

ORIENTAÇÃO SOLAR E GANHO TÉRMICO DAS FACHADAS EM DIFERENTES TIPOS DE TEMPO NA CIDADE DE PALMAS - TO: EPISÓDIOS DE VERÃO E DE INVERNO

ORIENTACIÓN SOLAR Y GANANCIA TÉRMICA DE FACHADAS EN DIFERENTES TIPOS DE CLIMA EN LA CIUDAD DE PALMAS - TO: EPISODIOS DE VERANO E INVIERNO

SOLAR ORIENTATION AND THERMAL GAIN OF FACADES IN DIFFERENT TYPES OF WEATHER IN THE CITY OF PALMAS - TO: SUMMER AND WINTER EPISODES

Raphael de Sousa Santos¹; Lucas Barbosa e Souza².

1. Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente – UFT – raphaelde.s.s@gmail.com
2. Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente – UFT – lbsgeo@uft.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Arquitetura; Clima; Conforto térmico; Eficiência Energética.

PALABRAS CLAVE

Arquitectura; Climatizado; Comodidad térmica; Eficiencia energetica.

KEY WORDS

Architecture; Climate; Thermal comfort; Energy Efficiency.

RESUMO

Considerando a tendência à verticalização das edificações em Palmas, Tocantins, esse artigo relata a investigação da influência da orientação solar e dos tipos de tempo atmosférico sobre o ganho térmico em fachadas de um edifício residencial na cidade. Para tanto, foram empregados procedimentos de verificação de insolação, sombreamento, temperatura e ganho térmico nas principais fachadas dessa edificação, alinhados ao acompanhamento dos tipos de tempos presentes em episódios de verão e de inverno. Os resultados demonstram que o ganho térmico na fachada, que influencia no conforto térmico na edificação e no consumo de energia elétrica, pode sofrer variações conforme a época do ano, os tipos de tempo atmosférico e em especial conforme a nebulosidade existente. Os padrões exibidos nesse estudo são mais complexos e contrariam a lógica de que a fachada oeste é sempre a mais desfavorável sob o ponto de vista do calor.

RESUMEN

Considerando la tendencia a la verticalización de las edificaciones en Palmas, Tocantins, este artículo reporta una investigación de la influencia de la orientación solar y los tipos de clima atmosférico en la ganancia térmica en fachadas de un edificio residencial en la ciudad. Para ello, se

utilizaron procedimientos de control de asoleamiento, sombreado, temperatura y ganancia térmica en las fachadas principales de este edificio, en consonancia con el seguimiento de los tipos de clima presentes en los episodios de verano e invierno. Los resultados muestran que la ganancia térmica en fachada, que influye en el confort térmico del edificio y el consumo de energía eléctrica, puede variar según la época del año, los tipos de clima atmosférico y especialmente según la nubosidad existente. Los patrones que se muestran en este estudio son más complejos y contradicen la lógica de que la fachada oeste es siempre la más desfavorable desde el punto de vista del calor.

ABSTRACT

Considering the tendency to verticalization of buildings in Palmas, Tocantins, this article reports investigation of the influence of solar orientation and types of atmospheric weather on the thermal gain in facades of a residential building in the city. For this purpose, procedures for checking sunlight, shading, temperature and thermal gain were used in the main facades of this building, in line with the monitoring of the types of weather present in summer and winter episodes. The results show that the thermal gain on the facade, which influences the thermal comfort in the building and the consumption of electric energy, can vary according to the time of the year, the types of atmospheric weather and especially according to the existing cloudiness. The patterns show in this study are more complex and contradict the logic that the west facade is always the most unfavorable from the point of view of heat.

1 INTRODUÇÃO

Localizada no centro do país e no cerrado brasileiro, próxima ao paralelo 10° Sul e ao meridiano 48° Oeste, Palmas foi a última capital brasileira planejada do século XX, conforme Velasques (2010). Planejada sob uma visão “ecológica” para sediar o aparato administrativo do estado do Tocantins, foi criada para ser moderna, com conceitos sustentáveis e humanistas, seguindo princípios do bioclimatismo para o desenho urbano, com ruas sombreadas, grandes espaços arborizados e áreas verdes (GRUPOQUATRO, 1989).

O clima de Palmas é classificado como predominantemente úmido e sub úmido representado pela fórmula C2wA´a` segundo a classificação de Thornthwaite. Ocorrem duas estações bem definidas, quente/úmida e quente/seca, com moderada deficiência hídrica no inverno e umidade mais elevada durante o verão (SEPLAN, 2012). Possui, em média, três meses consecutivos com temperaturas mais elevadas, mas se comparadas com climas temperados, as altas temperaturas ocorrem praticamente o ano todo, segundo as Normas Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A média das máximas atinge 36,6 °C na transição inverno/primavera (setembro) e a média das mínimas é de 18,8 °C no início do inverno (julho). Já a média anual das temperaturas máximas é de 33,4 °C e

a média anual das mínimas é de 21,7 °C, enquanto a média compensada anual é de 26,7 °C (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2018).

Com altas temperaturas praticamente ao longo de todo o ano, o gasto elevado com energia elétrica para climatização mecânica de ambientes internos é algo muito comum na região. Com o crescimento no número de edificações, nem sempre os cuidados ambientais de sustentabilidade ou de consumo consciente da energia elétrica são levados em conta. Assim, é comum ver por quase toda a cidade edificações com grandes planos envidraçados voltados para o sol e sem qualquer proteção solar.

