frio
Abaixo de -40	Extremo estresse para o frio

FIGURA 11 – Escala de Avaliação UTCI

Fonte: Adaptado de UTCI.ORG, 2003.

Para obtenção dos índices, foram inseridos no RayMan os valores da temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s) e TRM (°C) obtidos em cada cenário por meio do ENVI-met. Pois o RayMan, criado por Andreas Matzarakis é cedido de forma gratuita e a versão do ENVI-met *Lite* não fornece os resultados do PET e do UTCI.

Resultados

Os resultados obtidos demonstraram que os fatores comparados entre os cenários 02, 03, 04 e 05: Temperatura do Ar (Tar), Temperatura Radiante Média (TRM), Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e Índice Climático Térmico Universal (UTCI) apresentaram uma tendência de aumento nos cenários com o uso de vidro refletivo, nos horários mais quentes do dia, mas as diferenças não foram significativas, destacando que em todos os cenários simulados os valores ficaram na faixa inferior a 1°C.

Os resultados foram apresentados da seguinte forma, Tar e TRM em mapas, e os índices de conforto térmico PET e UTCI foram determinados em três pontos: dois em calçadas próximas às edificações (pontos 01 e 02) e o ponto 03 na calçada da Praça Vernesbach [12], estes locais são de passagem e permanência dos pedestres, além da verificação da influência da proximidade com o material simulado.



FIGURA 12 – Pontos de avaliação dos índices de conforto térmico

Fonte: AUTORAS, 2022.

Para melhor entendimento dos resultados, em [13] são apresentadas imagens do nível de radiação direta no modelo computacional e as sombras originadas pela geometria dos edifícios em cinco horários do dia.

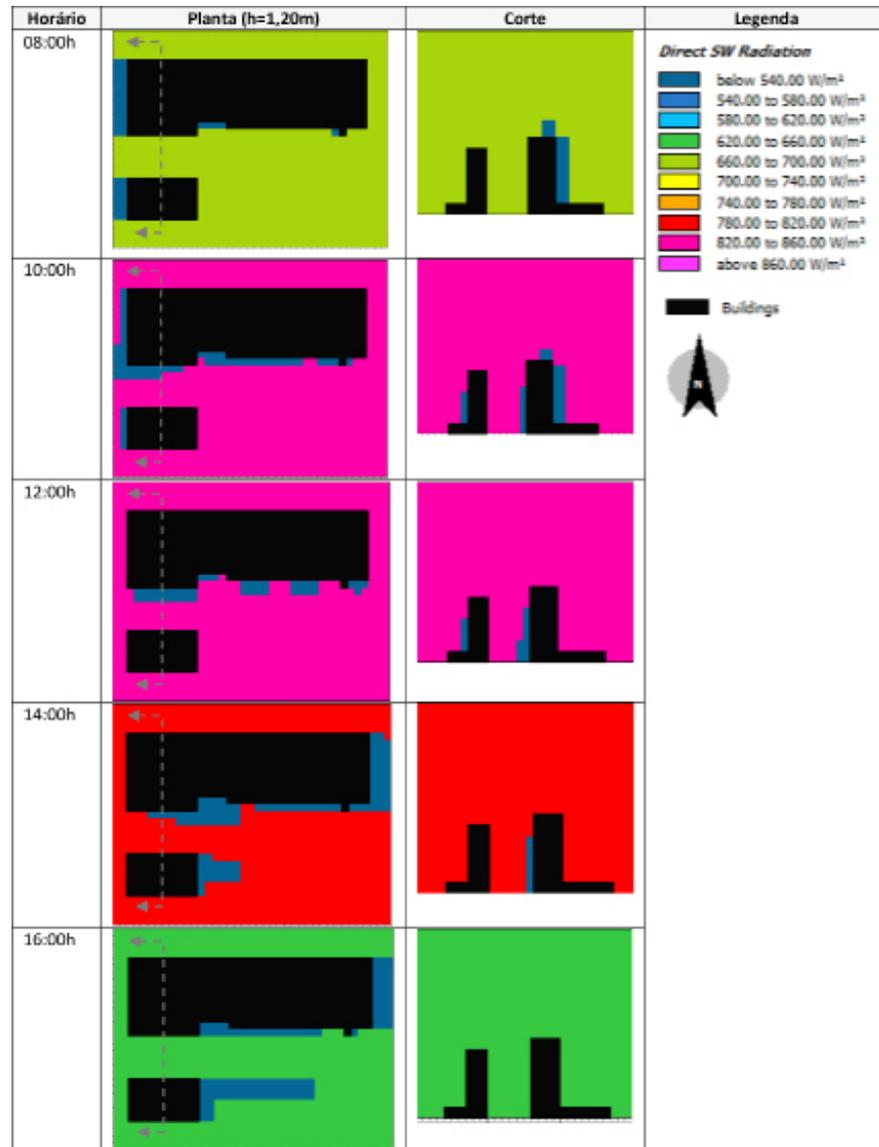


FIGURA 13 – Distribuição da radiação direta (W/m²) em cinco horários do dia

Fonte: AUTORAS, 2022.

