XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

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

Influência da absorção de vidros de controle solar no consumo de energia para climatização de um edifício de escritórios

Influence of solar control glass absorption on energy consumption for air conditioning in an office building

Ana Carolina Zago
UFSC | Florianópolis | Brasil | zagoanac@gmail.com
Bruna Just Meller
UFSC | Florianópolis | Brasil | bru.meller@gmail.com
Fernando Simon Westphal
UFSC | Florianópolis | Brasil | fernando.sw@ufsc.br

Resumo

O estudo avalia a influência da absorção de vidros de controle solar no consumo de climatização para um edifício de escritórios por meio da comparação de vidros com fator solar ou transmissão energética equivalentes. As análises foram conduzidas por meio de simulação computacional no software EnergyPlus para Florianópolis (SC), Brasília (DF) e Rio de Janeiro (RJ). Os resultados revelaram diferenças no consumo do condicionamento de ar de 3% a 18%. Em todos os casos, os edifícios com maior consumo de energia elétrica tinham vidros com maior absorção solar, caracterizando-se como um parâmetro relevante para escolha do envidraçamento.

Palavras-chave: Vidros de controle solar. Propriedades ópticas. Absorção. Consumo de ar condicionado.

Abstract

The study evaluates the influence of solar control glass absorption on air-conditioned consumption for a commercial building by comparing glasses with equivalent solar heat gain coefficient or solar transmitance. The evaluations were conducted through computer simulation in the EnergyPlus software for Florianópolis (SC), Brasília (DF) and Rio de Janeiro (RJ). The results reveled differences in consumption with air conditioning from 3% to 18%. In all cases, buildings with higher electricity consumption had glass with greater solar absorption, characterizing it as a relevant parameter for the choice of glazing.

Keywords: Solar control glasses. Optical properties. Absorption. Ar-conditioning consumption.

Como citar:
ZAGO, A. C.; MELLER, B. J.; WESTPHAL, F. S. Influência da absorção de vidros de controle solar no consumo de energia para climatização de um edifício de escritórios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

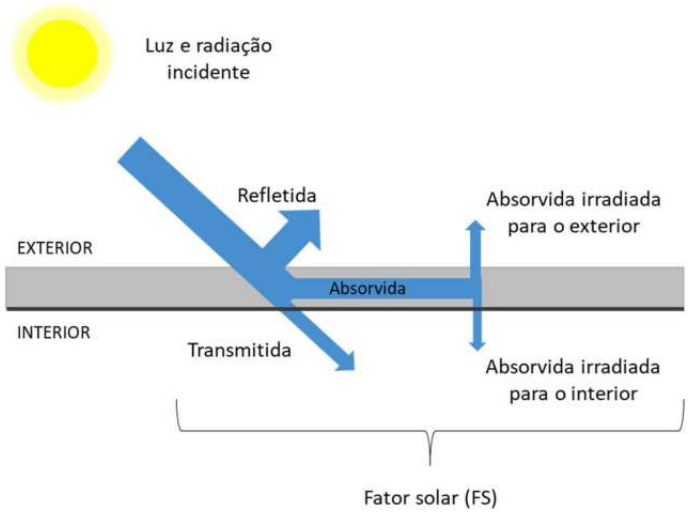
INTRODUÇÃO

Os edifícios são responsáveis por uma parcela significativa do dispêndio com energia elétrica no Brasil. Em edificações comerciais, o condicionamento de ar representa uma das maiores parcelas do consumo total, variando entre 35 e 70%, sendo maior em climas tropicais e menor em climas temperados [1]. Estudos comprovam que vidros de controle solar podem reduzir o ganho de calor, e consequentemente, a demanda por ar-condicionado, ao filtrar a radiação solar incidente na envoltória da edificação [2][3][4].

As propriedades ópticas dos vidros influenciam nesse ganho de calor. Sorgato et al. [5] analisaram as diferenças no consumo de energia elétrica de um edifício comercial ao variar o tipo de vidro das janelas para as cidades de São Luís (MA) e São Paulo (SP). Na análise dos vidros verde laminado (transmissão energética de 0,27 e fator solar de 0,43) e o vidro incolor laminado (transmissão energética de 0,37 e fator solar de 0,45), apesar dos valores de fator solar (FS) semelhantes, houve diferença no consumo de ar condicionado, o qual variou de 2% a 5%. Autores como Carmody et al. [6] e Pagliano et al. [7] consideram que a transmitância térmica (U-value) e o FS dos componentes transparentes são um dos principais fatores que afetam o balanço energético em edifícios.

