Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Desempenho térmico e econômico de vidros de controle solar na região amazônica: um estudo experimental

Thermal and economic performance of solar control glasses in the amazon region: an experimental study

DANTAS, Bárbara[1]; DE OLIVEIRA, Douglas[2]; OLIVEIRA, Clei[3]; UBAIARA, Alaan[4].
Barbara.dantas@icloud.com[1]; wdoliveira@unifap.br[2]; marcioclei@unifap.br[3]; aubrito@unifap.br[4].

[1] Engenheira civil, mestranda em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação na Universidade Federal do Amapá, Macapá, Amapá, Brasil.

[2] Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação na Universidade Federal do Amapá, Macapá, Amapá, Brasil.

[3] Técnico de Laboratório no curso de Engenharia Elétrica e professor mestre do curso de especialização em sistemas fotovoltaicos da Universidade Federal do Amapá.

[4] Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação na Universidade Federal do Amapá, Macapá, Amapá, Brasil.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Eficiência energética;
Sustentabilidade;
Conforto térmico.

Key word:
Energy efficiency;
Sustainability;
Thermal comfort.

Resumo:

O vidro de controle solar é um material sustentável utilizado na construção civil, além de ser reciclável, absorve 99,6% dos raios UV e pode bloquear mais de 80% de temperatura externa, diminuindo assim a necessidade de climatização e gerando conforto térmico no interior dos ambientes. Dessa forma, o presente estudo avaliou o desempenho de três diferentes tipos de vidros em uma região amazônica, em relação a absorção de temperatura externa, por meio de uma metodologia experimental que utilizou sensores e datalogger para obtenção dos dados. As análises revelam que o vidro de controle solar é mais eficiente do que o vidro comum incolor e que a sua aplicação contribui para a redução da pegada de carbono associada aos sistemas de climatização artificial.

Abstract

Solar control glass is a sustainable material used in civil construction, in addition to being recyclable, it absorbs 99.6% of UV rays and can block more than 80% of external temperatures, thus reducing the need for air conditioning and generating thermal comfort inside environments. Thus, the present study evaluated the performance of three different types of glass in an Amazon region, in relation to external temperature absorption, through an experimental methodology that used sensors and dataloggers to obtain data. Analyzes reveal that solar control glass is more efficient than common colorless glass and that its application contributes to reducing the carbon footprint associated with artificial air conditioning systems.

1. Introdução

Dada a importância das boas condições térmicas em edificações, é essencial considerá-las no projeto de casas, prédios comerciais, escolas, hospitais e demais construções, garantindo conforto e eficiência energética.

Observa-se que a busca por um maior aproveitamento da iluminação natural, visando reduzir o uso de luz artificial durante o dia, enfrenta o desafio do calor excessivo nos ambientes internos.

Esse calor não apenas eleva o consumo de energia com a climatização, como também causa desconforto físico e emocional, além de expor os ocupantes à radiação UV, que pode ser prejudicial à saúde, aumentando o risco de câncer de pele [1].

Na região amazônica, caracterizada por um clima quente e úmido, essa exposição é ainda mais intensa e recorrente, exigindo especial atenção. No cenário atual da região Norte do Brasil, há uma demanda crescente de energia para proporcionar conforto térmico interno, uma vez que as altas temperaturas predominam ao longo de todo o ano [2].

A região em questão oferece um cenário único e desafiador para a inovação na engenharia de materiais, considerando sua vasta biodiversidade, ecossistemas complexos e as demandas específicas das comunidades locais.

Assim, para tornar os ambientes mais confortáveis diante das intensas variações climáticas, a engenharia de materiais tem buscado aprimorar tecnicamente os produtos disponíveis no mercado, garantindo que sua qualidade esteja alinhada às necessidades das construções modernas. Um dos setores com maior potencial de melhoria térmica e energética nas edificações é o da caixilharia.

Dentro desse contexto, o vidro de controle solar surge como uma solução inovadora, destacando-se por sua tecnologia avançada e benefícios significativos.

Entre suas vantagens, pode-se ressaltar a redução dos custos energéticos, uma vez que esse vidro auxilia no controle térmico ao impedir que parte do calor externo entre no ambiente interno, reduzindo a necessidade de climatização.

Além disso, ele contribui para o controle da luminosidade e do ofuscamento, permitindo a criação de espaços naturalmente iluminados e minimizando a dependência de iluminação artificial durante o dia.

O vidro de controle solar é obtido a partir da adição de uma camada metalizada no seu interior, a qual é produzida com óxidos específicos que, quando combinados em proporções determinadas, conferem propriedades diferenciadas ao material.

Quando comparado aos vidros comuns, temperados e laminados sem tratamento, esse vidro apresenta desempenho superior, ao ser exposto à radiação solar [3]. Sua fabricação incorpora características que maximizam três fatores essenciais para a eficiência energética e conforto térmico nas edificações: absorção de calor, transmissão luminosa e reflexão interna e externa.

Diante desse cenário, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar os benefícios da utilização de vidros de controle solar na região amazônica, por meio de um estudo experimental que comparou seu desempenho ao de um vidro float comum, sem tratamento, e ao de um vidro float comum revestido com película.

