

Análise do desempenho termoenergético de diferentes tipologias de vidro em Habitação de Interesse Social Localizada em região de clima tropical

Analysis of the thermoenergetic performance of different types of glazing in a tropical climate region

¹Elaise Gabriel, ²Gabriela Meller, ³Natalia da Silva Faccio, ⁴Renata Mansuelo Alves Domingos

¹Doutoranda em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria (elaisegabriel@gmail.com)

² Doutoranda em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria (gabrielameller0@gmail.com)

³Engenheira Civil pela Universidade do Estado de Mato Grosso (natalia.faccio@hotmail.com)

⁴Doutoranda em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina (mansuelo.alves@gmail.com)

RESUMO: O edifício, como mecanismo de controle das variáveis climáticas, deve proporcionar eficiência energética e conforto ao usuário. Os vidros são os maiores transmissores de calor para o interior da edificação, portanto, a escolha da tipologia utilizada deve ser criteriosa, levando em conta o clima ao qual será inserido. Este artigo propôs analisar a influência de diferentes tipologias de vidro no consumo de energia elétrica, nos ganhos internos de calor e no conforto térmico interno de uma habitação de interesse social (HIS) na cidade de Cuiabá – Mato Grosso. A metodologia dividiu-se em três etapas, sendo a primeira a definição da edificação de referência, seguida da escolha das tipologias de vidros e, por fim, a simulação computacional térmica do edifício utilizando o programa DesignBuilder. A edificação de referência adotada para a pesquisa foi uma HIS de 56,50m², e foram avaliados os vidros simples, duplo, triplo e vidro termocrômico, todos com espessura de 6mm. Através das simulações energéticas, constatou-se que o vidro termocrômico apresentou maior eficiência quanto ao consumo de energia, seguido do vidro triplo com alto rendimento no quesito diminuição de incidência solar no interior do ambiente. Dessa forma, constatou-se que os vidros termocrômico e triplo são os que apresentam melhores desempenhos.

Palavras Chave: Vidro duplo. Vidro termocrômico. Vidro triplo. Consumo de energia. Ganhos internos de calor. Conforto térmico.

ABSTRACT: The building has as primary function to control climatic variables and should provide energy efficiency and thermal comfort. The glazing are the largest heat transmitters in and outside of the building, so the choice of typology used must be judicious, considering the climate in which it will be located. The aim of this work was to analyze the influence of different glazing typologies in the consumption of electric energy, in the internal gains of heat and internal thermal comfort of a social interest housing in the city of Cuiabá – State of Mato Grosso. The methodology was divided into three steps, the first was the definition of a reference building, the second was the choice of the glazing typologies and the last step was the building thermal simulation using the DesignBuilder software. The research reference building was a Social Housing of 56.50m² of area. The glazing typologies tested are the single, double, triple and thermochromic glazing, all with a thickness of 6mm. Through the energy simulations, it was verified that the thermochromic glazing presented greater efficiency regarding the energy consumption, followed by triple glazing with high performance in the matter of decreasing solar incidence in the interior. In this way, it was verified that the thermochromic and triple glazing are the ones that present better performances.

Keywords: Double glazing. Thermochromic glazing. Triple glazing. Energy consumption. Internal gains. Thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia para manutenção de edifícios representa uma parcela significativa da energia geral consumida atualmente. Na construção civil para que um edifício seja sustentável as soluções que devem ser buscadas precisam ter baixo impacto ambiental

desde a fase de projeto, na especificação de materiais, na construção, até a manutenção do edifício (PEREIRA, 2016).

Em edificações habitacionais, os sistemas de iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água são os maiores consumidores. Nesse contexto é importante que os projetos de habitação sejam realizados a partir de estratégias de economia de energia, como técnicas passivas que utilizam os elementos construtivos como filtro, impedindo o fluxo de calor.

Huang e Niu (2015) enfatizam que o balanço correto entre os custos em energia e o fornecimento e manutenção do conforto de uma edificação requer um exercício em conjunto entre projetistas, proprietários e usuários. Estratégias na arquitetura e escolha de materiais devem ser pensadas para maximizar o conforto na edificação gerando o menor consumo energético possível.