Enquanto em [14] são apresentadas imagens das cartas solares referentes às fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste, em que é possível verificar o tempo de insolação (mês e horário) para cada fachada das edificações na latitude de Vitória.

O efeito do vidro refletivo no microclima urbano: fachadas de edifícios comerciais

The effect of reflective glass on the urban microclimate: facades of commercial buildings

El efecto del vidrio reflectante en el microclima urbano: fachadas de edificios comerciales

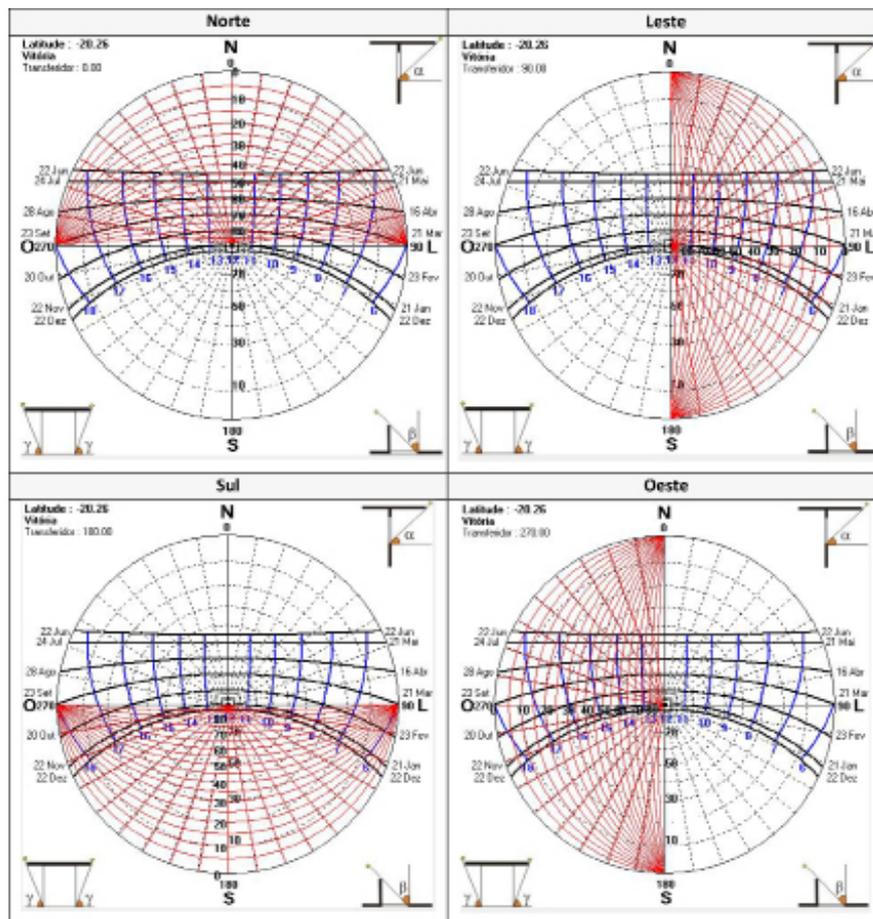


FIGURA 14 – Cartas solares das fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste

Fonte: ANALYSIS SOL-AR 6.2 (2022).

Temperatura do Ar - Tar

Os resultados obtidos demonstraram que a Temperatura do Ar (Tar) não apresentou nenhuma alteração significativa nos cenários comparados (02, 03, 04 e 05), sendo os modelos 02, 03 e 04 os que possuem vidro refletivo e diferenciam-se entre si no quantitativo: o 02 tem maior uso deste tipo de vidro e o 04 possui menor quantidade. O cenário 05 não contém vidros refletivos, mas sim incolor.