Com crescimento populacional expressivo, o censo demográfico apresentava em 2010 uma população de 228.332, saltando para uma estimada de 299.127 pessoas no ano de 2019 (IBGE, 2010; 2019). Paralelamente, a cidade vem apresentando tendência à verticalização ainda que esse processo não esteja totalmente de acordo com o plano urbanístico original. Para se atingir a densidade média de 300 habitantes por hectare em quadras residenciais, conforme previsto no projeto, havia estimativa de construção de pequenos edifícios com até 20 % das edificações de até 4 pavimentos e outros 20 % de 5 a 10 pavimentos (GRUPOQUATRO, 1989). Logo, a verticalização não estava ausente na concepção de Palmas, conforme explica Rodrigues (2016).

Contudo as formas verticais de habitação começaram a ganhar força principalmente a partir de 2011 por meio de edificações com número mais expressivo de pavimentos (alguns superiores a 30), possivelmente devido a fatores como: liberação de linhas de crédito para o setor da construção e da habitação; elevação dos índices construtivos com aprovação de novas leis favoráveis às construtoras; e aumento do valor dos terrenos (RODRIGUES, 2016). Considerando os vazios urbanos presentes na cidade, tal processo de verticalização não se justifica, pois não há falta de áreas livres para expansão horizontal ou necessidade de adensamento. Ainda assim, a verticalização parece ser uma realidade sem retorno para Palmas.

Rodrigues (2016) também constatou que os edifícios com finalidades residenciais passaram a predominar na verticalização da cidade. Praticamente 70 % dos edifícios construídos entre 2001 e 2010 foram destinados ao uso habitacional, evidenciando que Palmas seguiria uma tendência nacional de verticalização, que é destinada em sua maioria para a habitação.

A respeito dos cuidados com a orientação solar e o conforto térmico nesses edifícios residenciais presentes na cidade, ocorre a seguinte situação: a flexibilidade na orientação dos ambientes internos é um pouco diferente em edifícios com padrões inferiores, que possuem em média quatro ou mais apartamentos por pavimento, da que ocorre nos edifícios de alto padrão. Isso reduz a possibilidade de

não existir ambientes com aberturas (muitas vezes em vidro e sem outras proteções) voltados para oeste, já que normalmente os apartamentos fazem divisa com outras unidades habitacionais ou com a área comum do condomínio em pelo menos uma ou duas de suas laterais.

O setor residencial no Brasil vem se destacando pelo crescimento do consumo energético, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2008). Tal crescimento pode estar alinhado ao consumo médio por domicílio em função do aumento da renda nas últimas décadas e por alguns programas sociais do governo federal como o Bolsa Família, o Minha Casa Minha Vida e o Luz para Todos. No estado do Tocantins, o setor residencial é responsável pelo consumo de cerca de 41,9 % de energia elétrica (EPE, 2016), já que a indústria, que lidera o ranking em boa parte do país, não é tão expressiva na região. Estima-se, assim como no Brasil, que a parcela desse consumo destinado aos condicionadores de ar tem crescido significativamente nas últimas décadas, já que com temperaturas mais elevadas e o aumento na renda, a posse desse equipamento teve o maior aumento relativo dentro das residências brasileiras (EPE, 2017).

Em Palmas, os edifícios construídos com a função residencial, assim como as demais edificações da cidade, não possuem uma identidade arquitetônica bem definida, já que a cidade possui poucos anos de existência (30 anos em 2019), e a formação heterogênea da população traz consigo culturas diversificadas. Com isso, é possível notar edificações com diferentes características, sendo uma delas o “estilo internacional”, com uso de grandes planos de vidros em fachadas sem proteção solar, herança da escola alemã Bauhaus (escola alemã de design, artes plásticas e arquitetura, primeira escola de design do mundo. Foi uma das maiores e mais importantes expressões do Modernismo no design e na arquitetura (BENEVOLO, 2014).) e de uma arquitetura voltada para o clima temperado.

Assim é o caso de alguns edifícios residenciais erguidos na orla do lago (UHE Luís Eduardo Magalhães) que margeia a cidade, sendo que:

[...] **a maioria desses edifícios possui fachadas voltadas para o reservatório [lago], no sentido oeste**, onde o sol incide diretamente durante todo o período da tarde, o que **pode contribuir para o desconforto térmico**, geralmente, solucionado com uso de condicionadores de ar, que conseqüentemente, **umenta o consumo de energia**. [...] nota-se que **na maioria dos apartamentos**, as **aberturas** das sacadas, voltadas para o oeste, foram **fechadas, com vidraças** [...] (ROGRIGUES, 2016, p.61) (grifo nosso).

Essa situação, que parece passar despercebida por alguns projetistas e pela população, não atinge somente edificações residenciais, mas também prédios públicos, institucionais e privados, como mostra a figura 1.

Figura 1 - Exemplos de alguns prédios com peles de vidro voltados para oeste em Palmas. Da esquerda para direita, sede da FIETO, Fórum de Palmas e Ministério Público do Estado do Tocantins.



Fotografias do primeiro autor, 2020.

Com o rigor do clima e as altas temperaturas da região, tal prática arquitetônica não condiz com os conceitos apresentados por diversas linhas do pensamento na arquitetura como a arquitetura bioclimática, a arquitetura sustentável e a eficiência energética voltada para edificações. Para Corbella e Yannas (2009), a arquitetura deve seguir uma visão sustentável, criando prédios que objetivem o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima local, consumindo a menor quantidade de energia possível com o conforto ambiental para legar um mundo mais equilibrado para as futuras gerações.

A má orientação em relação ao sol e o uso de materiais inadequados para o clima local podem aumentar o consumo de energia por equipamentos que fazem o controle térmico. Para Mascaró e Mascaró (1992), aproximadamente um terço ou mais da energia consumida em um edifício se deve à má orientação quanto ao sol e a projetos inadequados quanto ao seu envoltório. Para Fernandes (2009), o envoltório de uma edificação determina a carga térmica de instalação e utilização do sistema de ar condicionado, além de definir o ganho térmico no interior da edificação por meio da luz natural e da radiação solar direta, fundamentais para o conforto térmico e para a eficiência energética.