Embora o FS seja um indicador de desempenho dos vidros, pode haver diferenças no comportamento energético. Segundo a ABNT NBR ISO 9050 [8], o FS corresponde a soma da parcela transmitida e o ganho de calor secundário. Este último, segundo a norma, equivale a absorção multiplicada por 0,26 para um vidro com emissividade 0,84. A Figura 1 ilustra o ganho de calor do vidro quando exposto ao sol.

Figura 01: Representação do ganho de calor solar pelo vidro.



Fonte: Adaptada de ABNT NBR ISO 9050.

Ainda assim, poucos autores exploram a influência que outras propriedades ópticas dos vidros podem ter na eficiência energética da edificação. Sacht et al. [9], avaliou as características espectrofotométricas dos vidros, correlacionando com a performance térmica, a partir do percentual de radiação UV, visível e infravermelho transmitido por

cada amostra. Mas, também limitou-se as características de catálogo (FS e U-value). Yuan et al. [10], analisou a capacidade de reflexão especular de vidros com a redução no consumo de condicionamento de ar. Nenhum dos estudos se quer mencionou a absorção solar das amostras, propriedade raramente exposta em catálogos de fabricantes.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da absorção solar de vidros de controle solar no consumo de ar-condicionado em um edifício comercial, ao comparar vidros com FS ou transmissão energética (TE) equivalentes. As análises foram conduzidas por meio de simulação computacional no software *EnergyPlus* para Florianópolis (SC), Brasília (DF) e Rio de Janeiro (RJ).

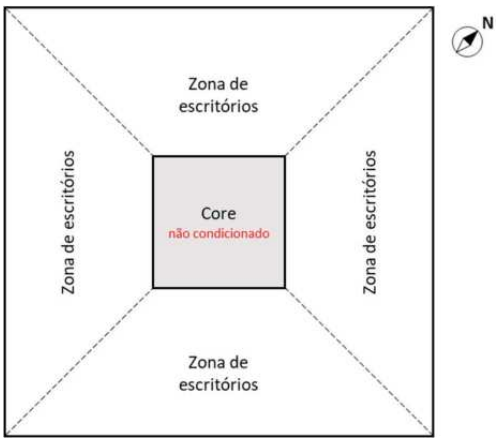
MÉTODO

MODELO COMPUTACIONAL

O edifício de escritórios tem planta quadrangular de 30 x 30 m. Com exceção do núcleo central (core) de 9,2 x 9,2 m, destinado a ocupação transitória, todos as zonas dos 12 pavimentos são climatizadas. O zoneamento é dividido em cinco áreas, conforme demonstrado na Figura 02. Para todos os casos, as fachadas têm percentual de abertura de 60% (WWR), sendo 0,7 m de peitoril e 2,1 m de altura de vidro.

A capacidade do ar-condicionado foi definida automaticamente pelo programa de simulação, variando para cada caso simulado (função autosize).

Figura 02: Pavimento tipo com zoneamento e características do modelo.



Características construtivas

- Piso-a-piso 3,5 m e pé-direito de 2,7 m;
- Paredes em alvenaria de bloco cerâmico (U = 1,3 W/m²K);
- Elevações pintadas em cor neutra (absortância= 0,5)
- Cobertura de laje de concreto isolada.

Cargas internas

- Ar-condicionado: splits COP 3,0 W/W; Renovação de ar 7,5 l/s/pessoa;
- Densidade de ocupação média: iluminação 12 W/m²; Equipamentos 15 W/m²; Pessoas 7m² por posto de trabalho;
- Ocupação e uso dos sistemas das 8h às 20h em dias úteis e das 8h às 14h aos sábados.

Fonte: os autores.

CENÁRIOS SIMULADOS

Selecionaram-se quatro vidros laminados, disponíveis no mercado nacional, cujas características são descritas na Tabela 1. Inicialmente, foram simulados quatro cenários, dois para FS similar e dois para TE similar. O impacto no consumo de ar condicionado anual foi avaliado para os climas de Florianópolis, Brasília e Rio de Janeiro. As propriedades luminosas são apresentadas na tabela para dar uma ideia de aspecto estético dos vidros quanto a transparência e reflexão.