As diferenças para a Tar corresponderam em sua maioria a 0,01°C, chegando ao máximo de 0,03°C em alguns pontos e horários. Essa pequena variação já era esperada, pois muitos estudos mostram que a Tar é um parâmetro que dificilmente apresenta diferenças significativas, principalmente quando se altera somente os materiais de superfícies das fachadas. O maior valor de Tar encontrado foi de 33,33°C às 12h em todos os cenários e o menor valor de Tar foi de 22,72°C às 06h da manhã. Para análise mais detalhada foi definido o horário de maior Tar, às 12h. É perceptível que nos cenários 02, 03 e 04 em que há o uso de vidro refletivo, a Tar se apresentou mais elevada próxima ao edifício 01 e ao lado do Enseada Trade Center, comparado ao cenário 05 [15]. O ponto 01 foi o que teve maior valor para a Tar, no horário de 12h o cenário 03 e 04 apresentaram a Tar de 31,53°C, o cenário 02 de 31,51°C e o cenário 05 de 31,50°C. Isso provavelmente ocorreu porque o ponto 01 está em frente a fachada direcionada à Norte da edificação 01, ou seja, recebe radiação solar direta no período entre 8h e 16h, enquanto os pontos 02 e 03 estão mais próximos às outras duas edificações em frente às fachadas direcionadas à Sul, que não recebem insolação na maior parte do dia.

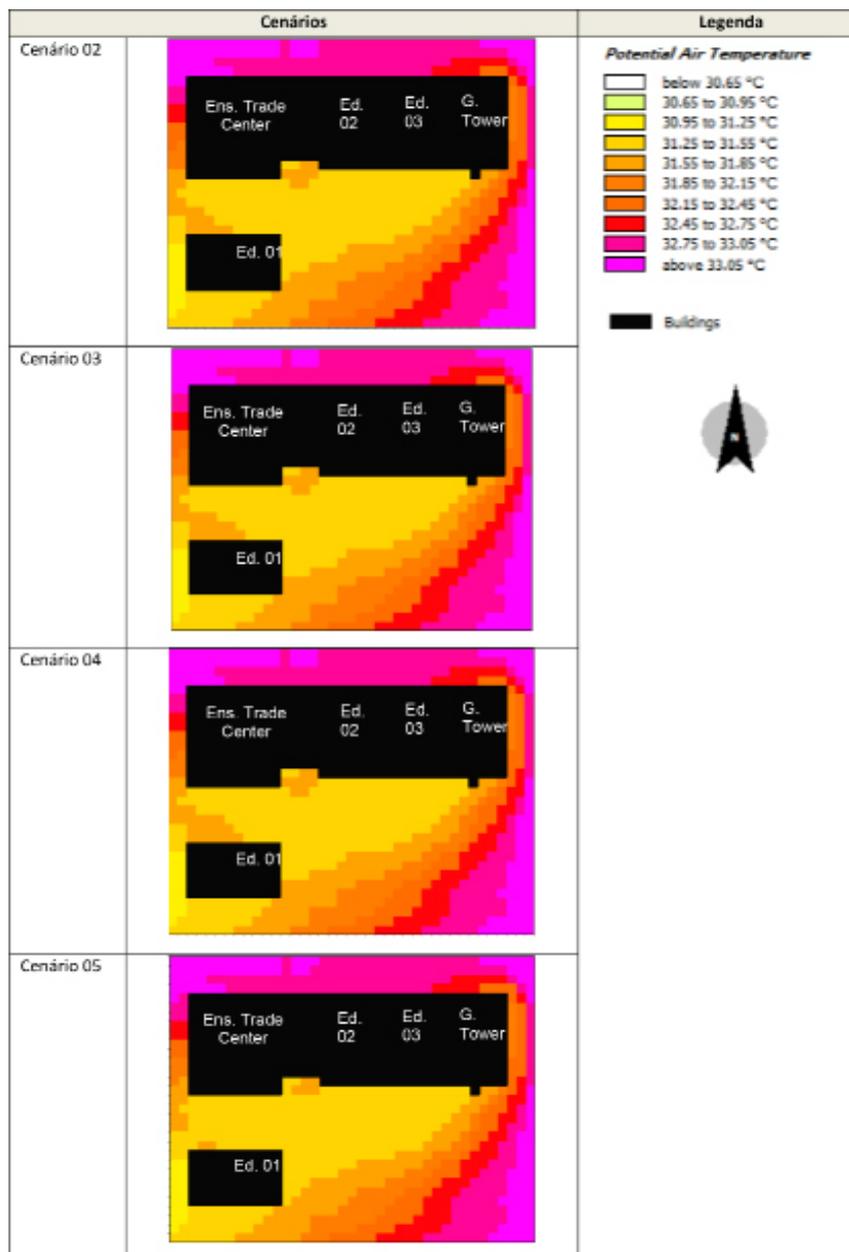


FIGURA 15 – Comparativo da temperatura do ar no horário de 12h (h=1,20m)

Fonte: AUTORAS, 2022.