2. Referencial teórico

2.1 Construção civil e o aquecimento global

A construção civil avança à medida que há a necessidade de melhorias na infraestrutura de espaços, sejam eles públicos ou privados e esse desenvolvimento, apesar de promover benefícios para a população, também gera impactos ambientais sérios [4].

Sendo assim, de acordo com Anelli [5] a urbanização é um dos grandes agentes promotores do aquecimento do clima e as cidades precisam atualizar as suas formas de

edificar para que seja possível a sobrevivência dos habitantes de forma saudável, e é dentro dessa esfera que se utiliza a construção sustentável.

A construção sustentável pode ser definida como uma forma diferente de conceber, projetar, construir e operar todo tipo de edificação, uma vez que todo o processo é pensado em torno da redução dos impactos ambientais oriundos da atividade [6].

Além disso, a construção sustentável visa promover o uso eficiente de recursos naturais, como a utilização responsável da água, seleção de materiais de construção sustentáveis, práticas de construção que minimizam resíduos e poluição e busca também criar espaços interiores saudáveis e confortáveis, com boa qualidade do ar, iluminação natural e materiais não tóxicos [7].

Para isso, a área de engenharia de materiais se desenvolve cada vez mais, buscando sempre por alternativas economicamente mais viáveis e ecologicamente mais sustentáveis.

Dessa forma, existe uma gama de produtos tecnológicos que promovem a utilização sustentável de recursos naturais, promovendo assim uma melhor eficiência energética das edificações [8].

2.2 Consumo energético na região amazônica

As temperaturas extremas, características da região, podem além de afetar negativamente a saúde das pessoas, levando a problemas como desidratação, sobrecarregar o sistema de fornecimento de energia elétrica [9].

Vale a pena destacar que, além de abrigar a maior floresta do mundo, na região Norte do Brasil, é onde reside boa parte dos habitantes com menor poder aquisitivo do país. A população dessa área encontra problemas sociais graves, como saneamento básico precário, baixa qualidade de infraestrutura e mau fornecimento de energia elétrica [10].

A tarifa média de energia da região é uma das mais altas do país, atingindo aproximadamente R$ 803,00 por megawatt-hora (MWh). Em comparação, um morador da região Sul paga uma média de R$ 638,00/MWh, o que representa uma diferença de 26% a mais para os consumidores do norte [11].

Considerando esse cenário, existem algumas formas de reduzir e otimizar o consumo elétrico, como por exemplo, o emprego de materiais tecnológicos que geram eficiência energética e a aplicação de placas solares fotovoltaicas, uma vez que se observa na região um potencial de geração de energia limpa por meio do sol.

Observa-se em Macapá, capital do Amapá, localizada no extremo norte do Brasil, um aumento significativo de mais de 200% na admissão de novos consumidores dessa fonte de energia limpa entre os anos de 2022 e 2023 [12].

Além da energia solar, os materiais utilizados na construção das edificações têm alta colaboração para um menor ou maior consumo energético pelos habitantes.

Por isso, durante a especificação desses produtos é importante que o profissional da construção civil leve sempre em consideração as características locais de onde os projetos serão edificadas para que possa contribuir com os índices de conforto térmico e acústico e estar alinhado com os objetivos da organização Mundial de Saúde [13].

O uso consciente e ecologicamente correto de energia elétrica é o 7° objetivo e dispõe justamente sobre o acesso a essas fontes de energia sustentáveis e modernas para todos. Entretanto, o setor em questão recebe somente 0,7% do total de investimentos dos recursos disponíveis para o financiamento de todos os compromissos estabelecidos [14].

Existem disponíveis no mercado uma série de materiais que possibilitam a eficiência energética nas edificações. O vidro de controle solar, por exemplo, é um desses

materiais que se destaca por ser um excelente aliado na construção sustentável [15].

2.3 Vidros para a construção civil

Os vidros são classificados como materiais cerâmicos, silicatos, não-cristalinos, que recebem óxidos aditivos em sua composição, como por exemplo, o óxido de cálcio (CaO), o ácido difosfônico (Na2), o óxido de potássio (K2O) e o óxido de alumínio (Al2O3) [16].

Atualmente, a aplicação do vidro é mundialmente difundida devido ao avanço tecnológico que proporcionou mais resistência ao material que. Hoje, além de possibilitar iluminação natural e proteção, controla a passagem de calor externo ao interior do ambiente da edificação, dissipa decibéis acústicos, bloqueia 99,6% dos raios UV e proporciona segurança contra assaltos e incêndios [17].

E, apesar de genericamente, todos os tipos de vidro terem a mesma base de composição química, existe uma variedade de tipos de vidros disponíveis no mercado [18]. Sendo os mais utilizados na construção civil do Brasil: o vidro comum (float), o temperado, o laminado e o de controle solar.

Os vidros de controle solar recebem um tratamento específico que objetiva a minimização do ganho solar através do vidro e para isso, ele atua filtrando parte do espectro da radiação solar.

Dessa forma, dependendo da composição da camada metalizada, a porcentagem de absorção de calor irá variar [19].

