XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

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

Influência da densidade urbana na carga térmica de resfriamento de edifícios comerciais

Influence of urban density on the cooling load of commercial buildings

Renata Mansuelo Alves Domingos
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis |Brasil|
mansuelo.alves@gmail.com
Emeli Lalesca Aparecida da Guarda
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis |Brasil|
emeliguarda@gmail.com
Fernando Oscar Rutkkay Pereira
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis |Brasil|
ruttkay.pereira@ufsc.br

Resumo

A morfologia construída tem desempenhado um papel central na determinação do consumo de energia nas cidades. O objetivo é avaliar o impacto da influência da densidade urbana na carga térmica para resfriamento de edificações comerciais utilizando de três cenários urbanos hipotéticos. O método consiste em simulações e análise de cargas térmicas. Os resultados mostram que a simulação de edifícios isoladamente pode gerar um erro significativo quando as medidas reduzem o consumo, principalmente se essas medidas chegam a quase 30% de diferença. Esses resultados podem ser aplicados nas fases iniciais do planejamento urbano de loteamentos para um melhor desempenho dos edifícios.

Palavras-chave: Consumo energético. Forma urbana. Aglomeração. Layout Urbano.

Abstract

Built morphology has played a central role in determining energy consumption in cities. The objective is to evaluate the impact of the influence of urban density on the thermal load for cooling commercial buildings using three hypothetical urban scenarios. The method consists of simulations and analysis of thermal loads. The results show that the simulation of buildings alone can generate a significant error when measures reduce consumption, especially if these measures reach almost 30% of difference. These results can be applied in the initial phases of urban planning of subdivisions for a better performance of buildings.

Keywords: Energy consumption. Urban shape. Agglomeration. Urban Layout.

Como citar:
DOMINGOS, R. M. A.; GUARDA, E. L. A. da; PEREIRA, F. O. R. Influência da densidade urbana na carga térmica de resfriamento de edifícios comerciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Hoje, 75% do consumo global de energia ocorre nas cidades. Sobre o tema das mudanças climáticas, adaptar os assentamentos urbanos para fazer frente a essa demanda crescente é uma questão prioritária, especialmente para cidades de rápido crescimento em países em desenvolvimento como o Brasil. Consequentemente, o desafio para ambientes construídos mais sustentáveis e resilientes tornou-se urgente, especialmente nas cidades existentes. O planejamento da morfologia urbana do ambiente construído é uma questão fundamental na mudança para um ambiente urbano adaptado ao clima [1]. Mostafavi et al., 2021 [2] ressalta o quanto o traçado urbano impacta no desempenho energético do parque edificado e a importância de se considerar a eficiência da forma urbana nas etapas de concepção do planejamento dos projetos urbanos.

As áreas urbanas se expandiram enormemente nas últimas décadas e é provável que isso aconteça nas próximas décadas. A Organização das Nações Unidas (ONU) projeta que 70% da população mundial viverá em cidades entre 2009 a 2050, e isso deve aumentar a população nas áreas urbanas de 3,4 bilhões para 6,3 bilhões [12]. Diante disso, a compactação urbana é um dos indicadores de forma urbana mais comumente usados. Os efeitos da compactação urbana no consumo de energia, entretanto, raramente foram estudados de forma abrangente para o ambiente construído [3].

Para atender às metas estratégicas de segurança energética e controlar as mudanças climáticas, as comunidades urbanas estão colocando muita ênfase na transição para a sustentabilidade, reduzindo seu consumo de energia. Portanto, otimizar o desempenho energético do ambiente construído é vital, pois promove um pensamento inovador sobre a utilização de formas alternativas de energia, como aproveitamento solar, incentivo de edifício com eficiência energética, e assim minimizar o uso energético para resfriamento, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e as consequências da ilha de calor urbana [13]. No entanto, considerando a escala e o ritmo do processo de urbanização, o impacto dos padrões espaciais de urbanização no consumo de energia permanece pouco explorado [2].

