# A APLICAÇÃO DE MATERIAIS TRANSLÚCIDOS E TRANSPARENTES NAS FACHADAS DAS EDIFICAÇÕES E SUA RELAÇÃO COM O CONFORTO TÉRMICO

**Camila Viela Lara e Silva (1); Maria Inês Lage de Paula (2)**
(1) Graduanda, Estudante de Arquitetura e Urbanismo camila.silva.1201059@sga.pucminas.br, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Brasil, 2023 – Funcionários, Belo Horizonte, (31) 99823-5196
(2) Professora Doutora, Arquiteta e Urbanista, milpaula@pucminas.br , Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Brasil, 2023 – Funcionários, Belo Horizonte.

## RESUMO
Vidros e policarbonatos são utilizados a todo momento nas edificações, em algumas delas trazendo severos prejuízos ao conforto térmico. Parte da razão para o uso inadequado desses materiais é o desconhecimento, por parte de arquitetos e projetistas, a respeitos das propriedades desses materiais, e de como os mesmos podem ser utilizados de maneira favorável em soluções passivas de conforto. Este trabalho selecionou materiais translúcidos e transparentes, sendo eles os vidros planos refletivos metalizados a vácuo, os policarbonatos e o vidro eletrocrômico, caracterizando suas propriedades e associando as mesmas ao atendimento das diretrizes de desempenho térmico propostas pela NBR 15220-3 (2005), que aborda o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas associadas a estas zonas. Ao final do estudo, foi possível obter a classificação de melhores indicações de uso desses materiais conforme as zonas bioclimáticas, de forma a contribuir no alcance dos objetivos de desempenho térmico das edificações.

Palavras-chave: zoneamento bioclimático, conforto térmico, vidro, policarbonato.

## ABSTRACT
Glass and polycarbonate are often used in buildings, in some cases causing severe damage to thermal comfort. Part of the reason for the inappropriate use of these materials is the lack of knowledge, by architects and designers, of the properties of these materials, and how they can be used favorably in passive comfort solutions. This paper shows the results of a research that aimed to select translucent and transparent materials, such as vacuum metallized reflective flat glass, polycarbonates and electrochromic glass, characterizing their properties and associating them with meeting the thermal performance guidelines proposed by NBR 15220-3 (2005), which addresses the Brazilian bioclimatic zoning and the constructive guidelines associated with these zones. At the end of the study, it was possible to obtain the classification of the best indications for the use of these materials according to the bioclimatic zones, in order to contribute to the achievement of the thermal performance objectives of the buildings.

Keywords: bioclimatic zoning, thermal comfort, glass, polycarbonate.

## 1. INTRODUÇÃO
Desde a Revolução Industrial e a Arquitetura Moderna, no início do século XX, materiais translúcidos e transparentes, como principalmente o vidro e o policarbonato, têm sido vastamente aplicados nas fachadas de projetos arquitetônicos (VITRUVIUS, 2020). Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Vidros Planos, por meio de levantamento publicado no site oficial da associação no ano de 2018, em 2017 a construção civil era responsável por aproximadamente 80% do consumo de vidros planos do Brasil. Estando presente tanto em residências como em grandes edifícios, os materiais translúcidos, apesar de apresentarem certa beleza estética, podem prejudicar de diversas formas os ambientes internos de uma edificação caso sejam empregados de forma inadequada, sem que haja um estudo prévio a respeito do clima e das condicionantes referentes à região na qual se inserem, além das características físicas e de desempenho térmico que os qualificam e particularizam.

Sob este contexto, de modo a auxiliar o arquiteto no reconhecimento de estratégias construtivas de baixo impacto ambiental da aplicação do vidro e dos policarbonatos em seus projetos, visando atingir especialmente o conforto térmico, é importante que o profissional possa conhecer as propriedades térmicas dos materiais translúcidos que potencialmente serão utilizados em fachadas. Apesar disso, tal informação não se encontra disponibilizada para os arquitetos de maneira prática, organizada e clara. O uso de linguajar especializado e de grandezas térmicas raramente associadas ao dia a dia do arquiteto dificultam a compreensão sobre o impacto do uso destes materiais na busca pelo conforto térmico. Este trabalho se propõe a analisar estes materiais e disponibilizar de forma clara as informações sobre os mesmos, de forma a auxiliar na etapa do projeto arquitetônico, permitindo que o arquiteto faça escolhas conscientes para seu projeto. As diferenças climáticas e como as mesmas interferem na boa concepção arquitetônica também devem ser fundamentalmente consideradas em tal análise.

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo principal identificar diretrizes de utilização dos vidros planos refletivos metalizados a vácuo, dos policarbonatos e do vidro eletrocrômico, a partir da associação das características físicas e químicas de tais materiais às zonas bioclimáticas brasileiras, de modo a indicar qual equipamento é mais adequado para ser aplicado em cada uma delas.

