AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA REFLETÂNCIA DO ENTORNO URBANO NO FLUXO DE RADIAÇÃO E NA CARGA TÉRMICA DE UMA EDIFICAÇÃO

Natasha H. G. Pereira (1); Ana Paula Melo (2), Deivis Luis Marinoski (3), Roberto Lamberts (4)
(1) Engenheira Civil, Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, natasha.gapski@gmail.com
(2) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Civil, apaula_melo@hotmail.com
(3) Doutor, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, deivis.marinoski@ufsc.br
(4) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, roberto.lamberts@gmail.com
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900

RESUMO
Materiais frios possuem alta refletância solar e emitância, características que garantem superfícies que absorvem menos radiação solar e emitem radiação de onda longa mais rapidamente. A adoção destes materiais pode contribuir para a redução do consumo energético de edificações, além disso, são apontados como estratégia para reduzir as ilhas de calor formadas no ambiente urbano. Com o objetivo de avaliar a influência da refletância do entorno urbano e da própria edificação, nos fluxos de radiação e na carga térmica, foram realizadas simulações computacionais pelo programa EnergyPlus versão 9.3.0. A partir de um modelo de edificação simplificado inserido em um cânion urbano em Florianópolis, Santa Catarina, foram criados dois cenários com diferentes refletâncias do solo, das paredes da edificação e do entorno. O cenário com altas refletâncias, denominado "cenário claro", apresentou maiores valores totais de radiação solar incidente do que o "cenário escuro", devido à reflexão do entorno. Em relação ao fluxo de radiação de onda longa na fachada da edificação, o cenário escuro mostrou maior sensibilidade, pois, associado com altas absortâncias, a temperatura superficial do entorno e da própria edificação também aumentam, estimulando as trocas de calor por onda longa. Por fim, a carga térmica total em cada cenário apresentou grande dependência da orientação da edificação e do pavimento em questão. De modo geral, o cenário escuro se mostrou mais econômico em relação à carga térmica total nos dois primeiros pavimentos, e o cenário claro no último pavimento, atribui-se este resultado à quantidade de radiação solar incidente.

Palavras-chave: cânion urbano, refletância solar, consumo energético, simulação computacional.

ABSTRACT
Cool materials present high solar reflectance and emission, which guarantee surfaces that absorb less solar radiation and dissipate through longwave radiation more quickly. The use of cool materials can contribute to reducing the energy consumption of buildings and as a strategy to mitigate heat islands formed in the urban environment. To evaluate the influence of the reflectance on the urban environment and the building itself on radiation flows and thermal load, computational simulations were performed using EnergyPlus version 9.3.0. From a simplified building model inserted in an urban canyon in Florianópolis, Santa Catarina, two scenarios were created with different soil reflectances and the building's walls and surroundings. The scenario with high reflectances, called the light scenario, presented higher values of incident solar radiation than the dark scenario due to the surroundings' reflection. Regarding the flow of longwave radiation on the building's facade, the dark scene showed greater sensitivity because associated with high absorptances, the surface temperature of the surroundings and the building itself also increases, stimulating heat exchanges by longwave. Finally, each scenario's total cooling and heating load was highly dependent on the building's orientation and the floor in question. In general, the dark scenario proved to be more economical concerning the sum of cooling and heating loads on the first two floors. On the last floor, the light scenario had a better performance. These relations are attributed to the amount of incident solar radiation on the facade.

Keywords: urban canyon, solar reflectance, energy consumption, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

O setor de edificações representa uma parcela de 36% do consumo de energia global (IEA, 2018). Essa parcela está crescendo, juntamente, com a rápida urbanização. Atualmente, mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas (ONU, 2018). O espaço urbano modifica o balanço energético e de radiação, produzindo um clima próprio das cidades, denominado de clima urbano. A ilha de calor é um fenômeno do clima urbano amplamente estudado, caracterizado pelas temperaturas do ar mais altas nos centros urbanos em relação ao entorno rural (SANTAMOURIS, 2006). O aprisionamento de radiação, a redução da perda de calor por onda longa devido a redução do fator visão do céu, o aumento da capacidade térmica dos materiais construtivos, a geração de calor antropogênico, a redução do potencial de evapotranspiração devido à escassez de áreas vegetadas, e a redução da perda de calor por convecção pela redução da velocidade do vento, são os principais fatores que contribuem para o desenvolvimento de ilhas de calor (OKE, 1982).

O impacto do clima urbano no consumo energético de edificações pode ser positivo, quando as ilhas de calor diminuem a carga térmica de aquecimento, ou negativo, quando aumentam a carga térmica de resfriamento (LI *et al.*, 2019). Santamouris *et al.* (2015) indicaram que o acréscimo no consumo de energia está entre 0,5 e 8,5% por grau de temperatura aumentado. Em relação à saúde humana, o adensamento urbano dificulta a dispersão de gases, aumentando a produção de *smog* (nevoeiro de fumaça) e a concentração de poluição (AKBARI, 2005; SARRAT *et al.*, 2006). Além disso, o aumento da temperatura pelas ilhas de calor pode intensificar os eventos climáticos extremos causados pelas mudanças climáticas (PATZ *et al.*, 2005).

Estratégias de mitigação das ilhas de calor, como o aumento de vegetação e a utilização de materiais frios, são possíveis soluções para reduzir o consumo energético provocado pelas ilhas de calor no nível regional. Os materiais utilizados na envoltória das edificações atuam na balança energética urbana por meio da reflexão e absorção da radiação incidente e posterior emissão de calor. Os materiais frios são caracterizados por sua alta refletância solar e alta emitância térmica, propriedades que garantem menor absorção da radiação solar e rápida liberação de calor por onda longa (SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA; KARLESSI, 2011). Embora a cor não seja o único indicador de comportamento térmico de uma superfície, em geral o uso de revestimento de pisos, paredes e coberturas com cores claras atua para aumentar a refletância destas e reduzir a absorção de radiação solar.

