

## Conforto térmico e lumínico nos invólucros envidraçados: estudo empírico com filme de polímeros termocrômicos integrados no vidro

### *Thermal and lighting comfort in glazed enclosures: empirical study with thermochromic polymer film integrated into the glass*

**Hilma Ferreira, Doutoranda em Design, Universidade Federal de Pernambuco**

hilma.santos@ufpe.br

**Jullyene Costa, Mestre em Design, Universidade Federal de Pernambuco**

Jullyene.costa@ufpe.br

**Tarciana Andrade, Doutora em Design, Universidade de Lisboa em regime de cotutela com a Universidade Federal de Pernambuco**

andrade.tarci@gmail.com

**Amilton Arruda, Professor do PPG Design, Universidade Federal de Pernambuco**

amilton.arruda@ufpe.br

#### **Resumo**

Para contribuir para o controle das alterações climáticas, é fundamental considerar a relevância do envidraçamento de fachadas para a promoção da eficiência energética e do conforto térmico. O presente artigo analisa qualitativamente dois projetos, a partir da identificação das envoltórias como parâmetro inicial, seguida pela seleção das tipologias de vidro e, por fim, pela análise comparativa, tendo em vista a redução da exposição solar no interior do ambiente. O primeiro projeto foi o Centro Jack H. Miller — EUA, que obteve certificação LEED, enquanto o segundo, o Centro Universitário Unibra — BR, precisou de intervenção posterior à sua execução. Os estudos demonstram ser possível aprimorar o conforto térmico ao aplicar filmes Termocrômicos.

**Palavras-chave:** Vidro dinâmico; Película Termocrômica; Desempenho Termoenergético.

#### **Abstract**

*To contribute to the control of climate change, it is essential to consider the relevance of facade glazing for promoting energy efficiency and thermal comfort. This article qualitatively analyzes two projects, starting with the identification of the envelopes as the initial parameter, followed by the selection of glass typologies, and finally, by the comparative analysis, considering the reduction of solar exposure inside the environment. The first project was the Jack H. Miller Center — USA, which obtained LEED certification, while the second, the Unibra University Center — BR, required intervention after its execution. The studies demonstrate that it is possible to improve thermal comfort by applying thermochromic films.*

**Keywords:** Dynamic glass; Thermochromic film; Thermoenergetic performance.

## 1. Introdução

A partir do conceito de sustentabilidade, o vidro desempenha um papel fundamental na estrutura externa de uma edificação, sendo considerado um dos materiais mais flexíveis em termos de aplicação. Este material é essencial para a arquitetura contemporânea devido aos desenvolvimentos, quer estéticos, quer tecnológicos, estimulados pelo modernismo. De acordo com [1], a influência do vidro no conforto térmico da edificação está relacionada ao grau de transparência, à extensão das aberturas, à integração com elementos de sombreamento e aos revestimentos de baixa capacidade de emissão de energia por radiação da superfície, que auxiliam na redução da perda de calor no inverno e do ganho de calor no verão.

Para o desempenho térmico de qualquer edifício, é necessário analisar o aproveitamento da luz natural, pois seu uso não afeta apenas aspectos de eficiência energética e sustentabilidade, mas também o bem-estar dos usuários. As transparências no exterior do edifício são um fator importante no bloqueio do excesso de luz solar na envoltória da edificação, proporcionando assim iluminação e calor ao ambiente interior. Paralelamente a esses dispositivos estão as películas de proteção, materiais que impactam diretamente no controle de radiação solar no ambiente construído [2].

O atual estado de conhecimento demonstra que as investigações referentes à arquitetura estão condicionadas ao avanço tecnológico, uso de novos materiais e sistemas, diminuindo a necessidade de criar novos cenários. Uma das características que se destacam ao olhar para o edifício é o sistema de envidraçamento. Este sistema de vidro pode ser aplicado em toda a cobertura da envoltória, assumindo função de fechamento e ganhando condição de revestimento [3].

Com a modernização de novos produtos, a indústria vidreira vem possibilitando que os profissionais técnicos idealizem vidros que proporcionem melhoria e seguimento sustentável [4]. A tecnologia presente está disponibilizando produtos em vidro com aplicação de película especial, os quais vêm obtendo espaço no mercado, por serem compostos por elementos químicos que proporcionam a mudança de cor conforme a incidência e o aumento de temperatura. Tal propriedade colabora para o controle passivo dos ganhos de calor solar nos edifícios.

