ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR: ESTUDO DE CASO SOB A ÓTICA DO CONFORTO ADAPTATIVO

David Rueda Almario (1); Fabia Jannefer do Carmo Reis (2) Renan Cid Varela Leite (3)
(1) Engenheiro elétrico,9davinchi9@gmail.com
(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, fabiareis@usp.br
(3) Doutor, Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará

RESUMO
A simulação de desempenho é uma valiosa ferramenta para ajudar arquitetos a tomarem decisões de projeto para melhorar a performance energética de edificações, uma vez que como os edifícios se comportam afeta seu consumo energético final. O escopo deste estudo deve demonstrar o atual processo de análise de desempenho no software DesignBuilder considerando a abordagem adaptativa de conforto ambiental. Para isso, foi realizada a modelagem no aplicativo e a inserção de dados relacionados à localização, materialidade e ocupação de um projeto de habitação social existente na cidade de Ibitinga, localizada no estado de São Paulo, que faz parte do programa Casa Paulista do governo do estado. É importante destacar que a luz diurna e a orientação solar são fatores essenciais para o conforto térmico e visual em edifícios, especialmente em projetos de habitação social, onde as condições térmicas impactam na qualidade de vida de muitos usuários. O estudo parte da situação existente em Ibitinga e, em seguida, explora um cenário alternativo para verificar o impacto de uma mudança teoricamente direcionada na orientação solar no projeto. Como resultado dos ensaios houve mudanças no número de horas de conforto dos usuários, parâmetro escolhido para verificação, indicando uma melhoria no conforto térmico em algumas situações do projeto observado.

Palavras-chave: simulação energética, conforto ambiental, orientação solar, eficiência energética.
.

ABSTRACT
The performance simulation is a valuable tool to assist architects in making design decisions to improve energy performance of buildings, as the way buildings behave affect their final energy consumption. The aim of this study is to demonstrate the current performance analysis process in DesignBuilder software considering the adaptive approach to environmental comfort. For this purpose, a model of an existing social housing project located in the city of Ibitinga, which is part of the Casa Paulista program of the state government in the state of São Paulo, was created in the software. Data related to the building's location, materiality, and occupation were then inserted into the model for analysis. It is important to highlight that daylight and solar orientation are essential factors for thermal and visual comfort in buildings, especially in social housing projects, where thermal conditions impact the quality of life of many users. The study starts from the current situation in Ibitinga and then explores an alternative scenario to verify the impact of a theoretically directed change in solar orientation in the project. As result of the tests, there were changes in the number of hours of user comfort, a parameter chosen for verification, indicating an improvement in the thermal comfort of the observed project in some contexts.

Keywords: thermal comfort, solar orientation, energy simulation, energy efficiency

1. INTRODUÇÃO

Conforme o Relatório de Status Global para Edifícios e Construções de 2022 do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2022), o setor da construção civil consumiu 34% da energia global em 2021. A Agência Internacional de Energia (IEA, 2022) reforça que os edifícios e o setor da construção civil são responsáveis por cerca de um terço do consumo global de energia. Esses dados demonstram, por outro lado, um grande potencial de redução no consumo energético pelo setor.

A construção de edifícios mais sustentáveis e eficientes requer a consideração do conforto térmico e da eficiência energética como fundamentais. O conforto térmico é crucial para o bem-estar e produtividade dos ocupantes e, no caso de projetos mal elaborados no que diz respeito ao conforto térmico, pode resultar em altos custos de energia para condicionamento artificial e a insatisfação dos usuários.

O conforto térmico é afetado por fatores como temperatura, radiação solar e umidade. A luz natural influencia o ambiente construído e regula o tamanho dos espaços, o conforto visual e térmico (VAISI, KHARVARI, 2019). Para obter um aproveitamento otimizado da iluminação diurna e da radiação solar é importante considerá-los desde o início do projeto, e isso pode ser feito mediante simulações computacionais, que auxiliam o projetista a avaliar possíveis problemas e desenvolver alternativas.

A disponibilidade de luz solar varia globalmente e países tropicais como o Brasil têm uma vantagem nesse recurso. A luz solar é uma fonte natural benéfica e sustentável e a radiação solar afeta diretamente a carga térmica da edificação e, por sua vez, o uso de ar-condicionado e a dependência de luz elétrica. As normas que auxiliam na construção de edificações mais eficientes hoje são a NBR 15220 — Desempenho térmico de edifícios, que em sua parte 3 apresenta as diretrizes do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2005c) e NBR 15575 — Edifícios residenciais até cinco andares — Desempenho de edificações habitacionais (ABNT, 2008).