O crescente número de edificações na cidade de Palmas e a falta de atenção nos cuidados com a eficiência energética aliada ao conforto térmico são problemas visíveis que prejudicam a

sustentabilidade ambiental dessas construções. Um dos resultados negativos é o alto consumo de energia elétrica que poderia ser minimizado com princípios básicos da arquitetura bioclimática como a escolha da orientação solar mais adequada.

Considerando esses pressupostos, esse artigo tem o objetivo de abordar como a orientação solar pode influenciar no ganho térmico das fachadas de uma edificação em Palmas. Para essa análise levou-se em conta os diferentes tipos de tempo atmosférico presentes sobre o local em episódios de verão e de inverno. Espera-se contribuir com subsídios para a elaboração de projetos de novas edificações nessa cidade e em cidades de clima semelhante em meio tropical que priorizem um melhor alinhamento com a eficiência energética, que promovam o bem-estar dos usuários e a sustentabilidade e que conservem os recursos naturais.

2 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Como visto anteriormente, o crescimento na arquitetura verticalizada em Palmas é algo notório nos últimos anos, e a habitação vertical vem ganhando espaço significativo em meio a esse crescimento. Diante disso, optou-se por investigar prédios de habitação multifamiliar de múltiplos pavimentos.

Uma das edificações analisadas e apresentada aqui, é o 106 Manhattan Residence, localizado no plano diretor Sul, ARSE 12 (ou atual 106 Sul), Alameda 6, conjunto L, HM-4A, na porção central da cidade. Esse prédio possui quatro apartamentos por andar, com duas tipologias de apartamentos-tipos. As áreas variam entre 89 m² a 94 m² aproximadamente. Cada apartamento-tipo possui três suítes plenas, sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço, lavabo e sacada gourmet. O acabamento externo das fachadas foi executado com rebocado argamassado de cimento e areia, pintado com textura acrílica rolada de cor clara em sua maioria e com alguns poucos detalhes em textura de cor mais escura. Possui esquadrias estruturadas em alumínio e fechamentos em planos de vidro incolor sem proteção solar conforme mostra a figura 2.

Seus apartamentos possuem aberturas voltadas para todas as principais orientações (norte, sul, leste e oeste), sendo que cada apartamento tem, no mínimo, uma fachada que receberá insolação maior na parte da manhã ou da tarde, e a outra fachada que receberá maior insolação no solstício de inverno ou de verão. Tais características foram confirmadas pela simulação de sombreamento por

modelagem tridimensional do edifício, com auxílio do *software* SketchUp, levando em consideração a latitude e a longitude de implantação do edifício.

Das informações coletadas in loco, serão apresentados os dados da temperatura externa das fachadas por meio de imagens termográficas, mostrando-se o ganho térmico. Tais dados foram coletados com o auxílio de uma câmera de imagens térmicas ou termovisor, da marca FLIR, modelo E50, calibrada pelo fabricante (certificado válido no período das coletas) e com as seguintes características: faixa de temperatura de -20 a 650 °C; sensibilidade térmica de <0.05 °C a 30 °C; precisão de +/-2 °C ou +/-2 % de leitura; resolução IR de 240 x 180 pixels.

Figura 2 - Fachadas leste e norte do 106 Manhattan Residence



Fotografia do primeiro autor, 2019.

Durante cada episódio, foram capturadas imagens térmicas das fachadas duas vezes por dia. O primeiro horário de coleta foi por volta das 9 h, na metade da manhã, quando a fachada leste já teria ganhado calor pela radiação solar direta. O segundo horário foi por volta da 15 h, na metade do período da tarde, quando a fachada oeste já teria ganhado calor por radiação, pois já estaria exposta à insolação direta por em torno de 3 horas.

Seguindo recomendações da NBR 15.575, de desempenho em edificações habitacionais (ABNT, 2013), delimitou-se o prazo de coletas em cada episódio de acordo com as indicações apresentadas para avaliação do desempenho térmico de edificações por meio de medição. Logo, o período de medição deve seguir as seguintes recomendações para coleta:

O dia tomado para análise deve corresponder a um **dia típico** de projeto, de **verão ou de inverno**, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. Recomenda-se, como regra geral, trabalhar com uma **sequência de três dias** e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local (ABNT, 2013, p.34) (grifo nosso).

Dessa forma, foram considerados três dias de coleta de dados e escolhido um dia característico (típico) para apresentação dos dados e análise, conforme sugerido pela norma.

Para a caracterização dos tipos de tempo atmosférico, bem como de sua gênese, foi realizado o exame dos dados e horários registrados pela estação climatológica automática e dos dados de nebulosidade em horários-padrão (9 h, 15 h e 21 h) registrados pela estação climatológica convencional (analógica), ambas do INMET, em Palmas. Procedeu-se também à inspeção visual das imagens do canal 13 (10.35 μ) do satélite meteorológico GOES-16, disponibilizadas pelo INPE, para averiguação das massas de ar e demais sistemas atmosféricos atuantes em Palmas nos períodos de coleta de dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os dias 10 a 12 de janeiro de 2019 ocorreram as coletas de dados do episódio de verão. Para essa sequência, o dia 10/01/2019 esteve marcado pela atuação da Massa Tropical Atlântica (MTA) no período da manhã e da Massa Equatorial Atlântica (MEA), com linhas de instabilidade no período da tarde. Sob tal condição, registrou-se um tipo de tempo parcialmente nublado pela manhã e totalmente encoberto à tarde (em decorrência das linhas de instabilidade), contudo sem o registro de pluviosidade ao longo do dia.