Embora muitos esforços tenham sido recentemente empregados na promoção da eficiência energética no ambiente construído, eles são aplicados principalmente a unidades de construção individuais. No entanto, poucos estudos tentaram quantificar o efeito da densidade urbana e layouts sobre o consumo de energia de edifícios e seu potencial de produção de energia renovável, como a energia solar em países em desenvolvimento [4]. Para melhorar a qualidade de vida nas cidades, é necessário melhorar o desempenho energético dos edifícios juntamente com um planeamento urbano sustentável especialmente em contextos de alta densidade [5].

Muitas cidades hoje estão empenhadas em aumentar a eficiência energética dos edifícios e a fração de energias renováveis, especialmente em novos empreendimentos urbanos. No entanto, dados quantitativos sobre o desempenho energético de edifícios em função da densidade urbana, compacidade do edifício e orientação, uso de construção e opções de abastecimento raramente estão disponíveis durante o projeto de novas cidades ou análise de cenário inicial para

bairros urbanos existentes, tornando difícil para as cidades avaliarem efetivamente quais conceitos funcionam hoje e podem ser aplicadas no futuro [6].

Mostafavi et al., 2021 [2] enfatiza a importância do planejamento urbano energeticamente eficiente e procedimentos de projeto de construção na contabilização da estrutura da malha urbana e a distribuição dos edifícios dentro dessa estrutura. Para alcançar níveis mais altos de eficiência energética, uma gama mais ampla de interdependências precisa ser incorporada ao procedimento de planejamento e projeto em diferentes escalas, desde o quarteirão até o nível da cidade inteira.

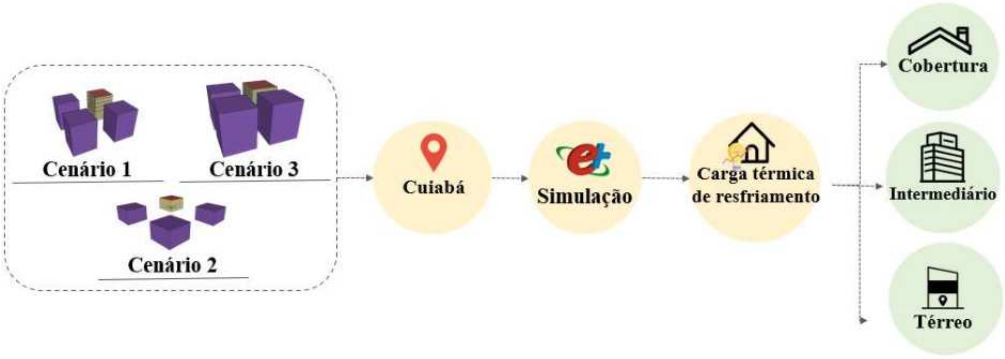
Foi comprovado que os efeitos entre os edifícios têm impactos significativos na energia e no desempenho ambiental interno nos empreendimentos de edifícios adjacentes em ambiente urbano adensado [7]. Considerar o desempenho termoenergético de uma edificação de forma isolada traz erros consideráveis, por isso o contexto urbano é cada vez mais importante e essencial. Strømann-Andersen e Sattrup [8] concluíram que a forma de cânion urbano pode modificar o consumo de energia de edifícios de baixo consumo de energia em até 19% e 30% para edifícios residenciais e de escritórios, respectivamente.

Neste contexto surge a necessidade de pesquisar o impacto da influência da densidade urbana na carga térmica para resfriamento de edificações comerciais em Cuiabá-MT, utilizando de três cenários urbanos hipotéticos, com diferentes alturas e afastamentos.

METODOLOGIA

A metodologia consiste em duas etapas: i) definição dos cenários urbanos e ii) simulação da carga térmica para resfriamento de edifícios comerciais de referência. Os resultados consiste na análise por pavimento, ou seja, cobertura, intermediário e térreo, com a finalidade de quantificar o impacto da densidade urbana na altura da edificação. O processo metodológico está detalhado na Figura 1.