Considerando as diversas zonas climáticas brasileiras, é necessário também que as edificações tenham condições térmicas adequadas para acomodar atividades que requerem conforto, contribuam para o desempenho humano e a conservação de energia.

A simulação térmica em arquitetura é uma valiosa ferramenta, pois permite avaliar o desempenho térmico de um edifício antes de sua construção. Por meio de modelos computacionais, a simulação térmica permite aos projetistas prever como o edifício responderá a fatores climáticos como a radiação solar, a ventilação e a umidade, entre outros. Segundo Freire e Amorim (2011) é necessário que todo o processo de simulação seja integrado com a evolução do projeto de arquitetura. Essa integração só é de fato efetiva quando a avaliação do desempenho e a arquitetura coexistem nas diversas fases do processo projetual.

Com os dados extraídos da simulação, é possível obter informações mais precisas que auxiliam na tomada de decisões futuras no projeto. É importante testar as decisões relacionadas à atuação energética dos edifícios nas fases iniciais do planejamento do projeto, a fim de garantir um desempenho sustentável a longo prazo.(TRIANA et al., 2021)

A simulação aumenta a efetividade no desenvolvimento do projeto arquitetônico, ao promover um melhor entendimento das consequências de cada decisão projetual (AUGENBROE, 2002). Além de facilitar alterações e torná-las menos dispendiosas quando realizadas na fase inicial de projeto.

A variável considerada neste estudo será a Temperatura Operativa Neutra (OTn), um índice utilizado pela ASHRAE (American Society Of Heating, Refrigerating And A-C Engineers Fdn), baseado no conceito do modelo adaptativo. O modelo adaptativo de conforto permite, segundo Monteiro (2015), que os ocupantes de um edifício encontrem suas condições ideais de conforto mediante mudanças individuais.

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é a análise do desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar utilizando a técnica de simulação computacional. O principal objeto de análise é a temperatura operativa neutra (OTn), extraída diretamente da simulação em dois cenários: a condição existente e outro obtido a partir da mudança da orientação solar do projeto.

3. MÉTODO

O método adotado neste estudo consiste em:

1. Análise do contexto urbano e climático onde está inserido o objeto de estudo;
2. Desenvolvimento da modelagem computacional do edifício para análise de uma das situações existentes na cidade de Ibitinga, com norte de projeto orientado para o nordeste, no aplicativo

Designbuilder versão 6.1 durante as semanas típicas de verão (22/12 a 28/12) e inverno (21/06 a 27/06) a partir do arquivo climático IWEC para São Paulo (aeroporto) — SP utilizado;

3. Ajuste do modelo no aplicativo para a situação hipotética em duas configurações:
   3.1. com o norte de projeto orientado para o norte geográfico;
   3.2. com norte de projeto orientado para o norte geográfico e adição de proteção solar;
4. Análise dos dados de temperatura operativa extraídos das simulações computacionais, com base no modelo adaptativo ASHRAE 2004, para comparação do número de horas de conforto térmico do modelo base, com nova orientação solar e com nova orientação solar e proteção solar.

Para simplificação na análise de resultados foram utilizadas duas amostras semanais de temperaturas do dormitório 1, no solstício de inverno e no solstício de verão. A variação de temperatura operativa durante o dia foi comparada à temperatura externa da residência, e também com as temperaturas máximas e mínimas de conforto para aqueles períodos, conforme estabelecido pela ASHRAE (2004), exposta abaixo:

$$OTn = 17{,}8 + 0{,}32\ tmm \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
OTn é a temperatura operacional neutra [°C]
tmm é a Temperatura média mensal do ar externo [°C]

Para o cálculo da faixa de temperatura de conforto térmico, é considerada uma tolerância de ±2,5 °C no valor obtido, que representa a satisfação de 90% dos usuários segundo a norma.

3.1. Habitação Social

Para a definição do projeto de estudo foi considerada uma edificação unifamiliar de um programa de habitação de interesse social (HIS). Esta tipologia de edificação é representativa de um problema comum no Brasil, onde a prioridade é maximizar o número de unidades usando o mínimo de recursos, sem considerar adequadamente a qualidade de vida dos futuros moradores. Muitas destas casas, por exemplo, são construídas em áreas periféricas, sem considerar a relação com o entorno, por conta da redução no investimento no terreno.