O dia 11/01/2019 mostrou-se com céu mais estável, com poucas nuvens ao longo de todo o dia, sob a influência contínua da MTA e, conseqüentemente, sem chuvas. E no dia 12/01/2019 houve permanência da MTA nos dois turnos observados, com céu parcialmente nublado pela manhã e a ocorrência de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) cruzando o centro-sul do Tocantins, o que gerou um pequeno acumulado de 1,6 mm de precipitação sobre Palmas, localizada na borda desse sistema instável. Verifica-se, desse modo, um ritmo alternado entre condições de estabilidade

e de instabilidade atmosférica, sempre no interior de massas de ar atlânticas (MTA e MEA), o que é habitual para esse período do ano sobre Palmas, assim como também registrado por Silva (2018).

Conforme dados da estação do INMET, é possível também verificar que durante os dias de coletas, a temperatura máxima alcançou 33,2 °C no dia 11 de janeiro, sendo o dia mais quente durante este episódio de verão. Já a temperatura mínima atingiu 21,2 °C por duas vezes entre os dias de coletas, deixando a amplitude térmica em torno de 12 °C. A umidade máxima chegou aos 93 % e a mínima aos 47 %, características dessa época do ano, ou seja, umidades mais elevadas, já que esse período faz parte da estação chuvosa na região. Nesse episódio, foram acumulados 53 mm de chuvas sobre Palmas.

Como nesse período há mais nuvens no céu, barrando uma parcela dos raios solares que atingiria a cidade, nota-se que o valor total da radiação solar em 24 h atingiu uma média de $16,5 \times 10^3$ kJ/m². O menor valor ocorreu no dia 12 de janeiro, com $13,6 \times 10^3$ kJ/m², sendo o dia com menor somatória dentre os dias de medição e, com $18,7 \times 10^3$ kJ/m², o dia 11 de janeiro equivale ao dia com maior somatória da radiação solar no âmbito desse episódio de verão.

Os ventos nesse período apresentaram características moderadas, embora haja registros de rajadas de ventos que chegaram aos 13,5 m/s. A velocidade média foi de 1,38 m/s, com direções predominantes de norte e de sul, dependendo do sistema atmosférico atuante, coincidindo com os resultados alcançados por Silva e Souza (2019) em estudos sobre os ventos em Palmas.

Na segunda sequência de medição, referente ao episódio de inverno, também houve predomínio dos sistemas atlânticos sobre Palmas, com deslocamento da direção do vento para norte (oscilando entre noroeste e nordeste, no caso da MEA, e para leste, no caso da MTA). No dia 17/07/2019 houve ação da MEA tanto no turno da manhã quanto no turno da tarde. No dia 18/07/2019, ocorreu alternância entre a MTA na parte da manhã e a MEA na parte da tarde. E, por fim, no dia 19/07/2019 repetiu-se a situação do primeiro dia, isto é, ação da MEA ao longo dos dois turnos observados. Foram verificados baixos valores de nebulosidade e nenhuma pluviosidade registrada nos dias dessa sequência.

A situação atmosférica desse episódio de inverno se revelou habitual para o período, demonstrando um ritmo repetitivo de estabilidade relacionado ao deslocamento sazonal do anticiclone tropical atlântico para mais próximo do continente sul-americano. Isso influencia o tempo seco sobre boa parte do Brasil, especialmente na porção central do país onde está Palmas. Tal condição também foi relatada por Silva (2018) em sua pesquisa sobre a mesma cidade.

Durante os dias desse episódio, a temperatura máxima alcançou 37,6 °C no dia 17 de julho. Já a temperatura mínima atingiu 18,7 °C em pelo menos dois dos três dias de coletas, dias 17 e 18 de julho, deixando a amplitude térmica na casa de 18,9 °C, característica típica dessa época no ano na região, com gradientes térmicos maiores em 24 h se comparados com o verão.

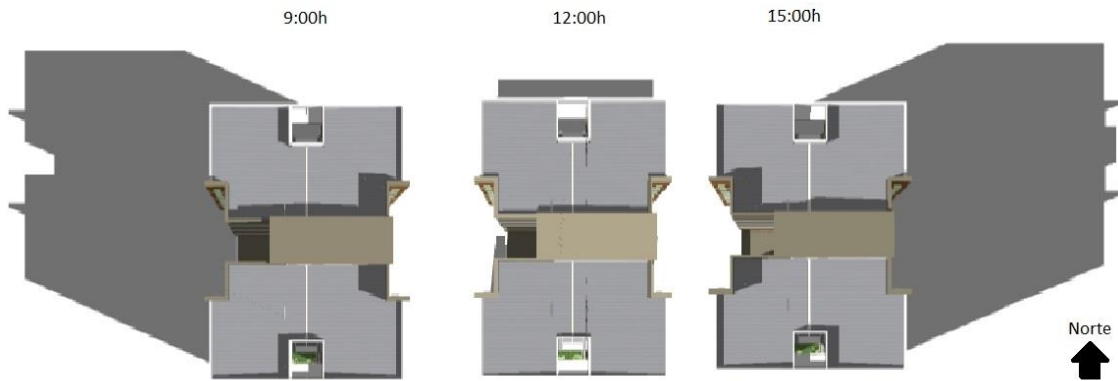
Com umidades mais baixas devido ao período de estiagem, a umidade máxima chegou aos 89 % (madrugada), mas em compensação a umidade mínima chegou a níveis críticos de 14 % (tarde e primeiras horas da noite), com média diária próxima aos 45 %. Com tempo seco, o total no volume de chuvas na cidade não saiu do zero.

Sob tais condições, a cobertura de nuvens no céu é bastante reduzida, deixando os dias com céu mais limpo, característica típica desse período. Assim, uma parcela maior dos raios solares atinge a cidade, alcançando valores médios de radiação solar em 24 h, nos 3 dias de coletas, de $18,7 \times 10^3$ kJ/m². Durante todos os dias de coleta de dados do inverno, as somatórias diárias apresentaram-se muito parecidas entre si, já que os dias foram de tempo estável.