É perceptível nos cenários apresentados que as extremidades possuem temperaturas mais altas. Isso mostra a tendência do programa ENVI-met em aquecer as bordas do modelo mesmo alternando o material que está ao redor das edificações em asfalto, concreto e solo natural. O ideal é que o modelo seja maior (o que é limitado na versão gratuita) e composto com mais edificações, a fim de que o programa se adeque a dinâmica da área.

Temperatura Radiante Média - TRM

A TRM foi a variável que teve maior diferença entre os cenários, chegando a uma diferença de 0,77°C no ponto 01. No cenário 02, às 14h, foi registrado o valor mais alto de temperatura, alcançando 63,22°C. Essa elevação provavelmente ocorreu devido ao calor absorvido durante a manhã e à altura do sol, uma vez que nesse horário

as fachadas receberam a incidência solar com um ângulo de 60°. Em contraste, ao meio-dia, em que o ângulo solar é de 90° em relação a fachada, resultando em raios solares verticais nas edificações. As maiores disparidades foram notadas no horário de 11h [16]. Pode-se afirmar que nos horários mais quentes do dia (de 10h até às 15h), em que há o predomínio de ondas curtas de radiação, a TRM foi influenciada pelos revestimentos das superfícies verticais, sendo os cenários com predomínio de vidros refletivos, os que apresentaram maiores valores decorrentes dessa variável.

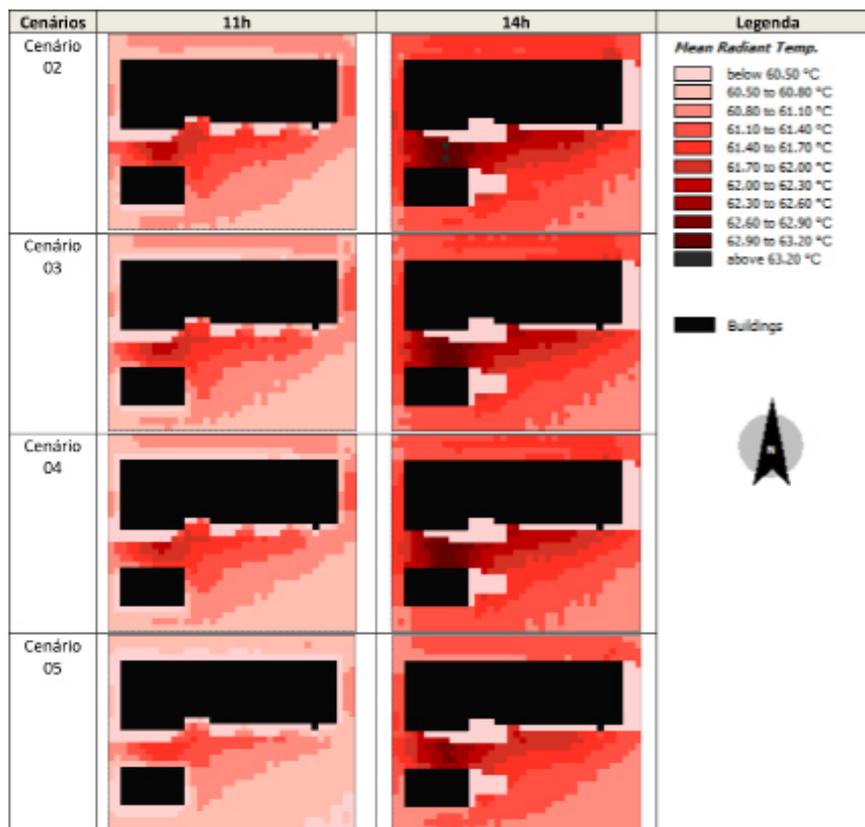


FIGURA 16 – Comparativo da TRM no horário de 11h e 14h (h=1,20m)

Fonte: AUTORAS, 2022.

Índices de conforto térmico

Para o cálculo dos três pontos definidos para a análise do PET e UTCI no programa RayMan, foram considerados os horários de 11h (por ser o período com maior diferença entre os cenários nos valores de TRM), às 12h (em que a Tar é a mais alta) e às 14h (em que a TRM é mais alta). No entanto, optou-se por apresentar os resultados das 11h e 12h, uma vez que, em todos os pontos (01, 02 e 03), os valores de PET e UTCI foram mais altos às 12h, e algumas comparações mostraram diferenças mais significativas às 11h. Ao comparar os resultados das 14h com os das 12h, observou-se uma tendência semelhante.

