

ANÁLISE TÉRMICA DE AMBIENTES CLIMATIZADOS COM FACHADAS ENVIDRAÇADAS¹

PAPER 13

RESUMO

O aumento da aplicação de superfícies transparentes (fachada de vidros) nos edifícios comerciais das grandes cidades, resulta em grandes preocupações quanto a iluminação natural, conforto térmico e ao consumo de energia, em ambientes climatizados. Os principais objetivos deste trabalho são analisar o ganho de calor por incidência solar, através de alguns tipos de vidros comerciais aplicados nestas edificações como vidros transparentes, coloridos e espelhados, e a aplicação de vidros com película de proteção solar, comparar o ganho de calor por radiação nessas superfícies e verificar a importância de uma correta seleção e aplicação para obter melhor eficiência energética em edificações envidraçadas. Para as análises desenvolveu-se uma maquete eletrônica de um edifício comercial, projetado no Autodesk Revit 2020 e foram realizados ensaios de cargas térmicas com Revit 2020 e o HAP (Hourly Analysis Program 4.90) do fabricante Carrier. Foram realizados alguns ensaios com diferentes tipos de vidros e vidros com películas resultando em ganho de 29,17% de eficiência na carga térmica em relação aos vidros laminados transparentes de 6 mm.

Palavras-chave: Eficiência. Película. Reflexão. Transmissão. Vidro.

ABSTRACT

The increase in the application of transparent surfaces (glass facade) in commercial buildings in large cities, results in major concerns regarding natural lighting, therm comfort and energy consumption, in air-conditioned environments. The main objectives of this work are to analyze the heat gain by solar incidence, through some types of commercial glass applied in these buildings as transparent, colored and mirrored glasses, and the application of glasses with sun protection film, to compare the heat gain by radiation on these surfaces and verify the importance of a correct selection and application to obtain better energy efficiency in glass buildings. For the analysis, an electronic model of a commercial building was developed, designed in the Auto Desk Revit 2020, and thermal load tests were performed with Revit 2020 and the Carrier manufacturer's Hourly Analysis Program 4.90 (HAP). Some tests were carried out with different types of glasses and glasses with films resulting in a gain of 29% efficiency in the thermal load in relation to the 6mm transparent laminated glasses.

Keywords: Efficiency. Film. Reflection. Transmission. Glass.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de fachadas de vidros em edifícios comerciais resulta em grandes preocupações quanto a iluminação natural, conforto térmico e ao consumo de energia em ambientes climatizados. Os principais problemas ocorrem no verão, quando as temperaturas são mais altas, sendo o calor por radiação solar absorvido e transmitido para o interior da edificação,

¹ SANTOS, W. P.; MOURA, C. A. Análise térmica de ambientes climatizados com fachadas envidraçadas. In: Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento de Ar, 3.; Congresso Ibero Americano de Climatização e Refrigeração, 6., 2013, Campinas. **Anais do XVII CONBRAVA**, 2021.

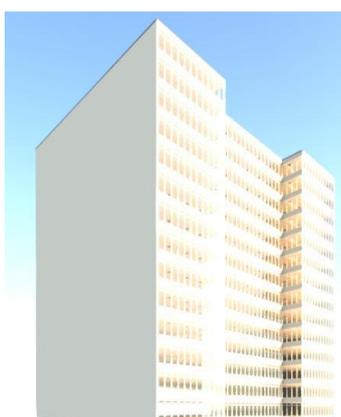
umentando a temperatura do ambiente interno, causando desconforto térmico aos ocupantes, resultando em equipamentos de ar condicionados subdimensionados (quando não atendem a carga térmica interna) ou em equipamentos superdimensionados, conseqüentemente gerando um alto consumo de energia.

A aplicação de película solar em fachadas de vidros tende a minimizar os efeitos citados acima, diminuindo o calor por transmissão e absorção para o ambiente interno reduzindo assim a carga térmica. Os principais objetivos deste trabalho são: analisar o ganho de calor por incidência solar, através de alguns tipos de vidros comerciais aplicados nestas edificações como vidros transparentes, coloridos e espelhados, e a aplicação de vidros com película de proteção solar; comparar o ganho de calor por radiação nessas superfícies e verificar a importância de uma correta seleção e aplicação para obter melhor eficiência energética em edificações envidraçadas a fim de reduzir o consumo de energia no sistema de ar condicionado nas edificações envidraçadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

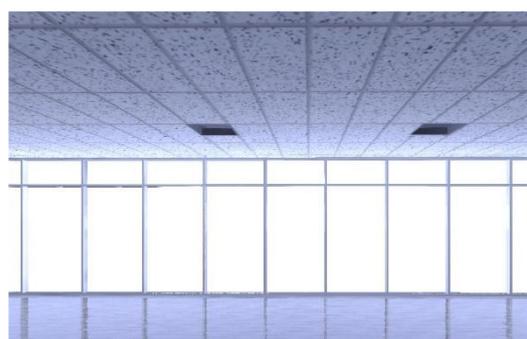
Algumas das principais trocas térmicas com o meio externo em uma edificação ocorrem através de janelas, claraboias, ou outro elemento transparente da arquitetura, acontecem promovendo simultaneamente ganhos de calor por condução, convecção e radiação, esta última se diferencia das superfícies opacas devido à parcela de radiação que é transmitida para o ambiente interno através da propriedade de transmissividade do vidro (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004). Na figura 1 é possível ver a radiação solar incidindo sobre a fachada de vidro e na figura 2 é possível ver a transmissão solar interna através dos vidros.