Esse tipo de vidro pode ser encontrado no tipo comum float, temperado, laminado e insulado, entretanto o desempenho dele é proporcional ao tipo de vidro. Por exemplo, o vidro cinza refletivo no tipo “comum” bloqueia 78% do calor, enquanto o tipo “insulado” bloqueia 83% do calor [20].

O material diminui a troca de calor entre os ambientes interno e externo, reduzindo a necessidade de climatização e, consequentemente, os custos com eletricidade. Embora o investimento inicial seja mais elevado, a economia gerada nas contas de energia compensa esse valor ao longo do tempo.

Além disso, essa tecnologia agrega valor ao imóvel, promove a sustentabilidade do empreendimento e contribui para a redução das emissões de carbono associadas ao consumo energético [21].

O investimento inicial em tais tecnologias é compensado pela redução das contas de energia, contribuindo também para a valorização do imóvel e a sustentabilidade do empreendimento. Além disso, eles reduzem o carbono associado ao consumo de energia [21].

Estudos apontam que a utilização de vidro de controle solar reduziu 11% a demanda energética total de uma edificação mas que essa redução pode variar entre 13 e 57% dependendo do tipo de vidro de controle solar [22, 23].

E constatam que, ao aplicar um vidro sem controle solar, é possível ter um acréscimo de no mínimo 8% nas contas de energia [24].

Dessa forma, ao considerar o valor inicial de diferença entre os dois tipos de vidro em questão – o vidro sem controle solar e o vidro com controle solar, o consumo elétrico médio diário e mensal e a tarifa da concessionária local é possível calcular o tempo e o retorno financeiro.

Assim, quanto menor o período de payback, mais rápido o investimento se torna vantajoso para o consumidor. Esse período pode ser calculado por meio da Equação 1.

$$\boldsymbol{Payback = K_{CLneg} + \left(\frac{|CL_{neg}|}{CL_{pos} + |CL_{neg}|}\right)} \quad (\mathbf{1})$$

Onde, “KCLneg” é o período do último caixa líquido negativo verificado, “CLneg” é o valor do último caixa líquido negativo e “CLpos” é o valor do primeiro caixa líquido positivo do projeto.

Pontua-se que, ao longo do tempo o dinheiro sofre alterações de valor, as quais

necessitam ser consideradas em uma análise de sensibilidade [25].

A fórmula de Valor Presente é a função financeira que calcula isso, por meio da Equação 2.

$$VP = VF + \frac{1}{(1+i)^n} \qquad (2)$$

Sendo, “VF” o valor futuro, “i” a taxa de desconto e “n” o período. E por meio do fluxo de caixa é possível comparar as receitas do que seria o “fluxo do presente”, que não considera o valor temporal do dinheiro e o “fluxo descontado”, que considera taxas de juros ao longo do tempo.

Dessa forma, embora o custo inicial do vidro de controle solar seja mais alto do que o vidro sem o tratamento, o retorno financeiro é obtido por meio da redução de consumo energético, o que reflete diretamente nas contas de energia.

3. Metodologia

A metodologia do presente estudo foi dividida em três etapas sendo: revisão bibliográfica, ensaios experimentais e análise de dados.

A pesquisa utilizou métodos de busca de anterioridade nas bases de dados dos Periódicos CAPES, Google Acadêmico e Scielo.

Sequencialmente, foi iniciada a etapa de ensaios experimentais, que objetivou a comparação de desempenho entre o vidro comum incolor de 4 mm, o vidro comum cinza de 4 mm com película e o vidro laminado 8 mm cinza refletivo com tratamento de controle solar. A Tabela 1 expõe as propriedades dos vidros analisados.

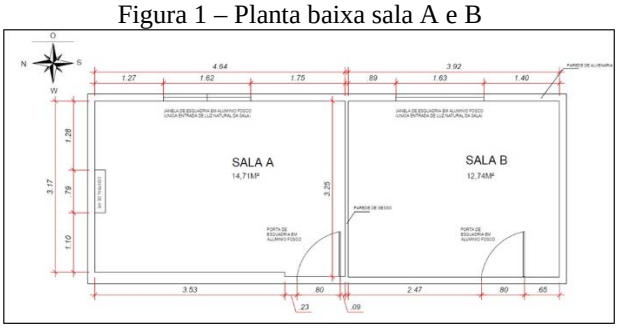
Tabela 1 – Comparativo dos vidros analisados

Propriedade	**Float incolor**	**Float cinza**	**Cinza refletivo laminado**
Transmitância	90,20%	55,80%	15,70%
Refletância externa	8,50%	6,10%	33,60%
Refletância interna	8,50%	5,80%	30,80%
Transmitância UV	72,40%	30,80%	0,10%
Absortância solar	6,10%	36,90%	55,40%
Fator solar	87,30%	65,80%	25,80%

Fonte: Guardian Glass [20]

Para os ensaios de medição de temperatura e consumo energético, foram utilizadas duas salas com dimensões similares em uma empresa, localizada no município de Macapá, Estado do Amapá (latitude 0.0175319, longitude -51.0715816). A figura 1 ilustra a planta baixa dos ambientes onde foram realizados os ensaios, as quais tem respectivamente 14,71m² e 12,74m².

Figura 1 – Planta baixa sala A e B



Fonte: Autores (2025).