Os ventos nesse período aparecem com um pouco mais de intensidade, com rajadas de ventos que ultrapassam os 19 m/s. Porém a velocidade média ficou em 2,73 m/s para os 3 dias desse episódio. Silva e Souza (2018) também já haviam demonstrado comportamento semelhante dos ventos em Palmas, indicando o aumento das velocidades no período de inverno.

Além da mudança dos tipos de tempo atmosférico e das características climáticas entre os dois episódios em estudo, o percurso (movimento aparente) do sol na abóbada celeste também apresenta características específicas para essas duas épocas do ano (verão e inverno) na latitude de Palmas. Com base em uma simulação computacional que leva em conta a trajetória solar de acordo com a carta solar de Palmas de latitude -10°, é possível notar o comportamento do percurso do sol e a movimentação da sombra sobre a edificação em estudo no verão, como mostra a figura 3, referente ao dia 12 de janeiro.

Figura 3 - Simulação de sombreamento das fachadas do 106 Manhattan Residence, segundo vista superior da edificação no dia 12 de janeiro.



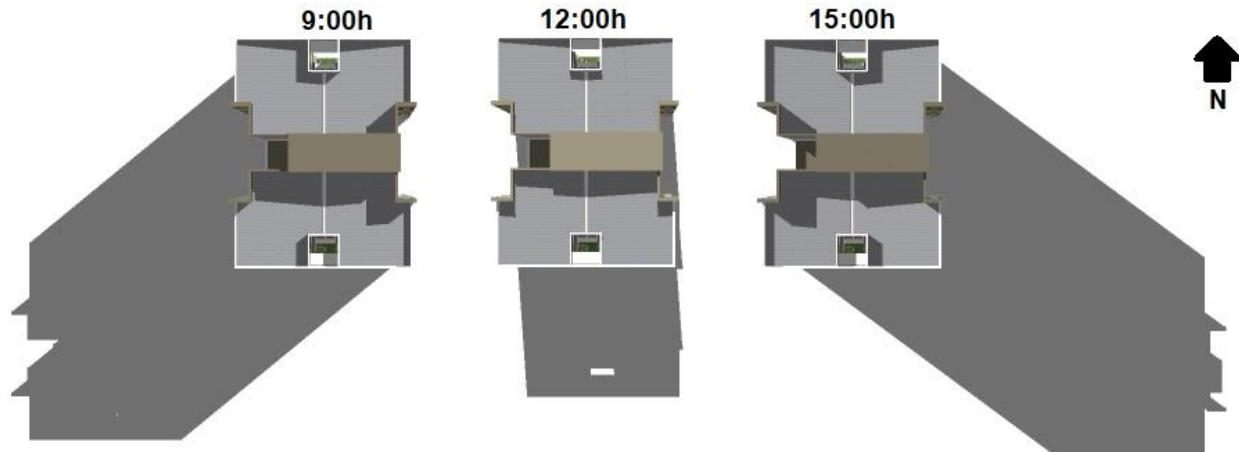
Organizada pelo primeiro autor, 2020.

Por meio da vista superior do protótipo eletrônico da edificação em estudo, nota-se que para esse período do ano, durante todo o dia, a fachada norte fica sombreada, enquanto a fachada sul recebe radiação solar direta durante praticamente todo o dia. Já a fachada leste fica sombreada pela parte da tarde e com sol pela manhã, enquanto a oeste é sombreada pelo período da manhã e recebe radiação solar direta pela tarde, quando a cobertura de nuvens no céu assim permite, já que se trata de um período com maior nebulosidade.

Já no inverno, a simulação realizada para o dia 18 de julho revela que nesse período do ano a fachada sul fica toda sombreada, enquanto a norte recebe radiação solar direta durante praticamente todo o dia. Já a fachada leste fica sombreada pela parte da tarde e com sol pela manhã, enquanto a oeste é sombreada pelo período da manhã e recebe radiação solar direta pela tarde, como mostra a figura 4, lembrando que este período conta com baixa nebulosidade na maior parte do tempo.

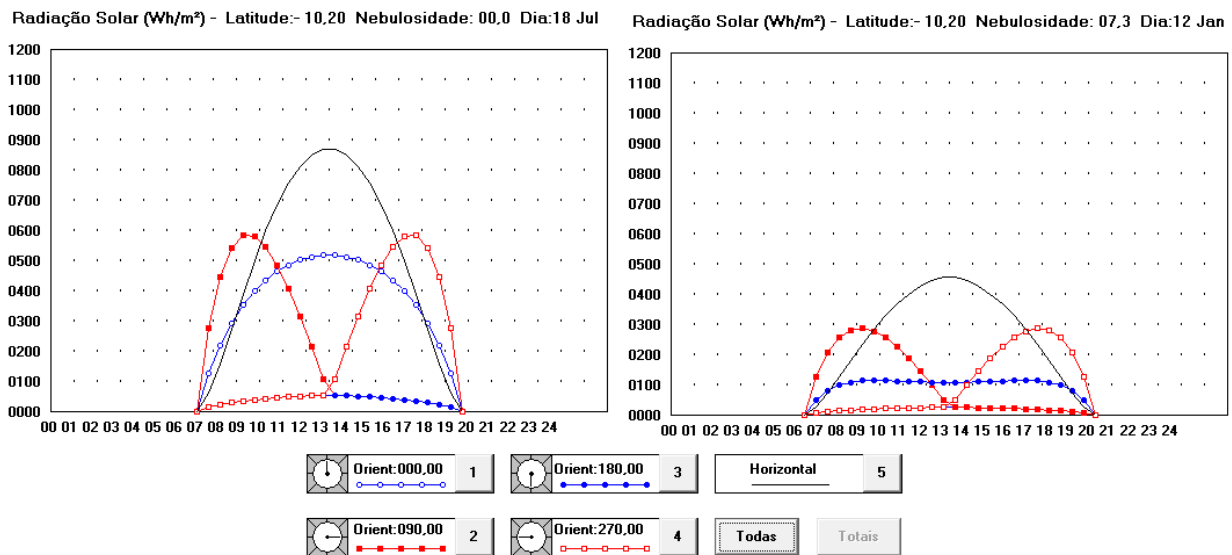
Com o auxílio de software Luz do Sol (Software voltado para avaliar o calor e a luz provenientes do sol em edificações elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.), foram simuladas algumas situações em ambiente gráfico para compreensão do ganho na carga térmica das fachadas da edificação em estudo nos dois episódios selecionados. Conforme o horário do dia e a incidência de radiação nas fachadas, é possível observar qual é o valor da radiação solar recebida em Wh/m^2 durante todo o dia e sobre as quatro fachadas principais (norte, sul, leste e oeste) em Palmas, como mostra o gráfico 1.