Figura 1 – Incidência solar externa



Fonte: Autores, 2020.

Figura 2 - Transmissão solar interna

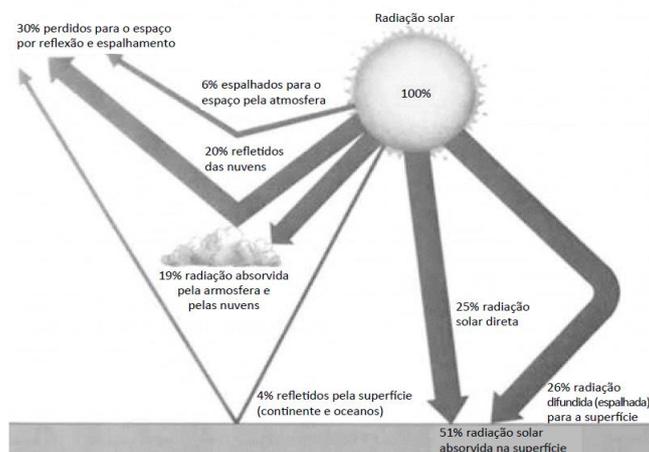


Fonte: Autores, 2020.

A radiação solar é transmitida através de ondas eletromagnéticas emitidas pelos raios solares em forma de energia. A Figura 3 mostra a radiação solar no zênite altura 90°. Parte dessa energia é refletida para o espaço através das nuvens, da atmosfera e dos oceanos, parte é absorvida pelas nuvens, pela

superfície terrestre e cerca de 25% da radiação atinge a terra de forma direta. A quantidade de radiação solar que atinge a camada da atmosfera é em média 1.353 W/m^2 (Constante Solar). (PINATTI & SICHIERI, 1999)

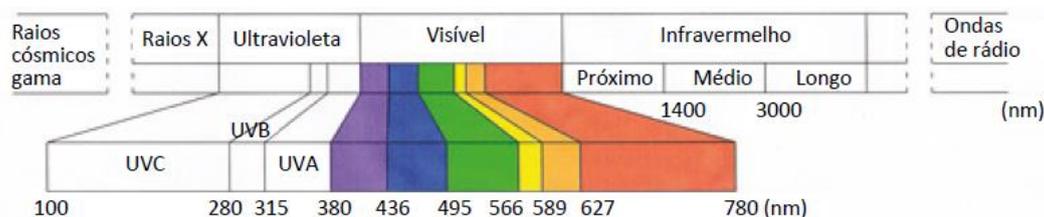
Figura 3 – Distribuição porcentual de radiação incidente



Fonte: Grim, 2015.

No espectro solar existem duas regiões importantes para o estudo dos fechamentos transparentes: a região de ondas curtas visível (380 a 780 nm) e a região de ondas longas ou região do infravermelho (780 a 3000 nm) (Figura 4). A faixa visível é a energia em forma de luz natural e a faixa do infravermelho é a radiação emitidas por corpos aquecidos.

Figura 4 – O espectro eletromagnético



Fonte: Pereira (2007)

No projeto arquitetônico as principais variáveis que podem alternar o aporte de calor pela abertura são: orientação e tamanho da abertura, tipo de vidros, proteções solares externas e internas (LAMBERTS, 2004).

Com a necessidade de manter a eficiência energética nessas edificações, os fabricantes de vidros desenvolveram alguns tipos de vidros que podem controlar o calor e a luz natural de forma racional conforme itens abaixo. (LAMBERTS, 2004)

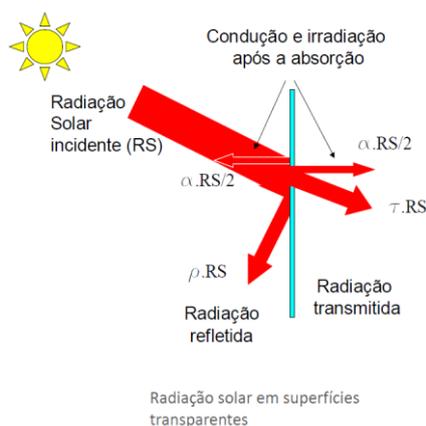
- admitir ou bloquear a luz natural;
- admitir ou bloquear o calor solar;
- permitir ou bloquear as perdas de calor do interior;
- permitir o contato visual entre interior e exterior.

Como forma de proteção solar neste trabalho, aborda-se apenas os tipos de

vidros mais comuns no mercado: vidros transparentes, coloridos, reflexíveis e película de proteção.