Tabela 1: Definição dos vidros por simulação e cenários.

	Cenários/ vidros			
Propriedades	**v1**	**v2**	**v3**	**v4**
FS	**0,35**	**0,35**	0,24	0,39
TE	0,19	0,26	**0,12**	**0,13**
Re	0,13	0,36	0,40	0,11
Ri	0,20	0,27	0,16	0,18
Abs	0,68	0,38	0,48	0,76
TL	0,34	0,39	0,23	0,42
Rle	0,18	0,31	0,26	0,14
Rli	0,15	0,19	0,11	0,10
U-value ($W/m^2.K$)	5,63	5,63	5,63	5,70

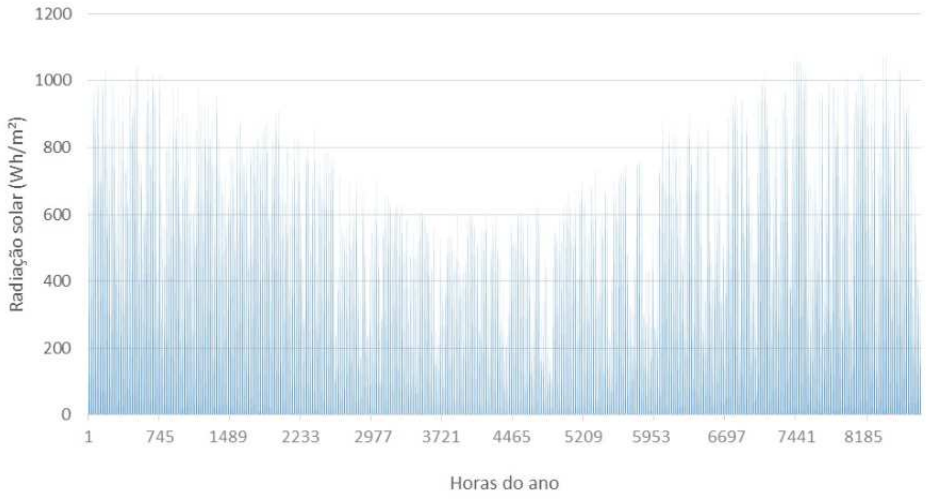
Onde:
FS= Fator solar
TE= Transmissão energética
Re= Reflexão solar externa
Ri= Reflexão solar interna
Abs= Absorção solar
TL= Transmissão luminosa
Rle= Reflexão luminosa externa
Rli= Reflexão luminosa interna
U-value= Transmitância térmica

Fonte: os autores.

CARACTERIZAÇÃO DOS CLIMAS

Os climas escolhidos localizam-se em três Zonas Bioclimáticas (ZB) distintas, no Brasil. Localizada a 27° 67’ S na ZB 3, Florianópolis caracteriza-se pelas estações bem definidas, com cerca de 44% das horas do ano com temperaturas iguais ou inferiores a 21°C, e 8% com máximas ultrapassando os 27°C. E, a radiação solar média para o plano horizontal é de 400 Wh/m^2, geralmente inferior nos meses de inverno (junho a setembro) e superando os 800 Wh/m^2 durante o verão, conforme ilustrado no Gráfico 1 [11].

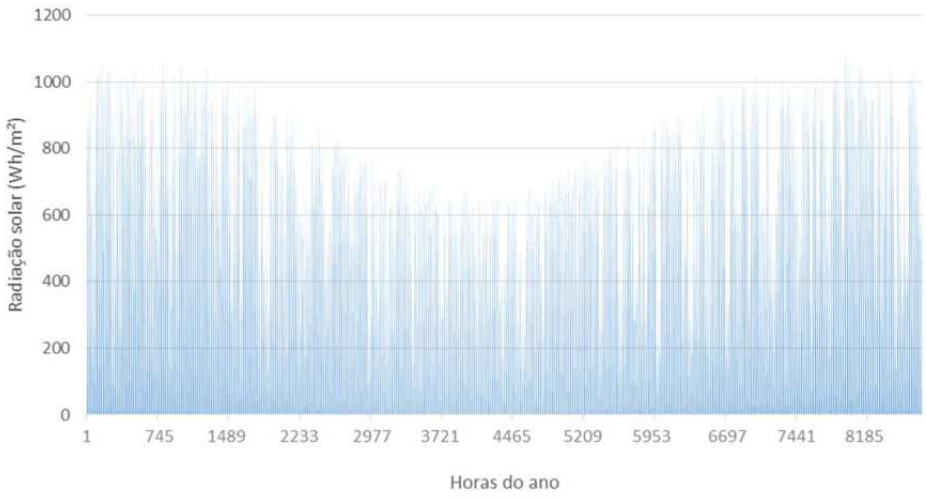
Gráfico 1: Variação horária da radiação solar global para o plano horizontal em Florianópolis.