As simulações termo-energéticas de edificações permitem avaliar a eficiência energética de diferentes soluções construtivas em uma localidade. O entorno urbano pode ser responsável por minimizar o impacto da estratégia adotada, ou ainda criar novas problemáticas ao ambiente construído. Allegrini, Dorer e Carmeliet (2012) constataram que a aplicação de pintura branca (redução da absortividade solar) na fachada se destaca como uma estratégia de redução da carga térmica relevante apenas quando se desconsidera o entorno edificado. Bouyer, Inard e Musy (2011) ressaltam, através de simulações da edificação isolada e considerando acoplamento entre programas para melhor representação do contexto urbano, que o parâmetro mais influente no consumo energético é a radiação solar. Esses estudos também demonstraram a inadequação de projetos que ignoram o impacto do entorno urbano, tanto pela utilização de dados meteorológicos não representativos do clima urbano, quanto pela desconsideração das alterações dos ganhos solares e da redução da velocidade dos ventos.

No ambiente urbano, as transferências de calor por radiação são importantes por sua relação com a geometria urbana. Ao mesmo tempo em que as edificações atuam como elementos de sombreamento, estas aprisionam a radiação de onda curta e onda longa pelas múltiplas reflexões entre as suas superfícies. O padrão de simulação do EnergyPlus não calcula propriamente as trocas de calor entre superfícies por radiação de onda longa, porém, versões mais recentes do programa permitem a modelagem de onda longa por meio da inserção explícita das temperaturas e dos fatores de forma (MACHADO, 2019). Evins, Dorer e Carmeliet (2014) demonstraram, através de uma implementação de processos de troca de calor por radiação de ondas longas nas simulações pelo EnergyPlus, que a negligência destas trocas modificou a carga térmica em 19%.

Sabendo-se que a consideração do entorno urbano afeta diretamente o balanço de radiação incidente em uma edificação, e a consequente alteração da carga térmica, este trabalho buscou explorar a relação entre cenários extremos de refletância do entorno. Além disso, a metodologia aplicada pode contribuir para melhor utilização das funcionalidades do programa EnergyPlus.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a influência da refletância solar do entorno urbano e da própria edificação no balanço de radiação na fachada, e na carga térmica de um modelo de edificação simplificado através de simulação computacional pelo programa EnergyPlus versão 9.3.0.

3. MÉTODO

A metodologia deste trabalho partiu da construção de um modelo simplificado de edificação e seu entorno, caracterizado por um cânion urbano. As simulações foram realizadas pelo software EnergyPlus versão 9.3.0 para a cidade de Florianópolis, Santa Catarina, localizada a uma latitude de -27,60 e longitude -48,55. O clima da cidade é classificado como subtropical úmido (Cfa) por Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.*, 2006). O arquivo climático utilizado nas simulações foi do INMET (LABEEE, 2018). As características do envelope, os parâmetros de simulação e as variáveis de saída avaliadas são apresentados nesta seção.

3.1. Descrição modelo do cânion urbano e da edificação de análise

A opção por um cânion urbano como entorno urbano se deu com o objetivo de simular um cenário onde a influência da refletância deste entorno fosse maximizada. O comprimento do cânion foi estipulado, garantindo que o fator de visão da fachada da edificação fosse próximo ao de um corredor infinito. Assim, o somatório dos fatores de visão do céu, parede da edificação em frente e da rua seria 1, para isso um comprimento de 63 metros foi adotado. A geometria do cânion, indicada na Figura 1, é definida pela relação entre a altura das edificações e largura da rua (H/W) de 1,2.

A edificação simulada foi alocada no eixo central do cânion e foi dividida em quatro zonas térmicas idênticas de 9 m², e pé direito de 3 metros, sendo uma em cada pavimento (Figura 2). As paredes laterais e dos fundos da edificação foram consideradas adiabáticas, garantindo a transferência de calor apenas pela parede da fachada, cobertura e piso. Em relação aos materiais construtivos, as paredes foram modeladas de acordo com Weber *et al.* (2017) para representar blocos cerâmicos de 6 furos e argamassa interna e externa, atingindo 2,39 $W.m^{-2}.ºC^{-1}$ de transmitância térmica. Os pisos e a laje da cobertura foram modelados em concreto maciço com 10 cm de espessura e transmitância térmica de 3,74 $W.m^{-2}.ºC^{-1}$. Também foi considerado um percentual de abertura da fachada de 30% em vidro simples de 2,5 mm. A orientação do cânion e da edificação atua diretamente na incidência de radiação na envoltória da edificação, com o objetivo de cobrir grande parte das direções possíveis, foram simuladas oito orientações, variando em 45° cada.