Quando a radiação solar incide sobre um fechamento transparente, esta pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo do ângulo de incidência e do comprimento da onda de radiação sobre a superfície. A figura 5 apresenta o balanço térmico em uma superfície transparente.

Figura 5 – Condução e irradiação após absorção



Fonte: Lamberts (2004)

Uma parcela será refletida, uma absorvida e se for um material translúcido uma parcela será transmitida para o ambiente interno, estes valores dependerão da refletividade (ρ), da absortividade (α) e da transmissividade (τ) do material. A soma destas três parcelas da radiação incidente corresponde a 100% do total, conforme equação (1) (LAMBERTS, 2004).

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

Onde:

α = absortividade do vidro

ρ = refletividade do vidro

τ = transmissividade do vidro

2.1 Parâmetros relacionados ao ganho de calor de fachadas de vidros

2.1.1 Fator solar

Fator solar (F_s) é a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa o interior do ambiente através de uma superfície transparente e a quantidade de calor que sobre ela incide mais uma parcela do calor absorvido, podendo ser calculado como mostrado na equação 2. Para o vidro transparente de 3 mm, com incidência direta da radiação normal a superfície, o fator solar é aproximadamente 0,87 (ASHRAE 1993). Isso significa que 87% da radiação em vidro simples transparente sem proteção penetra no interior do ambiente.

$$F_s = \tau + (\alpha \cdot U \cdot R_{se}) \quad (2)$$

Onde:

T = transmissividade do vidro

α = absortividade da superfície externa do fechamento

U = transmitância térmica do vidro (W/m²K)

R_{se} = Resistência superficial externa (0,04 m²K/W)

2.1.2 Fluxo de Calor Solar

Fluxo de calor solar é o ganho total de calor por radiação e condução através dos vidros. Para calcular o fluxo de calor que incide sobre uma superfície transparente usa-se a equação 3 a seguir.

$$q = U \cdot (T_{ex} - T_{in}) + F_s \cdot I \quad (3)$$

Onde:

q = é o ganho do fluxo de calor em (W/m²)

U = transmitância térmica do vidro (W/m²K)

T_{ex} = temperatura do ambiente exterior (°C)

T_{in} = temperatura do ambiente interno (°C)

F_s = fator solar

I = irradiação solar incidente na superfície transparente (W)

2.1.3 Coeficiente de Sombreamento

Coeficiente de sombreamento (CS) é a razão entre o fator solar de um vidro estudado (FS_{ve}) e o fator solar de um vidro incolor (FS_{vi}) de 3 mm de espessura (FS_{vi} = 0,87).

$$CS = FS_{v}/FS_{vi} \quad (4)$$

Os vidros com baixo coeficiente de sombreamento são mais eficientes em relação ao conforto térmico, porém, quanto à transparência e à luz natural devem-se tomar alguns cuidados, pois quanto menor o CS menos luz natural e redução na transparência dos vidros. Quanto menor for o coeficiente de sombreamento, maior proteção ao conforto térmico o vidro oferece (MIANA, 2005).

O vidro ideal para elevada incidência solar deve possuir pouca transmissão no espectro do infravermelho (menor que 30%) e boa transmissão no espectro visível (acima de 50%), levando em consideração as regiões de luz visível e infravermelho (ASSIS, 1998).

Quando não é feito um estudo de incidência solar e climática do local e a aplicação de materiais construtivos de forma inadequada, o ambiente interno fica deficiente quanto ao conforto térmico e visual, causando um consumo de energia desnecessário com o uso de iluminação artificial e superdimensionamento de equipamentos de climatização para manter o equilíbrio térmico, impactando em elevado custo no consumo de energia. Segundo Neveen (2008), estima-se que 45% da carga de resfriamento das edificações seja proveniente das fachadas, sendo que, as escolhas dos materiais corretos estão diretamente relacionadas a este desempenho.

3 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Para a análise comparativa do ganho de calor em superfícies transparentes desenvolveu-se um modelo em maquete eletrônica utilizando o software Auto Desk Revit 2020. Foram realizados diversos ensaios de carga térmica no modelo aplicando os diferentes tipos de vidros das tabelas 1 e 2 e analisado o comportamento da carga térmica em cada ensaio.

A tabela 1 apresenta os vidros analisados. São do tipo laminado simples com espessura de 6 mm e com o fator solar de 0,60 para o vidro verde e cinza fumê e de 0,83 para o vidro transparente.