O projeto utilizado faz parte do programa Casa Paulista, que integra a Secretaria de Estado da Habitação do estado de São Paulo. Após uma breve pesquisa na documentação do programa é possível observar que, em regiões diferentes, é utilizado o mesmo projeto arquitetônico, a exemplo da figura 1.



Figura 1 - Vista geral das habitações na cidade de Bauru (à esquerda) e Ibitinga (à direita). (CDHU, 2022)



Figura 2 - Vista de satélite do conjunto habitacional de Ibitinga. (Google, 2022)

As casas têm dois dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço e área útil de 47,87 m², com piso cerâmico, azulejo no banheiro e cozinha e parcial na área de serviço e cobertura em estrutura metálica e sistema de geração de energia solar fotovoltaica.

O uso de um projeto arquitetônico único para regiões diversas é inadequado para atender aos requisitos de condicionamento ambiental, uma vez que cada local apresenta condições climáticas distintas, com requisitos específicos.

Conforme a Secretaria de Habitação, uma unidade habitacional tem uma média de consumo de 140 kWh de energia por mês. A instalação de painéis solares pode ajudar a gerar 80 kWh de energia por mês, enquanto o uso de lâmpadas LED pode reduzir o consumo total em 10 kWh. Isso significa que a casa CDHU pode ajudar a diminuir o valor que o usuário final paga na conta de energia.

O programa visa reduzir o uso de energia, mas não considera o conforto térmico ou a eficiência da construção por meio de estratégias passivas. É importante valorizar a qualidade do projeto para atingir esses objetivos.

3.2. Simulação do modelo

Primeiramente, foi feita uma modelagem da geometria diretamente no software a partir de uma base de arquivo DXF, desenvolvida pela autora com base em um projeto real, tipologia TI24A térrea do CDHU. Nesse arquivo, dentro do Designbuilder foram inseridas informações de materialidade, tais como: alvenaria externa e interna em tijolo furado com superfície branca — absortância solar = 0,2 e telhado com telhas de barro com acabamento natural — absortância solar = 0,7.

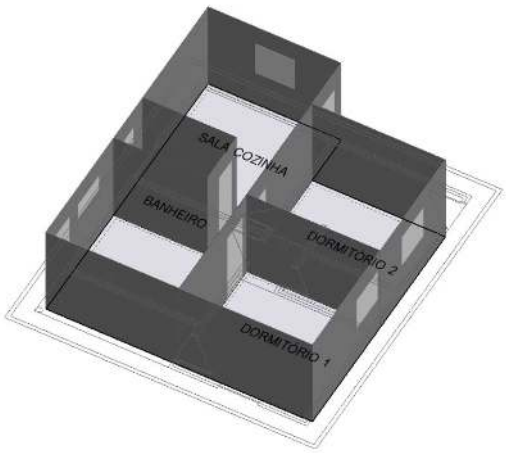


Figura 3 - Projeto modelado no Designbuilder. (Autora)

Para uma análise mais fiel à realidade, também foram inseridos dados como possíveis rotinas e número de usuários, pautados em estudos anteriores. Segundo a NBR 15575, é recomendado realizar a avaliação de todos os ambientes do projeto, no entanto, foi considerado apenas o dormitório 1. A escolha desse ambiente foi pautada em dados levantados por Sacht e Rossignolo (2009), por ser um dos ambientes de maior permanência.

A princípio foi considerada a orientação de azimute 135º. Com as duas fachadas do dormitório 1 voltadas para o sul. Com uma rotina semanal do dormitório no período das 20h até às 07h e um segundo período menor de 12h às 14h e para os fins de semana das 21h até as 08h e um segundo período de 14h às 16h.

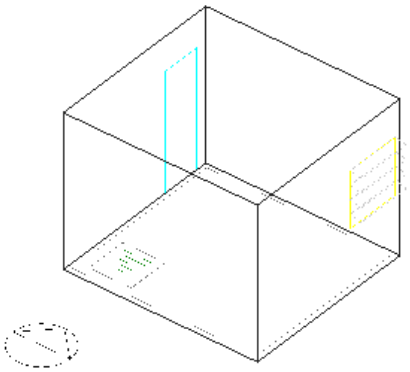


Figura 4 - Representação do brise no modelo

Também levou-se em conta na simulação que durante o período de ocupação as janelas e portas internas estariam abertas, com uma permeabilidade de 100% para as portas e de 50% para as janelas.

Utilizando o mesmo modelo e mesma rotina, porém com uma orientação solar diferente (azimute 0º)com a fachada direita do dormitório para o leste e a fachada inferior voltada para o sul. Foi realizada uma nova simulação para a comparação e análise de resultados. Essa simulação foi realizada com a nova orientação solar e com a adição de 4 brises horizontais metálicos, com largura de 1 metro, profundidade de 50 cm e espessura desprezível, na janela do dormitório.