Portanto, o filtro Termocrômico, um elemento característico do vidro de invólucros em edificações, consegue fornecer proteção solar passiva, além de proporcionar a redução da dependência de sistemas de refrigeração mecânica, gerando reduções no consumo de energia elétrica e promovendo conforto térmico. Também ajuda a potencializar a luz natural no ambiente interno, reduzindo a necessidade de iluminação artificial [5].

Assim, o presente artigo analisa qualitativamente dois projetos com aplicação desse elemento de proteção solar e suas características, em conjunto com as tipologias dos vidros, a fim de obter conhecimentos específicos para melhorar o conforto térmico, visando à redução da exposição solar no interior do ambiente.

Dentro desse contexto, o documento estrutura-se da seguinte forma: no tópico 2, são contemplados conceitos do Termocromismo, suas características, composição por combinação de polímeros termoplásticos, corantes Termocrômicos e procedimento de fabricação a favor da sustentabilidade; no tópico 3, os procedimentos metodológicos como abordagem para obter dados concretos e análise comparativa focada em estudo de caso para a redução da exposição solar no interior dos ambientes; o tópico 4 apresenta uma descrição sobre os dois estudos de caso selecionados para a análise qualitativa; já o tópico 5 efetua análises das discussões

causadas pelos estudos de caso e suas particularidades; e por fim, no tópico 6, são apresentadas as conclusões finais como fechamento do artigo.

## 2. Contextualização Teórica

O Termocromismo é um fenômeno no qual a cor das substâncias muda conforme a variação da temperatura, quando são aquecidas e resfriadas. Essa propriedade pode trazer conforto e facilidade no dia a dia dos usuários. Geralmente, isso é possível devido às alterações na estrutura molecular da substância que afetam como a luz é absorvida ou refletida.

No entanto, existem diferentes mecanismos que podem causar o Termocromismo, como mudanças na estrutura cristalina, transições de fase ou atividades químicas específicas. Quando a temperatura é alterada, esses mecanismos podem levar a mudanças na cor da substância, tornando-a visivelmente diferente. Essas mudanças podem ser reversíveis, ou seja, o material possibilita voltar à sua cor original quando a temperatura retorna ao normal [6].

O desenvolvimento e a inovação de materiais Termocrômicos envolvem contribuições de cientistas, pesquisadores, especialistas e engenheiros de materiais ao longo do tempo. O fenômeno tem sido objeto de estudo e aplicação em diversas indústrias, resultando em avanços significativos na área. Recentemente, visando desenvolver um vidro mais sustentável em termos de energia e conforto térmico, estudos científicos estão apresentando propriedades ópticas e térmicas desejáveis, utilizando o método de Termocromismo e materiais sensoriais aplicados em janelas e fachadas.

Dentre as diversas modificações relevantes que propuseram o emprego do vidro na arquitetura contemporânea, houve diversas inovações e progressos tanto na construção civil quanto na indústria. De acordo com [4], estima-se que cerca de 70% da produção total de vidros seja usada no Brasil, sobretudo em edifícios altamente envidraçados. Nesse contexto, a relação comparativa da evolução na fabricação de vidro estima que cerca de 22% a 30% do consumo de energia elétrica seja destinado à luminosidade e 40% a 46% refira-se ao consumo de ar-condicionado [7].

A fim de integrar o envidraçamento às construções, considerando o conforto térmico e luminoso, contribuindo para um design arquitetônico moderno e sustentável, o presente artigo conduz um estudo empírico com um polímero termoplástico Termocrômico (Figura 1), em que possui uma transmitância variável e que responde às variações de temperatura, alterando sua cor para controlar a entrada de luz solar e calor, proporcionando um aspecto dinâmico e interativo à edificação.

Uma das principais características desse filtro é a capacidade de mudar sua transmissão térmica em resposta à temperatura ambiental. Isso significa que, quando a temperatura externa aumenta, a película Termocrômica se torna menos transparente, bloqueando uma quantidade maior de radiação solar e reduzindo a entrada de calor para o ambiente interno. Por outro lado, quando a temperatura externa diminui, o filtro se torna mais transparente, permitindo uma maior entrada de luz no ambiente interno [9]. Ainda segundo [9], essa tecnologia adaptada no vidro tem se expandido globalmente devido aos seus benefícios em termos de desempenho térmico e economia de energia.