Tabela 1 – Vidro Simples de 6 mm

| Superfície Separadoras | Fs | Referência |
|---------------------------------|------|--------------------------------------|
| Vidro transparente Simples 6 mm | 0,83 | ASHRAE (1993) |
| Vidro Cinza (fumê) simples 6 mm | 0,60 | ASHRAE (1993) |
| Vidro Cinza Verde Simples 6 mm | 0,60 | Windows and Daylighting Group (1992) |

Fonte: Adaptado de ASHRAE (1993)

Os vidros analisados são do tipo laminados refletivos, com controle da luz natural, calor do sol e com isolamento acústico. Os vidros são compostos por duas chapas de vidro, intercaladas com uma película plástica e com aplicação de metalização na face 2, para o controle da luz visível e do calor solar. Como referência para o presente trabalho, foram utilizados os dados relacionados na tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades Térmicas e Ópticas dos Laminados Refletivos CEBRACE

| Cores | Esp. (mm) | Fator Luminoso (%) | | Fator Energético (%) | | | Fator Solar (%) | U (W/m² °C) | C.S | G. Calor Solar (W/m²) |
|---------------|-----------|--------------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------|-------|-----------------------|
| | | Trans. (%) | Reflexão (%) | Trans. (%) | Reflexão (%) | Absorção (%) | | | | |
| Prata Neutro | 6 | 14 | 43 | 12 | 36 | 52 | 27,1 | 6,23 | 0,311 | 245 |
| | 8 | 14 | 43 | 12 | 34 | 54 | 26,8 | 6,17 | 0,308 | 242 |
| | 6 | 20 | 30 | 15 | 29 | 56 | 30,9 | 6,27 | 0,355 | 273 |
| Prata | 8 | 20 | 30 | 14 | 28 | 58 | 30,5 | 6,2 | 0,35 | 269 |
| | 10 | 19 | 29 | 13 | 28 | 59 | 29,9 | 6,13 | 0,344 | 264 |
| Azul Intenso | 6 | 14 | 42 | 11 | 34 | 55 | 27 | 6,26 | 0,31 | 244 |
| | 8 | 14 | 41 | 11 | 31 | 58 | 27,2 | 6,2 | 0,313 | 246 |
| Verde Intenso | 6 | 30 | 37 | 28 | 25 | 46 | 41,5 | 6,13 | 0,478 | 349 |
| | 8 | 30 | 37 | 27 | 25 | 48 | 40,8 | 6,1 | 0,47 | 344 |
| | 10 | 30 | 36 | 26 | 25 | 50 | 39,7 | 6,04 | 0,457 | 335 |
| Cinza | 6 | 29 | 20 | 27 | 22 | 51 | 41,3 | 6,18 | 0,475 | 348 |
| | 8 | 29 | 20 | 25 | 22 | 53 | 40,6 | 6,15 | 0,467 | 342 |
| | 10 | 28 | 20 | 24 | 22 | 54 | 39,6 | 6,09 | 0,55 | 334 |
| Incolor | 6 | 29 | 54 | 37 | 38 | 24 | 44,3 | 5,94 | 0,509 | 367 |
| | 8 | 29 | 54 | 36 | 38 | 26 | 43,2 | 5,89 | 0,497 | 359 |
| | 10 | 28 | 54 | 34 | 38 | 28 | 41,9 | 5,83 | 0,482 | 349 |

Fonte: Adaptado de CEBRACE (2019)

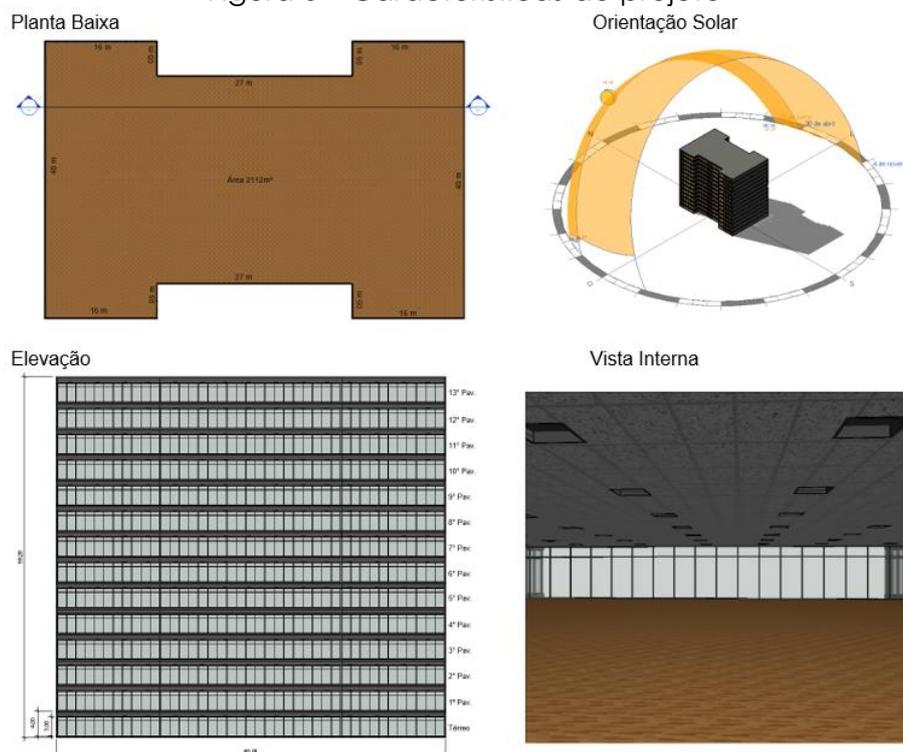
3.1 Características do projeto

O modelo foi desenvolvido com paredes de concreto revestidas com uma camada de argamassa, forro de gesso modular 120 x 60 cm, piso de concreto revestidos com acabamento de madeira e 5796 m² de vidros, com orientação na face leste e oeste, projetadas de forma intencional para obter maior parcela de incidência solar para a análise dos diferentes tipos de vidros aplicados.

