

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2 COM A UTILIZAÇÃO DE PROTEÇÕES SOLARES VERDES

Jamile Brum Brandão¹, Nicóli Justen¹, Gabrielli Bertoldo Esteves¹, Miguel de Oliveira¹, Alencar Maders Schuster¹, Gihad Mohamad¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
(jamil.brandao@acad.ufsm.br)

Resumo: O presente trabalho analisa o potencial de redução do consumo de energia em uma edificação residencial por meio da utilização de proteções solares verdes, arborização. Foram avaliadas quatro espécies arbóreas quanto à capacidade de sombreamento e às características eco fisiológicas, na Zona Bioclimática 2. Após levantamentos em uma residência popular e simulações computacionais, verificou-se que todas as espécies reduziram o consumo de energia, alcançando redução máxima de 35,87% no resfriamento.

Palavras-chave: redução do consumo de energia; edificação residencial; simulações computacionais; proteções solares; arborização.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano das cidades desvinculados de um planejamento territorial, tem representado um dos principais desafios para o equilíbrio entre o crescimento econômico, qualidade ambiental e de vida para as presentes e futuras gerações. As alterações nas características naturais do meio ambiente, constituem uma ameaça crescente à sustentabilidade das áreas urbanas, especialmente pela redução da cobertura vegetal em decorrência disso mudanças climáticas.

Concomitantemente, a expansão urbana e o consequente aumento das áreas impermeabilizadas interferem no equilíbrio energético das superfícies, agravando os impactos climáticos por meio de alterações nas características térmicas dos materiais urbanos, da redução das taxas de evapotranspiração, da elevada impermeabilização do solo, do aumento da concentração de poluentes atmosféricos e das modificações nos padrões de circulação do ar. Segundo Beatley (2016), a incorporação da natureza ao ambiente urbano, por meio do conceito de cidades biofílicas, contribui para a melhoria da qualidade ambiental, da saúde e do bem-estar da população, além de fortalecer a capacidade de adaptação das cidades frente aos impactos das mudanças climáticas.

Nesse contexto, os espaços verdes deixam de desempenhar apenas funções estéticas e recreativas, passando a integrar a infraestrutura ecológica urbana, responsável por fornecer serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação térmica, a melhoria da qualidade do ar, o aumento da infiltração das águas pluviais e a conservação da biodiversidade.

A implementação de práticas de planejamento urbano sustentável, inserção de áreas verdes, arborização urbana, parques e praças caracterizam elementos fundamentais para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. No Brasil, o setor das edificações representa parcela expressiva do consumo nacional de energia elétrica, tornando imprescindível o desenvolvimento de estratégias passivas que promovam maior eficiência energética e redução dos impactos ambientais. Entre essas estratégias, a utilização da vegetação como elemento de proteção solar destaca-se por proporcionar sombreamento das superfícies externas, reduzir a incidência direta da radiação solar, diminuir as temperaturas superficiais e contribuir para o equilíbrio térmico das edificações.

Diversos estudos demonstram que árvores adequadamente selecionadas podem atuar como importantes reguladoras do microclima, reduzindo ganhos térmicos durante os períodos de verão sem comprometer significativamente o aproveitamento da radiação solar no inverno, principalmente quando utilizadas espécies caducifólias. Entretanto, a eficiência dessa estratégia depende das características fisiológicas das espécies, como densidade da copa, índice de área foliar, porte, sazonalidade e percentual de transmissão da radiação solar. Nesse contexto, ferramentas de simulação computacional assumem papel fundamental para avaliar o comportamento térmico das edificações antes da implantação das soluções projetuais.

O software DesignBuilder, baseado no motor de cálculo EnergyPlus, permite estimar o desempenho energético considerando variáveis construtivas, climáticas, orientação solar, ocupação e estratégias passivas de condicionamento ambiental, tornando-se um importante instrumento para análises de eficiência energética.

O presente estudo fundamenta-se na hipótese de que diferentes espécies arbóreas apresentam comportamentos distintos quanto à capacidade de sombreamento e, consequentemente, influenciam de maneira diferenciada o consumo energético das edificações. Para verificar essa hipótese, foram analisadas quatro espécies com diferentes características fisiológicas, relacionando seus Percentuais de Transmitância Solar (PTS) aos resultados obtidos por simulações energéticas em uma habitação de interesse social localizada na Zona Bioclimática 2 brasileira.

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de diferentes espécies arbóreas no desempenho energético de uma edificação residencial, verificando seu potencial como elemento de proteção solar passiva e identificando as espécies mais eficientes para redução do consumo energético destinado ao resfriamento e ao aquecimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quantitativa e delineamento experimental, utilizando modelagem computacional para avaliar o desempenho energético de edificações sob diferentes condições de proteção solar vegetal. Estudos recentes destacam que a integração entre simulações computacionais e estratégias passivas constitui uma metodologia consolidada para avaliar soluções voltadas à eficiência energética e à adaptação climática das edificações (Attia, 2022; International Energy Agency – IEA, 2023).