Em [17] é possível observar que a única variável que apresentou valores discrepantes entre os cenários foi a TRM. Apesar de ser maior no horário das 11h, os valores de PET e UTCI foram mais elevados às 12h, devido a uma diferença de 0,5°C a mais na temperatura do ar e uma diminuição de 1,6% na umidade relativa, considerando que a velocidade do vento permanece constante. Nos dois horários os resultados do PET foram mais quentes nos cenários 02 e 03, e menos quentes no cenário 05, sendo a diferença entre eles de 0,3°C às 12h e 0,2°C às 11h. O UTCI teve seu resultado mais alto no cenário 02 e mais baixo no cenário 05 em ambos os horários, sendo a diferença entre eles de 0,2°C.

O efeito do vidro refletivo no microclima urbano: fachadas de edifícios comerciais

The effect of reflective glass on the urban microclimate: facades of commercial buildings

El efecto del vidrio reflectante en el microclima urbano: fachadas de edificios comerciales

No ponto 02, os dados inseridos no RayMan foram iguais para a Tar, umidade relativa e velocidade do vento nos horários de 11h e 12h [18]. A TRM apresentou mudanças nos cenários 02 e 05, mas obteve os mesmos valores para os cenários 03 e 04. Portanto, diferentemente do ponto 01, não houve mudanças entre os cenários 02, 03 e 04 para os resultados do UTCI, foram de 38,4°C às 11h e 38,6°C às 12h, destoando apenas 0,1°C do cenário 05. No índice PET o resultado mais quente foi no cenário 02, ao meio dia e menos quente no cenário 05 às 11h. Tanto no horário de 11h, como no horário de 12h a diferença do maior valor para o menor foi de 0,2°C.

	Ponto 01	Tar (°C)	RH (%)	Vv (m/s)	TRM (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
11h	Cenário 02	31.0	49.3	3.4	61.8	39.9	35.4
	Cenário 03	31.0	49.3	3.4	61.7	39.9	35.3
	Cenário 04	31.0	49.3	3.4	61.6	39.8	35.3
	Cenário 05	31.0	49.3	3.4	61.1	39.6	35.2
12h	Cenário 02	31.5	47.7	3.4	61.6	40.4	35.8
	Cenário 03	31.5	47.7	3.4	61.5	40.4	35.7
	Cenário 04	31.5	47.7	3.4	61.4	40.3	35.7
	Cenário 05	31.5	47.7	3.4	60.9	40.1	35.6

FIGURA 17 – Dados de Tar, Rh, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 01

Fonte: AUTORAS, 2022.

No ponto 03, no horário das 11h, apresentou-se uma equivalência de valores de Tar em relação ao ponto 02, diferença de menos 0,2% na umidade relativa e de mais 0,6m/s na velocidade do vento em todos os cenários [19]. A TRM teve os mesmos valores no cenário 05 e o UTCI no ponto 02 foi mais quente que no ponto 03, quase 1°C e no PET de 1,5°C. Ao meio dia, apesar da velocidade do vento e a TRM serem iguais ao horário de 11:00h no próprio ponto 03, com a Tar mais quente e a umidade relativa mais baixa, obteve-se um aumento dos índices de conforto térmico.

	Ponto 02	Tar (°C)	RH (%)	Vv (m/s)	TRM (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
11h	Cenário 02	30.9	50.0	1.2	61.4	43.6	38.4
	Cenário 03	30.9	50.0	1.2	61.3	43.5	38.4
	Cenário 04	30.9	50.0	1.2	61.3	43.5	38.4
	Cenário 05	30.9	50.0	1.2	61.0	43.4	38.3
12h	Cenário 02	31.4	48.4	1.3	61.3	43.7	38.6
	Cenário 03	31.4	48.4	1.3	61.2	43.6	38.6
	Cenário 04	31.4	48.4	1.3	61.2	43.6	38.6
	Cenário 05	31.4	48.4	1.3	60.9	43.5	38.5

FIGURA 18 – Dados de Tar, Rh, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 02

Fonte: AUTORAS, 2022.