Uma edificação possui duas principais fontes de ganho de calor: internos com o uso de iluminação e equipamentos, por meio da ocupação e as fontes externas, que são as trocas de calor pela envoltória. Os ganhos térmicos externos da edificação advêm, em sua maioria, da radiação solar que incide na envoltória. Esta deve atuar como um filtro moderador – de luz, calor, ar e umidade – entre o espaço interno e o meio externo, tornando-a um fator determinante na manutenção da qualidade ambiental interna e na maximização da eficiência energética da edificação, independente das variações nas condições externas. Assim, a envoltória da edificação deve atuar como um filtro entre as condições internas e externas, servindo de controle para a entrada de ar, calor, frio, luz, ruídos, entre outros.

Portanto, ao se tratar da transmissão de calor através da envoltória, é de grande importância a preocupação com vidros, pois nestes elementos as trocas térmicas são mais diretas e intensas devido à sua transparência à radiação solar e elevada transmitância térmica. Devido à sua transparência à radiação de ondas curtas, mas opacidade à radiação de ondas longas oriundas das superfícies aquecidas no interior do ambiente, o vidro pode provocar o efeito estufa no ambiente interno, já que a transmissão de calor por condução é mais lenta do que o ingresso da radiação solar.

O vidro possui a vantagem de oferecer a integração entre o exterior e o interior. No entanto, proporcionar um uso adequado para que o usuário usufrua deste material com conforto ambiental e sem gastos excessivos, oriundos do alto consumo energético, é uma missão para os profissionais da construção civil. Portanto, é necessário compreender corretamente as vantagens e desvantagens que esse material oferece visando que o vidro seja visto por todos como uma alternativa eficiente em todos os sentidos.

Cor e transmitância são características essenciais a serem analisadas quando se deseja que o vidro proporcione um nível satisfatório de conforto ao usuário e também seja eficiente energeticamente. Diante disso, o desenvolvimento e a pesquisa na área de novos materiais têm proporcionado opções de tipos de sistemas envidraçados que contribuem para o controle da perda ou de ganho do calor e luz.

Portanto, ressalta-se a importância da adoção adequada de tipologias de fechamentos transparentes nas edificações, cujos elementos devem ser escolhidos de acordo com o clima para a qual a edificação é inserida e de acordo com a finalidade de uso.

Atualmente no Brasil, a arquitetura corporativa tem empregado fachadas com grande percentual de vidro, tanto pela possibilidade de vista para o exterior quanto pelas novas tecnologias de vidros. Huang, Niu e Chung (2014) destacam que, ao mesmo tempo em que a visual para o ambiente externo é altamente desejável pelos usuários, a utilização de grandes planos de vidro pode gerar um aumento significativo na carga térmica da edificação, causando desconforto, maiores gastos com condicionamento de ar e, conseqüente, aumento no consumo energético.

O desempenho térmico das edificações está diretamente relacionado com o conforto do usuário. Ele depende de fatores como orientação, implantação, materiais e componentes construtivos (CASTRO, 2006). A má execução de um projeto habitacional pode promover um acúmulo de energia térmica no interior da edificação, causando desconforto para o usuário e aumento do consumo energético.

As janelas são responsáveis por permitir a entrada da radiação solar e, conseqüentemente, de grande parcela da carga térmica no interior das edificações. Portanto, na escolha do tipo de vidro a ser utilizado deve-se conhecer as normas técnicas, além dos conhecimentos a respeito do comportamento do material diante da radiação solar, a fim de proporcionar conforto térmico e visual aos usuários.

Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar a influência de diferentes tipologias de vidros no consumo de energia elétrica, nos ganhos internos de calor e no conforto interno para uma Habitação de Interesse Social (HIS) inserida em região de clima tropical, na cidade de Cuiabá – Mato Grosso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desse trabalho foi dividida em 3 etapas principais. A primeira etapa consistiu na determinação da edificação de referência. Na segunda etapa foram determinadas as tipologias dos vidros para serem analisados. Por fim, na última etapa ocorreram as simulações por meio do programa DesignBuilder versão 6.1.0.

2.1 Determinação da edificação de referência

Para este trabalho foi considerada uma HIS com área de 56,50 m², contendo dois quartos com 10,65 m² cada, sala e cozinha conjugadas com 22,40 m² e banheiro com 4,05 m², conforme projeto arquitetônico apresentado nas Figuras 1 e 2 (medidas em metros).

