XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise do impacto da refletância solar das superfícies no fluxo de radiação de onda curta em cânions urbanos

Impact analysis of surfaces' solar reflectance on shortwave radiation flux in urban canyons

Natasha H. G. Pereira
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | natasha.gapski@gmail.com
Deivis L. Marinoski
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | deivis.marinoski@ufsc.br

Resumo

A utilização de superfícies frias é uma das estratégias sugeridas para reduzir o aquecimento urbano. O objetivo deste trabalho é analisar o impacto de materiais com refletância solar elevada sobre os fluxos de radiação de ondas curtas. O método consiste na simulação computacional de dois cenários de refletância solar pelo modelo ENVI-met validado na cidade de Balneário Camboriú. A análise dos resultados em cânions urbanos com geometrias distintas mostra que a alta refletância solar do entorno está associada a uma redução das temperaturas superficiais e, ao mesmo tempo, ao aumento da radiação solar incidente nos cânions.

Palavras-chave: Cânion urbano. Refletância solar. Radiação de onda curta.

Abstract

Cool surfaces are one of the suggested strategies to reduce urban heating. This study aims to analyze the impact of high solar reflectance materials on shortwave radiation fluxes. The method consists of computational simulations of two scenarios with an ENVI-met validated model for Balneário Camboriú, Brazil. The results analysis in urban canyons with distinct geometries shows that the surroundings' high solar reflectance is associated with a reduction of surface temperatures and, at the same time, with an increase in solar radiation incidence in these canyons.

Keywords: Urban canyon. Solar reflectance. Shortwave radiation.

Como citar:
PEREIRA, N. H. G.; MARINOSKI, D. L. Análise do impacto da refletância solar das superfícies no fluxo de radiação de onda curta em cânions urbanos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-11.

INTRODUÇÃO

O aquecimento urbano é resultante das interações do meio urbano e das atividades humanas com a atmosfera. O fenômeno das ilhas de calor urbanas está relacionado com o aumento do consumo energético das edificações [1], e, no âmbito da saúde humana, ao aumento da mortalidade e morbidade da população [2]. Dois grupos de estratégias são sugeridos para a mitigação das ilhas de calor urbanas: o aumento da evapotranspiração; e o aumento do albedo urbano [3].

O segundo grupo se dá pela utilização de materiais frios, que possuem elevada refletância solar e elevada emitância térmica. Assim, busca-se manter as temperaturas superficiais baixas, reduzindo a liberação de calor sensível no ambiente [4]. O aumento da refletância solar de coberturas, pavimentações e fachadas reduz a temperatura do ar urbano [5, 6, 7].

Entretanto, a efetividade desta estratégia também depende de outros fatores, como a geometria urbana e o clima local. Os efeitos da aplicação de materiais frios no microclima urbano não são lineares, pelo menos para as pavimentações e fachadas [7], devido ao efeito das múltiplas reflexões de radiação nos cânions urbanos.

Além disso, o aumento da refletância solar influencia no conforto ambiental do pedestre e na demanda energética de determinada área. Por este motivo, as temperaturas superficiais e os balanços de radiação também devem ser considerados nos estudos de mitigação das ilhas de calor, a fim de que a redução da temperatura do ar não seja contrabalanceada por outros efeitos [8].

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar o impacto da refletância solar das superfícies urbanas no balanço de radiação de onda curta de dois cânions urbanos, com diferentes geometrias.