Figura 1: Processo metodológico da pesquisa

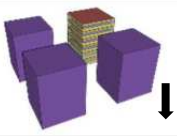
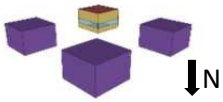
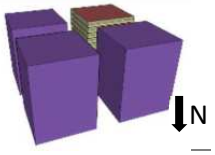


Fonte: os autores.

DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS URBANOS

Para considerar o entorno urbano, foram considerados bairros centrais dede adensamento baixo, adensamento médio e adensamento alto. Assim, os cenários foram divididos em: i) um cenário de adensamento médio onde se tem prédios comerciais de 6 pavimentos com 12m de altura; ii) um cenário de adensamento baixo onde os edifícios têm apenas um pavimento com pé direito de 4m e iii) um cenário de adensamento alto com uma edificação de 12 andares com 32m de altura. A tabela 1 apresenta as informações dos cenários urbanos hipotéticos.

Tabela 1: Detalhamento dos cenários urbanos hipotéticos

ID	Modulo (m)	Entorno (m)	Altura	
1	16x16	16x16	6 pavimentos (pé-direito = 3m)	
2	6x6	6x6	1 pavimento (pé-direito = 4m)	
3	24x24	24x24	12 pavimentos (pé-direito = 3m)	

Fonte: os autores.

A representação utilizada é de um cruzamento onde tem-se quatro prédios de diferentes alturas. A largura da rua é fixa em 10 metros, essa largura representa uma via de mão única com estacionamento e acostamento. Para análise dos resultados considerou apenas o consumo energético de resfriamento do edifício comercial de referência e os demais edifícios foram considerados como elementos de sombreamento (cor roxa na tabela 1).

Além disso, considerou a cidade de Cuiabá-MT para as simulações de consumo energético para resfriamento. A cidade está localizada no Centro Geodésico da América do Sul, no Centro Oeste do Brasil. Conforme a classificação de Koppen e Geiger, o tipo climático é Aw é caracterizado como clima de Savana, com meses mais secos com precipitação média inferior a 60mm [14].

DEFINIÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CARGA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO

As simulações são realizadas no software EnergyPlus, v. 9.1, sendo validado em estudos anteriores [9, 10]. O tipo de edificação considerado é um edifício comercial, sendo que os dados de ocupação, iluminação, equipamentos e pontos de ajuste de ar condicionado foram definidos de acordo com a Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (INI-C) [11].

A densidade de potência da iluminação é de 14,1W/m² e de equipamentos de 15W/m². A densidade de ocupação é de 10m²/pessoa e a duração da ocupação é de 10 horas e

260 dias no ano. Os módulos são considerados na condição ventilados artificialmente e as janelas são abertas conforme o cronograma de ocupação [11]. O termostato foi definido em 24°C para resfriamento.

As propriedades termofísicas e os sistemas construtivos foram definidos conforme Anexo A da INI-C [11], bem como os padrões de uso e ocupação. Dessa maneira, considerou o módulo como um edifício de escritórios, com argamassa (2,5cm), telha cerâmica (9cm) e telhado de telha de fibrocimento (1cm) para paredes internas e externas, resistência do ático > 5cm e lajes maciças de concreto (10cm). A absortância das paredes e do teto é de 0,5 e 0,8, respectivamente.

As aberturas foram consideras em toda a largura dos módulos, utilizando um único vidro incolor de 6mm com coeficiente solar de 0,82 e transmitância de 5,7W/m².K, e a porcentagem de abertura foi definida de 30% em todo os pavimentos e fachadas do edifícios em estudo.

Os resultados consiste da quantificação do consumo energético para resfriamento, sendo analisado por pavimento (térreo, intermediário e cobertura). O pavimento intermediário foram agrupados, excluindo o térreo e a cobertura. Por fim, os resultados foram expressos em carga térmica para resfriamento, dado por kWh/m², conforme processo metodológico da INI-C [11].