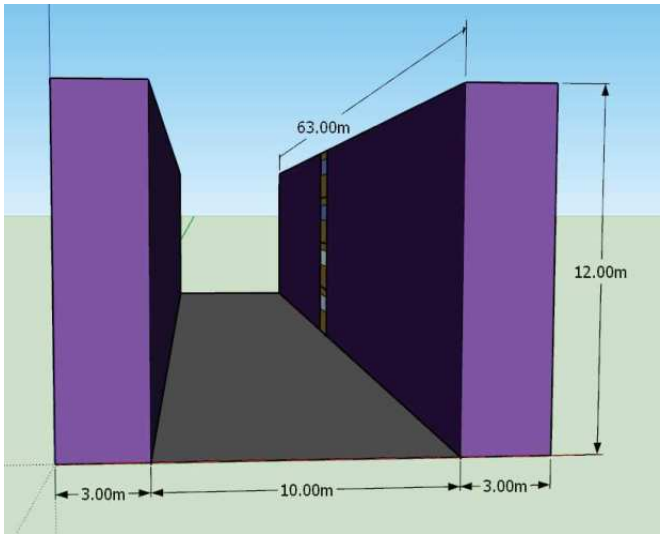

Figura 1 – Esquema do cânion urbano.

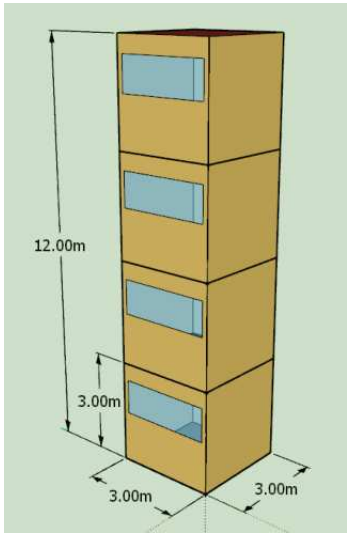

Figura 2 – Dimensões da edificação de análise.

3.2. Parâmetros de simulação

Na classe *Building* do programa EnegyPlus, admitiu-se que o modelo está em uma cidade (*Terrain: City*) e uma distribuição solar no interior e exterior da edificação é completa (*Full Interior and Exterior With Reflections*). As edificações do entorno foram modeladas como elementos de sombreamento. Utilizou-se a classe do programa EnergyPlus *ShadingProperty:Reflectance* para considerar a refletância destas edificações, onde é possível atribuir a refletância solar e visível das superfícies opacas. O piso externo, por sua vez, não foi modelado, mas sua refletância foi considerada de modo simplificado por meio do objeto do

programa EnergyPlus *Site:GroundReflectance*. O contato do piso da edificação com o solo foi modelado pelo *Site:GroundDomain:Slab* pelo método de diferenças finitas em *Site:GroundTemperature: UndisturbedFiniteDifference* (ELI et al., 2019). Por se tratar de uma edificação simplificada, não foram consideradas cargas internas geradas por equipamentos, iluminação e ocupação.

A troca de radiação de onda longa entre elementos depende das propriedades superficiais (transmitância e emitância), fator de forma e da temperatura superficial. A modelagem da radiação de onda longa é realizada pela inserção das temperaturas superficiais e fator de visão entre as superfícies. Primeiro, o entorno foi modelado em zonas térmicas com as mesmas características construtivas da edificação de interesse, e simulada para a obtenção da temperatura superficial externa (*Output: Surface Outside Face Temperature*). Quanto aos fatores de forma, o EnergyPlus possui uma planilha executável – VIEW3D – que possibilitou o cálculo dos fatores a partir da inserção da geometria do cânion. Estes parâmetros são manualmente inseridos no arquivo de simulação do programa EnergyPlus através da classe *SurfaceProperty:SurroundingSurfaces*, as quais são relacionadas com as paredes da fachada por meio da *SurfaceProperty:LocalEnvironment*. Cada fator de visão é associado a uma relação de temperatura superficial horária anual pelo objeto *Schedule:File*, exceto o céu e o solo, onde se utilizou o padrão do programa.

3.3. Cenários de simulação

A avaliação quanto à influência da refletância das edificações do entorno urbano e da própria edificação foi baseada na comparação entre dois casos extremos: a) cenário de alta refletância, chamado de cenário claro e b) cenário de baixa refletância, chamado de cenário escuro. A diferença entre estes cenários foi realizada através da alteração dos parâmetros descritos na Tabela 1. Destaca-se que para a modelagem das trocas de calor por radiação de onda longa, tais parâmetros também foram alterados para obtenção da temperatura superficial do entorno da edificação de interesse.

Tabela 1 – Parâmetros alterados em cada cenário.

Parâmetro	Cenário Claro	Cenário Escuro
Refletância do solo (*GroundReflectance*)	0,60	0,15
Refletância do entorno construído (*ShadingProperty:Reflectance*)	0,70	0,15
Absortância da superfície (argamassa) da edificação (*Material:SolarAbsorptance* e *Material:VisibleAbsorptance*)	0,30	0,85

A avaliação dos cenários foi realizada em um primeiro momento pelo balanço de radiação solar incidente. O EnergyPlus divide a radiação solar incidente em seis tipos: (1) radiação solar direta (*Surface Outside Face Incident Beam Solar Radiation*), (2) difusa do céu (*Surface Outside Face Incident Sky Diffuse Solar Radiation*), (3) direta e difusa refletida do solo de forma difusa (*Surface Outside Face Incident Ground Diffuse Solar Radiation*), (4) difusa refletida do entorno de forma difusa (*Surface Outside Face Incident Sky Diffuse Surface Reflected Solar Radiatio*n), (5) direta refletida do entorno de forma direta (*Surface Outside Face Incident Beam To Beam Surface Reflected Solar Radiation*) e (6) direta refletida do entorno de forma difusa (*Surface Outside Face Incident Beam To Diffuse Surface Reflected Solar Radiation*) (LIMA, 2018). Essas variáveis permitiram verificar a influência da refletância do entorno na incidência de radiação de ondas curtas da edificação.