Figura 4 - Simulação de sombreamento das fachadas do 106 Manhattan Residence segundo vista superior da edificação no dia 18 de julho.



Organizada pelo primeiro autor, 2020.

Gráfico 1 - Simulação de ganho térmico por radiação em Wh/m² nas principais fachadas (norte, sul, leste e oeste) de latitude -10° nos dias 18 de julho (inverno) e 12 de janeiro (verão).



Organizado pelo primeiro autor, 2020.

O gráfico leva em conta o azimute 000,00 para a orientação norte, 090,00 para leste, 180,00 para sul e 270,00 para oeste. Também é apresentado o ganho de radiação em planos como coberturas e lajes no item horizontal. Para os valores de nebulosidade informados ao software, considerou-se a

média dos dados da nebulosidade do dia (9 h e 15 h) fornecidos pelo INMET: média de 0,0 (ausência de nuvens) para o dia 18/07/19 e média de 7,3 (parcialmente encoberto) para o dia 12/01/19. Ambas as médias apresentaram características habituais de nebulosidade para as respectivas estações do ano em Palmas.

É possível observar que as fachadas leste e oeste, nos períodos da manhã e da tarde, respectivamente, quando não sombreadas por nuvens, atingem valores mais elevados de radiação solar, com picos por volta das 9 h e das 17 h, respectivamente, nas duas estações. A simetria das linhas nos gráficos se deve à informação de apenas um valor (média) de nebulosidade por dia, conforme requisito do software.

Se comparados os dados entre as duas estações do ano, o gráfico atinge valores mais elevados de radiação no inverno (período de estiagem na região) por causa da nebulosidade reduzida ou nula. Nessa estação, a fachada sul não recebe radiação solar direta, sendo a fachada com a menor radiação solar absorvida. Já a fachada norte, no inverno, apresenta valores elevados de radiação praticamente o dia todo. No verão, observa-se que a fachada sul recebe maior radiação solar, se comparada com a fachada norte, embora a nebulosidade do céu seja maior nessa época e poderá variar ao longo do dia. No caso específico do dia 12/01/2019, o gráfico apresenta curvas menos elevadas de radiação em virtude da média de nebulosidade informada (7,3).

Por conseguinte, os dados dos gráficos corroboram com as informações apresentadas por meio das imagens termográficas que, por diferença de cores, representa a temperatura na superfície de cada uma das quatro fachadas do edifício em estudo. É possível notar pela escala de temperatura, expressa do lado direito das imagens, ou pela cruzeta que marca a temperatura no ponto central de cada imagem, as diferentes temperaturas registradas.

Nos quadros a seguir são apresentadas as imagens para dois períodos do dia: manhã (9 h) e tarde (15 h). Nos quadros 1 (manhã) e 2 (tarde) constam os resultados obtidos para o episódio de verão e nos quadros 3 (manhã) e 4 (tarde) constam os resultados para o episódio de inverno.

Como mostra o quadro 1, a fachada leste foi a que atingiu as maiores temperaturas no dia 12/01/2019 pela manhã, quando a nebulosidade ainda era menor (céu parcialmente encoberto com nuvens médias, do tipo estrato).


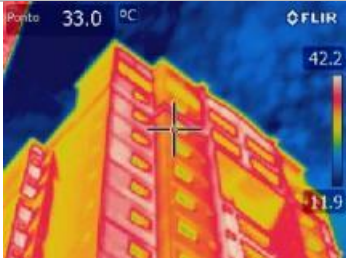

No período da tarde, a fachada leste perde um pouco de sua temperatura quando não mais exposta à radiação direta como mostra o quadro 2. Mesmo assim, no período da tarde, ela se comportou como

uma das fachadas com temperaturas mais elevadas devido ao calor acumulado ainda no período da manhã e à pouca radiação solar absorvida pelas outras fachadas no período da tarde devido ao aumento da nebulosidade (nuvens baixas do tipo cumulus). Esse foi o motivo pelo qual a fachada oeste não atingiu as maiores temperaturas exatamente quando o sol se inclina para essa orientação.

A fachada sul apresentou uma pequena variação na sua temperatura durante o dia, com valores mais elevados na parte da manhã, quando recebeu um pouco mais de radiação, mas perdendo calor na parte da tarde devido ao aumento da nebulosidade. E a fachada norte se manteve praticamente constante em suas temperaturas durante o dia, com temperaturas superficiais mais baixas em decorrência da não exposição direta à radiação solar nessa época do ano.

Para o episódio de inverno optou-se por apresentar o segundo dia de medição, considerando-o como o dia típico. Embora todos os três dias tivessem características muito similares entre si, optou-se pelo segundo dia devido à nebulosidade ter permanecido em zero durante todo o dia. Assim, tem-se uma compreensão melhor dos efeitos térmicos de tipos de tempo estáveis sem nebulosidade como ocorre com muita frequência nessa época do ano.