Fonte: EnergyPlus, 2022.

A cidade do Rio de Janeiro (ZB 8), por outro lado, caracteriza-se pelo calor predominante durante o ano. Localizada a 22° 90' S, registra mínimas de radiação solar superiores à média anual de Florianópolis, cerca de 500 Wh/m², e máximas que podem ultrapassar os 1000 Wh/m², conforme exposto no Gráfico 2. Em mais de 60% das horas do ano, a temperatura supera os 21°C, e 19% ultrapassam os 27°C. Há um desconforto predominante por calor, e maior demanda pelo uso de ar condicionado durante o ano, em relação a Florianópolis [11].

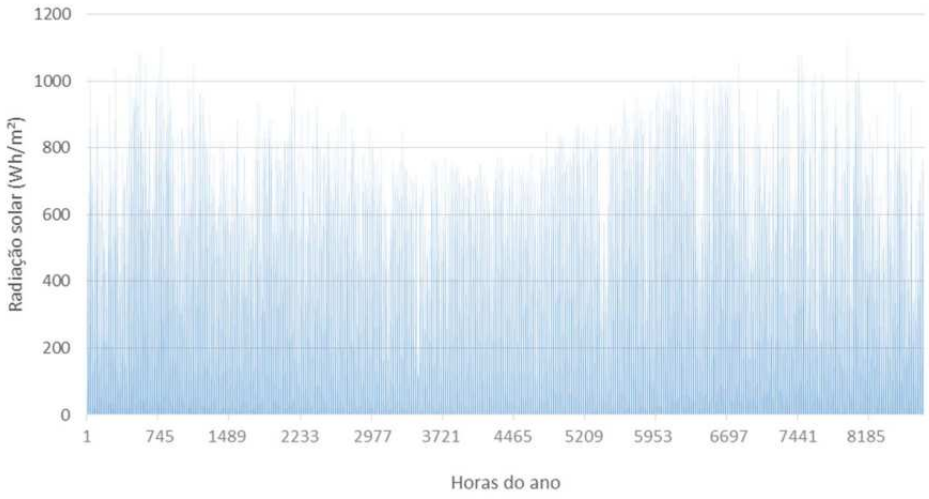
Gráfico 2: Variação horária da radiação solar global para o plano horizontal no Rio de Janeiro.



Fonte: EnergyPlus, 2022.

Brasília é a cidade menos distante da Linha do Equador, com latitude de 15° 87' S. Localiza-se na ZB 4, tem dias quentes e madrugadas amenas, com predomínio de tempo seco na maior parte do ano, e estação chuvosa de novembro a março. A variação de radiação solar é mais uniforme ao logo do ano se comparada as cidades anteriores, com máximas que podem superar os 1000 Wh/m² no verão, conforme ilustrado no Gráfico 3 [11].