Em se tratando de um modelo industrializado, a aplicação do vidro Termocrômico nas envoltórias deve sempre considerar alguns pontos que favorecem a edificação: o estilo arquitetônico predominante na região, o nível de insolação da fachada, a eficiência energética para o controle e redução do consumo de energia, a integração visual com o entorno, o impacto

ambiental na busca de alternativas sustentáveis e materiais de baixo impacto, considerando principalmente o contexto urbano. A Figura 1 evidencia um modelo da composição do filtro que permite ao ambiente uma transparência natural e transmissão de luz com adaptação e aplicação em vidro de qualquer cor.

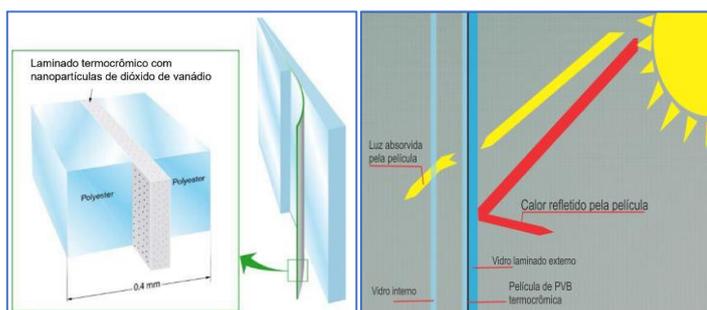


**Figura 1:** Película termocrômica de dióxido de vanádio. Fonte: Elaborado pelos autores [8].

O filme é composto por nanopartículas de dióxido de vanádio ( $\text{VO}_2$ ), e a cor muda de transparente para translúcida ao entrar em contato com a luz do sol. Quando os raios infravermelhos atingem o vidro, a película absorve o calor e escurece.

Dióxido de vanádio ( $\text{VO}_2$ ) é um material promissor para janelas inteligentes economizadoras de energia devido à sua transição metal-isolante reversível perto da temperatura ambiente e acompanhando grandes mudanças em suas propriedades ópticas [9].

De acordo com [10], a composição do vidro Termocrômico — laminado ou insulado + filme PVB na camada intermediária — conforme ilustrado na Figura 2, proporciona uma barreira parcial ao caminho do calor, e a quantidade de iluminação nessa área depende da cor e da espessura do vidro utilizado.



**Figura 2:** Composição do vidro laminado + filtro termocrômico. Fonte: Elaborado pelos autores [7].

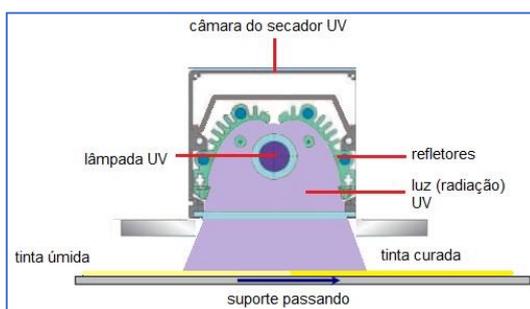
Esses filtros são normalmente produzidos pela mistura de pigmentos sensíveis ao calor em materiais como polímeros ou tintas. Esses pigmentos mudam de cor com as mudanças de temperatura, constituídos por uma combinação de polímeros termoplásticos e corantes Termocrômicos (produtos químicos derivados do vanádio).

Considerando que os materiais Termocrômicos podem apresentar uma ampla variedade de cores personalizáveis com base em necessidades específicas, essa diversidade é devida à presença de diferentes corantes ou pigmentos sensíveis à temperatura no material. Conforme os autores [11], os pigmentos mais frequentemente empregados para proporcionar Termocromismo são os leucos colorantes, também referidos como uma técnica que causa uma mudança de um estado sem cor ou levemente colorido para um estado colorido após ser exposto a certos estímulos químicos ou físicos. Quando utilizado em polímeros termoplásticos adaptados ao vidro, podem criar cores diversas com aplicação ou remoção de calor.



**Figura 3:** Filtro termocrômico aplicado no vidro. Fonte: Elaborado pelos autores [2].

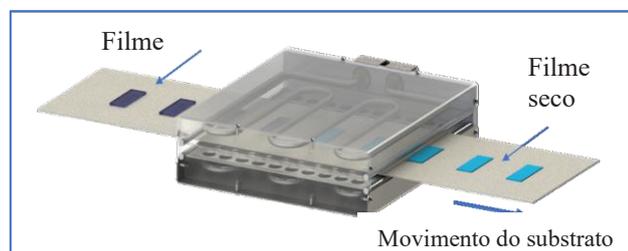
A fabricação do filtro Termocrômico envolve vários processos que começam com a preparação da tinta, aplicada em um substrato, sendo um filme plástico vaporizado. A execução pode ser feita por meio de técnicas de impressão, sendo o material submetido a um processo de secagem para remover a umidade e acelerar a cura da tinta. Em seguida, o filme passa por laminação, que envolve a sobreposição de várias camadas de filme Termocrômico com adesivos, finalizando com a aplicação de calor e pressão para unir as camadas e criar um filme resistente e durável (Figura 4).