4. RESULTADOS

Uma vez que o software fornece os dados da simulação, são filtrados os valores de temperatura operativa das duas semanas analisadas, equivalente há 336 horas, e os valores de temperatura externa dos meses de junho e dezembro, respectivamente 720 horas e 744 horas, para cálculo de temperatura média mensal.

Obtivemos então:

Tabela 1 - Dados de faixa de temperatura de conforto térmico

	INVERNO (JUNHO)	VERÃO (DEZEMBRO)
tmm (temperatura média mensal)	16,25 °C	21,83 °C
Otn (temperatura neutra operativa)	23 °C	24,7 °C
Faixa de conforto (±2,5 °C)	25,5 °C / 20,5 °C	27,2 °C / 22,2 °C

Com estes dados calcula-se então um resultado para a semana típica no inverno de 50 horas de conforto térmico das 168 horas analisadas. Aproximadamente 30% de horas em conforto conforme o gráfico abaixo.

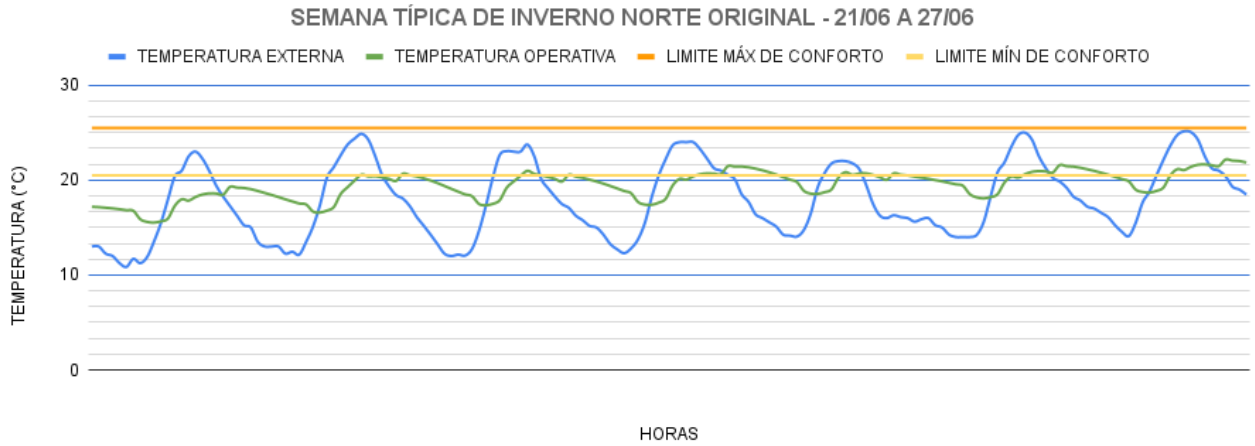


Figura 5 - Temperatura operativa na semana do solstício de inverno comparado com a temperatura externa da casa (Autora)

Para a semana de amostragem no verão foi obtido o número de 98 horas de conforto, de um total de 168 horas analisadas na semana. O valor corresponde a 58% de horas em conforto térmico, aproximadamente, como demonstra o gráfico abaixo.