Quadro 1 - Imagens termográficas das quatro fachadas durante a manhã (9 h) do dia 12 de janeiro de 2019.

Data: 12 de janeiro de 2019 - Período da Manhã - Céu parcialmente nublado		
Fotografia	Imagens Térmicas	
	Leste 	Oeste 



Organizado pelo primeiro autor, 2020.

Nos quadros 3 e 4 nota-se que a fachada oeste atingiu as maiores temperaturas durante o dia, alcançando valores mais elevados durante o período da tarde. A fachada leste atingiu o segundo lugar, porém com números próximos aos da fachada norte, que recebe radiação solar direta o dia todo devido à proximidade do solstício de inverno e a consequente declinação solar. Já a fachada sul ficou com os menores valores de temperatura de superfície, por não receber radiação direta nessa época do ano. Valores baixos também foram observados na fachada oeste no período da manhã quando não exposta à radiação solar direta.

Quadro 02 - Imagens termográficas das quatro fachadas durante a tarde (15 h) do dia 12 de janeiro de 2019.

Data: 12 de janeiro de 2019 - Período da Tarde - Céu encoberto				
Fotografia	Imagens Térmicas			
	Leste		Oeste	
	Sul		Norte	

Organizado pelo primeiro autor, 2020.

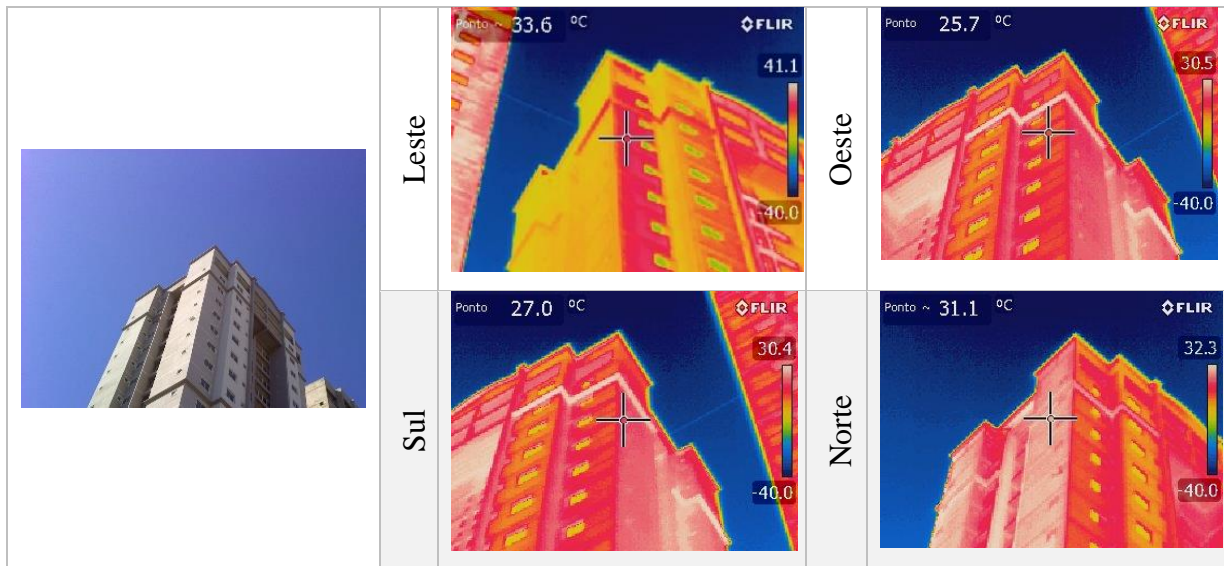
O gráfico 2, a seguir, mostra o resumo das temperaturas máximas representadas nas imagens termográficas para ambos os episódios.

É possível perceber que no verão as temperaturas das fachadas no período da tarde não tiveram grandes variações devido à instabilidade do tempo. Como no período da manhã a atmosfera estava com poucas nuvens ou mais estável, o ganho térmico fez com que as fachadas mais expostas ao sol (leste e sul) atingissem valores mais elevados. No inverno, como a atmosfera apresenta uma maior estabilidade no centro do país, as fachadas com maior exposição ao sol são as que atingiram maiores temperaturas, nesse caso sendo as fachadas norte e oeste as mais afetadas. Com isso, a amplitude térmica entre as fachadas nos períodos da manhã e da tarde tende a permanecer maior no inverno.

Embora apresentados os dados para o considerado “dia típico”, o período chuvoso, que equivale à primavera-verão em Palmas, apresenta tipos de tempo variados ao longo do dia, conforme indicado. Apesar de que os dias com manhãs estáveis e tardes/noites instáveis sejam considerados habituais ou típicos, há também situações de estabilidade ao longo de todo o dia (por exemplo, em episódios de veranicos) e de instabilidade ao longo de todo o dia (episódios conhecidos regionalmente como “invernadas”). No caso das invernadas, que podem ser consequência da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre o Tocantins, persistem condições atmosféricas propícias à chuva por uma sequência de dias ou até de semanas. Essas características se devem a um ritmo atmosférico mais oscilante no período chuvoso se comparado com o período seco.

Quadro 03 - Imagens termográficas das quatro fachadas durante a manhã (9 h) do dia 18 de julho de 2019

Data: 18 de julho de 2019 - Período da Manhã - Céu limpo, sem nuvens	
Fotografia	Imagens Térmicas



Organizado pelo primeiro autor, 2020.

Como é possível observar, o tipo de tempo apresenta forte influência na variação do ganho térmico das fachadas. Por um lado, em dias estáveis, a fachada oeste tende a apresentar as temperaturas mais elevadas do dia. Por outro lado, em dias de manhãs estáveis e tarde instáveis, devido à evaporação ao longo do dia, a fachada leste poderá apresentar as maiores temperaturas em 24 h. Por fim, quando há instabilidade durante todo o dia, as fachadas tenderão a apresentar temperaturas amenas e com menores variações entre si.