MÉTODO

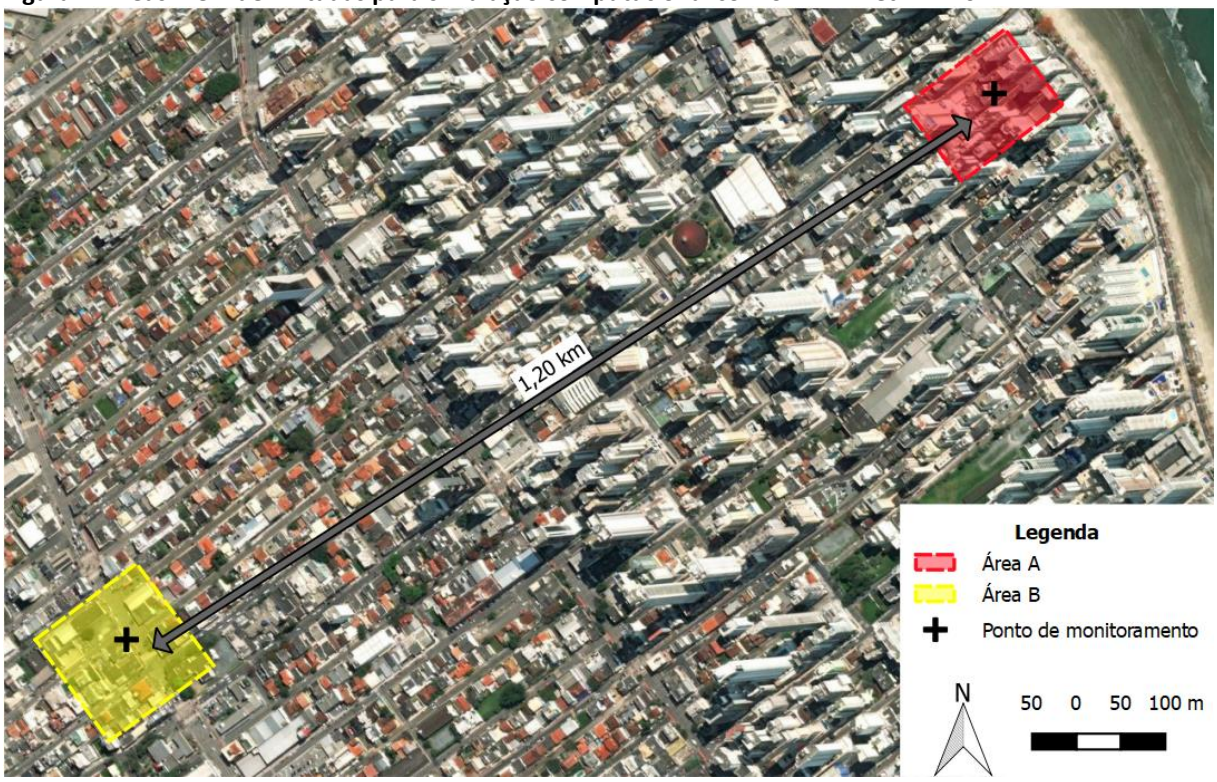
O método deste trabalho parte do modelo ENVI-met validado em duas áreas representativas da região central de Balneário Camboriú – SC (classificação “Cfa” [9]), nas estações do ano de inverno e primavera. Após a validação, foram simulados dois cenários com combinações de alta e baixa refletância solar das superfícies de cobertura, pavimentação e fachadas. A análise dos resultados foi realizada considerando os fluxos de radiação e as temperaturas superficiais em um cânion urbano de cada área.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O programa ENVI-met versão 4.4.6 foi utilizado nas simulações do presente trabalho. A modelagem tridimensional de duas áreas da cidade de Balneário Camboriú foi baseada no arquivo georreferenciado das áreas construídas [10] com atribuição das alturas em relação ao solo estimadas de modo observacional, considerando cada pavimento com 3 metros de altura.

A área A localiza-se em uma região com maior densidade horizontal e vertical, e representa a região de principal centro de comércio e serviços [11]. A área B, por sua vez, representa uma região menos adensada e com edificações de menor altura, com uso residencial e, na avenida que a atravessa (Quarta avenida), serviços pesados. A Figura 1 apresenta a localização geográfica das áreas delimitadas para as simulações, que estão a aproximadamente 1,2 km distantes entre si.

Figura 1: Áreas A e B delimitadas para simulação computacional com o ENVI-met v.4.4.6



Fonte: Imagem aérea da Bing Maps - Microsoft Corporation. Composição dos autores.

A Tabela 1 mostra alguns índices morfológicos calculados para as áreas A e B. A taxa de ocupação representa a porcentagem da área total que é ocupada pela projeção da edificação. A relação fachada-local é expressa pela razão entre a área de fachada, calculada por meio da multiplicação entre perímetro e altura das edificações, e a área total do terreno. A altura média provém da média da altura das edificações ponderada pela área ocupada. Observa-se que os índices de A são maiores do que os de B nas três métricas morfológicas.

Tabela 1: Métricas morfológicas das áreas A e B

	Área A	Área B
Taxa de ocupação (adimensional)	0,51	0,32
Relação fachada-local (adimensional)	3,67	0,52
Altura média (metros)	31,06	6,30

Fonte: os autores.

A modelagem tridimensional das áreas A e B foi realizada pela importação do arquivo vetorial georreferenciado (*shapefile*) de cada área para o programa ENVI-met. A exportação da geometria para o modelo tridimensional compatível com o ENVI-met é

realizada automaticamente pelo programa conforme o dimensionamento das células. A resolução horizontal das células (x, y) foi definida em 2 metros, enquanto a resolução vertical (z) foi de 3 metros de altura.