**Figura 4:** Composição e processo de fabricação. Fonte: Elaborado pelos autores [6].

Segundo os autores [12], as técnicas de secagem incluem o uso de placas quentes, forno, luz ultravioleta e infravermelha. A escolha depende das propriedades do revestimento utilizado e do processo de composição. Por outro lado, a preferência da tecnologia relacionada à espessura do filme está ligada à resolução do padrão de impressão e ao processo de cura quando exposto à luz UV. A Figura 5 evidencia o processo de secagem do filme e evaporação do solvente, mostrando o substrato passando por um ambiente com temperatura controlada. Essas

composições e procedimentos têm sido foco de pesquisa desde a década de 1980, devido à sua transição de isolador térmico para isolador de temperatura relativamente baixa.



**Figura 5:** Sistema de secagem por forno. Fonte: Elaborado pelos autores [11].

Um questionamento relevante que surge neste estudo é em relação à aplicação desses materiais em edificações envidraçadas no contexto brasileiro. No entanto, assim como qualquer tecnologia inovadora, poucas empresas nacionais disponibilizam o produto no mercado devido ao alto custo. Esta tecnologia está presente no Brasil desde 2017, conforme comentado por Chohfi [9] em sua palestra, “a comercialização não é muito conhecida, nem tão utilizada, como outros modelos de vidros que oferecem a mesma proposta”. Acredita-se que a compreensão das propriedades técnicas, estudos sobre a aplicação e desempenho térmico da película Termocrômica no Brasil possam contribuir para a disseminação das potencialidades do material como dispositivo de controle térmico em edificações. Nesse sentido, o próximo tópico abordará os procedimentos metodológicos e casos de aplicação.

### 3. Materiais e Métodos

O presente estudo analisa qualitativamente dois projetos que aplicam filtros ao longo dos envidraçados das fachadas. Para tanto, identificam-se inicialmente as envoltórias como parâmetro inicial, seguidas pela seleção das tipologias de vidro e, por fim, pela análise comparativa, tendo em vista a redução da exposição solar no interior do ambiente.

Em relação aos critérios para a seleção dos estudos de caso, têm-se: a) por meio de revisão de literatura, identificou-se o projeto de referência internacional, o Centro Jack H. Miller de Artes Musicais, em Michigan, EUA, de 2015. Tal projeto obteve, em 2017, a certificação LEED e aplicou nos vidros filtros Termocrômicos (os quais se adaptam às mudanças de temperatura do ar e de iluminação solar); b) o segundo projeto, por sua vez, adotou como premissa a necessidade de contemplar o contexto climático de Recife-PE, e, concomitantemente, era do conhecimento dos investigadores, que, ao longo da jornada profissional, tomaram ciência da necessidade de adaptar os filtros designados para o projeto inicial do Centro Universitário Unibra (projeto também construído em 2015).

A necessidade de intervenção posterior teve a intenção de aprimorar o conforto dos usuários, sobretudo no que tange às questões de controle térmico, diminuição da incidência de luz solar, redução do calor e do brilho excessivo nas salas de aula. No que se refere à análise qualitativa dos casos de estudo, considerou-se a tipologia do filtro utilizado, bem como os dados de referência disponibilizados pelos fornecedores. Nesse sentido, foram elucidados os distintos níveis de proteção solar UV, transmissão de luz visível (VLT), coeficiente de ganho de calor solar (SHGC), reflexão e transmitância térmica, além do desempenho de proteção solar dos

vidros com a aplicação dos filtros, entre outras características voltadas para o comparativo dos dois estudos.

#### 4. Estudos de Caso

Este tópico elucidará os dois estudos de caso supracitados, a saber: centro Jack H. Miller— EUA e Centro Universitário Unibra— Brasil. Ao longo do texto descritivo, serão abordados o detalhamento técnico dos filtros utilizados, bem como suas composições e especificações dos materiais em relação ao desempenho fornecido pelos fornecedores de acordo com cada projeto. Por fim, apresenta-se um quadro-resumo das características físicas das tipologias de vidro selecionadas para uma análise comparativa focada nos dois estudos.