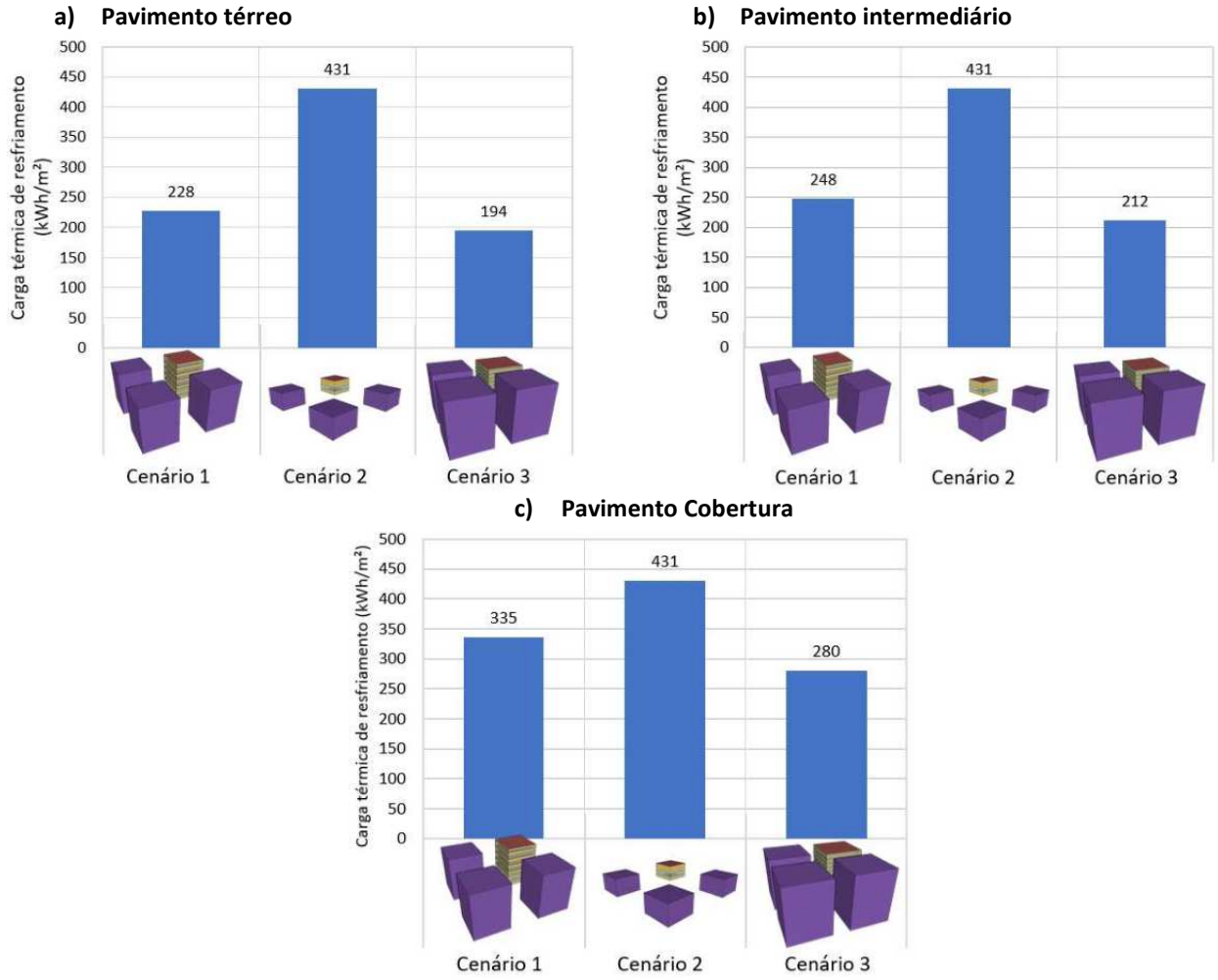
ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados vão ser divididos em três sessões para fins comparativos, os valores são o consumo primário de carga térmica anual dado por m² de cada pavimento.