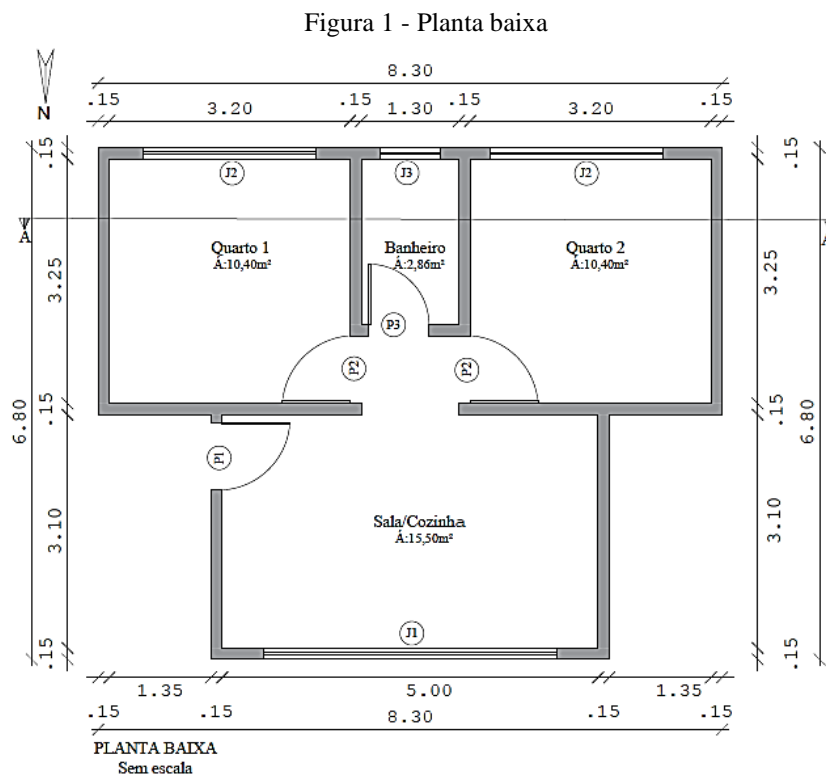


Figura 1 - Corte esquemático

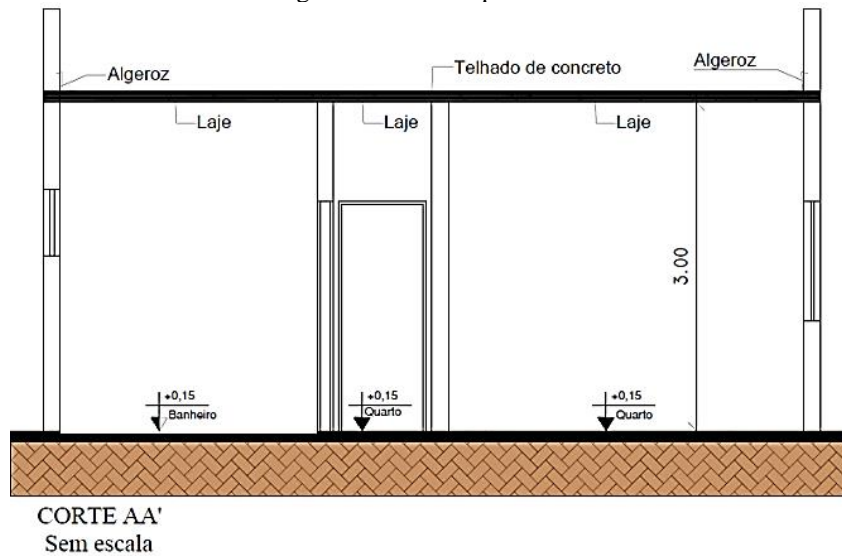
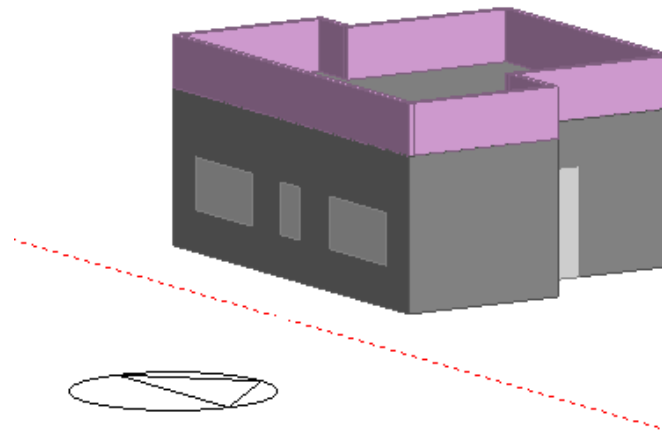