As simulações foram realizadas em dias representativos dos períodos de monitoramento em campo nas estações de inverno e primavera de 2021. A seleção dos dias simulados foi baseada nos critérios de baixa nebulosidade, uniformidade da direção do vento e menor velocidade do vento. Segundo estes critérios, os dias 30 de junho e 22 de novembro de 2021 foram selecionados para simulação de inverno e primavera, respectivamente. O Quadro 1 apresenta um resumo das configurações das simulações nos dois dias.

Quadro 1: Parâmetros de inicialização para simulações de inverno e primavera pelo ENVI-met 4.4.6

	INVERNO	PRIMAVERA
Data e horário inicial (local)	2021.06.29 - 04:00	2021.11.21 - 04:00
Duração	44 h	44 h
Velocidade do vento (m/s)	2,2	2,2
Direção do vento (°)	260	0
Simple forcing	Sim	Sim
Temperatura do ar	Porto de Itajaí [12]- dia 29/06/2021	Porto de Itajaí [12]- dia 22/11/2021
Umidade relativa do ar (máx/hora - mín/hora)	60%/07:00 - 45%/15:00	78%/05:00 - 55%/09:00
Nebulosidade (octas)	0	2 (*low clouds*) 0 (*medium clouds*) 0 (*high clouds*)
Fator de ajuste solar	0,9	1,2
Modo IVS	Sim	Sim

Fonte: os autores.

O monitoramento em campo ocorreu em um ponto em cada área (Figura 1) pelo registro de temperatura do ar e umidade relativa do ar com termo-higrômetros HOBO Data Loggers da fabricante Onset, modelo MX1101. Os termo-higrômetros foram instalados a aproximadamente 4,5 metros de altura em relação ao solo durante duas semanas em cada estação do ano e possibilitaram a validação das simulações com o ENVI-met. A validação ocorreu por meio da avaliação dos índices de desempenho: raiz quadrada do erro-médio (RMSE - *Root Mean Square Error*), MAE (*Mean Absolute Error*), MBE (*Mean Bias Error*), índice de Willmott (*d*) e coeficiente de determinação (R^2). Os resultados, apresentados na Tabela 2, foram condizentes com outras validações da literatura científica [13, 14].

Tabela 2: Métricas de desempenho da validação do ENVI-met nos pontos A e B

		Tamanho da amostra	Indicador de desempenho				
			RMSE	**BEM**	**MAE**	**D**	**R^2**
Inverno	**A**	24	1,05 °C	-0,65 °C	0,83 °C	0,94	0,99
	B	16	1,37 °C	-0,24 °C	1,08 °C	0,94	0,98
Primavera	**A**	18	0,63 °C	-0,28 °C	0,57 °C	0,87	0,87
	B	18	0,33 °C	-0,10 °C	0,30 °C	0,99	0,96

Fonte: os autores.

CENÁRIOS DE REFLETÂNCIA SOLAR

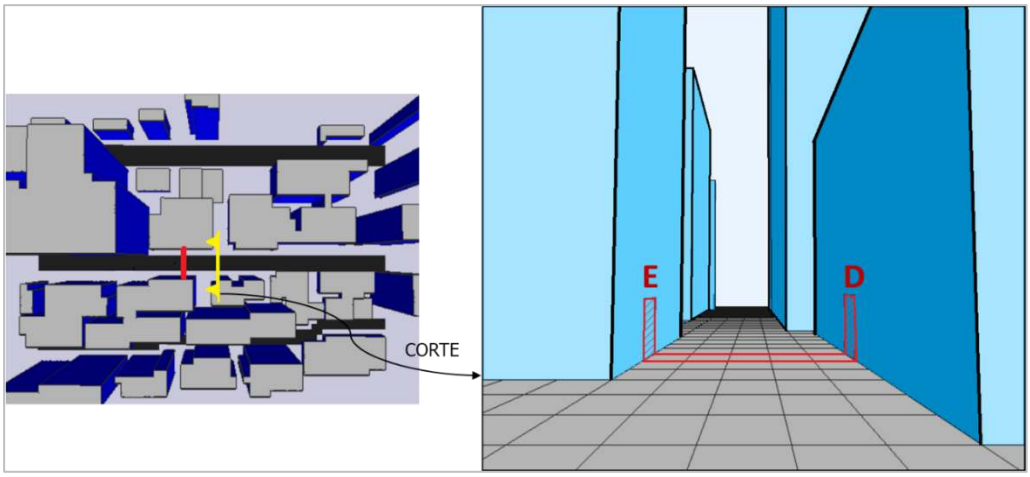
A partir do modelo validado, dois cenários foram simulados em cada área (A e B) e período (inverno e primavera). Ressalta-se que os cenários só se diferem pela combinação de refletância solar das superfícies, que foram modificadas em todas as edificações que compõem as áreas A e B, e na pavimentação. Os cenários foram criados com base em uma combinação de maior e menor refletância solar de todas as superfícies de fachada, cobertura e pavimentação do modelo. O de maior refletância solar, denominado "R+", possui fachadas com refletância solar de 0,8, coberturas de 0,7 e pavimentação de concreto, com refletância de 0,3. A combinação de menor refletância solar, denominada de "R-", possui fachadas, coberturas e pavimentação asfáltica com refletância solar de 0,2, 0,4 e 0,2, respectivamente.