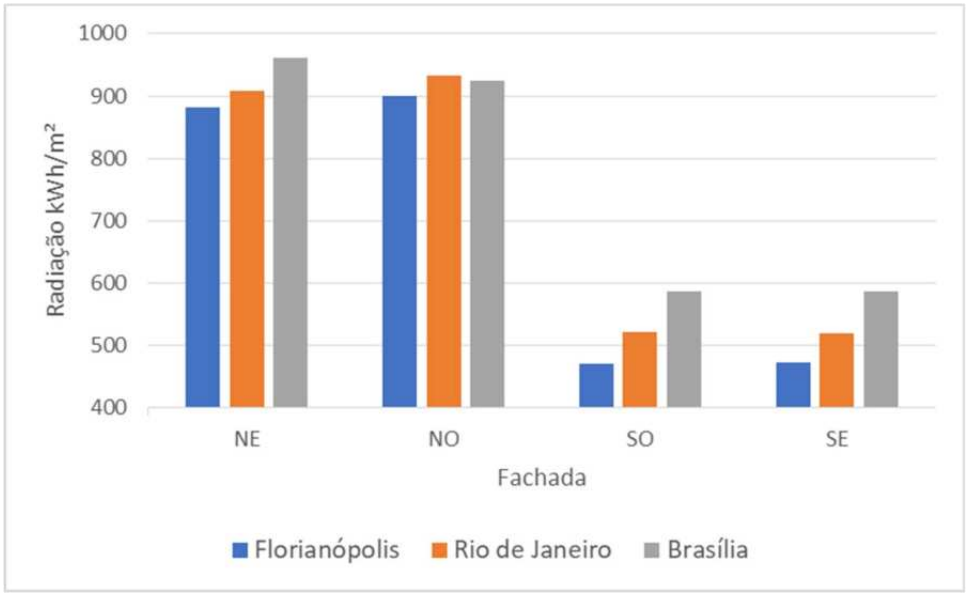
Gráfico 3: Variação horária da radiação solar global para o plano horizontal em Brasília.



Fonte: EnergyPlus, 2022.

Para apreender o impacto da radiação solar sobre o edifício simulado, levantou-se o montante de radiação solar anual incidente para um ponto localizado em cada uma das quatro orientações de fachada, para os três climas (Gráfico 4). Nos três climas, as elevações Nordeste (NE) e Noroeste (NO) recebem a maior parte da radiação solar, sendo Brasília o cenário mais crítico [11].

Gráfico 4: Radiação solar incidente sobre as fachadas do edifício simulado para cada clima.



Fonte: EnergyPlus, 2022.

RESULTADOS

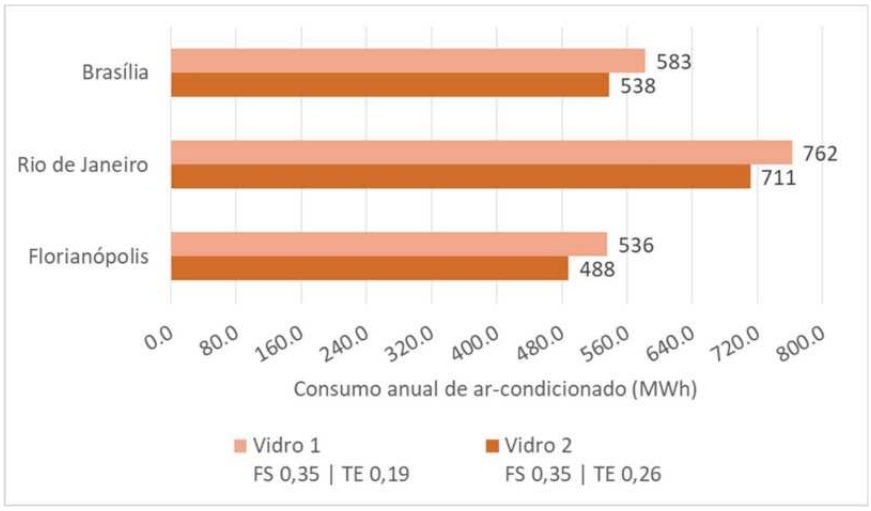
CASO 1: FATOR SOLAR SIMILAR

A diferença no consumo de energia elétrica nos casos simulados com vidros de mesmo FS foi similar, decaindo no máximo 3% de uma cidade para outra (Figura 03). Nos três climas, o vidro v1 obteve maior consumo de energia em climatização. Para o clima

temperado de Florianópolis, onde o uso do ar-condicionado é mais relevante durante o verão, o vidro v1 resultou em um acréscimo de 10% no consumo em relação ao vidro v2. Em Brasília, onde a demanda de ar condicionado é maior no período da tarde, período em que a radiação solar é mais intensa, o acréscimo foi de 8%. No Rio de Janeiro, onde o calor predomina durante o ano, a diferença foi de 7%.