O ensaio de temperatura objetivou a aferição da diferença de calor absorvido por meio dos três tipos de vidros distintos e para a execução desse experimento foram utilizadas as seguintes instrumentações, com certificados de calibração: dois termopares tipo J, um sensor de temperatura DS18B20 e um medidor de radiância solar Spektron.

Todos esses equipamentos foram ligados em um datalogger Keysight DAQ970A para o armazenamento dos dados.

No intervalo de 10 em 10 segundos, os dados captados foram: a temperatura externa em graus celsius (°C), a temperatura interna das salas em graus celsius (ºC) e a radiação solar na face externa da janela da sala A.

Os termopares foram instalados na mesma parede, que é de gesso, a qual divide as salas A e B, sendo o termopar de cada sala posicionado na face interna da parede, a 1,50 m do chão, em conformidade com a recomendação descrita na NR-15 [26] de forma a não receber a luz solar direta e vento

de climatização quando houver, como ilustra a Figura 2.

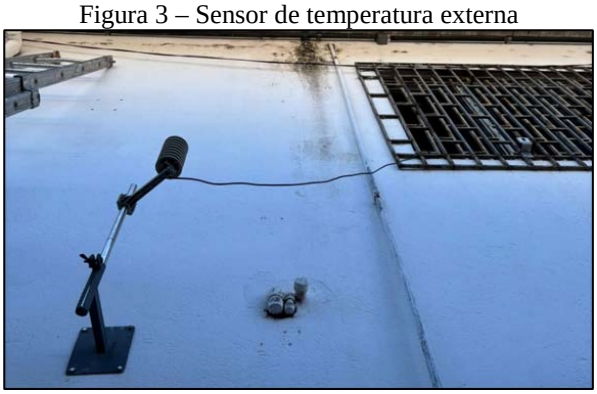
Figura 2 – Termopares sala A e sala B



Fonte: Autores (2024).

O sensor de temperatura DS18B20 à prova d'agua, foi utilizado para medição da temperatura externa e foi instalado no centro externo entre as duas salas, posicionado em um suporte de aço chumbado na parede externa, como ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Sensor de temperatura externa



Fonte: Autores (2024).

O sensor de radiância solar foi instalado na face externa da janela localizada na sala A, para que fosse possível a captação dos dados de quanto de radiação solar estava sendo recebida na parede das salas, como é possível observar igualmente na Figura 3.

Já o ensaio de consumo energético teve como propósito a comparação, em quilowatt hora (kW/h), da quantidade de utilização de central de ar-condicionado na sala A, com a utilização de vidro de controle solar e, com vidro sem controle solar e a análise de retorno financeiro oriundo da utilização do vidro com controle solar.

A central de ar utilizada para a realização do ensaio foi do tipo split Springer, do modelo, com capacidade nominal de 12.000 BTU/h. Assim, foi utilizado um equipamento medidor de energia com display de potência definido (watts), que foi devidamente aferido por meio de equipamentos calibradores do Laboratório de Energias Renováveis da UNIFAP. Dessa forma, ele foi ligado na tomada de uso específico da central de ar-condicionado e esta foi ligada no medidor, como ilustra a figura 4.

Figura 4 – Ligação do medidor de energia



Fonte: Autores (2024).

As medições foram realizadas em diferentes datas e condições nas salas A e B. A Medição 1 (11, 12 e 15/11/24) ocorreu na Sala A com vidro float cinza com película e sem operação, e na Sala B com vidro float cinza com película e sem operação, sendo um ensaio de medição de dados do ambiente.

A Medição 2 (13, 14 e 18/11/24) foi feita na Sala A com vidro float cinza com película e com operação, enquanto na Sala B o vidro era o mesmo (float cinza com película) e sem operação, com o ensaio abrangendo medição de dados do ambiente e consumo energético.

A Medição 3 (21, 22 e 25/11/24) ocorreu na Sala A com vidro Neutral 14 e com operação, e na Sala B com vidro float cinza com película e sem operação, incluindo também ensaio de medição de dados do ambiente e consumo energético.

Já a Medição 4 (20, 23 e 24/11/24) foi feita na Sala A com vidro Neutral 14 e sem operação, enquanto na Sala B o vidro era float cinza com película e sem operação, sendo realizada apenas a medição de dados do ambiente.

A Medição 5 (27, 28 e 29/11/24) ocorreu na Sala A com vidro Neutral 14 e com operação, e na Sala B com vidro float incolor e sem operação, com o ensaio envolvendo medição de dados do ambiente e consumo energético.

Por fim, a Medição 6 (30/11 e 1 e 2/12/24) foi feita na Sala A com vidro Neutral 14 e sem operação, enquanto na Sala B o vidro era float incolor e sem operação, com ensaio de medição de dados do ambiente.

Por fim, foram feitas as análises de dados dos ensaios realizados, os quais foram catalogados em planilhas e dessa forma, foi possível a comparação de desempenho geral entre os tipos de vidro considerando as mesmas condições externas e de operações internas.

Para a análise de payback foi calculado o tempo necessário para que o investimento adicional no vidro de controle solar fosse recuperado com base nas economias geradas em custos de energia de climatização.