O desenvolvimento metodológico compreendeu a determinação do Percentual de Transmitância Solar (PTS) de diferentes espécies arbóreas e sua inserção em modelos computacionais para análise da demanda energética de uma habitação de interesse social. O estudo foi realizado considerando as condições climáticas da Zona Bioclimática 2, conforme classificação da ABNT NBR 15220 (ABNT, 2005). Segundo Köppen (1948), a região apresenta clima subtropical úmido, caracterizado por verões quentes, invernos rigorosos e elevada amplitude térmica anual. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), essas características tornam a região particularmente adequada para estudos de eficiência energética, uma vez que a demanda por aquecimento e resfriamento ocorre em diferentes períodos do ano.

Os dados climáticos utilizados nas simulações foram obtidos por meio do arquivo climático em formato EPW (EnergyPlus Weather File), contendo informações horárias de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar direta e difusa, conforme metodologia recomendada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2023). Foram selecionadas quatro espécies amplamente utilizadas na arborização urbana do sul do Brasil, representando diferentes características fisiológicas quanto ao comportamento da copa e à sazonalidade foliar:

- *Psidium cattleianum* (Araçá-Rosa);
- *Lagerstroemia indica* (Extremosa);
- *Schizolobium parahyba* (Guapuruvu);
- *Tipuana tipu* (Tipuana).

O desempenho das espécies foi quantificado por meio do Percentual de Transmitância Solar (PTS), parâmetro que representa a parcela da radiação solar capaz de atravessar a copa da vegetação. Para cada espécie foram realizadas medições mensais durante um período de doze meses consecutivos, contemplando as quatro estações do ano. A avaliação considerou quatro vistas ortogonais da copa (norte, sul, leste e oeste), permitindo representar a variação sazonal da densidade foliar, conforme exemplo da Figura 1.

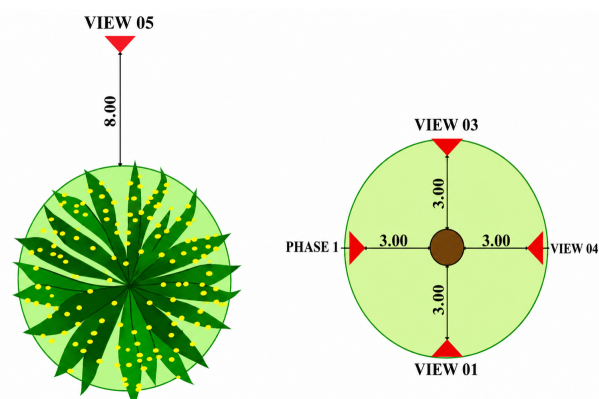


Figura 1. Levantamento *Psidium cattleianum*.

As imagens obtidas foram submetidas ao processamento digital para determinação das áreas ocupadas pela vegetação e pelos vazios da copa, possibilitando calcular os percentuais mensais de transmitância solar, de acordo com a Figura 2, utilizados posteriormente nas simulações computacionais. A seleção contemplou espécies perenes e caducifólias, possibilitando comparar diferentes padrões de sombreamento ao longo das estações do ano e seus respectivos efeitos sobre o desempenho energético da edificação.

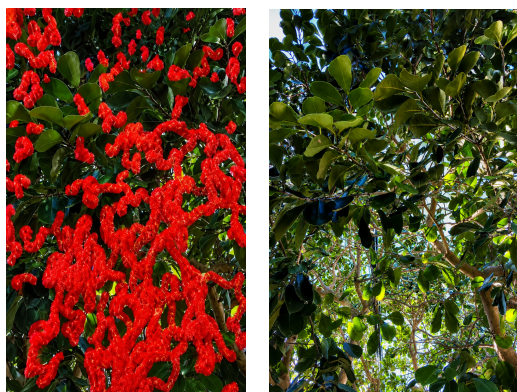


Figura 2. Estudo das áreas de vegetações e vazios da copas com a transmissão de radiação solar da espécie Araçá.

As análises energéticas foram desenvolvidas utilizando o software DesignBuilder®, versão 3.4.0.041, baseado no motor de cálculo EnergyPlus, reconhecido internacionalmente para simulações de desempenho térmico e energético de edificações. Inicialmente foi elaborado o modelo tridimensional da residência a partir do projeto arquitetônico original, reproduzindo suas características geométricas, materiais construtivos, propriedades térmicas da envoltória, orientação solar, ventilação natural e padrões de ocupação.

As paredes de solo-cimento foram representadas por uma composição equivalente de materiais homogêneos, mantendo-se a transmitância térmica de $2,39 \text{ W/m}^2\text{K}$, conforme recomendações da ABNT NBR 15220. O edifício foi dividido em zonas térmicas independentes, permitindo a análise individual dos ambientes e a determinação das cargas térmicas anuais. Foram desenvolvidos cinco cenários distintos de simulação:

Cenário 1: edificação sem proteção solar vegetal:

- Cenário 2: proteção solar com *Psidium cattleianum*;
- Cenário 3: proteção solar com *Lagerstroemia indica*;
- Cenário 4: proteção solar com *Schizolobium parahyba*;
- Cenário 5: proteção solar com *Tipuana tipu*.