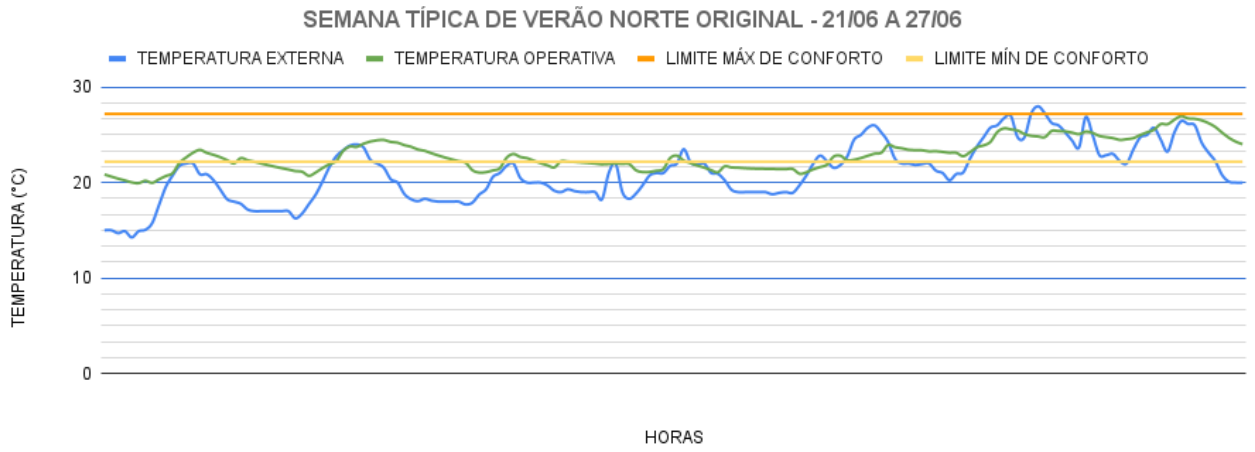


Figura 6 - Temperatura operativa na semana do solstício de verão comparado com a temperatura externa da casa (Autora)

Foi então adotada uma nova orientação solar para o modelo estudado. Esse modelo foi rotacionado em 45.º, resultando numa implantação dos dormitórios a leste. Anteriormente os dormitórios estavam voltados para o sudeste. Assim, podemos observar um aumento do número de horas de conforto térmico no inverno de 50 para 77 horas, configurando uma melhoria de quase 34% no total de horas em conforto térmico.

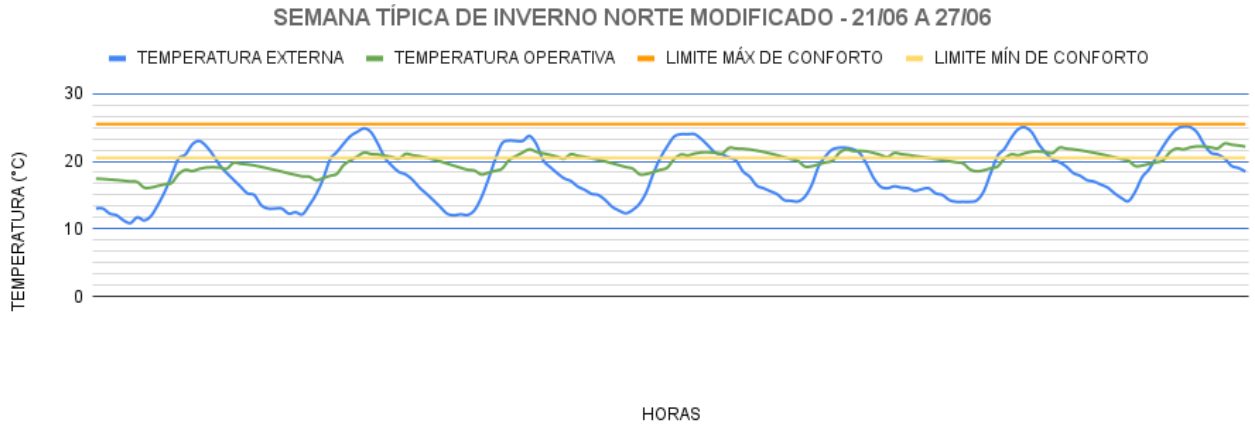


Figura 7 - Temperatura operativa na semana do solstício de inverno comparada com a temperatura externa da casa (Autora)

Já no período de verão o número de horas de conforto térmico subiu de 98 para 101, ou seja, uma melhoria de 3% em relação à orientação solar original. Como pode ser observado abaixo:

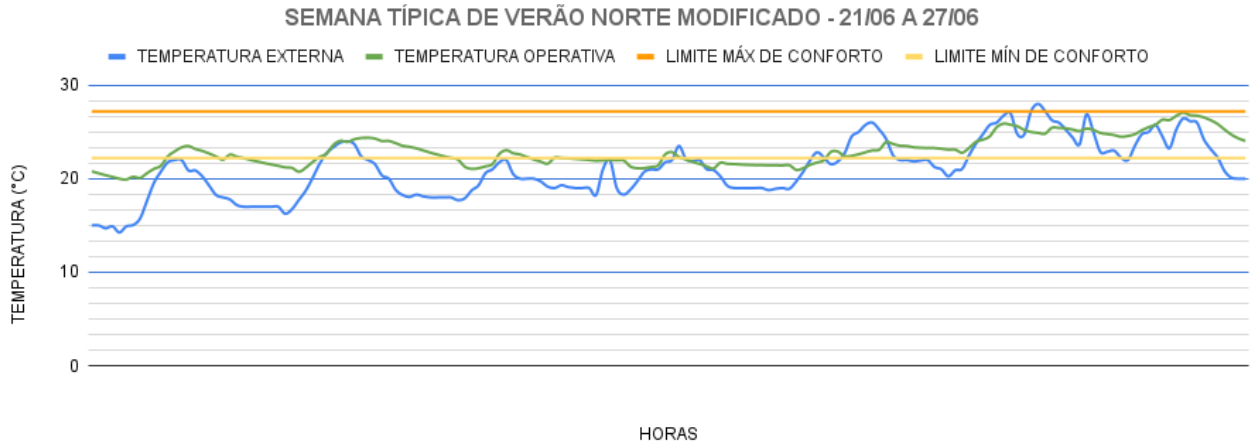


Figura 8 - Temperatura operativa na semana do solstício de verão comparada com a temperatura externa da casa.(Autora)

Foi realizada uma terceira simulação com a adição de uma proteção solar tipo brise horizontal metálico, com 4 peças de 50 cm de profundidade cada, com eficiência total durante o período mais crítico do dia. Apesar

da nova orientação solar, no entanto, os resultados não foram tão satisfatórios como aqueles obtidos com a nova orientação testada.

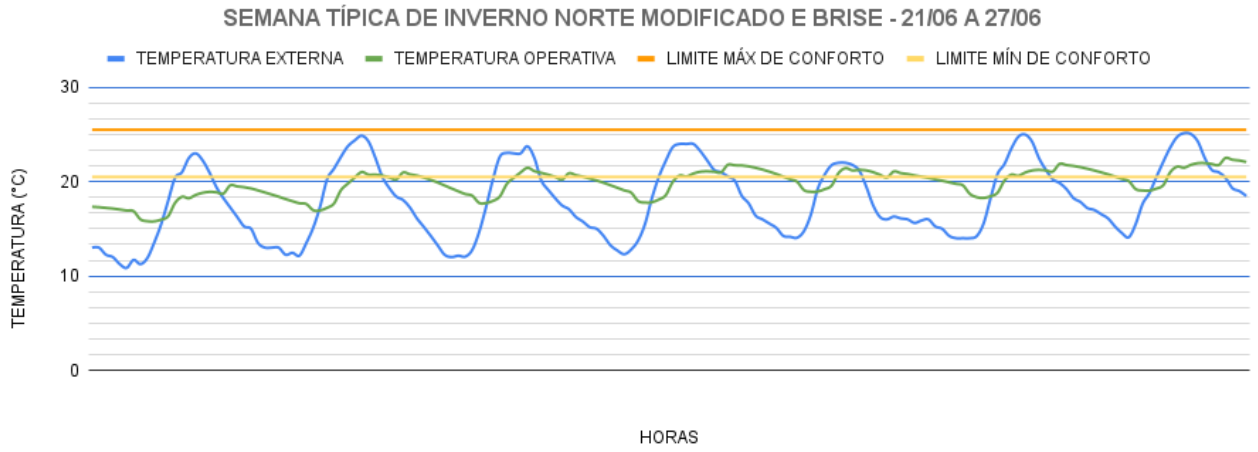


Figura 9 - Dados de temperatura operativa na semana do solstício de inverno com proteção solar em comparação com a temperatura externa da casa (Autora)