##### 4.1. Estudo de caso 1

O primeiro estudo de caso apresenta um recorte específico de uma edificação com uma das fachadas em vidro, localizada no Hope College, em Holland, Michigan, EUA. O Centro de Artes Musicais JackH. Miller, concluído em 2015, recebeu a certificação LEED Silver em 2017. A certificação foi atingida por meio da implementação de táticas e soluções práticas e mensuráveis que visam um alto desempenho no desenvolvimento sustentável em áreas como economia de água, eficiência energética, seleção de recursos e bem-estar ambiental interno.



**Figura 6:** Centro Jack H. Miller de Artes Musicais. Fonte: Elaborado pelos autores [11].

Obra, realizada pelo escritório de arquitetura HGA (EUA), teve como desafio a construção de um centro musical estudantil com uma estrutura aproximada de 5.956 m<sup>2</sup>. No entanto, havia uma linha de trem em seu entorno que poderia afetar potencialmente a acústica. O projeto precisava incluir áreas reservadas para salas de música, como salas de aula, ensaios, recitais, concertos e escritórios. Para abrandar essa situação e resolver os problemas acústicos, a equipe selecionou materiais que bloqueassem o som e melhorassem a acústica.

Entre os revestimentos para isolamento externo, a escolha especificada foi o vidro dinâmico Termocrômico automatizado, com orientação voltada para o oeste. A escolha recaiu sobre o vidro dinâmico Suituitive de 8 mm (4 + 4) transparente, com uma camada intermediária de PVB dinâmico Termocrômico de 1,22 mm na cor cinza, que ajusta sua transparência conforme a temperatura do ar e a intensidade da luz solar. Conforme o autor do projeto [13], o material escolhido garantiu iluminação natural e contribuiu para a certificação LEED, oferecendo uma solução inovadora para atender os requisitos de desempenho da edificação ao longo do ano, cobrindo períodos de manhã, tarde e noite (figura 7).

O LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é utilizado em mais de 160 países e consiste em um sistema internacional de certificação para construções sustentáveis. Esse sistema tem em vista promover e atestar o comprometimento das edificações com os princípios da sustentabilidade na construção civil [15]. O LEED considera o consumo de energia de cada material para otimizar a transmissão térmica, favorecer a iluminação natural e, conseqüentemente, reduzir as emissões de dióxido de carbono, analisando e qualificando as fachadas de um edifício [16].



Figura 7: Centro Jack H. Miller de Artes Musicais. Fonte: Elaborado pelos autores [11].

O estudo buscou uma tecnologia que proporcionasse uma transmitância de luz visível de aproximadamente 69% e iluminância (lux) com bloqueio solar de 78% nos ambientes internos, entre o hall de entrada principal e as circulações de acesso ao mezanino.

Entretanto, para obter uma composição de vidro favorável à irradiância solar e à proteção e transmissão luminosa, instalou-se um sistema duplo que inclui vidros laminados e camadas intermediárias do filtro Suituitive, formando uma espessura de aproximadamente 8 mm (vidro) + 1,22 mm (filtro) (Figura 8).

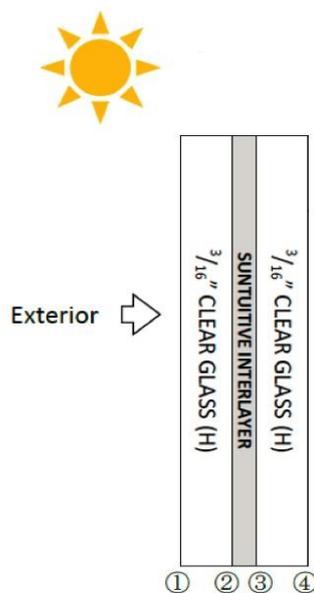


Figura 8: composições de vidro termocrômico. Fonte: Elaborado pelo autor [9].

As características e práticas adotadas no edifício contribuíram desde a localização até a utilização dos revestimentos. A inserção do filtro Termocrômico no vidro reforçou uma redução geral no uso de energia elétrica e no impacto ambiental. Especificamente, as vantagens que o sistema oferece beneficiam os fatores relacionados aos usuários no ambiente interno, melhorando o desempenho da edificação e promovendo a sustentabilidade.