Figura 2 - Modelo de edificação de referência



As aberturas são voltadas para leste e oeste considerando o pior caso de insolação. As características físicas da residência são compostas de paredes simples de tijolo furado com transmitância térmica de $3,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, laje impermeabilizada com transmitância térmica de $1,69 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, determinadas de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005). As tipologias utilizadas para as janelas de vidro estão descritas no subitem 2.2.

2.2 Determinação das tipologias de vidros

De forma a analisar a influência das características de vidros no consumo de energia e sua influência nas variáveis de temperaturas internas da edificação, foram analisadas quatro tipologias de vidros para todas as aberturas da habitação, as características das tipologias são descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físicas das tipologias de vidros

Vidros	Espessura (mm)	U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	Fator Solar (FS)	Transmissão de luz
Vidro simples	6	5,778	0,819	0,881
Vidro duplo	6	3,094	0,700	0,781
Vidro triplo	6	2,132	0,609	0,696
Vidro termocrômico	6	2,130	0,569	0,578

Os vidros foram escolhidos de forma a abranger suas diversas tipologias comerciais, com o intuito de difundir estudos com as diferentes características físicas dos materiais transparentes.

2.3 Parâmetros para simulações computacionais

Os parâmetros de simulação incluem, além das características construtivas da edificação, o hábito de ocupação de cada zona térmica (cômodo), sendo variáveis em função do uso dos sistemas de iluminação artificial, condicionamento de ar e a densidade de ocupação de pessoas.

Para a realização das simulações deve-se considerar o local no qual a edificação será inserida, para isso, utilizou-se o arquivo climático da cidade de Cuiabá – MT. Esse arquivo possui informações a respeito do clima local, como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade dos ventos, radiação solar, entre outros. O arquivo climático (.epw – EnergyPlus Weather data) já está inserido no banco de dados do programa DesignBuilder, que conta com mais de 2000 arquivos climáticos de diversas cidades do mundo. A cidade de Cuiabá está inserida em região de clima tropical, com temperatura do ar variando ao longo do ano entre 18 °C a 35 °C. Apresenta temperatura média anual de 26,1 °C e 1337 mm de pluviosidade média anual, tendo julho como o mês mais seco e janeiro o mais chuvoso.

Os hábitos de ocupação dos ambientes de permanência prolongada foram definidos de acordo com o Relatório Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INSTITUTO..., 2012) ou RTQ-R. Assim, para as zonas correspondentes aos dormitórios, fixou-se a ocupação das 21h às 7h, com funcionamento de ar condicionado durante esse período e iluminação das 21h às 22h e às 7h. Para cozinha/sala de estar conjugada, utilizou-se a ocupação de 14h às 21h, com iluminação ligada das 17h às 21h.

As taxas de metabolismo foram determinadas de acordo com a atividade desenvolvida em cada zona térmica. Assim, para os quartos foi adotada a atividade de dormindo/descansando com 45 W de calor emitido. Para a cozinha/sala de estar foi adotada a atividade de sentado/assistindo com taxa metabólica de 60 W.

A densidade de potência instalada de iluminação dos dormitórios foi fixada em 5 W/m² e para sala de 6 W/m² (INSTITUTO..., 2012). As simulações computacionais foram realizadas de forma a quantificar o consumo de energia elétrica proveniente dos sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar, os ganhos de calor interno advindos de sistemas de iluminação artificial e refrigeração e por meio dos fechamentos transparentes e, as temperaturas do ar, operativa e radiante.

3. RESULTADOS

Neste estudo foram verificados os parâmetros quanto ao consumo energético, ganhos internos de calor e temperaturas internas para uma HIS situada na Zona Bioclimática Brasileira 7, na qual está inserida a cidade de Cuiabá/MT.