A transferência de calor por radiação de onda longa foi analisada com base na variável de saída de radiação térmica líquida da superfície externa (*Surface Outside Face Net Thermal Radiation Heat Gain*). Referente ao saldo de radiação de onda longa na fachada da edificação, esta variável apresenta valor positivo quando há ganho de calor na superfície externa e negativo quando há perda de calor. Para melhor visualização do fluxo de radiação de onda longa na fachada durante o dia, foram selecionados três dias de verão e três dias de inverno. Os dias selecionados incluem o dia mais quente, 30 de janeiro, e o dia mais frio, 26 de agosto, do ano do arquivo climático da cidade de Florianópolis. Optou-se pela representação da média por área de fachada no primeiro e último pavimentos, entre os quais estão os demais pavimentos.

Por fim, avaliou-se a carga térmica de resfriamento e aquecimento, calculada pela inserção de um sistema de climatização ideal com temperatura de aquecimento de 18 °C e de resfriamento 26 °C. Partindo do pressuposto de que a alta refletância é benéfica para a redução da carga térmica das edificações urbanas, o cenário claro foi utilizado como referência para o cálculo da diferença percentual. Ainda em relação à carga térmica total, foram simulados os mesmos cenários e orientações desconsiderando a modelagem da radiação de onda longa. Assim, foi possível quantificar a ação negativa ou positiva desta modelagem na carga térmica total da edificação.

4. RESULTADOS

4.1. Radiação solar incidente

A Figura 3 apresenta graficamente a radiação solar média incidente por área da superfície da fachada. Como esperado, apenas as parcelas referentes à radiação solar refletida são alteradas em cada cenário, de modo que a quantidade de radiação solar direta e difusa do céu se mantêm constante em cada posição (orientação e pavimento), independente da refletância do entorno. Por apresentar um entorno com superfícies de alta refletância, o cenário claro mostra maior incidência de radiação solar total. A divisão por pavimentos permite observar a influência do sombreamento na quantidade de radiação incidente, em que o acesso solar é maior nos pavimentos mais elevados. Ainda, nota-se maior quantidade de radiação refletida do solo quanto mais próximo deste (1º pavimento).

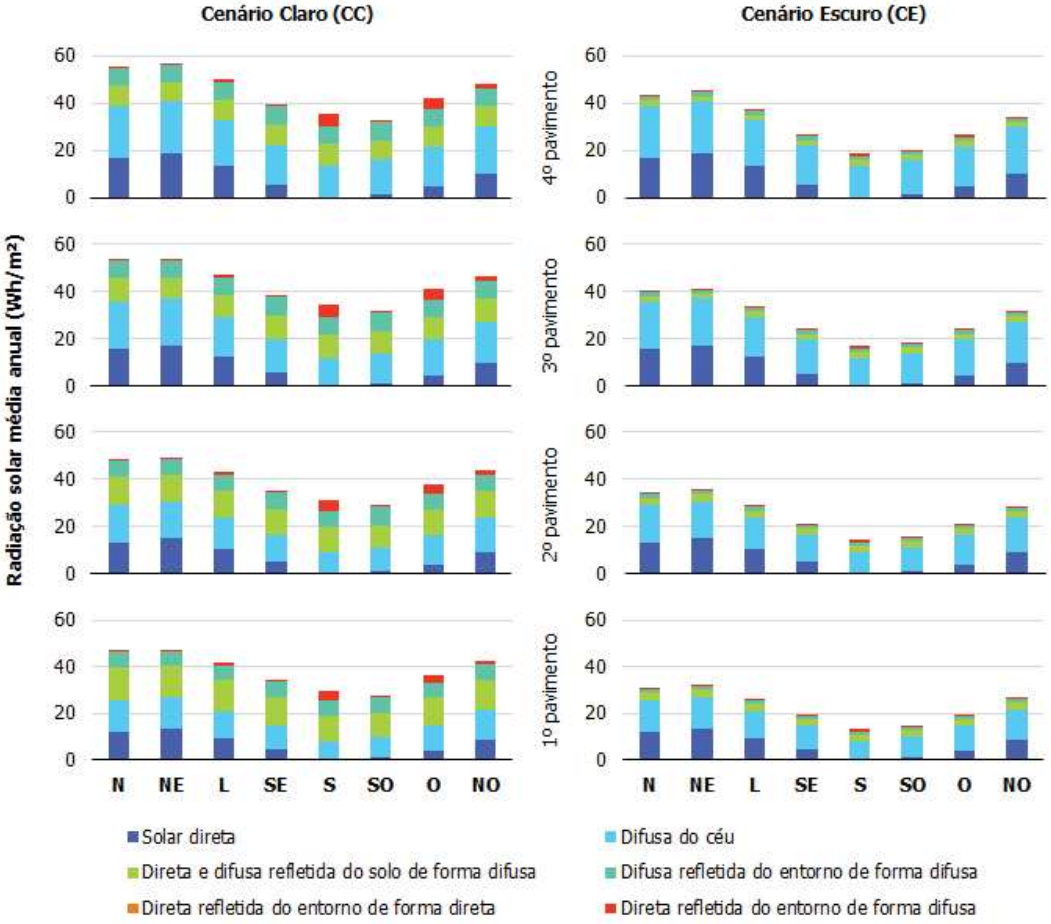

Figura 3 – Distribuição da radiação solar incidente nas superfícies da fachada nos cenários claro e escuro.

4.2. Radiação líquida de onda longa

A Figura 4 mostra graficamente o fluxo de radiação de onda longa durante os dias 28, 29 e 30 de janeiro dos pavimentos 1 e 4 de cada cenário. Optou-se por representar as orientações nordeste e sul por apresentarem maior e menor incidência de radiação solar, respectivamente. Verificam-se picos negativos de radiação líquida nos momentos seguintes aos de maior radiação solar incidente. Isto ocorre, pois, nestes momentos a temperatura superficial da edificação é maior que a do entorno, principalmente no cenário escuro, que possui maior absortância.