#### 4.2. Estudo de caso 2

Na costa quente e tropical do nordeste do Brasil, em Recife, uma das maiores áreas metropolitanas e um importante polo cultural, a arquitetura educacional vem adotando uma nova tendência no estilo de envoltórias. O Centro Universitário Unibra, registrado como Campus II, foi construído em 2015 e está localizado em torno de um edifício histórico, um antigo hospital psiquiátrico fundado em 1940 e desativado no início dos anos 2000.

Visando uma abordagem inovadora na educação e com o intuito de proporcionar bem-estar aos usuários, o invólucro do edifício conta com vidro de proteção solar Cebrace Cool Lite STB 120, laminado de 8 mm (4 + 4 mm), refletivo, prata, com filme PVB incolor (Polivinil Butiral) de 0,38 mm (Figura 9). Por ser um vidro fabricado com nanotecnologia de alto desempenho, ele reduziu a entrada de 69% do calor no ambiente, promovendo conforto térmico até nos dias mais quentes do Nordeste do país.



**Figura 9:** Centro Universitário Unibra, Campus II. Fonte: Elaborado pelo autor [14].

Na tentativa de oferecer mais conforto sonoro, segurança e bloqueio da radiação ultravioleta, o projeto teve em vista atender à regulamentação da norma técnica ABNT NBR 7199, que orientou a escolha da estrutura e cor do vidro. Entretanto, devido à localização do edifício em relação ao norte geográfico da região, após a montagem da fachada, surgiu a necessidade de implementar uma solução adicional. Foi decidido revestir internamente os vidros com uma película insulfilm adesiva plástica fumê de controle solar e redução de ruídos.

Essa película tinha como objetivo reduzir o índice de luminosidade, a incidência de calor e a transmissão de ruídos externos para o interior da edificação, proporcionando maior conforto acústico e proteção contra os raios UV nas salas de aula e demais setores. Este caso demonstra que, apesar de a fachada ter sido projetada para proporcionar maior conforto térmico e acústico

aos usuários, a película selecionada conferiu um resultado inadequado às necessidades específicas do ambiente em questão.

## 5. Análises das Discussões

Conforme os estudos de caso apresentados, notou-se que tais procedimentos promoveram aspectos sustentáveis. Esse fato pôde ser explicado no caso 1, por ser um recurso em ascensão, mas ainda não amplamente observado nas construções urbanas no Brasil. Apesar do considerável desconhecimento da tecnologia, o estudo 1 pôde proporcionar melhorias na eficiência energética e na acústica dos ambientes. Já no caso 2, o índice de luminosidade foi um ponto de destaque, levando à escolha de uma alternativa estratégica para reduzir o excesso de iluminação transmitida pelo vidro especificado. No entanto, isso impossibilitou atender plenamente às necessidades de conforto térmico e à redução da luminosidade no ambiente. A Tabela 1 apresenta um resumo das características físicas focadas nos dois estudos de caso, consoante a especificação dos fornecedores Pleotint LCC-USA e Cebrace-BR.

**Tabela 1.** Análise comparativa entre os estudos de caso. PVB = Polivinil Butiral. Os sinais “•”, “••” ou “•••” para critério definem hierarquia de interesse. O maior número de pontos significa que foi dada mais atenção ao critério destacado. Um “-” significa que o critério em questão não ocorreu

Características	Caso de Estudo 1	Caso de Estudo 2
Projeto	Centro Jack H. Miller de Artes Musicais	Centro Universitário Unibra (Campus II)
Local	Michigan - EUA	Recife-PE
Ano Conclusão	2015	2015
Certificação LEED do projeto	•••	-
Aplicação do filtro na fachada localizada a	Oeste	Leste
Sistema de esquadria com vidro	vidros laminados incolor	vidros laminados refletido prata
Tipologia filtro	PVB termocrômica 1,22 mm cinza	PVB incolor - Polivinil Butiral - 0,38mm
Fornecedor do filtro	Pleotint LCC-USA	Cebrace-BR
Disponibilidade no mercado brasileiro	Dificuldade de acesso no mercado brasileiro devido ao custo e conhecimento técnico	Acessível no Brasil
Quantidade de vidros	02 folhas de vidro e camada intermediária PVB termocrômica 1,22 mm cinza	02 folhas de vidro com filme PVB para proteção solar 0,38 mm prata refletivo
Espessura do vidro	4 mm + 4 mm = 8 mm	4 mm + 4mm = 8 mm
Característica do filtro	Promover proteção da exposição solar	Promover proteção solar
Transmitância Térmica	2,130 W (m <sup>2</sup> K)	5,600 W (m <sup>2</sup> K)
Fator solar	0,28	0,29
Transmissão de luz (VLT)	0,49 – 60%	0,20 – 45%

