XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Desenvolvimento de modelo paramétrico para estudo da relação entre a orientação de edifícios e o clima em Fortaleza-CE

Desarrollo de modelo paramétrico para el estudio de la relación entre la orientación de los edificios y el clima en Fortaleza-CE

Developing a parametric model to study the relationship between building orientation and climate in Fortaleza-CE

Desempenho térmico do ambiente construído

Leite, Raquel Magalhães
Mestra, Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo e Design na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, raquelmleite@gmail.com

Sá, Calleu Vale
Cursando Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, calleusa@arquitetura.ufc.br

Medeiros, João Victor Frazão de
Graduado, Cursando Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, joaodemedeiros@arquitetura.ufc.br

Cardoso, Daniel Ribeiro
Doutor, Professor na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, danielcardoso@ufc.br

Lima, Mariana Monteiro Xavier de
Doutora, Professora na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, mariana@daud.ufc.br

Resumo

A implantação é uma das primeiras decisões projetuais, com grande influência na interação entre edifício e clima. Em Fortaleza-CE, a literatura aponta uma tendência de orientação dos ambientes de longa permanência para leste e sudeste, fenômeno ainda não caracterizado em edificações recentes. Esta pesquisa intenciona investigar a relação entre a orientação das edificações e o clima, no contexto dos edifícios verticais multifamiliares construídos após 2009 em Fortaleza. Para isso, propõe-se a elaboração de um modelo paramétrico baseado em dados urbanísticos, geométricos e climáticos para detectar a direção predominante das fachadas. O modelo foi aplicado no bairro Meireles, onde se constatou que as orientações norte-nordeste e leste-sudeste são as mais frequentes. Evidencia-se que a produção residencial imobiliária recente nesse bairro segue priorizando ventilação predominante e insolação nascente como condicionantes para a implantação dos edifícios de apartamentos, aspecto relevante para compreender as dinâmicas atuais dos projetos de edifícios altos.

Palavras-chave: Modelagem da informação. Modelagem paramétrica. Adequação climática. Orientação de fachada. Edifícios verticais multifamiliares.

Resumen

El emplazamiento es una de las primeras decisiones de proyecto, con gran influencia en la interacción entre edificio y clima. En Fortaleza-CE, la literatura señala una tendencia a la orientación este y sureste de los ambientes de larga estadía, fenómeno que todavía no se ha caracterizado em las edificaciones recientes. Esta investigación explora la relación entre la orientación de edificios y el clima, en el contexto de los edificios multifamiliares construidos después de 2009 en Fortaleza. Para ello, se propone un modelo paramétrico fundamentado en datos urbanísticos, geométricos y climáticos para detectar la dirección predominante de las fachadas. El modelo se aplicó al barrio Meireles, donde se constató que las orientaciones más frecuentes son norte-noreste y este-sureste. Es evidente que la producción inmobiliaria residencial reciente en este barrio sigue dando prioridad a la ventilación predominante y a la exposición al sol naciente como condiciones para el emplazamiento de edificios de apartamentos, un aspecto relevante para comprender la dinámica actual de los proyectos de edifícios altos.

Palabras clave: Modelado de la información. Modelado paramétrico. Adecuación climática. Orientación de fachadas. Edificios multifamiliares verticales.

Abstract

Locating a building is one of the first design decisions, which plays a major role on how it interacts with climate. In Fortaleza-CE, literature points to a pattern of directing the long-stay rooms towards east and southeast, a phenomenon which has not yet been characterized in recent buildings. This research aims to investigate the relationship between building orientation and climate, in the context of multi-family buildings constructed after 2009 in Fortaleza. This study develops a parametric workflow based on urban, geometric and climatic data to detect the prevailing direction of buildings' facades. Results showed that, in the Meireles neighborhood, most of the buildings face north-northeast and east-southeast. It is noticeable that recent residential real estate production in this neighborhood has continued to prioritize prevailing wind and and nascent sun exposure as conditions for placing apartment buildings, a relevant aspect for understanding the current dynamics of high-rise building projects.