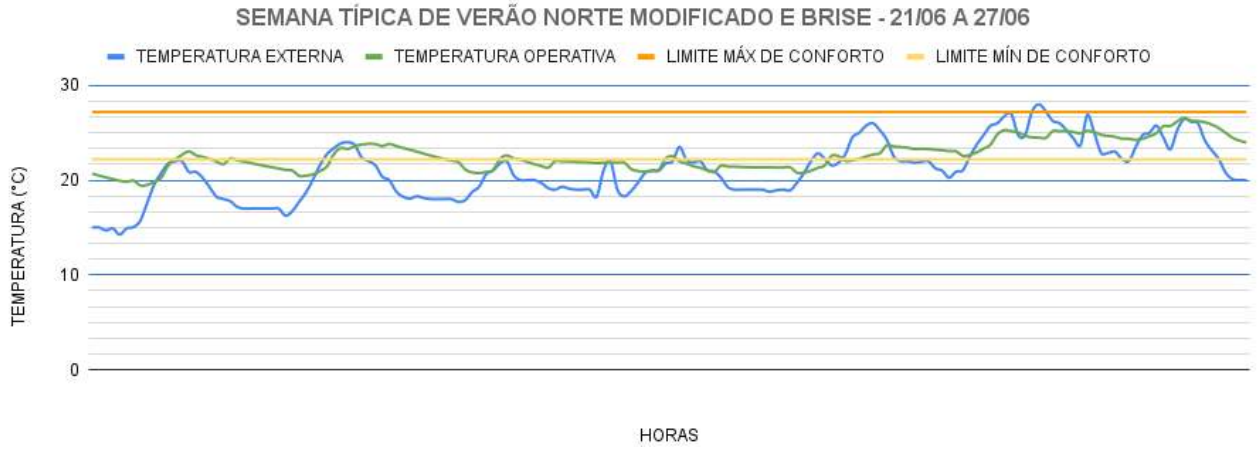


Figura 10 - Dados de temperatura operativa na semana do solstício de verão com proteção solar em comparação com a temperatura externa da casa (Autora)

Observando os resultados obtidos seguem os gráficos comparativos da semana típica de inverno:

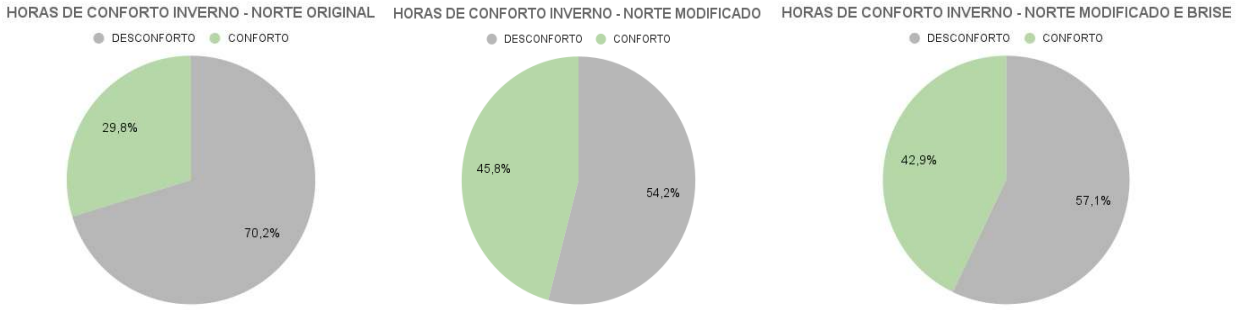


Figura 11 - Gráficos de horas de conforto em cada situação no inverno, com norte original, norte modificado e norte modificado com brise (Autora)

Observando os resultados obtidos, seguem os gráficos comparativos da semana típica de verão:

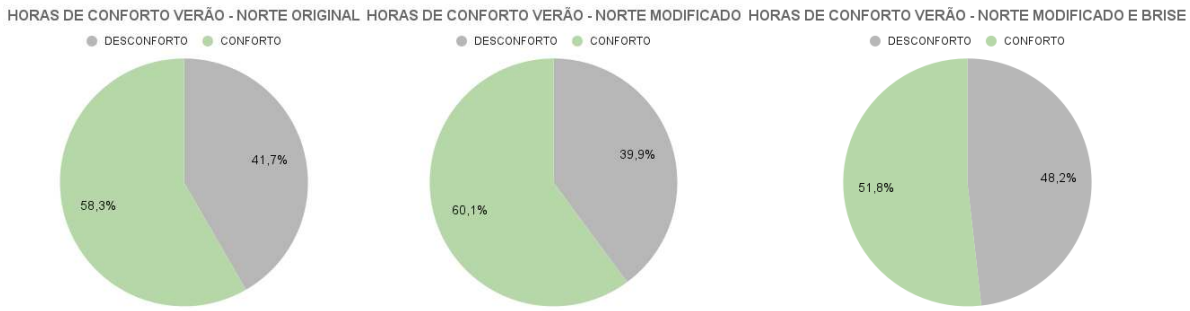


Figura 12 - Gráficos de horas de conforto em cada situação no verão, com norte original, norte modificado e norte modificado com brise (Autora)

Em resumo, os resultados da simulação mostraram que:

1. A rotação do dormitório para o leste resultou em um aumento de 34% no desempenho térmico durante o inverno, trazendo uma melhoria considerável para os usuários.
2. No verão, apenas a mudança na rotação da implantação resultou em uma melhoria modesta de 3%, equivalente a duas horas extras de conforto durante a semana.
3. A última simulação revelou que a rotação do dormitório para o leste foi mais eficiente do que a combinação de rotação e proteção solar, destacando a importância da luz diurna para a manutenção do conforto térmico e visual na edificação.