Embora o FS seja similar, os vidros diferem em outras propriedades. Quase todas as propriedades do vidro v1 possuem valores inferiores ao vidro v2, com exceção da absorção, que é quase 80% maior. Ou seja, este parâmetro se demonstrou determinante para reduzir o ganho de calor pela fachada quando os FS são semelhantes.

Figura 03: Consumo de ar-condicionado para vidros v1 e v2 com fator solar 0,35.



Fonte: os autores.

Com o intuito de compreender se esta situação é recorrente em outras faixas de FS, comparou-se o vidro v4 (FS 0,39) com um 5º vidro, para o clima de Florianópolis, que obteve a maior diferença. O vidro v4, com absorção 2 vezes maior em relação ao v5 (Tabela 02) resultou em um consumo anual por ar-condicionado superior em 4% (Figura 04). Novamente, a absorção prevaleceu como determinante para o consumo em climatização.

Acredita-se que a diminuição de 10% de diferença no consumo de energia em ar-condicionado dos vidros v1 e v2 para 4% entre os vidros v5 e v4, se relacione ao equilíbrio entre algumas propriedades, como a transmissão luminosa, por exemplo.

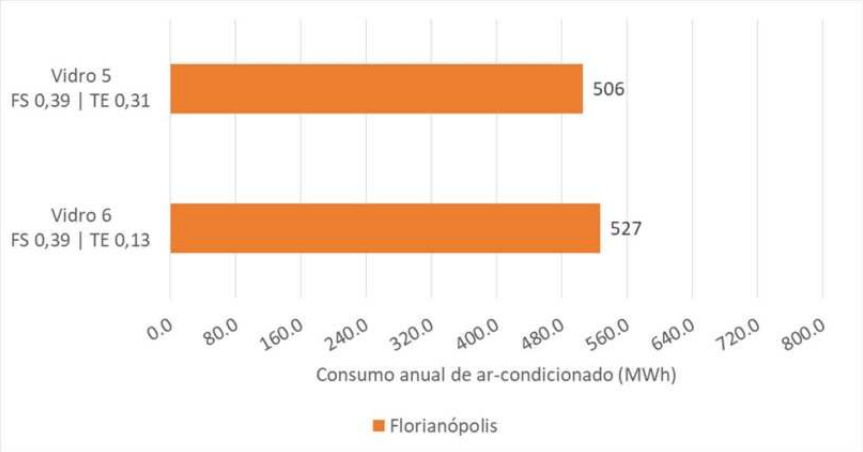
Tabela 2: Propriedades ópticas dos vidros v4 e v5.

	Cenários/ vidros	
Propriedades	**v4**	**v5**
FS	0,39	0,39
TE	0,13	0,31
Re	0,11	0,34
Ri	0,18	0,28
Abs	**0,76**	**0,35**
TL	0,42	0,47
Rle	0,14	0,25
Rli	0,10	0,19
U-value (W/m².K)	5,70	5,63

Onde:
FS= Fator solar
TE= Transmissão energética
Re= Reflexão solar externa
Ri= Reflexão solar interna
Abs= Absorção solar
TL= Transmissão luminosa
Rle= Reflexão luminosa externa
Rli= Reflexão luminosa interna
U-value= Transmitância térmica

Fonte: os autores.

Figura 04: Consumo de ar-condicionado para vidros v4 e v5 com fator solar 0,39.



Fonte: Os autores.