A construção é do tipo escritório comercial contendo 14 andares, cada andar

com uma área de 2112 m² e pé direito até o forro de 3 m (Figura 6).

Figura 6 – Características do projeto



Fonte: Autores

3.2 Localização do projeto

O experimento foi realizado de forma virtual em um terreno vazio localizado na Av. Mofarrej 401, Vila Leopoldina São Paulo Capital, Longitude - 46,74, Latitude -23,52 e altitude de aproximadamente 733 m. A estação meteorológica está a 9,01 km do local.

3.3 Propriedades de análise do modelo

Para obter resultados mais precisos de análises de carga térmica e do ganho de calor, aplicou-se no modelo paredes externas de concreto ($U= 0,0108 \text{ W/m}^2.\text{K}$), forro de gesso modular ($U= 2,199 \text{ W/m}^2.\text{K}$), piso de concreto revestido com madeira ($U=2,199 \text{ W/m}^2.\text{K}$) e laje de concreto padrão ($U= 0,2499 \text{ W/m}^2.\text{K}$). Para as análises na fachada, foram aplicados os vidros simples e os vidros com películas refletivas e comparado o ganho de calor resultante de cada material.

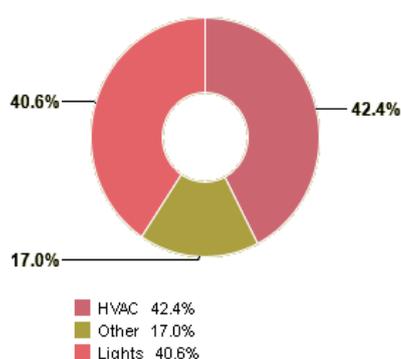
Os espaços analisados são do tipo escritórios comerciais, onde as configurações foram baseadas na ABNT NBR 16401:2008. A ocupação considerada é de 20 m²/pessoa, calor sensível 75 W, Latente de 55 W, carga de iluminação 16 W/m², carga elétrica 7 W/m² e taxa de ar externo de (7,5L/s).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao desempenho dos vidros em relação aos ganhos de carga térmica e um estudo de retorno de investimento são apresentados neste item.

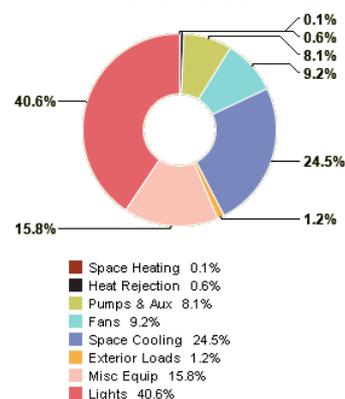
Nos gráficos apresentados nas figuras 7 e 8 é mostrada análise do consumo de energia realizado com as ferramentas GREEN BUILDING STUDIO e com o Revit 2020, da maquete eletrônica desenvolvido para esse trabalho. É possível verificar na figura 7 que 42,4% do consumo de energia está relacionado ao sistema de ar condicionado e 40,6% ao sistema iluminação e 17% com outras fontes, na figura 8 é possível ver este consumo de forma mais detalhada.

Figura 7 - Consumo anual de energia básica



Fonte: Autores

Figura 8 - Consumo de energia anual detalhada



Fonte: Autores

4.1 Desempenho dos vidros

As porcentagens da redução de calor através dos vidros e a redução da carga térmica em relação a incidência solar – comparadas à aplicação de vidros simples - estão representados na tabela 3, que mostra os resultados dos ensaios com a aplicação dos vidros simples e vidros com películas de proteção solar.