5. CONCLUSÕES

O uso de ferramentas de simulação combinado com o conhecimento teórico do projetista é muito importante para o desenvolvimento de projetos de habitação social personalizados e confortáveis para os usuários. Além da economia de energia que pode ser obtida com este design otimizado, ele também impacta diretamente no conforto térmico de usuários atendidos por programas de habitação social.

Embora haja preocupação com a economia energética, com a instalação de placas solares e o uso de equipamentos eficientes, pequenas mudanças no projeto, como uma adequada implantação, podem trazer melhorias significativas para o usuário, como visto nos resultados. Aspectos como o aproveitamento da luz diurna, também não devem ser ignorados, podendo impactar positivamente na iluminação da residência e no conforto visual.

Com apenas uma simples modificação na implantação da edificação, foi possível observar uma melhoria de quase 14% nas horas de conforto dos usuários nas duas semanas. Isso sugere que um tratamento cuidadoso dos projetos, aliado ao uso de simulações computacionais, é altamente benéfico para investidas semelhantes. Promover um ambiente confortável para viver, torna as habitações mais acessíveis e sustentáveis ao longo do tempo. Além disso, essa medida pode reduzir custos e trazer economia durante a vida útil da edificação, uma vez que requer menos recursos para ser implementada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT, 2005.

ABNT NBR 15575. Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho:

_____ Parte 1: Requisitos gerais. ABNT, 2008.

_____ Parte 4: Fachadas e paredes internas. ABNT, 2008.

AUGENBROE, G. Trends in building simulation. Building and Environment, 37, n. 8, p. 891-902, 2002/08/01/ 2002.

AUGENBROE, G.; HENSEN, J. Simulation for better building design. Building and Environment, 39, n. 8, p. 875-877, 2004/08/01/ 2004.

ASHRAE STANDARD. ASHRAE 55: thermal environmental conditions for human occupancy, 2004.

BAZJANAC, V. Building energy performance simulation as part of interoperable software environments. Building and Environment, 39, n. 8, p. 879-883, 2004/08/01/ 2004.

EL-REFAIE, M. F. Performance analysis of external shading devices. Building and Environment, 22, n. 4, p. 269-284, 1987/01/01/ 1987.

FREIRE, M. R.; AMORIM, A. L. D. A abordagem BIM como contribuição para a eficiência energética no ambiente construído. V Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil (TIC 2011), Salvador, 2011.

Governo de SP entrega casas e libera recursos para novas moradias na região Central do Estado. Portal CDHU. Disponível em: http://cdhu.sp.gov.br/web/guest/-/governo-de-sp-entrega-casas-e-libera-recursos-para-novasmoradias-na-regiao-central-do-estado?redirect=%2Fweb%2Fguest%2Fprogramas-habitacionais%2Fapresentacao. Acesso em: 09 de agosto de 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Buildings. Disponível em: https://www.iea.org/reports/buildings. Acesso em: 05 abr. 2023.

_____. Buildings: A source of enormous untapped efficiency potential. 2022. Disponível em: https://www.iea.org/topics/buildings

LAMBERTS, R., DUTRA, L. e PEREIRA, F. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª Edição revisada. São Paulo: Prolivros, 2014.

LAMBERTS, R. GHISI, E., PEREIRA, C., e BATISTA , J. Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia (vol 2), 2010.

LAMBERTS, R. GHISI,OLIVEIRA BATISTA, J. DUARTE, V. Desempenho Térmico de Edificações, 2016.

LARA GUILLEN Mª B. Evaluación del bienestar térmico a través de la temperatura operativa. 2011.

MONTEIRO, Leonardo M. ; BITTENCOURT, Leonardo; YANNAS, Simos. Edifício Ambiental. São Paulo: companhia das letras, 2015. Cap 01

NBR 15575 – "Edificações habitacionais – Desempenho". 2013.

SACHT H. M. e ROSSIGNOLO J.A. Habitações térreas e multipavimentos de interesse social: avaliação de desempenho térmico para tipologias com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção 1(4):2. 2009.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Sustainable energy performance in Brazilian social housing: A proposal for a Sustainability Index in the energy life cycle considering climate change. Energy and Buildings, 242, p. 110845, 2021.

UNEP. Global Status Report for Buildings and Construction. 2021. Disponível em: https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction

VAISI, S.; KHARVARI, F. Evaluation of Daylight regulations in buildings using daylight factor analysis method by radiance. Energy for Sustainable Development, v. 49, p. 100-108, 2019.

WESTPHAL F. S., RUTTKA, F. O e Pereira. A performance-based design validation study on EnergyPlus for daylighting analysis. 2020