Quadro 04 - Imagens termográficas das quatro fachadas durante a tarde (15 h) do dia 18 de julho de 2019.

Data: 18 de julho de 2019 - Período da Tarde - Céu limpo, sem nuvens				
Fotografia	Imagens Térmicas			
	Leste		Oeste	



Organizado pelo primeiro autor, 2020.

Gráfico 02- Gráfico síntese das temperaturas máximas em °C representadas nas imagens termográficas das fachadas norte, sul, leste e oeste no 106 Manhattan Residence, nos dias 12/01/2019 (verão) e 18/07/2019 (inverno).



Organizado pelo primeiro autor, 2020.

Percebe-se então, com base nos resultados, que a simples utilização de médias, desconsiderando a oscilação “real” dos dados absolutos e a sua relação com as condições atmosféricas, oferece pouco em termos de avaliação dos resultados térmicos em edificações. No caso específico de Palmas, os efeitos térmicos em edifícios verticais dependem dessa complexidade, uma vez que as condições podem variar bastante em diferentes períodos do ano, considerando as orientações das fachadas e os tipos de tempo ao longo do dia.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferente do que muitos pensam, a fachada oeste não é sempre a pior fachada do ponto de vista térmico em Palmas, Tocantins. Foi possível verificar nesta pesquisa que o ganho térmico na fachada, que influencia no conforto térmico na edificação e no consumo de energia elétrica, pode sofrer variações conforme a época do ano e os tipos de tempo atmosférico.

Nota-se que, mesmo no solstício de verão, quando o sol está mais inclinado ao sul, a fachada voltada para essa orientação não apresenta um comportamento constante quanto ao ganho térmico, já que nessa época do ano os tipos de tempos são mais variáveis. Situações com instabilidade atmosférica e formação de nuvens no céu minimizam a carga térmica em determinados períodos do dia. Como normalmente no verão o tempo apresenta características mais estáveis pela manhã e mais instáveis pela tarde, há uma possibilidade de a fachada leste ser a mais prejudicada do ponto de vista térmico nessa época, com índices mais elevados que a fachada oeste.

Já na época do solstício de inverno, quando o sol está mais inclinado ao norte, e quando há predominância de tempo estável na região central do Brasil, com estiagem e poucas nuvens no céu, a fachada oeste se destaca nos valores alcançados em sua temperatura, juntamente com a fachada norte, que recebe radiação solar desde o nascer até o pôr do sol.

Deve-se lembrar, entretanto, que o material escolhido para a envoltória das fachadas da edificação pode influenciar e potencializar ainda mais o ganho térmico. Sendo assim, em Palmas e em cidades tropicais com climas semelhantes devem ser evitados os materiais com baixa inércia térmica, como o metal e o vidro, sem proteção ou tratamento térmico, já que podem tornar o interior da edificação com elevada temperatura.

O modelo de arquitetura hoje em evidência na cidade de Palmas e em muitas cidades brasileiras não condiz com a preocupação com o conforto térmico alinhado à eficiência energética. Edificações residenciais de múltiplos pavimentos em cidades com vazios urbanos expressivos, como é o caso de Palmas, indicam desequilíbrios muitas vezes relacionados à especulação e ao valor da terra urbana. A disponibilidade de espaço demonstra que o uso máximo do potencial construtivo dos terrenos, além de plantas com números elevados de apartamentos por pavimento não são justificáveis. Nesses casos, dificulta-se o melhor posicionamento das fachadas, a disposição mais flexível de cômodos e áreas comuns e a adoção de outras alternativas sustentáveis em benefício dos aspectos climáticos das edificações.

Espera-se que as informações contidas neste artigo sirvam de subsídio para estudos futuros no campo interdisciplinar, envolvendo elementos arquitetônicos, climáticos e ambientais. Nossas atuais circunstâncias têm exigido abordagens e reflexões a respeito das condições de vida em face da verticalização do espaço urbano em cidades cuja dimensão climática imponha rigores aos seus habitantes, a exemplo de Palmas, no Tocantins.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. ABNT, 2013.
- BENEVOLO, Leonardo. Introdução à arquitetura. Lisboa. Edições 70, 2014.
- CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental. 2 ed. Rio de Janeiro. Revan, 2009.
- DINIZ, Francisco de Assis; RAMOS, Andrea Malheiros; REBELLO, Expedito Ronald Gomes. Brazilian Climate Normals for 1981-2010. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 53, n.2, pp. 131-143, fev. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000200001>. Acesso em: 21 jun. 2020.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano-base 2016. 2017.
- FERNANDES, Júlia Teixeira. Código de obras e edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética. 92 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- GRUPO QUATRO. Memorial do projeto da capital do estado do Tocantins: Palmas/Plano Básico. Goiânia, 1989.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tocantins, Palmas, infográficos. Censo Demográfico, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama> Acesso em: 21 jun. 2020.
- MASCARÓ, Juan, MASCARÓ, Lúcia. Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios. Porto Alegre: SAGRA-DC LUZZATO, 1992.

RODRIGUES, Marcey Pereira da Silveira. A natureza da verticalização no processo de reprodução do espaço urbano em Palmas -TO. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, TO, 2016.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da; SOUZA, Lucas Barbosa e. A atuação dos ventos em Palmas, TO. In: GOMES, I. A. (org.) A Geografia na contemporaneidade. Ponta Grossa: Atena, 2018, pp.217-228.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico. Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas, 2012.

VELASQUES, Ana Beatriz. Palmas (1989) e sua condição moderna. 245f. Tese (Doutorado em Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.