As paredes das fachadas foram modeladas com as propriedades de uma parede de alvenaria com revestimento de argamassa interna e externa [15]. As coberturas foram modeladas nos níveis de média refletância solar (0,4), representando uma cobertura comum de fibrocimento, e de alta refletância solar (0,7), representando uma cobertura de fibrocimento com revestimento branco. As pavimentações foram modeladas em concreto e em asfalto com os perfis de solo padrão da biblioteca de materiais do ENVI-met, com refletância solar de 0,3 e 0,2, nesta ordem.

CÂNIONS URBANOS AVALIADOS

Para a comparação entre os cenários, selecionou-se um cânion urbano em cada área. O cânion A está localizado na área A, em um ponto central do modelo (Figura 2). O cânion A possui à sua esquerda uma edificação com 33 metros de altura e à direita uma edificação com 15 metros de altura em relação ao solo. Considerando apenas estas duas edificações e a largura da rua de 10 metros, a relação entre a altura média e a largura da rua (H/W) do cânion A é de 2,4.

Figura 2: Localização do cânion urbano A na vista aérea e vista do corte do modelo 3D com identificação das células das paredes esquerda (E) e direita (D), e do solo



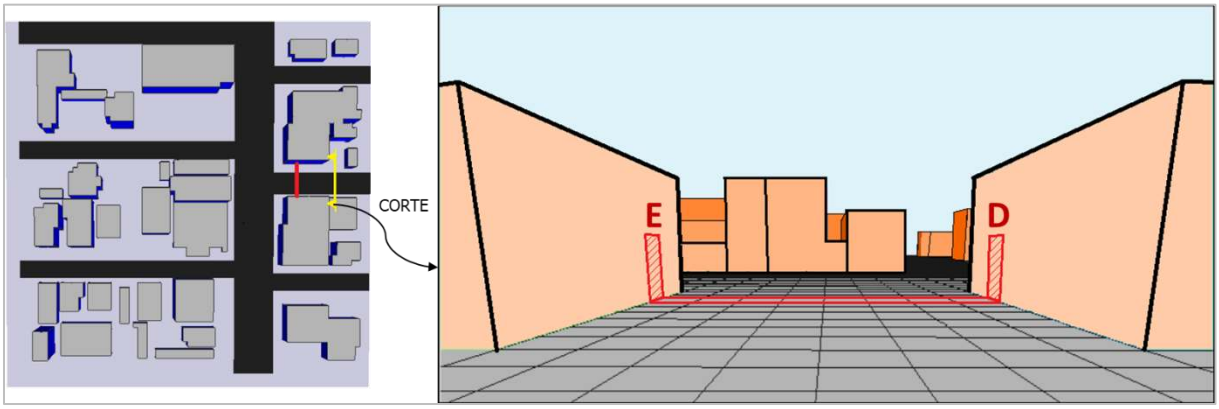
Fonte: os autores.

O cânion B localiza-se na área B, em local com a mesma orientação solar que o cânion A (Figura 3). O cânion B é mais regular, possui edificações com 6 metros de altura em

relação ao solo em ambos os lados. Com a largura da rua do modelo de simulação com 16 metros, a relação H/W do cânion B é de 0,38, caracterizando um cânion mais raso.

Foram calculadas as médias de cada variável de interesse das células referentes às paredes esquerda (E) e direita (D), identificadas segundo a vista do corte na Figuras 2 e 3, e ao solo. Ressalta-se que os cânions selecionados possuem a mesma orientação, nordeste-sudoeste, possibilitando a comparação para avaliar a influência da geometria do entorno.

Figura 3: Localização do cânion urbano B na vista aérea e vista do corte do modelo 3D com identificação das células das paredes esquerda (E) e direita (D), e do solo



Fonte: os autores.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

As variáveis utilizadas para analisar a radiação e a temperatura superficial das paredes do cânion são provenientes dos arquivos de saída "*Building data dynamic*". A radiação de onda curta incidente na fachada foi avaliada nas superfícies de parede segundo a variável *shortwave radiation received at facade.* A temperatura superficial externa da parede deriva da variável *temperature node 1/outside*.