Tabela 3 – Desempenho dos vidros em relação aos ganhos energéticos

| TIPOS DE VIDROS | U (W/m ² .K) | G. Calor Solar (W/m ²) | FS | CS | Carga Térmica (kW) | Calor Janelas (W) | Redução Carga Térmica (%) |
|----------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|------|------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 1) Vidro Laminado Transparente – 6 mm | 5,70 | 0,86 | 0,83 | 0,95 | 2280,45 | 1074799,00 | 0,00 |
| 2) Vidro Laminado Azul ou Verde – 6 mm | 5,70 | 0,60 | 0,60 | 0,68 | 1990,16 | 784508,00 | 12,73 |
| 3) Vidro Laminado Fumê – 6 mm | 5,70 | 0,60 | 0,60 | 0,68 | 1990,16 | 784508,00 | 12,73 |
| 4) Incolor com Película – 6 mm | 5,94 | 0,37 | 0,44 | 0,51 | 1837,77 | 629384,00 | 19,41 |
| 5) Incolor com Película – 8 mm | 5,89 | 0,36 | 0,43 | 0,50 | 1825,95 | 618498,00 | 19,93 |
| 6) Incolor com Película – 10 mm | 5,83 | 0,35 | 0,42 | 0,48 | 1812,31 | 605863,00 | 20,53 |
| 7) Verde com Película – 6 mm | 6,13 | 0,35 | 0,42 | 0,48 | 1813,04 | 601262,00 | 20,50 |
| 8) Verde com Película – 8 mm | 6,10 | 0,34 | 0,41 | 0,47 | 1805,25 | 594005,00 | 20,84 |
| 9) Cinza com Película – 8 mm | 6,15 | 0,34 | 0,41 | 0,47 | 1803,43 | 591283,00 | 20,92 |
| 10) Cinza com Película – 6 mm | 6,18 | 0,35 | 0,41 | 0,48 | 1811,23 | 598541,00 | 20,58 |
| 11) Cinza com Película – 10 mm | 6,09 | 0,33 | 0,40 | 0,46 | 1791,46 | 580397,00 | 21,44 |
| 12) Prata com Película – 8 mm | 6,20 | 0,27 | 0,31 | 0,35 | 1707,32 | 494671,00 | 25,13 |
| 13) Prata com Película – 6 mm | 6,27 | 0,27 | 0,31 | 0,36 | 1703,99 | 489682,00 | 25,28 |
| 14) Prata com Película – 10 mm | 6,13 | 0,26 | 0,30 | 0,34 | 1691,50 | 479703,00 | 25,83 |
| 15) Prata Neutro 6mm – 6 mm | 6,23 | 0,25 | 0,27 | 0,31 | 1672,41 | 458385,00 | 26,66 |

| TIPOS DE VIDROS | U (W/m ² .K) | G. Calor Solar (W/m ²) | FS | CS | Carga Térmica (kW) | Calor Janelas (W) | Redução Carga Térmica (%) |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|------|------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 16) Prata Neutro 8mm – 8 mm | 6,17 | 0,24 | 0,27 | 0,31 | 1664,62 | 451581,00 | 27,00 |
| 17) Azul com Película – 6 mm | 6,26 | 0,24 | 0,27 | 0,31 | 1672,41 | 458385,00 | 26,66 |
| 18) Azul com Película – 8 mm | 6,20 | 0,25 | 0,27 | 0,31 | 1664,63 | 451581,00 | 27,00 |
| 19) Verde com Película – 10 mm | 6,04 | 0,34 | 0,40 | 0,46 | 1615,35 | 420363,00 | 29,17 |

Fonte: Autores

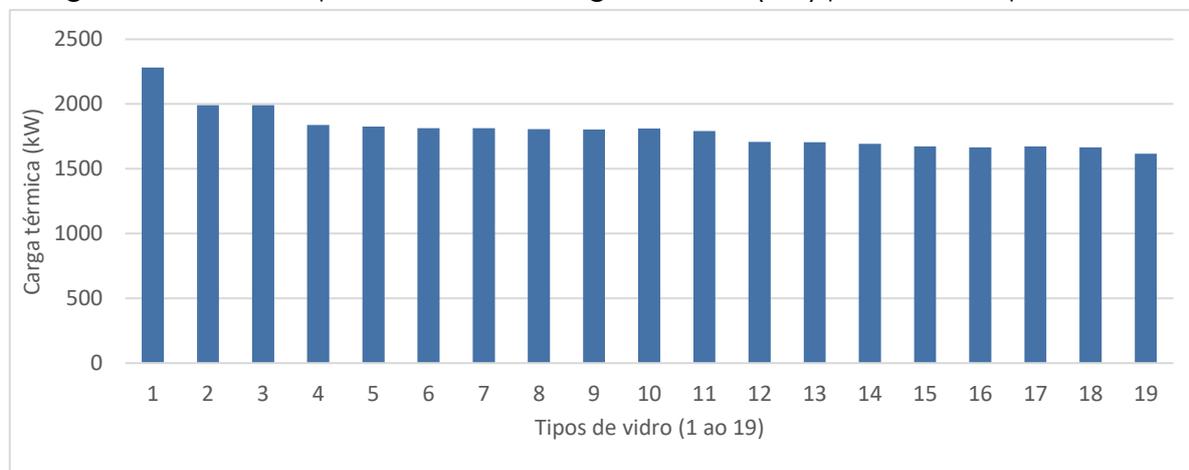
Pode-se observar que o vidro transparente simples de 6 mm, quando aplicado, obteve a maior parcela de carga térmica em relação aos vidros analisados. Esse valor está relacionado a transmissividade solar em forma de calor, sua propriedade de refletividade é baixa, o calor por radiação em forma de luz adentra no ambiente interno elevando a temperatura. Considerando aplicação dos vidros comuns verde, azul e fumê sem película, houve uma redução de 12,73% da carga térmica, as cores refletem uma pequena parcela de radiação tornando-os mais eficientes que o vidro transparente, os vidros com películas refletivas quando aplicados, obtiveram melhores resultados em comparação com os vidros coloridos simples devido suas propriedades de construção térmicas serem mais eficientes, houve uma redução da carga térmica entre 20,53% a 29,17% (tabela 3).