O pavimento térreo apresenta melhor desempenho termoenergético, pois está em contato com o solo e devido ao sombreamento do entorno urbano, apresenta menor exposição à radiação solar. Diante disso, as trocas térmicas do piso do térreo com o solo, tem a capacidade de manter as condições internas dos ambientes e até mesmo reduzir, e a influência do sombreamento colabora para manter condições internas amenas e assim reduzir a carga térmica para resfriamento.

Dessa maneira o cenário 2 é atípico para todas as situações, pois o mesmo pavimento sofre influência do solo e da cobertura, ou seja, é de pavimento único, apresentando carga térmica para resfriamento de 431kWh/m². Neste contexto, a carga térmica é quase o dobro do cenário 1 (228kWh/m²) que é mediamente adensado. O cenário 1 em relação ao cenário apresenta uma carga térmica de +17,5%/m², no entanto, destaca que o cenário 1 e 3 não sofre influência da cobertura, ou seja, exposição direta da radiação solar, e tem influência da troca térmica do solo (Figura 2a).

Figura 2: Consumo do pavimento térreo



Fonte: os autores.

Os pavimentos intermediários foram agrupados excluindo o térreo e a cobertura. Além disso, destaca-se que os intermediários não sofre influência do solo e da cobertura, ou seja, a troca térmica ocorre somente pelo ambiente interno ao externo. O cenário 2 permanece nas mesmas características descritas acima.

Dessa maneira, considerando o cenário 1, os pavimentos intermediários consiste de 4 pavimentos e apresenta a carga térmica de 248kWh/m². O cenário 3 apresenta 10 pavimentos intermediários e carga térmica de 212kWh/m². Assim, o aumento na carga térmica do cenário 1 para o 3 é de 17%. Isto está relacionado ao tamanho total dos pavimentos por m², ou seja, quanto mais compacto os pavimentos intermediários a demanda por resfriamento poderá ser maior, pois a troca térmica com o meio externo ocorre de forma mais direta, enquanto, em espaços maiores essa troca pode ocorrer de forma mais lenta (Figura 2b).

Por fim, a cobertura está exposta a radiação solar de forma direta, além disso, esse pavimento não sofre influência com o solo e a sua troca térmica está relacionado com o externo e os pavimentos intermediários. Neste pavimento o cenário 2 tem uma atenuação da carga térmica por estar em contato com o solo. No entanto, observa-se que a carga térmica necessária por m² é a maior de todos os cenários, evidenciando

que o adensamento urbano pode influenciar mais no consumo da edificação do que as características construtivas. O cenário 2 apresenta carga térmica aproximadamente +29% em relação ao cenário 1. O cenário 1 apresenta carga térmica em +20% em relação ao cenário 3 (Figura 2c).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerar a morfologia urbana é complexo quando pensado em termos arquitetônicos. Porém, com esta pesquisa, é possível demonstrar como o entorno influencia consideravelmente na carga térmica de resfriamento das edificações. Além disso, o software EnergyPlus s mostrou eficiente para simular de maneira simplificada o entorno urbano e assim obter resultados do desempenho térmico e energético de edificações.

Dessa maneira, observa-se que o adensamento urbano influência diretamente nas condições internas das edificações, principalmente na demanda de carga térmica de resfriamento. Os resultados apresenta que edifícios menores, ou seja, de um único pavimento (cenário 2), podem apresentar maiores demandas de carga térmica, pois além do adensamento urbano, deve-se considerar as trocas térmicas com o solo e a exposição direta da cobertura com a radiação solar.

Neste contexto, edifícios de altura intermediária (cenário 1) apresentam demanda de carga térmica para resfriamento maior em relação a edifícios altos (cenário 3), pois a influência da troca térmica da cobertura com os pavimentos intermediários ocorre quase que de forma direta, enquanto, nos edifícios altos o tamanho por pavimento (m^2) pode fazer com que a troca térmica se distribua de forma mais lenta no ambiente.