No inverno, os gráficos foram plotados nos dias 26, 27 e 28 de agosto (Figura 5). Novamente, nota-se picos negativos de radiação líquida de onda longa durante o dia na edificação direcionada para o nordeste, indicando perda de calor. Na edificação com fachada sul-orientada, a curva de radiação líquida exibe picos de menor perda de calor durante o dia. No primeiro pavimento do cenário escuro estes picos são positivos, indicando ganho de calor pela fachada. As edificações direcionadas para o sul recebem pouca radiação solar direta no inverno, mas as edificações em frente, norte-orientadas, são aquecidas, principalmente pela radiação solar, e transferem calor por radiação de onda longa para a edificação sul-orientada. Esta relação entre fachadas opostas demonstra que as análises devem partir do cânion urbano, não apenas da edificação de interesse.

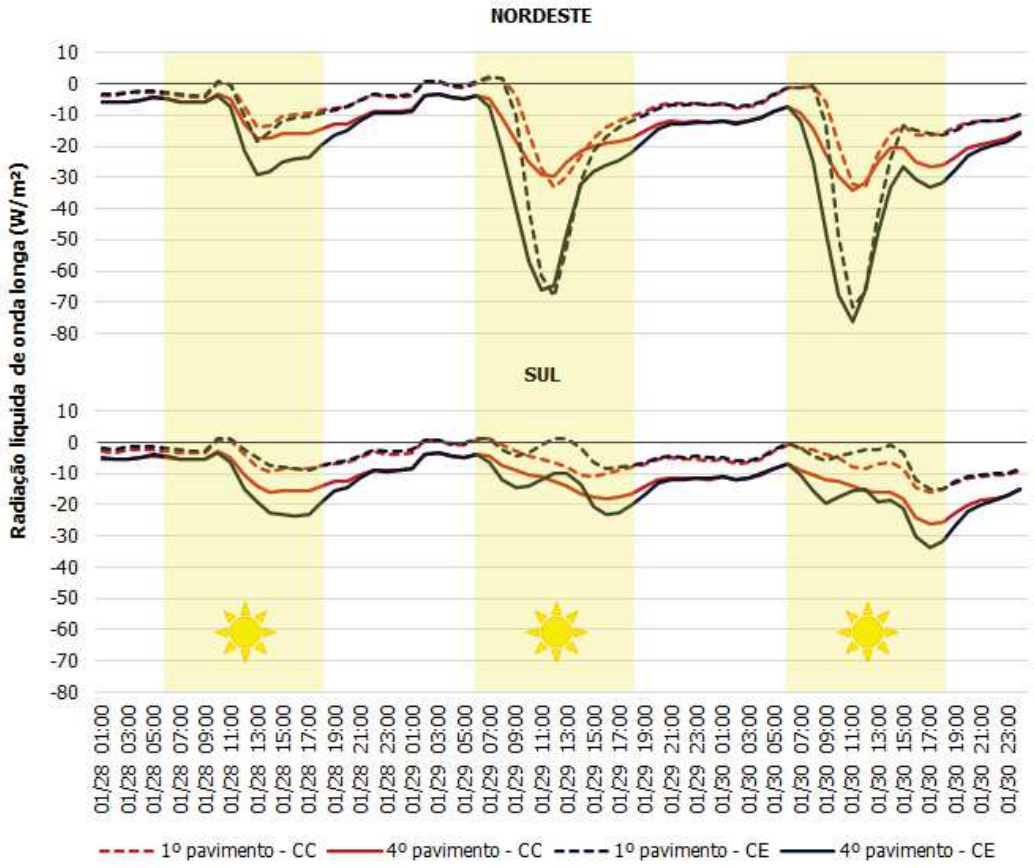

Figura 4 – Radiação líquida de onda longa durante três dias de verão nas fachadas orientadas para o nordeste e para o sul, nos pavimentos 1 e 4 dos cenários claro (CC) e escuro (CE).