O vidro verde com película e espessura de 10 mm obteve o melhor resultado entre os vidros ensaiados, contribuindo para uma redução da carga térmica de 29,17% se comparado com o vidro transparente.

Após a realização dos ensaios observou-se que para uma correta seleção dos vidros é importante observar a cor que pode influenciar com o consumo de energia com iluminação artificial, o fator solar e o coeficiente de sombreamento, os vidros mais eficientes têm um menor coeficiente de sombreamento e um menor ganho de calor solar.

O gráfico apresentado na figura 9 mostra o desempenho dos vidros em relação aos ganhos de carga térmica destacando os respectivos coeficientes de sombreamento. Pode-se observar que, conforme apresentado por Miana (2005), quanto menor for o coeficiente de sombreamento, maior proteção ao conforto térmico o vidro oferece.

Figura 9 - Gráfico apresentando a carga térmica (kW) para cada tipo de vidro



Fonte: Autores

4.2 Análise de retorno de investimento simplificada

Esta análise foi realizada com base no consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado implantado no modelo, que é do tipo VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) e com o consumo de energia elétrica do sistema de renovação de ar.

Os dados do consumo de energia dos equipamentos estudados foram obtidos por meio de catálogos técnicos de fabricantes bem recomendados no mercado. Os valores de implantação dos vidros já contemplam material e mão de obra e o valor do KWh considerado é de R\$ 0,516.

O estudo teve como objetivo comparar o consumo de energia do sistema de ar condicionado, aplicando os vidros simples e com películas de proteção solar, observando a economia de energia elétrica em cada ensaio com os diferentes vidros e o tempo de retorno para cada investimento (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise de retorno de investimento simplificada para os diferentes vidros

| TIPOS DE VIDROS | CARGA TÉRMICA (KW) | CONSUMO ANUAL (KW/h) | CUSTO DE IMPLANTAÇÃO (R\$) | ECONOMIA ANUAL (R\$) | PAYBACK (ANOS) |
|----------------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------|
| 1) Vidro Laminado Transparente – 6 mm | 2280,45 | R\$ 563.541,35 | R\$ 2.846.589,48 | R\$ 563.541,35 | |
| 2) Vidro Laminado Azul ou Verde – 6 mm | 1990,16 | R\$ 547.868,16 | R\$ 3.118.769,64 | R\$ 15.673,19 | 17 |
| 3) Vidro Laminado Fumê – 6 mm | 1990,16 | R\$ 547.868,16 | R\$ 3.118.769,64 | R\$ 15.673,19 | 17 |
| 4) Incolor com Película – 6 mm | 1837,77 | R\$ 536.633,40 | R\$ 3.613.806,00 | R\$ 26.907,96 | 29 |
| 5) Incolor com Película – 8 mm | 1825,95 | R\$ 536.633,40 | R\$ 3.681.677,16 | R\$ 26.907,96 | 31 |
| 6) Incolor com Película – 10 mm | 1812,31 | R\$ 489.059,02 | R\$ 3.761.024,40 | R\$ 74.482,33 | 12 |
| 7) Verde com Película – 6 mm | 1813,04 | R\$ 489.059,02 | R\$ 3.637.337,76 | R\$ 74.482,33 | 11 |
| 8) Verde com Película – 8 mm | 1805,25 | R\$ 489.059,02 | R\$ 3.783.802,68 | R\$ 74.482,33 | 13 |
| 9) Cinza com Película – 8 mm | 1803,43 | R\$ 489.059,02 | R\$ 3.790.120,32 | R\$ 74.482,33 | 13 |
| 10) Cinza com Película – 6 mm | 1811,23 | R\$ 489.059,02 | R\$ 3.637.221,84 | R\$ 74.482,33 | 11 |
| 11) Cinza com Película – 10 mm | 1791,46 | R\$ 489.059,02 | R\$ 3.995.066,88 | R\$ 74.482,33 | 15 |
| 12) Prata com Película – 8 mm | 1707,32 | R\$ 450.777,60 | R\$ 4.027.176,72 | R\$ 112.763,75 | 10 |
| 13) Prata com Película – 6 mm | 1703,99 | R\$ 450.777,60 | R\$ 3.828.200,04 | R\$ 112.763,75 | 9 |
| 14) Prata com Película – 10 mm | 1691,50 | R\$ 450.777,60 | R\$ 4.181.176,44 | R\$ 112.763,75 | 12 |
| 15) Prata Neutro 6mm – 6 mm | 1672,41 | R\$ 450.777,60 | R\$ 4.027.176,72 | R\$ 112.763,75 | 10 |
| 16) Prata Neutro 8mm – 8 mm | 1664,62 | R\$ 450.777,60 | R\$ 3.828.200,04 | R\$ 112.763,75 | 9 |
| 17) Azul com Película – 6 mm | 1672,41 | R\$ 437.739,72 | R\$ 3.828.200,04 | R\$ 125.801,63 | 8 |
| 18) Azul com Película – 8 mm | 1664,63 | R\$ 437.739,72 | R\$ 3.981.098,52 | R\$ 125.801,63 | 9 |
| 19) Verde com Película – 10 mm | 1615,35 | R\$ 400.567,91 | R\$ 3.988.633,32 | R\$ 162.973,44 | 7 |