Ganho de calor solar (SHGC)	0,36 – 10%	0,42 – 30%
Reflexão externa	0,10	0,316 – 30%
Proteção UV	100%	99%
Necessidade de sinal elétrico para operar	-	-
Proteção Acústica	••	•••
Contribui para reduzir a necessidade de energia elétrica	••	••
Contribui para a sustentabilidade da edificação	•••	••
Qual o propósito da aplicação do filtro?	Controle do ganho/perda de calor e de luz na edificação	Controle acústico, iluminação e segurança. Não ofereceu as mesmas condições de eficiência em relação ao controle térmico
Houve necessidade de melhoria no projeto?	-	Sim
Qual melhoria?	-	Aplicação de revestimento interno ao vidro com película adesiva com o objetivo de reduzir o índice lumínico dos ambientes, que provocou a ampliação dos índices reflexivos dos vidros
Características da película implementada	-	Película insulfilme adesivo plástico fumê de controle solar e redução de ruídos

Fonte: Autores (2024).

Segundo a tabela apresentada, notou-se que ambos os projetos foram concluídos em simultâneo, mas utilizaram diferentes tipos de vidro: o projeto 1 usou vidro translúcido dinâmico com camada intermediária PVB termocrômica, enquanto o projeto 2 usou vidro monolítico refletivo prata com filtro incolor, de fornecedores diferentes. O filme Termocrômico usado no projeto do caso 1 oferece proteção solar de 100% contra a luz UV, enquanto o usado no caso 2 permite a entrada de 99% dos raios UV. Em relação à transmitância térmica, o projeto 1 fornece 2,130 W/(m<sup>2</sup>K), enquanto o projeto 2 transmite 5,600 W/(m<sup>2</sup>K), o que pode variar de acordo com a região. No caso 2, o nível de desempenho permitiu uma redução de entrada de 69% do calor no ambiente, enquanto no caso 1 foi promovido um conforto térmico de 78% no espaço interno, conforme dados dos fornecedores de cada vidro.

Em resumo, enquanto a película Termocrômica no estudo 1 controlou ativamente a entrada de luz e calor na edificação, também oferecendo baixo fator de ameaça, permitindo atender aos requisitos para LEED, no estudo 2, o filme PVB foi voltado principalmente para segurança e controle solar, com a aplicação posterior da película plástica para acústica e proteção solar adicional. Ambas têm aplicações e técnicas específicas e podem ser utilizadas em conjunto para atender às necessidades de conforto e segurança em diferentes ambientes. No entanto, acredita-se que as potencialidades do vidro Termocrômico poderiam ter sido implementadas no estudo 2 para aprimorar o conforto térmico e acústico no espaço construído.

## 6. Considerações Finais

As fases de construção deste estudo serviram como base para selecionar, descrever e comparar os dois estudos de caso que utilizaram a aplicação de películas em projetos de fachadas. Ao analisar a aplicação das duas técnicas, identificou-se que o estudo 1, com a aplicação da película Termocrômica, possibilita o controle do ganho/perda de calor e luz na edificação. Por outro lado, o estudo 2, que consistiu na aplicação do filme PVB, foi direcionado para a segurança, controle da acústica e iluminação, não oferecendo as mesmas condições de eficiência em relação ao controle térmico do primeiro caso de estudo.

Além disso, após a adição da película adesiva na parte interna dos ambientes, os vidros externamente ficaram mais reflexivos, o que provavelmente está causando choques de pássaros na edificação. Ressalta-se que ambas as películas têm aplicações e técnicas específicas e podem ser utilizadas em conjunto para atender às necessidades de conforto e segurança em diferentes ambientes, aproveitando suas propriedades técnicas. Estudos futuros poderão evidenciar as vantagens e desvantagens das distintas abordagens na edificação. Ademais, a análise do primeiro caso evidenciou que a aplicação dos filtros Termocrômicos pode contribuir para projetos que visem obter a certificação LEED, por colaborarem para a eficiência energética e sustentabilidade das edificações.