3.1 Consumo energético

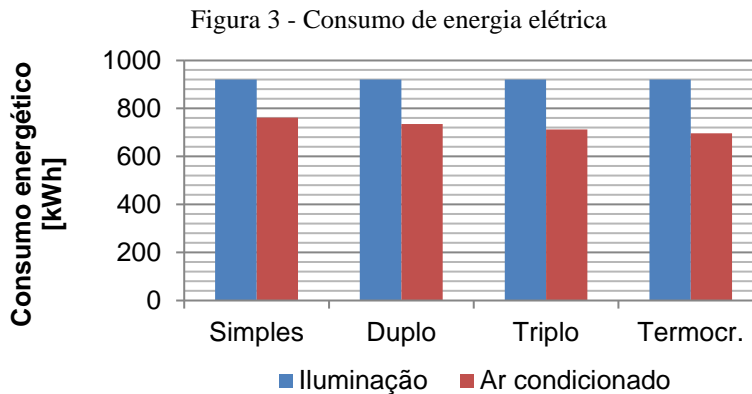
As janelas representam um papel importante no que diz respeito às perdas e ganhos de energias de edifícios, tanto para climas quentes ou frio. Assim, transmissão térmica é uma propriedade indispensável do envidraçamento em edifícios de baixa energia (residenciais) (MANZ; BRUNNER; WULLSCHLEGER, 2006).

A Figura 4 apresenta o consumo de energia elétrica (kWh/ano) da edificação para os vidros pesquisados. É observado que o consumo energético de iluminação permaneceu constante (920,87 kWh) em virtude de que não foram inseridos sensores de medição quanto a

iluminação natural, fazendo com que não haja o quantitativo do consumo entre iluminação natural e artificial.

Ao se analisar o consumo de ar condicionado, os valores foram de 762,51 kWh para vidro simples, 734,84 kWh para o vidro duplo, 712,29 kWh para o vidro triplo e 696,96 kWh para o vidro termocrômico, constatando a eficiência do vidro termocrômico quanto ao consumo de energia. Contudo, destaca-se também, que o vidro triplo também exibe alto rendimento quanto à diminuição da incidência solar no interior do ambiente.

Ainda, o vidro duplo promoveu uma melhora de 3,63% no consumo do ar condicionado, o vidro triplo apresentou melhora de 6,59% e o termocrômico 8,60%.



3.2 Ganhos internos de calor

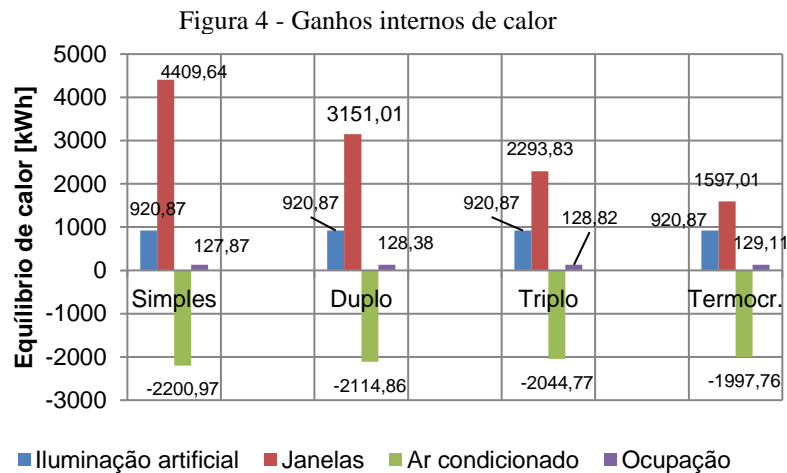
Os pontos de ganhos e perdas internas de calor são características importantes a serem analisadas em uma edificação pois com esta análise é possível observar, de forma quantitativa, quais foram os valores de ganho solar pelos diversos elementos, podendo-se intervir dos pontos críticos.

A Figura 5 exibe os ganhos e perdas de calor provindos da iluminação artificial, janelas, ar condicionado e ocupação. Observa-se que para todas as situações, a maior fonte de calor adveio respectivamente das janelas, iluminação artificial e ocupação. Já a perda de calor ocorreu com o acionamento dos ares condicionados.