Foi realizado então, tendo a sala A como referência, uma simulação do tipo a análise de sensibilidade, considerando diferentes cenários que variaram entre um ganho de 10 a 60%, e considerando as taxas de juros de 6, 12 e 15% ao ano.

4. Resultados e discussão

Na medição 1 do experimento foi comprovado, por meio dos resultados, a equivalência entre as salas A e B, mesmo sendo a sala A aproximadamente 13% maior em termos de volume do que a sala B.

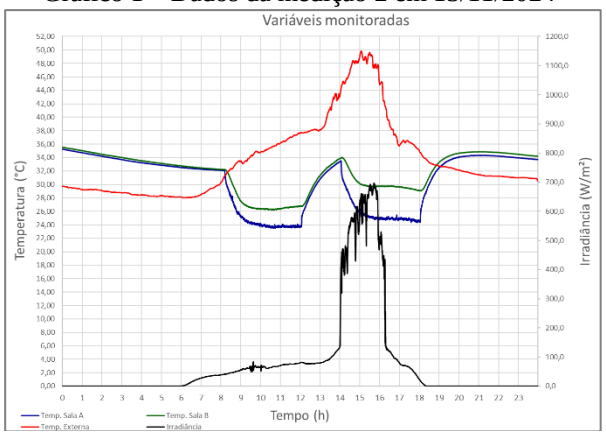
A média de temperatura interna, no período das 8:00 às 18:00 h, do termopar da sala A no dia 12/11/2024 foi de 34,29°C, e a média do termopar da sala B foi de 34,46°C, demonstrando a equivalência entre as salas, evidenciada pelas linhas verde e azul do gráfico. Já a média da temperatura externa foi de 37,40°C, como mostrado pela linha vermelha do gráfico.

A radiação solar média nessa medição foi de 1910,90 Wh/m²/dia, evidenciada pela linha preta do gráfico. Esses dados demonstram uma boa resposta do vidro comum cinza com película quanto a absorção e/ou reflexão de calor, entretanto, não indicam proteção dos raios ultravioletas.

Na medição 2 do ensaio, no dia 13/11/2024, ambas as salas estavam com o mesmo vidro da medição 1. Contudo, a sala A estava com a operação de uma pessoa e com climatização fixa em 24ºC, enquanto a sala B permaneceu sem operação e sem climatização.

Pode-se observar através do Gráfico 1 que houve uma diferença de temperatura captada pelo termopar localizado na sala A, em comparação com o termopar da sala B e temperatura externa.

Gráfico 1 – Dados da medição 2 em 13/11/2024



Fonte: Autores (2025).

A média de temperatura do termopar da sala A, no período das 8:00 às 18:00 h, foi de 27,40°C, do termopar da sala B foi de 29,80°C e a da temperatura externa foi de 37,17°C, quando a sala A estava com climatização e operação e a sala B permaneceu sem climatização e operação.

Foi observada uma redução da temperatura interna de 2,40ºC em relação à

sala B e de 9,77°C em relação a temperatura externa. O consumo médio elétrico de climatização nesta medição foi de 7,24 kWh/dia enquanto a radiação solar foi de 1882,66 Wh/m²/dia.

Entretanto, é importante frisar a influência da parede de gesso, que divide a sala A da sala B, material que conduz troca de calor e influenciou as medições da sala B. Por meio do Gráfico 6 é possível visualizar, através da linha verde, a queda da temperatura da sala B (mesmo a sala em questão sendo sem climatização), em correspondência com a queda da temperatura da sala A (linha azul) uma vez que ambos os termopares estavam fixados, cada um, em cada face interna da mesma parede de gesso.

Na medição 3 de experimento, a média de temperatura interna do termopar da sala A, no período das 8:00 às 18:00 h, com vidro de controle solar foi de 27,18°C, enquanto a média de temperatura da sala B, com vidro sem controle solar foi de 29,84ºC e a média da temperatura externa foi de 37,36°C.

Assim, constata-se que a redução da temperatura em relação à sala B foi de 2,66°C e, em relação à temperatura externa, foi de 10,18°C.

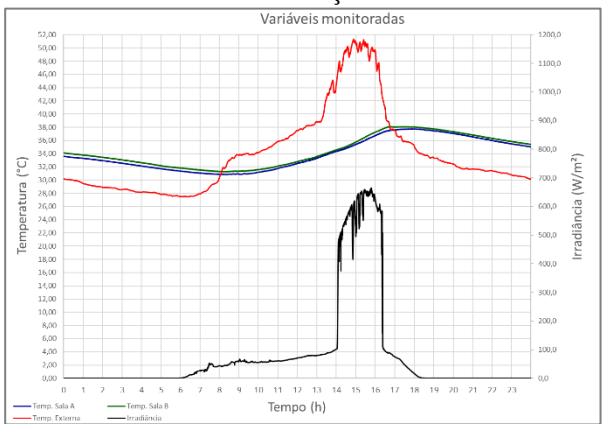
A influência da parede de gesso que divide as salas continuou sendo observada nessa etapa de medições, e é possível avaliar que a redução da temperatura seguiu um padrão similar ao desempenho dos vidros cinza comuns sem controle solar, porém com película.