Keywords: Information modeling. Parametric modeling. Climate adaptation. Facade orientation. Multi-family vertical buildings.

Introdução

A implantação é uma das primeiras decisões projetuais e exerce efeitos significativos na relação do edifício com seu entorno (Olgyay, 1998). Em climas quentes e úmidos, por exemplo, onde o conforto térmico resulta da combinação entre movimentação do ar e sombreamento, deve-se buscar prioritariamente uma orientação que capte a ventilação, acompanhada por incidência solar oblíqua e elementos de proteção nos maiores planos de fachada (Givoni, 1998; Olgyay, 1998).

A verticalização das construções tem ocorrido há décadas em diversas metrópoles brasileiras. Nos edifícios verticais multifamiliares de Fortaleza-CE, verifica-se desde o final dos anos 1970 uma implantação característica (Cavalcante, 2021), decorrente de uma combinação entre parâmetros da legislação, ventilação predominante leste/sudeste e traçado urbano quadriculado: a torre em formato laminar, isolada no lote, cujas áreas de permanência prolongada priorizam o nascente solar e o sentido do fluxo de vento, e os ambientes de serviço e circulação orientam-se para o lado oposto (Cavalcante, 2021; Leite, 2015; Lins, 2011).

Apesar do registro histórico e qualitativo dessa característica na literatura, a frequência e as condições de ocorrência mais recentes desse fenômeno ainda não estão bem delineadas, principalmente na vigência mais recente do Plano Diretor Participativo (Fortaleza, 2009), e mapeá-las mostra-se relevante para compreender as dinâmicas contemporâneas da produção de edifícios altos. Assim, este trabalho tem como objetivo investigar a relação entre a orientação das edificações e o clima, no contexto dos edifícios multifamiliares verticais de Fortaleza após 2009. Propõe-se um modelo digital que busca identificar direções das fachadas por meio de uma abordagem paramétrica entre variáveis geométricas, tipológicas e ambientais.

Método

Esta pesquisa adota uma abordagem exploratória e descritiva, com recorte na cidade de Fortaleza, localizada na latitude de 3,8°S e situada na Zona Bioclimática 6A, de clima muito quente e úmido, com média de temperatura do ar maior que 27°C (ABNT, 2024). Para o primeiro estudo de aplicação, foi estabelecido um recorte no bairro Meireles, por ser um dos de verticalização mais consolidada na cidade, além de possuir boa diversidade morfológica. Foram utilizados dados

geoespaciais em formato *shapefile* disponibilizados na "Infraestrutura de Dados Espaciais da Secretaria Municipal das Finanças de Fortaleza" (SEFIN, 2025)[1].

Os dados foram compilados no software QGIS (QGIS.ORG, 2023) e carregados no ambiente de programação visual do Grasshopper/Rhinoceros (Robert McNeel & Associates, 2025), por meio do plugin Urbano (Dogan *et al.*, 2020), onde foi desenvolvido o algoritmo. Os resultados foram avaliados pela sobreposição à carta solar e à rosa dos ventos de Fortaleza, gerados com o *plugin* Ladybug Tools (Ladybug Tools LCC, 2024) a partir de arquivo climático TMYx2007-2021, obtido na plataforma Climate OneBuilding (Lawrie; Crawley, 2022).

Resultados e discussão

A primeira etapa consistiu na organização dos dados coletados em um único arquivo. Um desafio encontrado foi a dispersão das informações necessárias em diferentes arquivos *shapefile*, sendo necessário associá-los por etapas até os indicadores adequados serem incorporados à geometria das edificações. Com a integração dos dados concluída no QGIS, foi gerado um modelo urbano tridimensional no Grasshopper/Rhinoceros com dados de altura, tipo de uso e condomínio, ano de construção e nome do condomínio associados às geometrias. Para selecionar as edificações de interesse, foram incorporadas, a princípio, as edificações residenciais verticais construídas entre 2009 e 2016. Em seguida, foram selecionados os edifícios com pelo menos um elevador e gabarito maior que 15m, caracterizados nesta pesquisa como verticais.