## 3. MÉTODO

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, inicialmente foram investigados as características e o desempenho térmico dos vidros planos refletivos metalizados à vácuo, dos policarbonatos e do vidro eletrocrômico. Em seguida, foram classificadas as diretrizes recomendadas às zonas bioclimáticas, conforme NBR 15220-3 (2005). Para aprofundar a compreensão das características climáticas das zonas, foram realizados diagnósticos a partir da carta bioclimática desenvolvida por Givoni para 8 cidades brasileiras, sendo cada cidade pertencente a uma zona. A realização dos diagnósticos teve como objetivo ter contato com os dados climáticos brutos, não processados, o que permitiu a observação de aspectos tais como amplitude térmica, umidade relativa e existência de comportamento sazonal. Para tal análise, foram utilizadas as normais climatológicas referentes ao período 1961 – 1990, disponibilizadas pelo INMET.

Após a etapa de coleta e tratamento inicial das informações, passou-se ao desenvolvimento do estudo da associação entre os requisitos e diretrizes referentes à cada zona bioclimática e sua associação às propriedades dos materiais translúcidos.

### 3.1. Os vidros planos refletivos metalizados à vácuo, os vidros eletrocrômicos e os policarbonatos

Como mencionado anteriormente, os materiais selecionados para o desenvolvimento desta pesquisa foram os vidros planos refletivos metalizados à vácuo, os vidros eletrocrômicos e os policarbonatos.

Sobre o vidro refletivo, também conhecido como vidro termo refletivo ou termo refletor, é importante destacar que sua fabricação é realizada a partir do vidro *float* incolor ou colorido. Neste processo de produção, uma das faces do material é atingida por uma camada óxida que acentua seu grau de reflexão e faz com que a visão do lado mais iluminado em direção ao menos iluminado seja diretamente proporcional à quantidade de luz incidente, situação conhecida como “efeito espelho”. Tal face metalizada deve preferencialmente estar voltada para o interior da edificação. Além disso, é possível incorporar ao vidro refletivo os vidros laminados, lapidados ou temperados, ou então aplicar sistemas de envidraçamentos isolantes através de vidros duplos ou triplos.

O vidro eletrocrômico foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar no processo de integração entre o uso do vidro e o conforto ambiental. Sua tecnologia funciona de forma similar à íris dos olhos, de modo a variar a transmissão global, mas ainda mantendo uma visão clara. Além disso, esse tipo de vidro possui a capacidade de diminuir a passagem de raios ultravioleta e infravermelho de um ambiente para o outro. Suas possibilidades de uso são variadas e, devido às suas características, sua aplicação pode contribuir para o alcance tanto do conforto térmico quanto do conforto luminoso (PORTO, 2020).

No que tange o policarbonato, tal material começou a ser produzido de forma independente na indústria em meados do século XX, pelas empresas Bayer e General Eletric, sob o contexto da Segunda Guerra Mundial, quando buscava-se encontrar um material transparente e resistente para ser empregado em helicópteros e visores (SARDEIRO; CARAM, 2009). Sua composição inclui polímeros termoplásticos amorfos de cadeia heterogênea linear, com origem da condensação do bisfenol A e do ácido carbônico,

reunindo propriedades de metais leves, vidros e plásticos. Suas principais características se referem à transparência semelhante à do vidro e à maior resistência mecânica contra impactos (SARDEIRO; CARAM, 2009).

## 3.2. Diagnóstico Climático

Ao relacionar as características das zonas bioclimáticas aos estudos realizados e às recomendações da NBR 15220-3:2005, algumas informações gerais foram compiladas. No que tange à Zona Bioclimática 1, caracterizada pelo clima subtropical úmido, são recomendadas diretrizes que favoreçam o aquecimento solar. Para a Zona Bioclimática 2, tipificada pelo clima quente e temperado, também são sugeridas medidas que favoreçam o aquecimento solar. Esta mesma categoria geral de diretrizes é indicada, também, paras as zonas bioclimáticas 3 e 4, ambas representadas pelo clima tropical de altitude, mas sendo a zona 4 representada por cidades que atingem maiores temperaturas no verão, o que faz com que ainda sejam apontadas, para elas, medidas de controle solar. Finalmente, no que tange à Zona Bioclimática 5, caracterizada pelo clima tropical, são indicadas diretrizes de controle solar e o uso de materiais com alta resistência térmica. As mesmas medidas são direcionadas às zonas 6 e 7, tipificadas respectivamente pelos climas tropical quente e subúmido, e tropical quente e úmido. Por fim, com relação à Zona Bioclimática 8, caracterizada pelo clima equatorial quente e úmido, são determinadas diretrizes de controle de troca de calor e perda de energia.