Entretanto, quando analisados os dados referentes ao consumo energético com climatização e radiação solar, constata-se que a proteção contra raios ultravioletas do vidro cinza refletivo originou a redução no consumo elétrico, pois, enquanto os dados de radiação do dia em questão indicaram 1943,44Wh/m²/dia, o consumo de energia elétrica foi de 6,92 kWh/dia.

Na medição 4, a diferença de temperatura entre as salas é baixa, representando 0,38°C, e em relação à temperatura externa é de 4,23°C, uma vez que a temperatura média desse dia de medição na sala A foi de 33,35°C, na sala B foi de 33,73°C, e na externa foi de 37,58°C, não indicando diferença térmica relevante entre o vidro com controle solar e o vidro peliculado.

O Gráfico 2 expõe os resultados similares de temperaturas entre as salas e a diferença entre a temperatura externa, demonstrado através das linhas azul (sala A), verde (sala B) e vermelha (temperatura externa).

Gráfico 2 – Dados da medição 4 em 23/11/2024



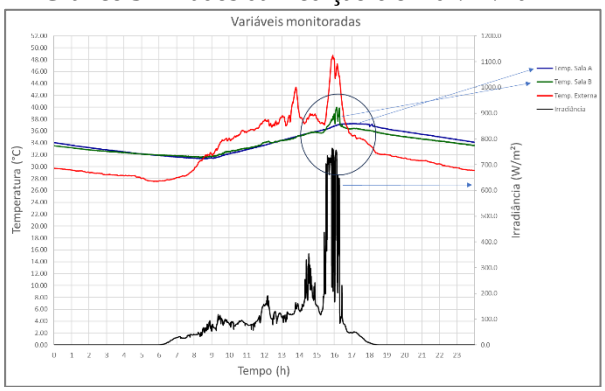
Fonte: Autores (2025).

Na medição 5, foi possível captar a temperatura média, no período das 8:00 às 18:00 h, da sala A de 26,56°C, da sala B de 29,24°C e da temperatura externa de 37,16°C.

Nesse momento, foi possível identificar, além das diferenças térmicas e energéticas e da influência da parede de gesso na medição da temperatura da sala B, um ligeiro maior efeito estufa do vidro com controle solar em relação ao vidro incolor sem controle solar e sem película, entre 19 e 0h.

Na medição 6, foi possível verificar o desempenho superior do vidro cinza com controle solar em relação ao vidro incolor sem controle solar e sem película, em momentos pontuais em que o sol incidia diretamente sobre as janelas, evidenciado entre 15 e 17h, conforme ilustra o gráfico 3.

Gráfico 3 – Dados da medição 6 em 02/12/2024



Fonte: Autores (2025).

A temperatura média entre as salas teve uma diferença baixa, de 0,09°C, entretanto, em relação à temperatura externa, essa diferença foi de 1,44°C. Vale ressaltar que se observa a influência da cobertura da edificação, vizinhança, vegetação existente, sombreamento, localização da sala, materiais condutores térmicos, ventilação e chuva nesses dados de temperatura externa.

Assim, pode-se constatar que, em geral, as medições originaram resultados próximos à equivalência. Entretando, fazendo uma análise a respeito da posição das salas em relação ao sol e à vizinhança, é possível identificar que estes fatores influenciam no desempenho do vidro de controle solar.

Foi constatado também que a área de aplicação de vidro influencia em uma maior ou menor troca de calor. Isso significa que, possivelmente, com uma área de aplicação de vidro de controle solar maior, tanto a temperatura interna quanto o consumo com climatização tendem a ser otimizados.

Sequencialmente, para o cálculo do payback descontado, foi considerado os cenários previamente mencionados e os custos do material e energia da localidade estudada.

O investimento inicial foi determinado pela diferença de custo entre o vidro de controle solar (vidro laminado cinza reflexivo de 8 mm, no valor de R$ 1.595,00) e o vidro comum (vidro float comum incolor de 4 mm, no valor de R$ 440,00).

No que se refere ao ganho financeiro percentual, este foi aplicado sobre o consumo elétrico diário de referência de 7,24 kWh/dia, originado do cálculo da média de climatização da sala A nas medições 2, 3 e 5 dos ensaios experimentais. Em seguida foi adotado o número de dias úteis que uma empresa do regime CLT trabalha normalmente, que são 23 dias.

Em seguida foi calculado o consumo mensal de referência da sala A, multiplicando o valor do consumo diário pela quantidade de dias trabalhados em um mês, resultando em 166,52 kWh/mês.

Para que fosse possível a estimativa do custo de energia elétrica relacionado à climatização dessa sala, foi adotado o valor da tarifa da concessionária local de energia, que custa R$ 1,02 por kWh, já com os devidos impostos incluídos.

Posteriormente, foi calculado o custo mensal multiplicando o valor da energia por kWh pela quantidade de energia estimada que a sala A consome em um mês de utilização, originando o valor de custo mensal de R$170,25, que, quando multiplicado pela quantidade de meses do ano, resulta em R$ 2.043,40 ao ano.

A Tabela 2 expõe os resultados do payback descontado obtidos na análise de sensibilidade.