Para avaliar os fluxos de radiação e a temperatura superficial do solo do modelo, o arquivo "*Surface/Flux Data*" foi utilizado para extrair as variáveis: *Q_Sw Direct, Q_Sw Diffuse, Horizontal, Q_Sw Reflected Received Horizontal* e *T Surface,* referentes à radiação de onda curta direta, radiação de onda curta difusa, radiação de onda curta refletida recebida do entorno e temperatura superficial, respectivamente.

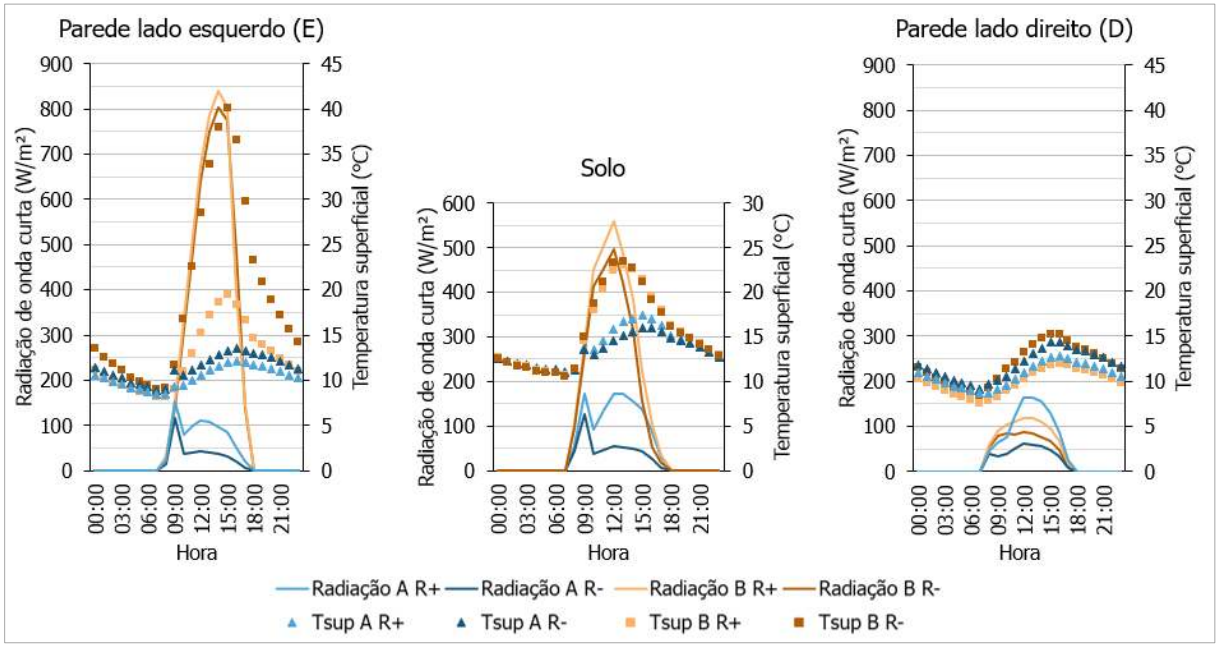
Na análise da pavimentação, os três tipos de radiação de onda curta (direta, difusa e refletida recebida) foram somadas para representar a radiação de onda curta total incidente. Posteriormente, com o objetivo de mensurar o impacto de cada tipo de radiação de onda curta no total recebido, as radiações de onda curta de todo o dia avaliado foram somadas e calculou-se a porcentagem que cada tipo representa do total diário.

RESULTADOS E ANÁLISES

A radiação solar incidente média e a temperatura superficial de cada superfície avaliada dos cânions nos dias representativos de inverno e primavera são apresentadas nas Figuras 4 e 5. A comparação entre os dois períodos mostra que na primavera há maior intensidade de radiação solar incidente nos cânions. Também a altura solar própria de cada período e a orientação do cânion determinam o acesso solar nas paredes esquerda e direita definidas. Além disso, nas duas estações do ano, observa-se que o cânion A, localizado na área mais adensada, recebe menos radiação solar do que o cânion B, onde as edificações são menores em altura e as vias mais largas.

Na comparação entre cenários, verifica-se que o cenário de maior refletância solar (R+) proporciona maior incidência de radiação de ondas curtas nas paredes e no solo do que o de menor refletância (R-). Embora o cenário R+ tenha apresentado maior radiação solar incidente nas superfícies, é a radiação absorvida que determina a sua temperatura superficial. Nas superfícies de parede, o cenário R+ representa edificações com refletância solar de 0,8, e o cenário R- com refletância solar de 0,2. A diferença entre esta propriedade foi fundamental para garantir que, mesmo com maior incidência de radiação de onda curta, as paredes do cenário R+ absorvessem menos radiação e se mantivessem com temperaturas superficiais mais baixas do que as do cenário R-.