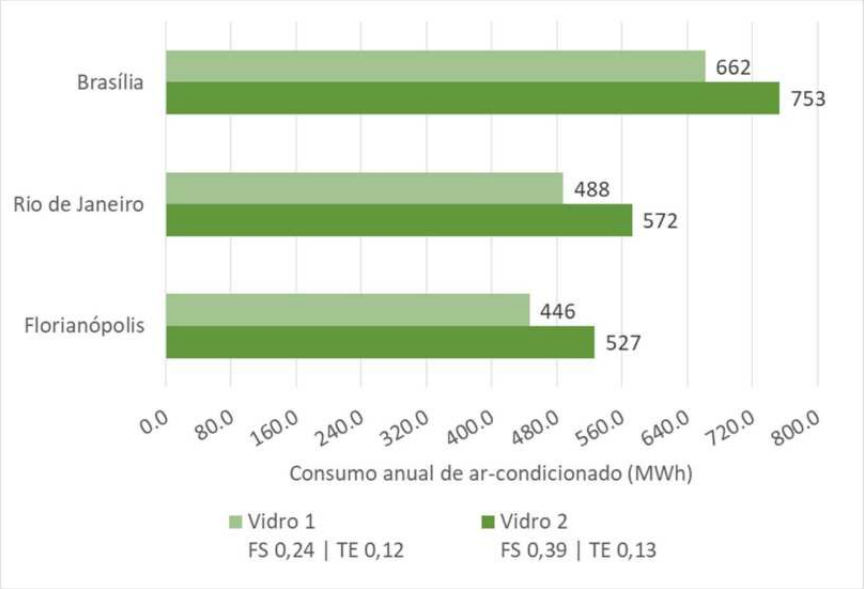
CASO 2: TRANSMISSÃO ENERGÉTICA SIMILAR

A Figura 05 mostra os resultados de consumo com ar-condicionado para situações de transmissão energética similar. Novamente, as diferenças variaram de acordo com o clima, mas com o vidro v4 se sobressaindo no consumo de ar condicionado em todas as situações. Em Florianópolis e Brasília, a diferença foi de 18% e 17%, respectivamente. E no Rio de Janeiro, onde predominantemente a temperatura supera os 21°C, a diferença foi de 14%.

Embora a TE seja similar, os vidros escolhidos apresentam diferenças significativas em outras características ópticas. O vidro v4 possui FS e transmissão luminosa (TL) cerca de 63% e 83%, respectivamente, maior em relação ao vidro v3, e absorção superior em quase 1,6 vezes. Por outro lado, o vidro v3 tem uma reflexão solar externa (Re) quase 4 vezes maior e reflexão luminosa externa (Rle) 87% superior, em relação ao

vidro v3. Ou seja, o conjunto das características ópticas do vidro v4 são mais suscetíveis ao ganho de luz e calor direto.

Figura 05: Consumo de ar-condicionado para os vidros v4 e v5 com transmissão energética similar.



Fonte: os autores.

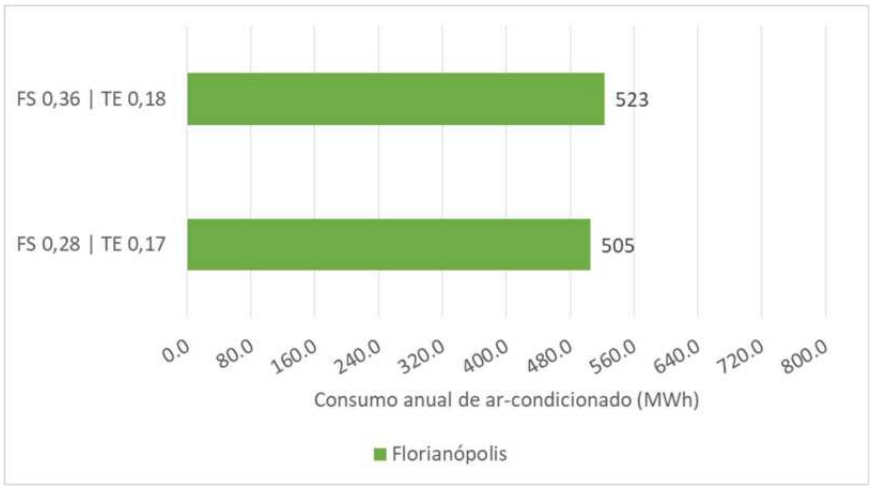
A fim de identificar se essa diferença se mantém para outras faixas de TE, a mesma comparação foi realizada com outros dois vidros para Florianópolis (Tabela 03) que obteve a maior disparidade de consumo de ar-condicionado entre os três climas (Figura 05). Os resultados demonstraram uma diferença de apenas 3%. No entanto, as propriedades ópticas dos vidros v6 e v7, como a TL, Re e absorção, são mais equilibradas em relação aos outros. Ainda assim, o vidro v7, que tem absorção maior em relação ao v6, teve maior consumo.

Tabela 3: Propriedades ópticas dos vidros v6 e v6.