Tabela 2 – Payback descontado

Ganho (%)	**i = 6% a.a**	**i = 12% a.a**	**i = 15% a.a**
10	7,122	10,01	13,49
20	3,194	3,67	3,95
30	2,061	2,27	2,39
40	1,52	1,65	1,71
50	1,21	1,30	1,34
60	0,99	1,06	1,09

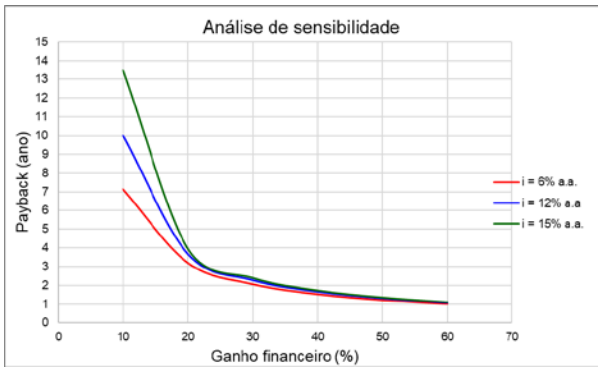
Fonte: Autores (2025)

Assim, é possível constatar que, no pior cenário, ainda assim o investimento é viável, pois o retorno financeiro aconteceria por volta de 13 anos a partir do investimento inicial, com uma taxa de juros15% a.a.

Já em uma simulação mais otimista, considerando um ganho de 30% e taxa de juros de 12% a.a., é possível constatar que o retorno do investimento aconteceria em 2,27 anos a partir da aplicação do material.

O Gráfico 4 expõe os resultados da Tabela 2, sendo possível observar que, a partir do primeiro ano de uso do material, em qualquer simulação, o vidro de controle solar, ao proporcionar a redução no consumo elétrico e gerar economia de energia, se pagaria.

Gráfico 4 – Variação do payback para diferentes cenários



Fonte: Autores (2025).

Assim, é possível identificar que, independentemente da simulação realizada, o vidro de controle solar reduz o consumo elétrico desde o primeiro ano de uso. Essa economia de energia gera um retorno financeiro que permite a amortização do custo inicial do material já no primeiro ano de operação.

5. Conclusão

Este estudo evidenciou os benefícios da utilização do vidro de controle solar em uma região climática amazônica, destacando sua eficiência na redução do consumo energético e na melhoria do conforto térmico dos ambientes.

As análises demonstraram que o vidro incolor sem controle solar não é a opção mais adequada para edificações termicamente confortáveis e sustentáveis, pois permite a entrada excessiva de calor, aumentando a necessidade de climatização artificial.

Em contrapartida, o vidro com controle solar mostrou-se mais eficaz na minimização das cargas térmicas provenientes da radiação solar direta, reduzindo a dependência de sistemas de climatização.

Esse impacto positivo reflete não apenas na economia de energia e financeira para os consumidores, mas também na diminuição das emissões de carbono associadas ao uso de ar-condicionado, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Dessa forma, a adoção de vidros de controle solar se apresenta como uma solução eficiente e viável para construções em condições climáticas da Amazônia pois proporciona benefícios que podem variar de curto, médio e longo prazo, tanto em termos econômicos quanto para o bem-estar e qualidade de vida dos ocupantes das edificações.

Vale destacar igualmente que foi constatado que o uso do vidro de controle solar deve ser estratégico, sendo levado em consideração o local da edificação, materiais envolvidos na construção do imóvel, quantidade e posição das aberturas dos vãos e combinação com técnicas de ventilação e demais materiais que proporcionam uma menor troca de calor do meio interno em relação ao externo.

6. Referências

[1] SILVA, B. C. G. da; ZANONI, R. D.; BOMFIM, V. V. B. da S.; BEHRENS, P. de A. C.; REGUFE, M. M. V.; ARAÚJO, P. da C.; MARTINEZ, M. G. D.; COSTA, A. C. M. de S. F. da; VIEIRA, R. da S.; TREPTOW, L. M.; SILVA, A. S. G. da. *Skin cancer and the dangers of UV rays.* Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 11, p. e135111133557, 2022. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33557. Acesso em 02 de agosto de 2024.

[2] INMET. Instituto Nacional de Metereologia. *Gráficos climatológicos.* Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377. Acesso em 02 de agosto de 2024.

[3] ADNORMAS. *A classificação dos vidros revestidos para controle solar.* 2020. Disponível em: https://www.revistaadnormas.com/2020/02/25/a-classificacao-dos-vidros-revestidos-para-controle-solar. Acesso em 04 de junho de 2024.

[4] FARIAS, L. M.; MARINHO, J. L. A. *Construções sustentáveis: Perspectivas sobre práticas utilizadas na construção civil/Sustainable buildings: Perspectives on practices used in civil construction.* 2020. Brazilian Journal of Development, 6(3), 16023–16033. https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-466

[5] ANELLI, Renato L. S. *As cidades e o aquecimento global: desafios para o planejamento urbano, as engenharias e as ciências sociais e básicas.* Journal of Urban Tecnology and sustentability. v. 3 n. 1 (2020): janeiro-dezembro. https://journaluts.emnuvens.com.br/journaluts/article/view/17

[6] GAUDÊNCIO, J. R. da C. *Smart City: Desenvolvimento Sustentável, Sociedade de Controle e Cidade Inteligente.* Dissertação (Mestrado) - Curso de Comunicação e Semiótica, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC/SP, São Paulo, 2015. Disponível em: https://sapientia.pucsp.br/handle/handle/4728. Acesso em 15 de outubro de 2024.