## 4. RESULTADOS

Como demonstrado ao longo do texto, a aplicação de materiais translúcidos e transparentes nas fachadas das edificações influencia diretamente nas condições de conforto térmico que serão atingidas nos ambientes internos de tais edificações. A arquitetura, a bioclimatologia e a escolha de materiais a serem aplicados na construção se correlacionam e devem estar associados, visando o atingimento das condições de conforto do indivíduo no espaço. A síntese das análises é apresentada na tabela 1.

No que diz respeito ao vidro plano refletivo metalizado a vácuo, a camada óxida presente em uma de suas faces contribui para que seu índice de refletância aumente, protegendo e diminuindo a entrada de radiação infravermelha para o interior da edificação. Sendo assim, a alta reflexão do infravermelho longo e a baixa transmissão do infravermelho próximo, características do material em questão, contribuem para a baixa absorção da radiação e consequente controle da alteração das temperaturas internas do ambiente no qual o material é aplicado. Tendo em vista tais propriedades descritas, é correto associar a utilização dos vidros planos refletivos metalizados a vácuo às zonas bioclimáticas 4, 5, 6 e 7, especialmente por serem zonas nas quais se fazem necessárias medidas de controle solar no verão, sendo, também, recomendado o uso de materiais com alta inércia térmica, exceto em regiões litorâneas.

Tabela 1 – Síntese das análises.

| **Zona Bioclimática** | **Características climáticas da zona** | **Diretrizes associáveis aos materiais, conforme NBR 15220-3 (2005)** | **Material translúcido compatível** | **Características do material** | **Justificativa da indicação** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Clima subtropical úmido, sem estação seca, verões frescos e inverno frio. | ● aberturas sombreadas de tamanho médio (15% a 25% da área de piso);<br>● entrada de luz solar no inverno;<br>● aquecimento solar no inverno;<br>● no período mais frio do ano, apenas o condicionamento passivo não é suficiente. | - Policarbonato | Material translúcido, de resistência elevada – entre 55 – 160 N/mm² - e leveza 80% maior que a do vidro. Baixo coeficiente de condutividade - por volta de 0,21W/m²K - e pouca transmissão de calor. | Por serem indicadas diretrizes que favoreçam o aquecimento solar, sobretudo no inverno, as qualidades de leveza e de alta absorção da radiação do policarbonato que a temperatura mínima interna dos ambientes esteja superior ou igual à temperatura mínima exterior. |
| 2 | Clima quente e temperado, com alto índice pluviométrico durante todo o ano, sendo a média anual de 1505 mm. | | | | |
| 3 | Clima tropical de altitude, com inverno seco e verão úmido. | ● aberturas de tamanho médio (15% a 25% da área de piso);<br>● entrada de luz solar no inverno;<br>● ventilação cruzada no | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | verão;<br>● aquecimento solar no inverno. | | | |
| 4 | Clima tropical de altitude, com inverno seco e verão úmido, mas que conta com regiões que podem atingir maiores temperaturas no verão quando comparado às regiões da Zona Bioclimática 3. | ● aberturas sombreadas de tamanho médio (15% a 25% da área de piso);<br>● resfriamento evaporativo e massa térmica de resfriamento no verão;<br>● ventilação seletiva quando a temperatura externa é menor que a interna no verão;<br>● uso de aquecimento solar no inverno. | - Policarbonato<br>- Vidro Plano Refletivo Metalizado a Vácuo | <u>Policarbonato:</u><br>Material translúcido, de resistência elevada – entre 55 – 160 N/mm² - e leveza 80% maior que a do vidro. Baixo coeficiente de condutividade - por volta de 0,21W/m²K - e pouca transmissão de calor<br><u>Vidro Plano Refletivo:</u><br>Material transparente, maior resistência térmica com condutividade de 0,21 W/m.K., reduzindo o ganho de calor no período de verão e a perda do mesmo no inverno. | Por serem indicadas diretrizes que favoreçam o aquecimento solar no inverno e de controle solar no verão, é recomendado tanto o uso do policarbonato quanto do vidro plano refletivo. A aplicação do primeiro deles se justifica pelas características de alta absorção da radiação, enquanto a do segundo se justifica pela maior resistência térmica, ambos contribuindo para o balanceamento entre as temperaturas exteriores e interiores. |
| 5 | Clima tropical, com maiores índices pluviométricos no período de verão do que no de inverno, além de temperaturas elevadas durante o inverno. | ● aberturas sombreadas de tamanho médio (15% a 25% da área de piso);<br>● ventilação cruzada no verão. | Vidro Plano Refletivo Metalizado a Vácuo | Material transparente, maior resistência térmica com condutividade de 0,21 W/m.K., reduzindo o ganho de calor no período de verão e a perda do mesmo no inverno. | Por serem indicadas diretrizes de controle solar e o uso de materiais com melhor condução de calor, é recomendada a aplicação do vidro plano refletivo metalizado a vácuo devido a sua maior resistência térmica com condutividade de 0,21 W/m.K., reduzindo o ganho de calor no período de verão e a perda do mesmo no inverno. |
| 6 | Clima tropical quente e subúmido, com altos índices pluviométricos no período de verão. | ● aberturas sombreadas de tamanho médio (15% a 25% da área de piso);<br>● uso de resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento no verão;<br>● ventilação seletiva quando a temperatura externa é menor que a interna no verão. | | | |
| 7 | Clima tropical quente e úmido, com altas temperaturas durante todo o ano, além de extenso período chuvoso desde o verão, e longo período de seca a partir do inverno. | ● aberturas sombreadas de tamanho pequeno (10% a 15% da área de piso;<br>● uso de resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento no verão;<br>● ventilação seletiva quando a temperatura | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | externa é menor que a interna no verão. | | | |
| 8 | Clima equatorial quente e úmido, com altas temperaturas e altos índices pluviométricos durante todo o ano. | ● aberturas sombreadas de tamanho grande (40% da área de piso);<br>● sombreamentos das aberturas;<br>● uso de ventilação cruzada permanente no verão;<br>● no período mais quente do ano, apenas o condicionamento passivo não será o suficiente. | Vidro Eletrocrômico | Material que transita da transparência à opacidade, com os menores valores de transmissão térmica Ug, podendo chegar à 0,6 W/m².K. | Por serem indicadas diretrizes de controle de troca de calor e perda de energia, o vidro eletrocrômico é recomendado para aplicação devido ao seu fator solar variável entre 29% e 59%, o que auxilia na diferenciação das temperaturas internas e externas, e nos processos de troca de calor e perda de energia. |