Denota-se que a tipologia de vidro escolhido interferiu diretamente no ganho de calor da edificação, no qual o vidro simples de 6 mm apresentou 63,78% mais calor se comparado ao vidro termocrômico. O vidro duplo apresentou melhora de 28,54% e o vidro triplo apresentou melhora de 47,98% se comparados ao vidro simples.

Houve perda de calor de -2201 kWh para o vidro simples, -2115 kWh para o vidro duplo, -2045 kWh para o vidro triplo e -1998 kWh para o vidro termocrômico. Verifica-se que quanto menor o valor da perda de calor, mais econômico foi o sistema, o qual é justificado pelo fato do aumento da resistência térmica (ABNT, 2005; MANZ; BRUNNER; WULLSCHLEGER, 2006; FANG; HYDE; HEWITT, 2010).

Assim, as janelas compostas por vidro duplo, triplo e termocrômico apresentaram melhoras de 3,91%, 7,09% e 9,23%, respectivamente. Observa-se que a diminuição do consumo não foi proporcional a diminuição da transmitância térmica.



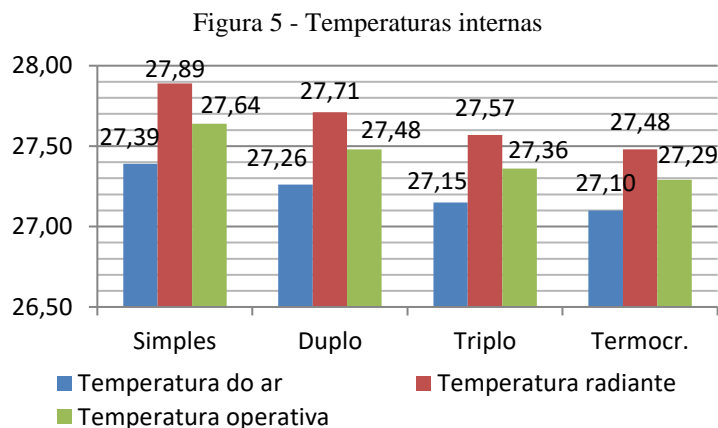
3.3 Temperaturas média internas

Um importante fator a ser analisado na edificação é a temperatura radiante, temperatura do ar e temperatura operativa. A temperatura radiante está vinculada a temperatura na superfície dos elementos no local envolvente. A temperatura do ar e a temperatura operativa corroboram nas análises para saber se os usuários estarão confortáveis termicamente, a qual pode ser realizada a partir da análise da temperatura operativa das edificações. A temperatura operativa é definida como a temperatura uniforme de um ambiente hipotético radiantemente negro, em que um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação, juntamente com a convecção, como em um real (ISO, 1988). Após determinada a temperatura operativa, compara-se a mesma com a temperatura de neutralidade, caso a diferença de temperatura for demasiada, soluções projetuais devem ser propostas.

As temperaturas do ar, temperaturas radiantes e operativas são apresentadas na Figura 6. É possível observar que a temperatura do ar diminuiu conforme aumentou-se o número de camadas de vidro. Contudo, a diferença de temperatura entre o vidro triplo e o termocrômico foi irrisória ($-0,07^{\circ}\text{C}$), tem-se a hipótese de que isso ocorreu em virtude de os valores de transmitância serem praticamente iguais.

Denota-se que há uma diferença significativa de temperatura radiante do vidro simples em relação aos demais sistemas. A maior diferença ocorreu em relação ao vidro termocrômico, apresentando uma melhora de 1,47%. Quando analisados em relação ao vidro duplo e triplo, as melhoras foram de 0,65% e 1,15%.

Verifica-se que não houve diferenças significativas quanto à temperatura operativa, a qual ficou entre $27,64^{\circ}\text{C}$ e $27,29^{\circ}\text{C}$, apresentando diferença de $0,35^{\circ}\text{C}$ entre o sistema de vidro simples e o termocrômico.



Destaca-se que desempenho de edificações e conforto dos usuários não são sinônimos, uma vez que uma edificação com adequado desempenho pode não ser confortável ao usuário (subjetivamente), porém, neste estudo buscou-se investigar qual o modelo que apresentaria o melhor desempenho termoenergético e, conjuntamente, analisaram-se as diversas tipologias de vidros quanto ao conforto térmico para ser constatado qual o modelo mais adequado para ambas situações.