Para investigar a orientação das fachadas com base em seus polígonos de contorno, foram estabelecidos os seguintes pressupostos: (1) as geometrias com maior altura agregada devem corresponder à caixa de circulação vertical e (2) as geometrias com maior área devem corresponder ao pavimento tipo de apartamentos. A partir disso, foram criados vetores com ponto de partida no centro da caixa de circulação vertical e com limite na aresta da fachada mais distante desse ponto, em geral a que possui ambientes de permanência prolongada e varandas.

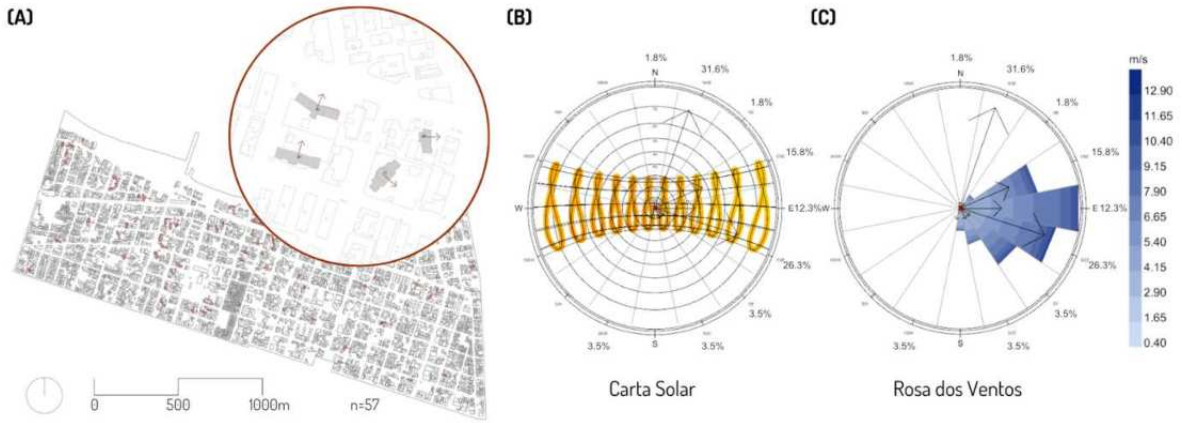
No domínio de vetores, analisamos todas as situações e, onde não houve coerência entre o vetor obtido com o algoritmo e a orientação real do edifício, o dado foi corrigido manualmente e

[1] Apesar da atualização recente dos dados de condomínios, o arquivo de geometria das edificações refere-se a um levantamento realizado em 2016. Por essa razão, as análises restringiram-se até esse ano.

substituído. O algoritmo funcionou bem em diversos casos cuja volumetria apresenta reentrâncias e saliências. Houve, contudo, algumas circunstâncias de imprecisão na geração dos vetores: reconhecimento da circulação vertical pela altura, quando há outros elementos de maior gabarito na edificação, e identificação da orientação em edifícios curvos, próximos ao quadrado ou com mais de uma torre. Em casos de múltiplas direções no mesmo condomínio, a correção do azimute de fachada foi feita considerando o vetor resultante.

Após os ajustes manuais, os vetores foram agregados a um gráfico polar dividido nos dezesseis quadrantes subcolaterais. Em cada quadrante, foi calculada a média de azimutes dos vetores, gerando-se um vetor representativo, em que a dimensão da seta é proporcional à sua frequência de ocorrência, acompanhado da porcentagem aproximada. Com a sobreposição à carta solar e à rosa dos ventos de Fortaleza, foi possível estabelecer um diagnóstico acerca do grupo de edifícios escolhidos. Observa-se que a orientação para a porção leste foi a mais frequente, compreendendo mais da metade dos edifícios do estudo entre os quadrantes leste-sudeste, leste e leste-nordeste. Foi representativa, também, a orientação norte-nordeste, contemplando cerca de um terço dos resultados (Figura 1).