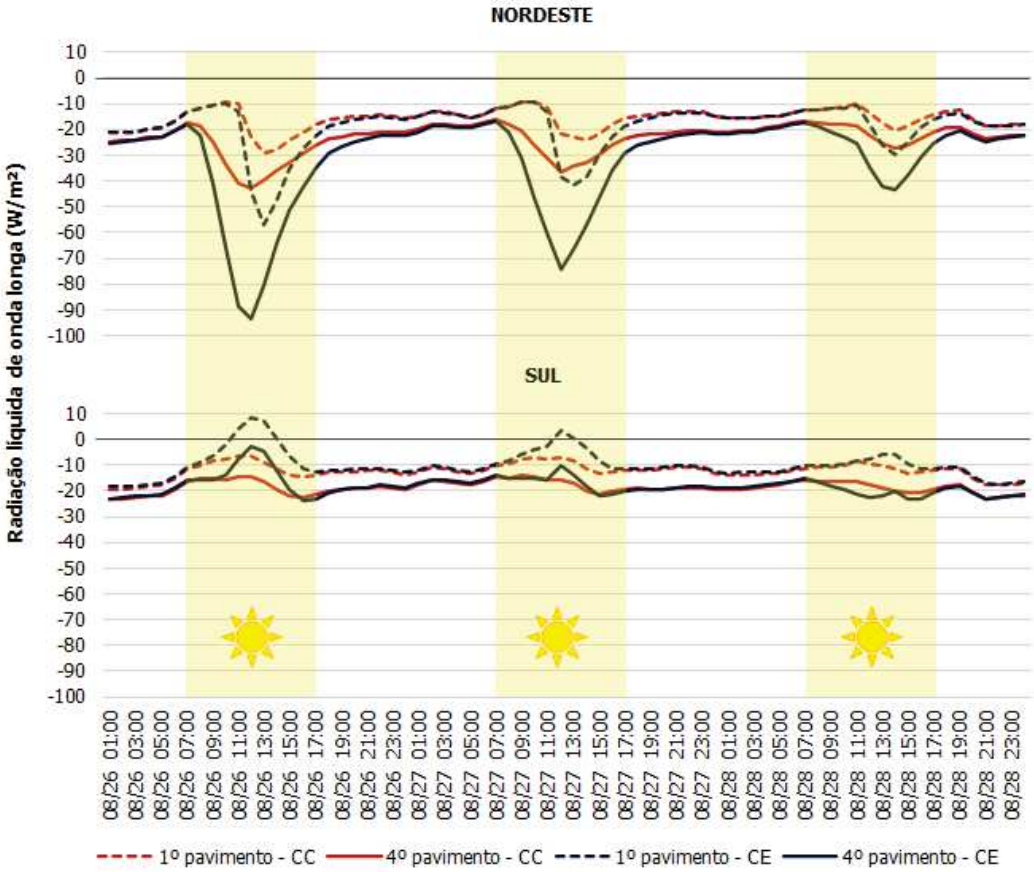

Figura 5 – Radiação líquida de onda longa durante três dias de inverno nas fachadas orientadas para o nordeste e para o sul, nos pavimentos 1 e 4 dos cenários claro (CC) e escuro (CE).

Analisando as Figuras 4 e 5, nota-se que durante o período noturno ambos os cenários apresentam valores semelhantes. A diferença entre pavimentos se dá pelo 4° pavimento perder mais calor por onda longa em comparação ao 1° pavimento, isto está relacionado com a maior exposição dos últimos pavimentos à radiação solar e ao maior fator de visão do céu deste pavimento. A troca de radiação por onda longa com o céu, principalmente durante a noite, é um importante mecanismo de manutenção da temperatura urbana. A geometria do cânion urbano reduz o fator de visão do céu à medida em que se aproxima do solo, reduzindo também a troca de calor por radiação de ondas longas. Ainda, o cenário escuro aparenta maior sensibilidade às mudanças de temperatura durante o dia, sendo o entorno composto de superfícies de alta absortância, uma parcela maior da radiação solar incidente é absorvida, fazendo com que as temperaturas superficiais sejam mais altas e com maior transferência de calor por radiação de onda longa.

Ressalta-se que a metodologia de modelagem de radiação de onda longa aplicada neste estudo é simplificada. Ainda que sustentada pelo EnergyPlus versão 9.3, não representa propriamente o aprisionamento de radiação no ambiente urbano, uma vez que a temperatura superficial, inserida juntamente com os fatores de forma, é estática. Idealmente, as superfícies trocam calor por radiação de onda longa iterativamente.

4.3. Carga térmica total

Em relação à carga térmica, foram analisadas as cargas térmicas totais, somando cargas de aquecimento e resfriamento. Primeiramente, os cenários claro e escuro foram comparados percentualmente (Tabela 2) e as cargas térmicas totais anuais graficamente representadas (Figura 6) conforme a orientação da fachada da edificação. O percentual negativo indica que o cenário escuro apresentou menor carga térmica total do que o cenário claro. Nota-se que a orientação e a altura do pavimento têm influência importante sobre a carga térmica, como observado anteriormente no fluxo de radiação solar incidente. De maneira geral, o cenário claro mostrou-se mais vantajoso no 4º pavimento, sobretudo nas orientações norte, nordeste e leste. Nos 1º e 2º pavimentos, o cenário escuro exibiu menores valores de carga térmica anual.

Tabela 2 – Comparação da carga térmica anual da edificação nos cenários claro (CC) e escuro (CE) por pavimento e total.

	Carga térmica total anual (kWh/m²)												
Orientação fachada	**1º Pavimento**			**2º Pavimento**			**3º Pavimento**			**4º Pavimento**			**TOTAL**
	CE	CC	(CE-CC)/CC	CE	CC	(CE-CC)/CC	CE	CC	(CE-CC)/CC	CE	CC	(CE-CC)/CC	(CE-CC)/CC
N	12.4	14.2	-12%	24.0	27.0	-11%	31.5	30.6	3%	81.0	73.3	11%	**3%**
NE	17.1	18.6	-8%	35.7	36.7	-3%	47.8	43.4	10%	97.0	84.9	14%	**8%**
L	13.2	15.7	-16%	30.0	33.3	-10%	44.2	42.2	5%	95.4	85.4	12%	**3%**
SE	8.6	10.7	-20%	18.5	22.5	-18%	27.2	28.2	-4%	78.0	72.7	7%	**-1%**
S	3.3	6.2	-46%	6.8	14.6	-53%	11.6	18.3	-36%	60.9	62.9	-3%	**-19%**
SO	4.7	6.4	-26%	9.8	14.2	-31%	15.3	18.4	-17%	65.2	63.3	3%	**-7%**
O	6.9	10.3	-33%	15.5	23.2	-33%	23.0	28.2	-19%	74.0	72.4	2%	**-11%**
NO	7.9	11.4	-31%	18.1	24.7	-27%	25.5	28.9	-12%	76.6	72.8	5%	**-7%**