[7] KONZEN, B. A. D. V., PEREIRA, A. F. *O impacto ambiental do aproveitamento de resíduos no setor da construção civil: revisão bibliográfica sob a visão do ciclo de vida.* Encontro nacional de aproveitamento de resíduos na construção, 7(1), 451–461. 2023.

[8] ABM. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. *Conheça a evolução do desenvolvimento de materiais e sua relação com a sustentabilidade.* 2023. Disponível em: https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/conheca-a-evolucao-do-desenvolvimento-de-materiais-e-sua-relacao-com-a-sustentabilidade. Acesso em 03 de junho de 2024.

[9] MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. D. S.; SANTOS, M. S. dos; ALFAIA, V. M. de *Efeito de condições meteorológicas em doenças respiratórias em capitais de diferentes dimensões no Norte e Nordeste do Brasil.* Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 86–100, 2019. DOI: 10.21680/2447-3359.2019v5n1ID17397. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/17397. Acesso em: 20 de junho de 2024.

[10] DE PAULA, B. T.; ALMEIDA, F. M. de; ARAÚJO, J. M. de; PIZZOL, J. S. T. *Desenvolvimento socioeconômico municipal: um estudo da região Norte do Brasil.* Interações (Campo Grande). [S. l.], v. 25, n. 2, p. e2523814, 2024. DOI: 10.20435/inter.v25i2.3814. Disponível em: https://multitemasucdb.emnuvens.com.br/interacoes/article/view/3814. Acesso em: 12 agosto de 2024.

[11] SIMPLE. *Região norte tem a tarifa mais cara do Brasil.* 2023. Disponível em: https://simpleenergy.com.br/regiao-norte-tem-a-tarifa-mais-cara-do-brasil/#:~:text=A%20regi%C3%A3o%20Norte%2C%20que%20concentra,638%2C00%2FMWh). Acesso em 06 de junho de 2024.

[12] EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída.* 2023. Disponível em: https://dashboard.epe.gov.br/apps/pdgd/. Acesso em 12 de agosto de 2024.

[13] STOUHI, D. *Como projetar para atingir conforto térmico e porque isso é importante*. 2019. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/910400/

como-projetar-para-atingir-conforto-termico-e-por-que-isso-e-importante. Acesso em 06 de junho de 2024.

[14] NAÇÕES UNIDAS BRASIL. *Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.* 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7. Acesso em 01 de agosto de 2024.

[15] BRAZILGLASS. *Vidros Low-e.* 2023. Disponível em: https://brazilglass.com.br/vidros-low-e-eficiencia-energetica-e-conforto-termico/. Acesso em: 03 de junho de 2024.

[16] CALLISTER, W. D. *Ciência e Engenharia dos materiais: Uma introdução.* 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

[17] ARCHGLASS. *Guia dos vidros na construção civil.* 2024. Disponível em: https://archglassbrasil.com.br/artigos/guia-dos-vidros-na-construcao-civil/. Acesso em 05 de junho de 2024.

[18] TOZZO, M. *Os tipos de vidros mais utilizados na construção civil.* 2023. Disponível em: https://blog.websitego.com.br/tipos-de-vidros-mais-utilizados-na-construcao-civil/. Acesso em 05 de junho de 2024.

[19] ABIVIDRO. Associação Brasileira das Indústrias de Vidros. *Manual técnico do vidro plano para edificações.* São Paulo, 2020.

[20] GUARDIANGLASS. *Literatura técnica.* 2024. Disponível em: https://www.guardianglass.com/la/pt/tools-and-resources/resources/technical-literature. Acesso em 10 de junho de 2024.

[21] IEE/USP. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. *Quais são as principais vantagens em investir em eficiência energética.* 2024. Disponível em: https://www.iee.usp.br/noticia/quais-sao-as-principais-vantagens-em-investir-em-eficiencia-energetica/. Acesso em 06 de outubro de 2024.

[22] MALLMANN, B. M.; WARTCHOW, D.; TORRES, M. C. A. *Análise computacional do impacto da iluminação e dos vidros na demanda energética de um edifício comercial.* 2011. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[23] CORNETET, M. C. *Recomendações para especificações de vidros em edificações comerciais na região climática de Porto Alegre - RS.* Dissertação (Mestrado em engenharia civil, área de concentração em conforto ambiental). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS, 2009.

[24] 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. Porto Alegre, 2022.

[25] ESCHENBACH, T. *Engineering Economy: Applying Theory to Practice.* Third edition. Oxford University Press: New York, 2011.

[26] M.T.E. Ministério do Trabalho e Emprego. *NR 15 – Atividades e Operações Insalubres.* Brasília: 2014. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15-anexo-03.pdf. Acesso em 9 de novembro de 2024.