Fonte: Dados da pesquisa

Com relação aos vidros eletrocrômicos, o estudo de suas propriedades químicas e físicas demonstra que este é o material com os menores valores de transmissão térmica, podendo chegar à 0,6 W/m².K, comprovando sua excelência como isolante térmico. Estes vidros realizam baixa transmissão dos raios ultravioleta e infravermelho, permitindo o controle das temperaturas internas. Sob tal perspectiva, é correto afirmar que dentre os materiais estudados, o vidro eletrocrômico é o que melhor se adequa para a zona bioclimática 8, que apresenta excesso de calor e alta umidade relativa do ar durante todo o ano. Com fator solar variável entre 29% e 59%, tal material absorve o calor que entraria no ambiente, colaborando para a diferenciação das temperaturas internas e externas.

A partir de toda a investigação e análise com relação às demonstrações de refletância e transmitância dos policarbonatos, juntamente às propriedades físicas e químicas que configuram tal material, associadas à tabela de estratégias bioclimáticas e recomendações construtivas estabelecidas conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), é possível concluir que a aplicação do policarbonato em fachadas de edificações é mais adequada nas cidades incluídas nas zonas bioclimáticas 1, 2, 3 e 4. Tal conclusão se baseia principalmente nas qualidades de leveza e de absorção da radiação do material em questão, especialmente os coloridos, que contribuem para que a temperatura mínima interna dos ambientes esteja superior ou igual à temperatura mínima exterior, uma vez que há aumento da temperatura radiante a partir da incidência solar.

## 5. CONCLUSÕES

A realização das investigações descritas permitiu concluir que os materiais em análise se caracterizam por propriedades favoráveis ao controle solar e, por isso, já se qualificam como escolhas tecnicamente compatíveis com a busca pelo conforto térmico, conforme cada zona bioclimática.

O trabalho analisou as propriedades dos elementos translúcidos e correlacionou essas propriedades às demandas expressas pelas diretrizes de cada zona. Com isso, foi possível determinar a relação mais favorável entre cada um desses materiais e as diretrizes estabelecidas.

De maneira geral, diretrizes de favorecimento ao aquecimento solar foram relacionadas à indicação da aplicação do policarbonato. Já as medidas de controle solar e o uso de materiais com alta resistência térmica foram associados ao uso do vidro plano refletivo metalizado à vácuo. Por fim, as diretrizes de controle de troca de calor e perda de energia foram coerentes à indicação do vidro eletrocrômico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

GIVONI, B. Man. Climate and architecture. London: Applied Science, 1976.

PORTO, J.S.; FREITAS, J.M.R.; BALBONI, R.D.C., TREICHEL, S.. et al., revista Matéria, v.25, n.3, 2020.

SARDEIRO, P. S.; CARAM, R. M.. Caracterização Ótica de Policarbonatos Visando o Conforto Térmico da Edificação. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto No Ambiente Construído, v. 4, p. 24–30.2009.

VITRUVIUS. O uso do vidro como representação na construção de edifícios em altura em Belém do Pará entre as décadas de 1950 e 1980. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/20.237/7659 . Acesso em: 17 de ago. 2021.