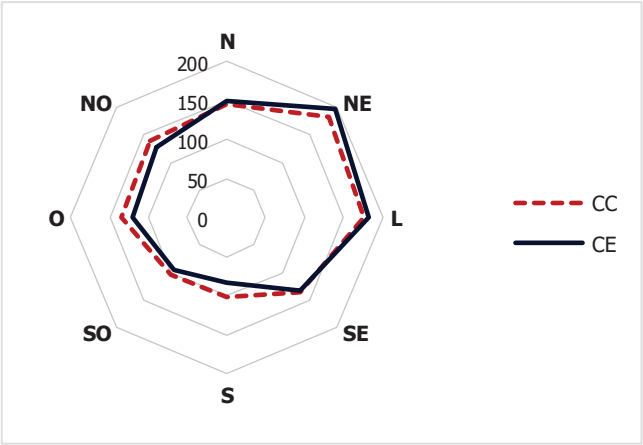

Figura 6 – Carga térmica total anual, em kWh/m², da edificação nos cenários claro (CC) e escuro (CE).

Para melhor compreensão dos resultados, a carga térmica total dos pavimentos 1 e 4 com orientação nordeste e sul (fachadas com maior e menor incidência solar, respectivamente) é apresentada, segundo a

carga de aquecimento e de resfriamento que a compõem, na Figura 7. Nota-se no primeiro pavimento que o cenário escuro apresenta menor carga térmica total nas duas orientações, causada principalmente pela redução da carga térmica de resfriamento. Na orientação sul, a carga térmica de aquecimento do cenário escuro é maior, enquanto a carga térmica de resfriamento é menor do que as respectivas cargas térmicas do cenário claro. Esta relação, que se repete nas demais orientações do 1º pavimento (Tabela 2), pode ser justificada pela alta absortância do cenário escuro, responsável pela redução da radiação solar total incidente na fachada sul (Figura 3), contribuindo para o resfriamento da edificação.

O quarto pavimento é menos sensível às refletâncias das edificações do cânion, devido a maior incidência de radiação de onda curta e ao menor fator de visão do entorno, que reduz as trocas de calor por onda longa entre as superfícies do cânion. Na orientação nordeste, a alta absortância da própria edificação do cenário escuro contribui para o aumento da carga térmica de resfriamento (Figura 7). As cargas térmicas de aquecimento, por sua vez, apresentam valores similares em ambos os cenários nas duas orientações. Na edificação sul-orientada, as cargas térmicas totais são próximas, apenas 3% de diferença (Tabela 2), indicando uma compensação entre a incidência de radiação solar refletida pelo entorno, as trocas de radiação de onda longa e as propriedades da fachada.

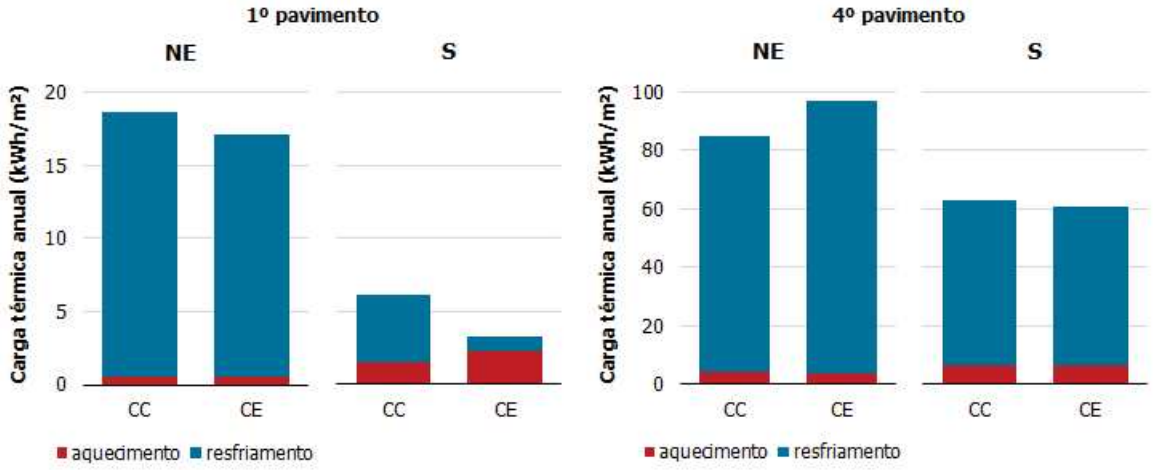

Figura 7 – Carga térmica anual de aquecimento e resfriamento, em kWh/m², dos pavimentos 1 e 4 da edificação nos cenários claro (CC) e escuro (CE) e orientadas para a direção nordeste (NE) e sul (S).

A Tabela 3 apresenta a diferença percentual entre as simulações considerando ou não a modelagem da troca de radiação por onda longa. Esta avaliação, realizada sobre a carga térmica total da edificação, revela que a não modelagem deste fenômeno subestima a carga térmica em todas as orientações dos dois cenários. Também se observa que a diferença é maior no cenário escuro, variando entre 6,5 e 15,1 kWh/m², percentualmente entre 4 a 17%, enquanto no cenário claro a variação foi de 4,3 a 9,3 kWh/m², com diferença percentual entre 3 e 10%. A modelagem de ondas longas é percentualmente mais impactante nas orientações que menos recebem radiação solar: sul, sudoeste e oeste. Nestas orientações a transferência de calor por onda longa representa uma parte significativa do ganho de calor da edificação.

Tabela 3 – Comparação da carga térmica anual da edificação considerando ou não a modelagem da radiação de ondas longas (OL).