Assim, ao ser averiguado qual o melhor tipo de vidro, constatou-se que o vidro triplo e o termocrômico apresentaram os melhores desempenhos, com resultados praticamente similares. Nesse caso, deve ser analisado quanto ao propósito do uso da edificação, uma vez que o vidro termocrômico contribui com a privacidade do ambiente, ao escurecer quando recebe incidência solar direta. Entretanto, esse tipo de vidro pode elevar consideravelmente o custo da edificação, portanto, uma análise profunda de viabilidade econômica necessita ser realizada.

Diante do exposto, corrobora-se na afirmação de que os projetistas da construção civil devem demonstrar preocupação com a escolha de materiais, uma vez que estes estão intrinsecamente ligados ao conforto térmico dos usuários e, da mesma forma, ter o conhecimento de normas específicas de desempenho térmico de edificações, para projetar seguindo as diretrizes da Zona Bioclimática na qual está inserido o projeto.

Vale ressaltar também, a importância na tomada de decisão do projeto arquitetônico, para que os materiais e fechamentos consumam menos energia possível, visando-se sempre que possível a sustentabilidade, a fim de minimizar o uso de recursos naturais, além de melhorar o desempenho das edificações.

4. CONCLUSÃO

Diante do objetivo de analisar a influência de diferentes tipologias de vidros no consumo de energia elétrica, nos ganhos internos de calor e no conforto interno, destaca-se que existe pouca diferença de valores entre os fechamentos transparentes analisados.

O desempenho dos vidros analisados (simples, duplo, triplo e termocrômico) evidencia a importância da especificação adequada do tipo de vidro. Para o clima analisado, o desempenho energético decorrente do uso de vidro triplo e vidro termocrômico foi praticamente similar.

Observou-se, também, que a diminuição do consumo não foi proporcional a diminuição da transmitância térmica.

Dessa forma, se torna imprescindível estudos que otimizem o conforto térmico e eficiência energética das edificações, com a aplicação de estratégias passivas e medidas eficientes de uso de energia elétrica, pois a não definição destas condicionantes, contribuem para edificações com baixo desempenho e podem provocar gastos desnecessários com refrigeração.

Assim, a análise do desempenho térmico e energético de edificações, é de extrema importância, uma vez que se tem a ideologia proporcionar ao ser humano melhores condições de vida e saúde, garantindo o bom funcionamento do organismo sem submetê-lo ao estresse, inclusive térmico. Desta forma, a avaliação realizada neste trabalho teve o viés de fomentar o melhor uso dos materiais disponíveis no mercado, visando-se o conforto do usuário em conjunto com desempenho da edificação e a sustentabilidade.

Como continuidade deste trabalho, novas simulações serão realizadas, incluindo a análise do uso de diferentes tipos de vidro (vidro verde, azul, com película refletora) bem como o comportamento do vidro para diferentes orientações solar, área de janela e outras zonas bioclimáticas.

5. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:** desempenho térmico de edificações - Parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

CASTRO, A. P. A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil:** estudo em células-teste. 2006. Dissertação (Mestrado). 239f. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

FANG, Y.; HYDE, T. J.; HEWITT, N. Predicted thermal performance of triple vacuum glazing. **Solar Energy**, v. 84, n. 12, 2010.

HUANG, Y.; NIU, J.; CHUNG, T. Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates. **Applied Energy**, v.134, p.215-228, 2014.

HUANG, Y.; NIU, J. Energy and visual performance of the silica aerogel glazing system in commercial buildings of Hong Kong. **Construction and Building Materials**, v. 94, p.57-72, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726:** Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical. Geneva, 1988.

MANZ, H.; BRUNNER, S.; WULLSCHLEGER, L. Triple vacuum glazing: Heat transfer and basic mechanical design constraints. **Solar Energy**, v. 80, n. 12, p. 1632-1642, 2006.

PEREIRA, José Bráulio. 2016. **Sustentabilidade:** Um Desafio para Engenharia. Disponível em: < http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/1693>. Acesso em: 03 mai. 2019.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.