Por fim, ressalta-se que, apesar do atual estado de conhecimento indicar que a tecnologia dos vidros Termocrômicos não é amplamente acessível, sua aplicação pode contribuir significativamente para a eficiência energética em prol da sustentabilidade. Futuros estudos poderão avaliar em profundidade a análise dos filtros em contextos climáticos similares de aplicação, bem como realizar análises de tendências de aplicação dos filtros no Brasil.

## Referências

- [1] QUEIROZ, N. Projeto da envoltória guiado por desempenho: método paramétrico interoperável com enfoque no desempenho térmico, visual e luminoso: Universidade Federal de Santa Catarina, 2023. 14 p
- [2] FERREIRA, H., MOREIRA, F., & ARRUDA, A. J. V. Graphic Composition on Glass: technique and conceptual model in bioinspired design: UFSC – Florianópolis, 2023. 2 p
- [3] FERREIRA, H. O. S.; ARRUDA, A.; ANDRADE, M. Análise nas fachadas cinética e dinâmica: um estudo de design sobre técnicas e modelos conceituais. Design & Tecnologia, Rio de Janeiro, dez. 2022. 8 p
- [4] WESTPHAL, Fernando Simon. Manual Técnico do Vidro Plano para Edificação. São Paulo: Abividro, 2016.
- [5] DIAS, L. S. Desempenho termoenergético e lumínico de fachadas envidraçadas com brise-soleil em edificações multipavimentos climatizadas: tipos de vidros e tipologias de brises. / Luma de Souza. 2021.
- [6] SALAMATI, M., KAMYABJOU, G., MOHAMADI, M., TAGHIZADE, K., KOWSARI, E. Preparation of TiO<sub>2</sub>@W-VO<sub>2</sub> thermochromic thin film for the application of energy efficient smart windows and energy modeling studies of the produced glass, Construction and Building Materials, Volume 218, 2019.
- [7] COSTA, J. F. W.; AMORIM, C. N. D. Materiais transparentes e translúcidos inovadores em fachadas e seu desempenho em iluminação natural: panorama internacional e aplicabilidade

no contexto brasileiro. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 22, n. 4, p. 179-198, out./dez. 2022.

[8] X.P. ZHAO, S.A. MOFID, T. GAO, G. TAN, B.P. JELLE, X.B. YIN, R.G. YANG, Durability-enhanced vanadium dioxide thermochromic film for smart windows, *Materials Today Physics*, Volume 13, 2020.

[9] CUI. Y., KE. Y., LIU. C., CHEN. C., WANG. N., ZHANG. L., ZHOU. Y., WANG. S., GAO. Y., LONG. Y. Thermochromic VO<sub>2</sub> for Energy-Efficient Smart Windows, *Joule*, Volume 2, Issue 9, 2018.

[10] CHOIFI, R. E. Alcance Iluminação Natural, Eficiência Energética, Geração de Eletricidade e Certificação LEED com Duas Tecnologias Avançadas de Vidro: 1. Vidro Termocrômico e 2. Vidro Fotovoltaico. *Greenbuilding Brasil*, 2017.

[11] SEEBOTH, A.; LÖTZSCH, D.; RUHMANN.; R. First example of a non-toxic thermochromic polymer material – based on a novel mechanism. *J. Mater. Chem. C*, 2013, 1, 2811;

[12] CAGNANI, G. R., CAGNANI, L. D. Deposição de filmes finos por técnicas roll-to-roll. p. 345 -372. In: *Nanotecnologia Aplicada a Polímeros*. São Paulo: Blucher, 2022.

[13] OLGERS, G. Engenhosidade de design acústico para uma instalação acolhedora e de classe mundial, 2017. Disponível em: <https://hga.com/projects/hope-college-jack-h-miller-center-for-musical-arts/> Acesso em: 18 mar. 2024.

[14] HANAZAKI, P. "UNIBRA IBGM / Hanazaki Paisagismo" 08 Abr 2019. *ArchDaily Brasil*. Disponível em; <<https://www.archdaily.com.br/br/914465/unibra-ibgm-hanazaki-paisagismo/>> Acesso 31 Mar 2024.

[15] LOTTI, M. G. M. 2015. Processo de desenvolvimento e implantação de sistemas, medidas e práticas sustentáveis com vista a certificação ambiental de empreendimentos imobiliários: estudo de caso: Empreendimento Bairro Ilha Pura – Vila Dos Atletas 2016. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio De Janeiro, 2015.

[16] U.S. Green Building Council. 2009. LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction For the Design, Construction and Major Renovations of Commercial and Institutional Buildings Including 2009 Edition USGBC Membership.