	Cenários/ vidros	
Propriedades	**v6**	**v7**
FS	0,28	0,36
TE	**0,17**	**0,18**
Re	0,25	0,18
Ri	0,27	0,39
Abs	**0,58**	**0,64**
TL	0,20	0,22
Rle	0,33	0,21
Rli	0,25	0,29
U-value (W/m².K)	4,88	5,30

Onde:
FS= Fator solar
TE= Transmissão energética
Re= Reflexão solar externa
Ri= Reflexão solar interna
Abs= Absorção solar
TL= Transmissão luminosa
Rle= Reflexão luminosa externa
Rli= Reflexão luminosa interna
U-value= Transmitância térmica

Figura 05: Consumo de ar-condicionado para os vidros v6 e v7 com transmissão energética similar.



Fonte: os autores.

Para todos os cenários analisados, a cidade do Rio de Janeiro obteve as menores variações de consumo entre vidros, seguido por Brasília. Este comportamento pode ter relação com o clima e a escolha de vidros laminados. Segundo Pinto et. al, os vidros laminados são mais vantajosos para cidades com climas temperados como Florianópolis, em relação a cidades com maior temperatura e radiação solar, que é o caso do Rio de Janeiro e Brasília [1].

CONCLUSÃO

Dentre os cenários simulados pode-se comprovar que é possível ter variações no consumo de energia elétrica de um edifício, devido a demanda de condicionamento de ar, com vidros de mesmo fator solar ou transmissão energética. Fica evidente que, estas propriedades não são as únicas que devem ser consideradas para a seleção adequada do envidraçamento. Este estudo demonstrou que a absorção solar é uma das propriedades ópticas dos vidros que deve ser observada com mais atenção, principalmente quando se tem FS ou TE semelhantes.

REFERÊNCIAS

[1] PINTO, Mônica, WESTPHAL, Fernando Simon. Energy Performance of Offices Buildings in Brazil using Insulated Glass Units. In: XVI IBPSA CONFERENCE, 16, 2019, Rome. **Anais [...]** . Rome: IBPSA, 2019. p. 4944-4951.

[2] IHM, P.; PARK, L.; KRARTI, M.; SEO, D. Impact of window selection on the energy performance of residential buildings in South Korea. Energy Policy, [S.L.], v. 44, p. 1-9, maio 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.046.EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.

[3] TSIKALOUDAKI, K.; LASKOS, K.; THEODOSIOU, Th.; BIKAS, D. Assessing cooling energy performance of windows for office buildings in the Mediterranean zone**. Energy And**

Buildings, [S.L.], v. 49, p. 192-199, jun. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.004.

[4] GASTINES, M.; PATTINI, A. E. Window energy efficiency in Argentina - Determining factors and energy savings strategies. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 247, p. 119104, fev. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119104.

[5] SORGATO, Marcio José, MELO, Ana Paula, MARINOSKI, Deivis Luis, LAMBERTS, Roberto. Análise comparativa entre os resultados de simulações termoenergéticas de edificações sob diferentes condições de entrada das propriedades dos vidros. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais [...]** . Maceió: Entac, 2014. p. 23-32.

[6] CARMODY, John et al. **Window Systems for High–Performance Buildings**. Nova Iorque: W. W. Norton & Company, 2004. 400 p.

[7] PAGLIANO, L. et al. Improved methods for the calorimetric determination of the solar factor in outdoor test cell facilities. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 153, p.513–524, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.028.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9050:2022:** Vidros na construção civil — Determinação da transmissão de luz, transmissão direta solar, transmissão total de energia solar, transmissão ultravioleta e propriedades relacionadas ao vidro. Rio de Janeiro: ABNT, pág. 6-10, 2022.

[9] SACHT, H. M., BRAGANÇA, L., ALMEIDA, M., CARAM, R. Specification of Glazings for Façades Based on Spectrophotometric Characterization of Transmittance. **Sustainability**, v. 13, n. 10, p. 5437, 2021. https://doi.org/10.3390/su13105437.

[10] YUAN, J., FARNHAM, C., EMURA, K. Effect of different reflection directional characteristics of building facades on outdoor thermal environment and indoor heat loads by CFD analysis. **Urban Climate**, [S.L.], v. 38, p. 100875, jul. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100875.

[11] ENERGYPLUS, **Weather file**. Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA. Acesso em: 03 de ago. de 2022.