Assim, quanto maior a radiação a que a cidade está exposta, maior a influência do sombreamento e, consequentemente, da carga térmica a que a cidade está submetida. Este é o primeiro passo de um processo de otimização do aproveitamento da radiação solar de acordo com a morfologia urbana nas cidades brasileiras.

A intenção das recomendações acima não é estabelecer esquemas de projeto específicos, mas indicar as diretrizes básicas e estabelecer as bases para alcançar a economia de energia e uma maior consideração do projeto urbano sustentável. Por fim, indica-se que para trabalhos futuros, seja realizadas simulações de cenários urbanos mais complexos e em mais variações, para que seja possível indicar um cenário ótimo para o planejamento urbano.

REFERÊNCIAS

[1] MARTINS, T. A. DE L. et al. Sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar energy potential of buildings in a Brazilian tropical context. **Solar Energy**, v. 137, p. 11–24, 2016.

[2] MOSTAFAVI, N., HERIS, M. P., GÁNDARA, F., & HOQUE, S. . The relationship between urban density and building energy consumption. **Buildings**, 11(10). 2021. doi:10.3390/buildings11100455

[3] MOHAJERI, N. et al. Effects of urban compactness on solar energy potential. **Renewable Energy**, v. 93, p. 469–482, 2016.

[4] MARTINS, A.L., ADOLPHE, T. & BASTOS, E.G. L. From solar constraints to urban design opportunities: Optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 43–56, 2014.

[5] MUTANI, G., TODESCHI, V., & SANTANTONIO, S. Urban-scale energy models: The relationship between cooling energy demand and urban form. **Journal of Physics: Conference Series** , 2177(1). 2022. doi:10.1088/1742-6596/2177/1/012016

[6] EICKER, U., MONIEN, D., DUMINIL, T., & NOUVEL, R. Energy performance assessment in urban planning competitions. **Applied Energy**, 155, 323-333. 2015. doi:10.1016/j.apenergy.2015.05.094

[7] CHEN, Y., ZHU, Z., & YU, X. I. HOW URBANIZATION AFFECTS ENERGY-ENVIRONMENT EFFICIENCY: EVIDENCE from CHINA. **Singapore Economic Review**, 65(6), 1401-1422. 2020. doi:10.1142/S0217590820500447

[8] Strømann-Andersen, J., & Sattrup, P. A. The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. **Energy and Buildings**, 43(8), 2011-2020. 2011. doi:10.1016/j.enbuild.2011.04.007

[9] DOMINGOS, R. M. A., AND PEREIRA, F. O. R. Comparative cost-benefit analysis of the energy efficiency measures and photovoltaic generation in houses of social interest in Brazil. **Energy and Buildings**, 243, 2021.

[10] GUARDA, E.L.A. DE; et al. The influence of climate change on renewable energy systems designed to achieve zero energy buildings in the present: A case study in the Brazilian Savannah. **Sustainable Cities and Society**, v. 52, 101843, 2020.

[11] BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Inmetro. Portaria n° 42, de 24 de fevereiro de 2021. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)**. Diário Oficial da União, Brasília - DF, 2021.

[12] CALKA, B; ORYCH, A; BIELECKA, E; MOZURIUNAITE, A. **The Ratio of the Land Consumption Rate to the Population Growth Rate: A Framework for the Achievement of the Spatiotemporal Pattern in Poland and Lithuania.** Remote Sensing, v. 14, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14051074

[13] SERGHIDES, D; DIMITRIOU, S; KYPRIANOU, I; GIANNAKIS, E; ZITTIS, E. **Developing Sustainable Cities for Climate Change Mitigation.** Sustainable Energy Development and Innovation. DOI: 10.1007/978-3-030-76221-6_30

[14] PEEL, M C; FINLAYSON, B L; MCMAHON, T A. **Hydrology and Earth System Sciences Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification Hydrol**. Earth Syst. Sci. [S. l.: s. n.], 2007a. Disponível em: www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/.