Figura 4: Temperatura superficial e radiação de onda curta incidente no solo e nas paredes do lado esquerdo (E) e do lado direito (D) dos cânions A e B nos cenários R+ e R- – simulação do dia 30/06 pelo ENVI-met 4.4.6

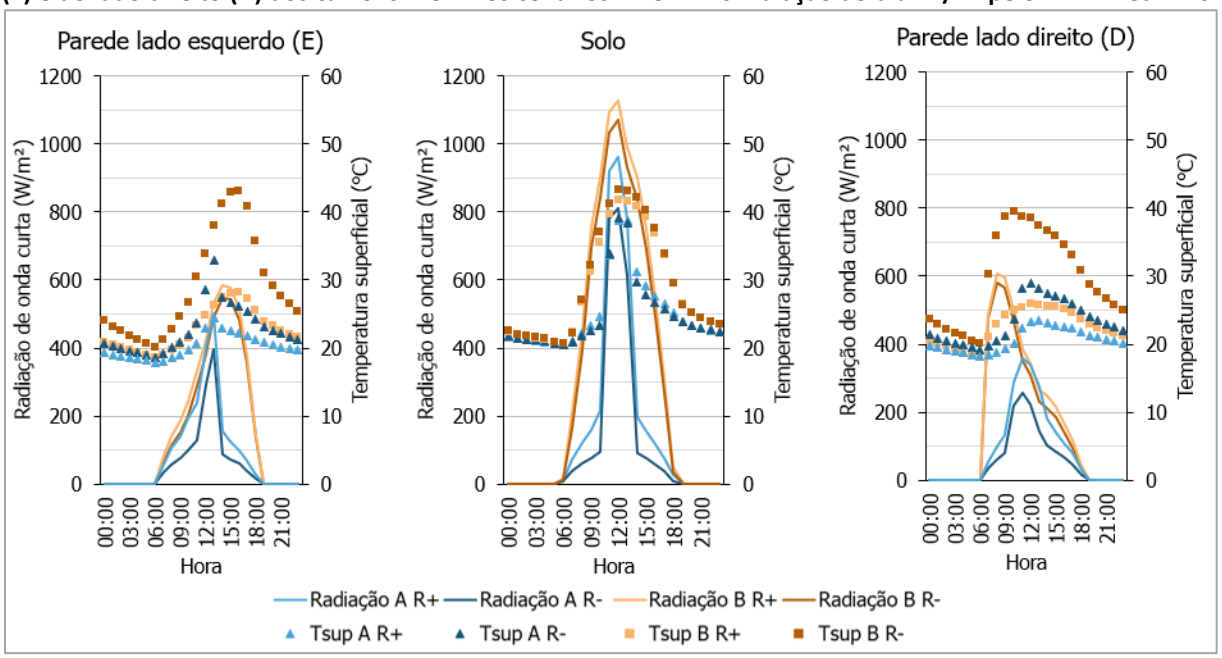


Fonte: os autores.

Nos solos do cânion A, observou-se que a radiação refletida do entorno contribuiu para que a temperatura superficial do cenário R+ fosse mais elevada do que a do cenário R- durante o dia de inverno (Figura 4) e em alguns momentos do de primavera (Figura 5).

Este comportamento demonstra que o efeito benéfico da refletância solar elevada das superfícies do entorno foi compensado pelo efeito do aumento da radiação solar refletida. Isto ocorreu nas pavimentações devido à proximidade das propriedades térmicas e óticas do asfalto (refletância solar de 0,2) e do concreto (refletância solar de 0,3).

Figura 5: Temperatura superficial e radiação de onda curta incidente no solo e nas paredes do lado esquerdo (E) e do lado direito (D) dos cânions A e B nos cenários R+ e R- – simulação do dia 22/11 pelo ENVI-met 4.4.6



Fonte: os autores.

A influência da refletância solar conforme a geometria também é notável. Verificou-se que o cânion A foi mais afetado pela refletância solar da própria edificação e do entorno, ao apresentar maior variação da radiação solar incidente e da temperatura superficial entre cenários R+ e R-. No inverno, por exemplo, a radiação solar que incide sobre a parede direita e a pavimentação do cenário R+ foi até três vezes maior do que a do cenário R- às 13h (Figura 4). A maior influência das propriedades óticas das superfícies na área A é justificada pelo fator de visão que estas têm do entorno. No cânion B, o espaçamento e a baixa altura das edificações garantem um maior fator de visão do céu (FVC). Enquanto no cânion A, o menor FVC é causado pelo maior fator de visão das edificações próximas, que propiciam a incidência de radiação solar refletida.