Diante dos valores obtidos nas simulações, apesar das diferenças dos resultados entre os cenários 02, 03, 04 e 05 terem sido muito pequenas, e todos os valores de PET para a cidade de Vitória terem dado dentro da faixa de quente ($34 < PET \leq 46$), e do UTCI na categoria de forte estresse para o calor ($+32$ a $+38$) para os pontos 01 e 03, e muito forte estresse para o calor ($+38$ a $+46$) para o ponto 02, como apresentado na metodologia, foi perceptível as interações das variáveis que compõem os índices de conforto térmico, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura radiante média.

O efeito do vidro refletivo no microclima urbano: fachadas de edifícios comerciais

The effect of reflective glass on the urban microclimate: facades of commercial buildings

El efecto del vidrio reflectante en el microclima urbano: fachadas de edificios comerciales

Em relação a umidade relativa do ar ficou mais complexa a percepção da sua influência, pois quando modificada, outros parâmetros como a Tar e a TRM também sofreram alterações. No geral, mesmo que os pontos 01 e 03 apresentem a Tar e TRM iguais ou mais elevadas que o ponto 02, é no ponto 02 que os valores de PET e UTCI foram mais altos, em que a velocidade do vento é mais baixa.

Ponto 3		Tar (°C)	RH (%)	Vv (m/s)	TRM (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
11h	Cenário 02	30.9	49.8	1.8	61.3	42.1	37.4
	Cenário 03	30.9	49.8	1.8	61.2	42.0	37.4
	Cenário 04	30.9	49.8	1.8	61.2	42.0	37.4
	Cenário 05	30.9	49.8	1.8	61.0	41.9	37.4
12h	Cenário 02	31.4	48.4	1.8	61.3	42.5	37.8
	Cenário 03	31.4	48.4	1.8	61.2	42.5	37.8
	Cenário 04	31.4	48.4	1.8	61.2	42.5	37.8
	Cenário 05	31.4	48.4	1.8	61.0	42.4	37.7

FIGURA 19 – Dados de Tar, Rh, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 03

Fonte: AUTORAS, 2022.

Com isso, infere-se que não há uma diferença significativa para o ambiente externo quanto as diferenças de áreas envidraçadas com vidro refletivo no local estudado. Também observa-se que há uma tendência de diminuição da Tar, TRM, PET e UTCI nos horários mais quentes do dia nos cenários com vidro incolor. E pode-se afirmar que as fachadas envidraçadas sombreadas (direcionadas principalmente à Sul), colaboraram para menores valores e até mascaramento dos parâmetros analisados.

Tal como ocorreu nos estudos de Fabbri et al. (2020), em que os resultados apontaram que existe uma correlação entre a refletância da fachada do edifício e a tendência da temperatura do ar, mas que variaram em uma faixa inferior a 1°C nos modelos comparados com variações de cor e refletância nas fachadas simuladas no microclima externo, em espaços abertos.

Diferentemente do que aconteceu nos modelos analisados por Gusson (2020), que estudou o impacto da densidade construída e dos materiais de superfície no microclima da cidade de São Paulo. As diferenças da temperatura do ar entre os cenários analisados também foram abaixo de 1°C, no entanto, os resultados da TRM e do TEP (Temperatura Equivalente Percebida) sendo parâmetros mais significativos para a sensação térmica humana, tiveram grandes distinções, chegando a 8,1°C e 4,3°C, respectivamente, em horários mais quentes do dia. Inclusive, o vidro refletivo ficou em 2º lugar entre os materiais simulados nessa pesquisa que mais influenciam no conforto térmico.

Salvati et al. (2022), afirmam que a refletividade da fachada tem maior potencial para aumentar o albedo urbano em cânions profundos e que a redução dessa refletividade tem um impacto positivo no conforto térmico exterior. No entanto, consideram que estudos sobre o impacto de geometrias urbanas do mundo real e distribuição realista de materiais no albedo urbano são muito limitados, e que a maior parte do estado da arte sobre albedo urbano é baseada em estudos usando modelos conceituais de áreas urbanas, onde a geometria urbana é simplificada para padrões regulares de cânions urbanos ou edifícios cúbicos e a distribuição espacial de refletâncias de fachadas e estradas é assumida como ser homogêneo.

Considerações Finais

O desenvolvimento deste trabalho permitiu analisar o efeito do uso de vidro refletivo em fachadas de edificações comerciais, no microclima urbano na cidade de Vitória/ES por meio de simulações computacionais com o programa ENVI-met.

Foram definidos os critérios para a elaboração dos modelos de análise, sendo eles a criação de cenários hipotéticos em uma área do bairro da Enseada do Suá, com edificações propostas nos cenários 02, 03 e 04 contendo 100%, 50%, 27,7% ou 25% de um tipo de vidro refletivo e o cenário 05 formado pelas mesmas edificações, porém com 50% de vidro incolor.