Figura 1: (A) Recorte da representação dos vetores de orientação da fachada nos edifícios selecionados no bairro Meireles, (B) sobreposição dos vetores de orientação das fachadas à carta solar e (C) à rosa dos ventos de Fortaleza.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerações finais

Este trabalho relata o desenvolvimento de um modelo digital para estudo da orientação predominante de fachadas, com um recorte nos edifícios verticais multifamiliares construídos entre 2009 e 2016 no bairro Meireles, em Fortaleza. A pesquisa contribui com a formalização de um fluxo algorítmico que integra dados urbanísticos, geométricos e climáticos. Os resultados corroboram o pressuposto teórico de que os apartamentos tendem a orientar-se conforme a insolação nascente e a ventilação (Cavalcante, 2021; Leite, 2015; Lins, 2011), o que ressalta, por outro lado, a importância de um maior cuidado com as fachadas a poente (Lins, 2011). A orientação mais a norte, por sua vez, possibilita a captação dos ventos e a incidência solar oblíqua, podendo também ser atribuída à proximidade com o mar. O traçado viário se mostra influente, já que as orientações preponderantes apresentam uma declinação.

O nível de desenvolvimento do modelo digital apresentado neste resumo expandido possui algumas limitações na geração automatizada da direção dos vetores de fachada, que deverão ser trabalhadas nas próximas versões. Além disso, particularidades microclimáticas, relacionadas às alterações nos padrões de ventilação no tecido urbano e ao sombreamento entre edifícios, não são consideradas. Como o algoritmo foi implementado em apenas um bairro de Fortaleza, não é viável afirmar se os padrões de implantação detectados ocorrem em outras regiões da cidade. Nas próximas etapas, o procedimento paramétrico deverá ser aprimorado e aplicado a todo o perímetro urbano, o que possibilitará incorporar à análise parâmetros socioeconômicos, de densidade e de gabarito dos diferentes bairros. Espera-se, assim, obter uma caracterização mais ampla do fenômeno de verticalização recente dos edifícios de apartamentos de Fortaleza e de como ele tem se relacionado com o clima local.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela concessão de bolsa de doutorado (PPGAU+D/UFC) e de bolsa de iniciação científica (PIBIC/UFC).

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho. 2ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

CAVALCANTE, M. G. **Edifícios de apartamentos em Fortaleza:** universalidades e singularidades. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2021.

DOGAN, T. *et al.* "Urbano: A Tool to Promote Active Mobility Modeling and Amenity Analysis in Urban Design". **Technology|Architecture + Design**, v. 4, n. 1, p. 92–105, 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. Lei Complementar nº 062, de 02 de fevereiro de 2009. Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Fortaleza e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**, Fortaleza, CE, ano LVI, n. 14.020, 2 fev. 2009.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Von Nostrand Reinhold, 1998.

LADYBUG TOOLS LCC. **Ladybug Tools**. Versão 1.8.0. Ladybug Tools LCC, 2024. Disponível em: www.ladybug.tools. Acesso em: 4 fev. 2025.

LAWRIE, L. K.; CRAWLEY, D. B. **Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx)**. 2022. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/. Acesso em: 4 fev. 2025.

LEITE, R. C. V. **Cidade, vento, energia:** limites de aplicação da ventilação natural face à densificação urbana em clima tropical úmido. 2015. 273 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

LINS, G. M. **Fachadas poentes de edifícios residenciais multifamiliares na cidade de Fortaleza-CE**. Uma análise estética e funcional. 2011. 75 f. Monografia (Especialização em Tecnologia do Ambiente Construído) – Instituto Centro de Ensino Tecnológico, Fortaleza, 2011.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima:** Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1998.

QGIS.ORG. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.30.1. QGIS Association, 2023. Disponível em: http://www.qgis.org/. Acesso em: 4 fev. 2025.

ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. **Rhinoceros**. Versão 8. Robert McNeel & Associates, 2025. Disponível em: https://www.rhino3d.com/. Acesso em: 4 fev. 2025.

SECRETARIA MUNICIPAL DAS FINANÇAS DE FORTALEZA (SEFIN). Infraestrutura de Dados Espaciais da SEFIN - PMF. 2025. **IDE SEFIN**. Disponível em: https://ide.sefin.fortaleza.ce.gov.br. Acesso em: 10 abr. 2025.