	Carga térmica total anual (kWh/m²)					
Orientação fachada	CC	CC - sem OL	Diferença percentual	CE	CE - sem OL	Diferença percentual
N	145.0	140.7	3%	149.0	142.5	5%
NE	183.6	178.5	3%	197.5	189.1	4%
L	176.6	169.5	4%	182.7	171.5	7%
SE	134.1	126.0	6%	132.3	120.7	10%
S	101.9	94.0	8%	82.7	72.6	14%
SO	102.3	93.0	10%	95.0	81.3	17%
O	134.2	125.2	7%	119.4	104.3	14%
NO	137.8	130.8	5%	128.1	116.4	10%

5. CONCLUSÕES

A simulação de dois cenários com diferentes refletâncias permitiu a verificação da influência desta propriedade no fluxo de radiação de onda curta e longa, bem como na carga térmica total. Quanto à radiação

solar, o EnergyPlus simula satisfatoriamente as reflexões solares entre elementos, sendo notável a diferença entre os cenários escuro e claro. Ambos os cenários apresentaram os mesmos valores de radiação solar direta e radiação difusa do céu, se diferenciando apenas nas parcelas de radiação de onda curta referentes à reflexão do entorno e do solo. Por este motivo, o cenário claro apresentou maior radiação solar incidente total em todas as orientações.

A análise da radiação líquida de onda longa mostrou maior sensibilidade do cenário escuro. O cenário escuro apresenta superfícies com maior absortância, logo, a temperatura superficial do entorno e da própria edificação foram maiores, intensificando a troca de calor por radiação de onda longa. Também é notável a influência da geometria urbana na manutenção da temperatura pelas trocas de radiação de onda longa com o céu. A fachada do primeiro pavimento perde menos calor em comparação a do 4° pavimento, pois o fator de visão do céu é menor.

A avaliação da carga térmica total evidenciou a importância da localização e orientação da edificação. De maneira geral, os cenários não se distinguiram significativamente na edificação total. Os dois primeiros pavimentos tiveram carga térmica reduzida em um cenário escuro, enquanto no último pavimento, o cenário claro foi mais favorável na redução da carga térmica. Estas relações estão associadas à incidência de radiação solar no cânion e revelam que, partindo da edificação simulada, não é possível eleger um cenário ideal global. Por fim, a comparação entre simulações, considerando ou não a modelagem da radiação de onda longa, demonstra que a carga térmica total da edificação aumentou em até 10% no cenário claro e em 17% no cenário escuro com a modelagem.

Este artigo apresenta algumas limitações que devem ser ponderadas em trabalhos futuros. Primeiramente, a edificação simulada não é representativa de uma situação real em dimensões e configurações de ocupação e cargas internas. Em relação ao entorno, este também foi simplificado para que pudesse ser modelado no EnergyPlus, assim, foram desconsideradas as aberturas das edificações do cânion e apenas a refletância do solo foi alterada. A influência do entorno urbano na demanda energética da iluminação e os impactos da adoção de materiais refletivos no nível do pedestre estão além do escopo deste trabalho, mas também devem ser estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, Hashem. **Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley NationalLaboratory, Berkeley, CA (US), 2005. Disponível em: https://www.osti.gov/biblio/860475.

ALLEGRINI, Jonas; DORER, Viktor; CARMELIET, Jan. Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, and Cool World, p. 823–832, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.013.

BOUYER, Julien; INARD, Christian; MUSY, Marjorie. Microclimatic coupling as a solution to improve building energy simulation in an urban context. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p. 1549–1559, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.02.010.

ELI, Letícia Gabriela et al. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto ground domain no programa EnergyPlus – versão 9.0.1**. Florianópolis, LABEEE, 2019. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/node/805.

EVINS, Ralph; DORER, Viktor; CARMELIET, Jan. Simulating external longwave radiation exchange for buildings. **Energy and Buildings**, v. 75, p. 472–482, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.030.

IEA – International Energy Agency. 2018 Global Status Report, IEA, Paris. Disponível em: https://www.iea.org/reports/2018-global-status-report.

KOTTEK, Markus *et al.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, p. 259–263, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Arquivos Climáticos INMET 2018, 2018. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018. Acesso em: 25 mar. de 2021.

LI, Xiaoma *et al.* Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings. **Energy**, v. 174, p. 407–419, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183.

LIMA, Izabella Medeiros de. **A influência do entorno urbano na carga térmica de edificações de escritório condicionadas artificialmente em uma cidade de clima quente e úmido**. 188 f. 2018. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198736. Acesso em: 25 fev. 2021.

MACHADO, Rayner Maurício e Silva. **Modelagem do impacto da ilha de calor sobre o desempenho energético de escritórios condicionados artificialmente**. 99 f. 2019. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215665. Acesso em: 25 fev.

2021.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 455, p. 1–24, 1982. Disponível em: https://doi.org/10.1002/qj.49710845502.

ONU – Organização das Nações Unidas / Population Division. 2018. World Urbanization Prospect: the 2018 revision. Disponível em: https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf.

PATZ, Jonathan A. *et al.* Impact of regional climate change on human health. **Nature**, v. 438, n. 7066, p. 310–317, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1038/nature04188.

SANTAMOURIS, M. *et al.* On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. **Energy and Buildings**, v. 98, Renewable Energy Sources and Healthy Buildings, p. 119–124, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, Progress in Solar Energy 2, p. 3085–3102, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023.

SANTAMOURIS, Mat. **Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach**. 1. ed. London: Routledge, 2006. *E-book*.

SARRAT, C *et al.* Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 10, p. 1743–1758, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.037.

WEBER, Fernando da Silva *et al.* **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2017.

AGRADECIMENTOS

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