Observou-se nos modelos simulados os índices de conforto PET e o UTCI, além dos parâmetros que interferem nesses índices de conforto térmico para o ambiente externo: a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a umidade relativa.

No entanto, ao verificar a usabilidade aceitável do vidro refletivo na edificação, ou seja, se um uso menor deste elemento na fachada ou a substituição por um vidro incolor, que possui menor capacidade de reflexão dos raios solares, percebeu-se que as diferenças para o pedestre foram muito pequenas, quase inexistentes no microclima estudado. Concluindo-se que há uma interferência do vidro refletivo no meio urbano, porém é mínima. No estudo de Gusson (2020), com um cenário mais denso de prédios, foi obtido resultados mais expressivos, quando comparado os diferentes materiais de fachadas. E de acordo com Salvati et al. (2022) é em cânions mais profundos que a refletividade da fachada tem maior potencial para aumentar o albedo urbano.

Como limitações da pesquisa, tem-se a dimensão da área controlada pela versão gratuita do ENVI-met em 50x50x40 células, sem essa restrição, o espaço analisado poderia ter sido maior, com mais edificações e com tamanho dos *grids* menores, que possibilitaria maior detalhamento da região escolhida, inclusive com a presença de vegetação. Além disso, a área mais densamente construída permite que o programa entenda melhor o efeito da ilha de calor urbana e utilize-o no cálculo.

Quanto à calibração do programa, percebeu-se que os valores de umidade do ar foram subestimados pelo ENVI-met e as diferenças do cenário medido e simulado não foram parecidos. Como sugestão para a melhoria, tem-se a medição em campo das principais variáveis como temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento em um período de pelo menos 24h. Com a medição realizada por meio de transecto móvel, é mais complexa essa medição hora a hora, e possivelmente perde-se a aferição de dados mais frios do dia que geralmente ocorrem durante a noite ou madrugada. Portanto, é essencial que seja utilizada a técnica de medição com miniestação meteorológica instalada em ponto fixo e que o local escolhido para a medição seja centralizado à área de estudo, pois assim é possível evitar a influência da borda que ocorre no programa.

Aconselha-se também que o estudo sobre fachadas com vidros refletivos seja feito em maior quantidade de quadras e compostas com mais edificações, a fim de verificar se o quantitativo das áreas envidraçadas teria diferenças significativas nestes ambientes. Além disso, avaliar se há influência em edificações opostas frontalmente quando utilizam vidro refletivo ou outro material de superfície na fachada.

Em continuidade a questão do adensamento urbano, edificações de gabaritos altos têm sido construídas, pois em muitos bairros não há restrições de altura máxima, como ocorre em parte da Enseada do Suá. A tendência é que com o passar dos anos o gabarito e o coeficiente de aproveitamento das construções aumentem. Isso permite uma maior influência da área construída das fachadas no espaço externo com a

utilização de revestimentos que provoquem desconforto aos usuários das ruas do entorno, se não houver limitações em planos diretores urbanos.

Em síntese, o uso das simulações computacionais é um importante método para profissionais do ambiente construído, pois permite o estudo de diferentes opções considerando climas, materiais e formas urbanas variadas para o desenho urbano sensível e adequado.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Referências

ABURAS, Marina et al. Smart windows–Transmittance tuned thermochromic coatings for dynamic control of building performance. **Energy and Buildings**, v. 235, p. 110717, 2021.

ALVAREZ, Cristina Engel de; BRAGANÇA, Luis. Medidas para o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas no ambiente construído. 2018.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE fundamentals book**. Atlanta: SI Edition, 2001.

ANDREIS, Cínthia; BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando Simon. Desempenho energético de fachadas envidraçadas em climas brasileiros. **ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 15, p. 926-935, 2014.

BRÖDE, Peter. **UTCI Universal Thermal Climate Index**. Disponível em: <<http://www.utci.org/>>. Acesso em: 19 set. 22.

BROZOVSKY, Johannes et al. Evaluation of sustainable strategies and design solutions at high-latitude urban settlements to enhance outdoor thermal comfort. **Energy and Buildings**, v. 244, p. 111037, 2021.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Vitória**, s.d. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/espírito-santo/vitoria-2181/>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

DE ARRUDA, Angela Maria; MASIERO, Érico. Análise de índices de conforto térmico através dos softwares Rayman e ENVI-met em áreas industriais. **SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA**, v. 3, p. 124-137, 2021.