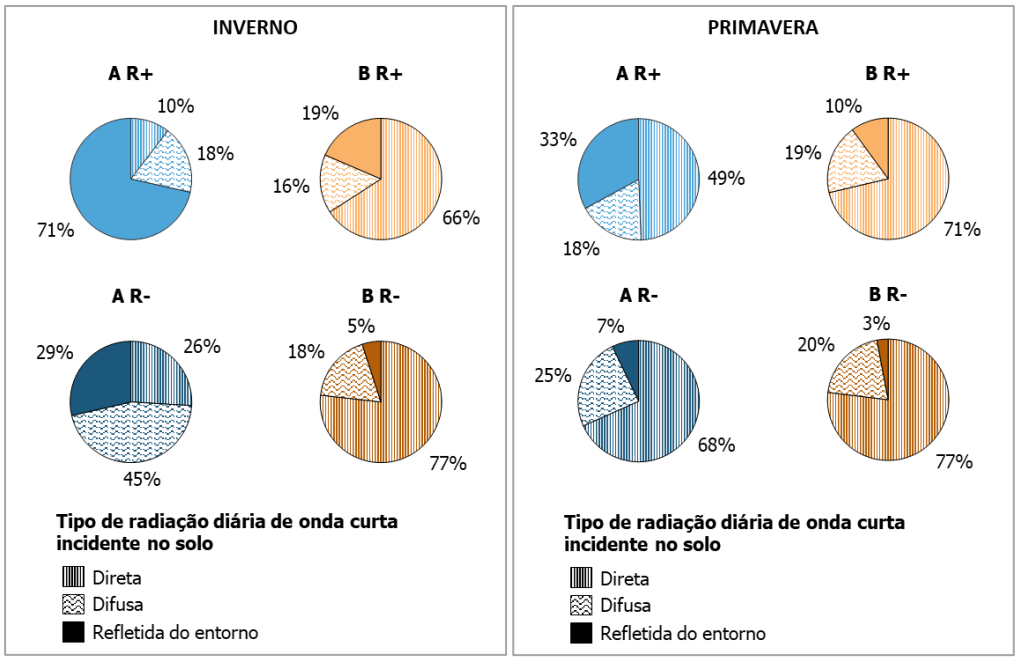
A avaliação do quanto cada tipo de radiação representa da radiação de onda curta total incidente nas pavimentações também mostra a relevância da geometria urbana. Em um mesmo cânion, a radiação de onda curta direta e difusa são iguais, pois dependem somente da geometria urbana. A radiação de onda curta refletida do entorno incidente, por sua vez, depende da geometria e da refletância solar das superfícies do entorno. A Figura 6 apresenta graficamente o quanto cada tipo de radiação representa em relação ao total incidente.

No cânion B, a influência da refletância solar do entorno é menor, pois neste cânion incide mais radiação solar do tipo direta e difusa, devido ao maior FVC. A porcentagem

máxima de radiação refletida do entorno foi de 19%, também no cenário R+ e no período de inverno. No cenário R- do dia de primavera, apenas 3% da radiação solar total incidente sobre a pavimentação é do tipo refletida do entorno.

No cânion A, até 71% (cenário R+, inverno) da radiação solar incidente no solo foi proveniente da reflexão das superfícies do entorno. No cenário R-, este tipo de radiação representou 29% do total incidente no dia de inverno, na primavera este valor é ainda menor, 7%. Como discutido anteriormente, no inverno a radiação solar direta e difusa incidente é mais baixa, por isso, as maiores porcentagens ocorreram neste período, com a radiação refletida do entorno representando parte mais expressiva do total. Estes resultados confirmam a maior sensibilidade de cânions profundos, com maior área de fachada, às modificações da refletância solar.

Figura 6: Porcentagem do tipo de radiação diária de onda curta incide na pavimentação dos cenários R+ e R- nos cânions urbanos A e B segundo modelo ENVI-met v.4.4.6 no inverno (à esquerda) e na primavera (à direita)



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Para avaliar o efeito da refletância solar nos fluxos de radiação nas superfícies urbanas, foram definidos dois cânions urbanos com geometrias distintas em Balneário Camboriú, Santa Catarina. Nestes cânions, foram comparados os cenários extremos de refletância solar de fachadas, coberturas e pavimentação. Observou-se que o cenário composto por superfícies com maior refletância (R+) aumentou a radiação de onda curta incidente nas superfícies de parede e solo do cânion urbano. Na área A, este efeito foi mais intenso devido à maior área de fachadas e às múltiplas reflexões entre elas. A radiação incidente no cenário de alta refletância solar (R+) foi até três vezes maior que a do cenário de baixa refletância solar (R-).