Fonte: Autores

Considerando o investimento adicional em relação a implantação do vidro transparente simples de 6 mm quando aplicado obteve o maior consumo de energia elétrica (R\$ 563.541,35) anual e o menor valor de implantação (R\$ 2.846.589,48), se comparado com os vidros aplicados (tabela 4). É importante lembrar que essa análise é com base no consumo elétrico dos equipamentos de ar condicionado para manter o conforto térmico do ambiente interno.

O vidro mais eficiente entre as amostras é o verde com película e espessura

de 10 mm (vidro nº 19) obtendo o menor consumo de energia elétrica anual (R\$ 400.567,91), sendo seu valor de implantação de R\$ 3.988.633,32. O mesmo foi capaz de reduzir a carga térmica em 29,17% e o seu investimento se recupera em 7 anos, ambos casos em relação ao vidro mais simples (nº 1). Com base neste estudo quando se trata de eficiência energética não se deve observar o menor custo de implantação dos materiais, mas sim qual é o retorno desse investimento ao longo dos anos.

5 CONCLUSÃO

Ao analisar o comportamento dos vidros em relação ao ganho de calor, pode-se observar que é possível diminuir a carga térmica do ambiente usando vidros mais eficientes com películas refletivas. Os vidros laminados simples obtiveram um ganho de calor maior em relação aos vidros com películas.

Para uma correta seleção dos vidros e melhor eficiência energética em uma edificação, conclui-se que é recomendada análise criteriosa do ganho de calor solar e o coeficiente de sombreamento que é a razão do espectro visível sobre o infravermelho, sendo possível observar a redução de até 29,17% da carga térmica escolhendo de forma adequada os vidros mais eficientes para o controle solar e reduzir o ganho de calor no ambiente interno e economizar no consumo de energia elétrica anual. Para a implantação dos vidros mais eficientes em comparação aos vidros mais simples o valor do investimento se recupera entre 7 e 8 anos.

Um outro fator que deve ser levado em consideração é o conforto visível através dos vidros para que não seja necessário o consumo excessivo de energia através da iluminação artificial.

Sugere-se, para complemento futuro desse trabalho, analisar o ganho de redução de calor através de outras fontes de proteção solar que não foram citadas nesse trabalho como brises, toldos e persianas internas e comparar o ganho de calor em cada tipo de proteção, verificando qual investimento é mais viável.

REFERÊNCIAS

ASHRAE HANDBOOK. **Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 1993.

ASSIS, R. M. **Caracterização óptica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental**. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-1**: instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários. Parte 1: projeto das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. p. 33-55.

CONBRAVA 2021 – São Paulo Expo, 23 à 25 de novembro de 2021 - São Paulo, Brasil

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-3:** instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários. Parte 3: qualidade do ar interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. p. 5.

CEBRACE. **Propriedades térmicas e ópticas dos laminados e refletivos**
CEBRACE: catalogo comercial. São Paulo, 2019. 4 p. Disponível:
https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/cebrace_Laminados_Refletivos.pdf. Acesso em: 23 ago. 2020.

GRIM, A. B. **Radiação solar incidente.** In: Meteorologia. Universidade Federal do Paraná, 2015. Disponível em:
<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>. Acesso em: 15 out. 2020.

HAP (Hourly Analysis Program): Programa para trabalhos de conservação de energia e projetos de climatização. Versão 5.11.[EUA]: Carrier, 2020. Disponível em:
<https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/software-downloads/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na Arquitetura.** 2. ed. São Paulo: PW Editores, 2004. p. 197-221.

MIANA, A. C. **Avaliação de desempenho térmico de brises transparentes: ensaio em células-teste.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

NEVEEN, Hamza. **Double versus single skin facades in hot arid áreas. Energy and Buildings.** Northumbria University, UK, 2008. p.15 - 28.

PEREIRA, E. G. S. A. **Caracterização ótica de vidros e películas de proteção solar utilizados na construção civil e Sua relação com o conforto ambiental.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

PINATTI, A. & SICHIERI, E. P. **Indicações sobre a utilização de vidros eletrocromicos com filme de Nb2O5 como proteção solar em edifícios.** In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1999, Fortaleza. ENCAC 99. Fortaleza: ENCAC 99, 1999. v.2. p. 103-108.

REVIT: Programa de modelagem, gerenciamento de projetos informações de Plataforma(BIM).Versão 2020: AutoDesk, 2020. Disponível em:
<https://knowledge.autodesk.com/customer-service/download-install/download/education-downloads>. Acesso em: 23 ago. 2018.