DESTEFANI, Liane Becacici Gozze. **A pele dos edifícios comerciais: análise de desempenho térmico dos sistemas de fachada e materiais de revestimento**. 2020. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

DUARTE, Denise Helena Silva. **Conforto Térmico em Espaços Abertos**. São Paulo: Fauusp/Labaut, 2018. Color. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4448892/mod_resource/content/0/AUT0225%20aula%206b%20Conforto%20T%C3%A9rmico%202018.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.

DUARTE, Denise Helena Silva. O clima urbano e o ambiente construído. **Edifício ambiental**, 2015.

ESPINDULA, Lidiane; MENDONÇA, Eneida Maria Souza. A paisagem e o Plano de Urbanização da Praia do Suá, Vitória-ES. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, n. 18, 2017.

FABBRI, Kristian et al. Effect of facade reflectance on outdoor microclimate: An Italian case study. **Sustainable cities and society**, v. 54, p. 101984, 2020.

FIALHO, Edson Soares. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009, 248f.

GONÇALVES, Joana Carla Soares. INTRODUÇÃO. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 15-23.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

GUSSON, Carolina dos Santos. **O impacto da verticalização no microclima urbano e no conforto térmico na escala do pedestre: o papel da geometria e da envoltória dos edifícios**. 2020. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

GUSSON, Carolina dos Santos; SHINZATO, Paula. C-adapt. **Curso básico do modelo ENVI-met V5**. São Paulo, 2022.

HIRASHIMA, Simone Queiroz da Silveira. **Calibração do índice de conforto térmico: Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG**. 2010. 227 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

JÄNICKE, Britta; MILOŠEVIĆ, Dragan; MANAVVI, Suneja. Review of user-friendly models to improve the urban micro-climate. **Atmosphere**, v. 12, n. 10, p. 1291, 2021.

KAMEL, Tarek M. A new comprehensive workflow for modelling outdoor thermal comfort in Egypt. **Solar Energy**, v. 225, p. 162-172, 2021.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. São Paulo: PW, 2013.

LI, Jiajing et al. A review of urban microclimate research based on CiteSpace and VOSviewer analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 8, p. 4741, 2022.

LIU, Changyu et al. Experimental investigation of optical and thermal performance of a PCM-glazed unit for building applications. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 794-800, 2018.

MAIOLI, Ricardo Nacari et al. A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória-ES e sua relação com o conforto ambiental. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção, 16., 2016, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: 2016. p.1220-1233.

MEHAOUED, Karima; LARTIGUE, Berangere. Influence of a reflective glass façade on surrounding microclimate and building cooling load: Case of an office building in Algiers. **Sustainable Cities and Society**, v. 46, p. 101443, 2019.

OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. Routledge, 2002.

OLIVEIRA, Evelyn. Debate: vidros para fachadas. **Au**, São Paulo, v. 266, maio 2016. Disponível em: <<http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/266/debate-vidros-para-fachadas-370745-1.aspx>>. Acesso em: 19 ago. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA (PMV). **Evolução urbana**. 2016. Disponível em: <<https://www.vitoria.es.gov.br/cidade/evolucao-urbana>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA (PMV). **Localização do Município de Vitória**. Disponível em: <<https://sistemas7.vitoria.es.gov.br/GeoWebApi/Downloads/pdf/politicos/Localizacao.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2022.

SALVATI, Agnese et al. Impact of reflective materials on urban canyon albedo, outdoor and indoor microclimates. **Building and Environment**, v. 207, p. 108459, 2022.

SANTAMOURIS, Matheos. **Energy and climate in the urban built environment**. Routledge, 2013.

SILVA, Fabiana Trindade da. **Conforto térmico do transeunte: a porosidade urbana como condicionante da ventilação**. 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2019. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 22.

UTCI. **UTCI Assessment Scale**. 2003. Disponível em: <http://www.utci.org/utci_doku.php>. Acesso em: 19 set. 2022.

WERNECK, Daniela Rocha. **Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbana: estudo de caso em áreas comerciais em Brasília - DF**. 2018. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

YANG, Xiaoming; GROBE, Lars; STEPHEN, Wittkopf. Simulation of reflected daylight from building envelopes. In: **13th conference of international building performance simulation association**. 2013. p. 1-8.

RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: “O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1º de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação”.

O CADERNOS PROARQ (ISSN 2675-0392) é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma **online** a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.

Submetido em 28/02/2023

Aprovado em 10/06/2023