Em relação às temperaturas superficiais, mesmo a elevada refletância solar tendo aumentado a radiação incidente sobre as superfícies, as paredes e pavimentação do cenário com maior refletância se mantiveram com temperaturas mais baixas do que às do cenário com menor refletância solar. Apenas na pavimentação do cânion urbano da área A que a temperatura superficial do concreto (cenário R+) foi maior que a do asfalto (cenário R-) no inverno.

Os resultados demonstram o impacto do aumento da refletância solar no balanço de radiação de ondas curtas. A aplicação de superfícies frias deve ser realizada com moderação, pois o efeito de redução das temperaturas superficiais é acompanhado do aumento da radiação refletida do entorno, principalmente em cânions profundos. Como sugestão de trabalhos futuros, as consequências do aprisionamento da radiação solar nos cânions no conforto do pedestre e no desempenho térmico de edificações devem ser consideradas para uma avaliação global do uso desta estratégia para melhorar o microclima urbano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros concedidos.

REFERÊNCIAS

[1] SARRAT, C., LEMONSU, A., MASSON, V., et al. Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution, **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 10, p. 1743–1758, mar. 2006. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.11.037.

[2] SANTAMOURIS, Mat. **Environmental Design of Urban Buildings**: An Integrated Approach. 1. ed. London, Routledge, 2006.

[3] AKBARI, H., KOLOKOTSA, D. "Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research", **Energy and Buildings**, v. 133, p. 834–842, 1 dez. 2016. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.09.067.

[4] SANTAMOURIS, M., YUN, G. Y. Recent development and research priorities on cool and super cool materials to mitigate urban heat island, **Renewable Energy**, v. 161, p. 792–807, 1 dez. 2020. DOI: 10.1016/j.renene.2020.07.109.

[5] HERATH, P., THATCHER, M., JIN, H., et al. Effectiveness of urban surface characteristics as mitigation strategies for the excessive summer heat in cities, **Sustainable Cities and Society**, v. 72, p. 103072, 1 set. 2021. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103072.

[6] SANTAMOURIS, M., DING, L., FIORITO, F., et al. Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects, **Solar Energy**, Solar Thermal Heating and Cooling. v. 154, p. 14–33, 15 set. 2017. DOI: 10.1016/j.solener.2016.12.006.

[7] NAZARIAN, N., DUMAS, N., KLEISSL, J., et al. Effectiveness of cool walls on cooling load and urban temperature in a tropical climate, **Energy and Buildings**, v. 187, p. 144–162, 15 mar. 2019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.01.022.

[8] ERELL, E., PEARLMUTTER, D., BONEH, D., et al. Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons, **Urban Climate**, ICUC8: The 8th

International Conference on Urban Climate and the 10th Symposium on the Urban Environment. v. 10, p. 367–386, 1 dez. 2014. DOI: 10.1016/j.uclim.2013.10.005.

[9] KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, p. 259–263, 10 jul. 2006. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

[10] BALNEÁRIO CAMBORIÚ, Prefeitura de. **DWG - Mapa Geral e Zoneamento**. 2010. Prefeitura de Balneário Camboriú. Disponível em: https://www.bc.sc.gov.br/arquivos/conteudo_downloads/RS2HV7KS.zip. Acesso em: 10 fev. 2021.

[11] SKALEE, M. **Construção e apropriação do espaço público: estudo do traçado urbano do Centro de Balneário Camboriú.** 2008. 110 f. Dissertação (Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

[12] LABCLIMA, Laboratório do Clima. **Dados meteorológicos - Estação do Porto de Itajaí**. Universidade do Vale do Itajaí. Mensagem recebida por <labclima@outlook.com> em 29 nov. 2021.

[13] GUSSON, C. S., DUARTE, D. H. S. Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil, **Procedia Engineering**, Fourth International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 30-31 May and 1 June 2016. v. 169, p. 2–10, 1 jan. 2016. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.10.001.

[14] TSOKA, S., TSIKALOUDAKI, A., THEODOSIOU, T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications–A review, **Sustainable Cities and Society**, v. 43, p. 55–76, 1 nov. 2018. DOI: 10.1016/j.scs.2018.08.009.

[15] WEBER, F. da S., MELO, A. P., MARINOSKI, D. L., et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Florianópolis, LabEEE, ago. 2017.