As árvores foram posicionadas paralelamente à fachada oeste, mantendo afastamento de 10 metros, reproduzindo condições frequentemente encontradas em projetos de arborização urbana. Os valores mensais do Percentual de Transmitância Solar foram inseridos individualmente em cada modelo computacional, permitindo representar a variação sazonal das copas.

Estudos recentes demonstram que a inserção de parâmetros reais de transmitância da vegetação aumenta significativamente a precisão das simulações energéticas (Zhang et al., 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados evidenciou que as características morfológicas das espécies arbóreas influenciaram diretamente o desempenho energético da residência, confirmando que o comportamento sazonal da copa altera significativamente a incidência da radiação solar sobre a envoltória da edificação.

As espécies apresentaram diferentes Percentuais de Transmitância Solar (PTS), refletindo sua densidade foliar ao longo das estações do ano e, consequentemente, distintos desempenhos quanto à redução da demanda energética para resfriamento e aquecimento, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Desempenho energético das espécies arbóreas avaliadas.

Espécie arbórea	Redução do consumo para resfriamento (%)	Aumento do consumo para aquecimento (%)	Desempenho geral
<i>Psidium cattleianum</i> (Araçá-Rosa)	35,87	60,34	Excelente
<i>Lagerstroemia indica</i> (Extremosa)	27,67	3,64	Melhor equilíbrio anual
<i>Schizolobium Parahyba</i> (Guapuruvu)	22,63	18,95	Intermediário
<i>Tipuana tipu</i>	30,66	17,91	Bom desempenho anual

Observa-se que o Araçá-Rosa (*Psidium cattleianum*) apresentou o maior potencial de redução do consumo energético destinado ao resfriamento, reduzindo em 35,87% a energia consumida em comparação ao cenário sem proteção vegetal. Esse desempenho está diretamente relacionado à elevada densidade de sua copa durante todo o ano, característica típica de espécies perenes, que promove maior interceptação da radiação solar incidente sobre a fachada oeste, verificado na Figura 3.

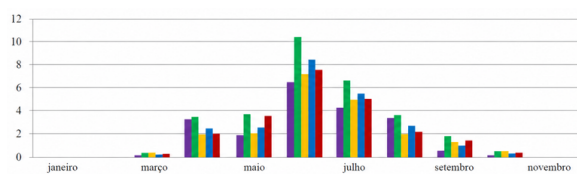


Figura 3. Consumo Anual para Aquecimento em kWh (Roxo - sem proteção solar; Verde - araçá; Amarelo -extremosa; Azul – Guapuruvu; Vermelho – Tipuana).

Por outro lado, essa mesma característica ocasionou aumento da demanda energética para aquecimento (60,34%), uma vez que a copa permaneceu densa também durante o inverno, reduzindo os ganhos solares passivos necessários para o aquecimento natural da edificação, conforme apresentado na Figura 4.

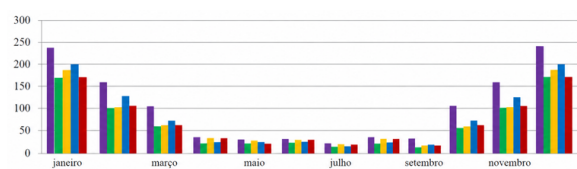


Figura 4. Consumo Anual para Resfriamento em kWh (Roxo - sem proteção solar; Verde - araçá; Amarelo -extremosa; Azul – Guapuruvu; Vermelho – Tipuana).

Resultados semelhantes são relatados por Rahman et al. (2022), que demonstraram que espécies perenes apresentam excelente desempenho na redução das cargas térmicas de verão, porém podem comprometer os ganhos solares durante o inverno quando utilizadas em regiões de clima subtropical. A Extremosa (*Lagerstroemia indica*) apresentou comportamento distinto devido ao seu caráter caducifólio. Durante o inverno ocorre perda significativa das folhas, permitindo maior incidência da radiação solar sobre a envoltória da edificação. Como consequência, verificou-se o menor aumento da demanda para aquecimento (3,64%), mantendo simultaneamente uma redução expressiva do consumo destinado ao resfriamento (27,67%). Esse comportamento demonstra elevada adaptação às condições climáticas da Zona Bioclimática 2 brasileira, corroborando estudos recentes que indicam espécies caducifólias como as mais indicadas para regiões com estações bem definidas (Santamouris, 2022; Zhang et al., 2023).

O Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) apresentou o menor desempenho energético entre as espécies avaliadas, reduzindo apenas 22,63% do consumo destinado ao resfriamento. Esse resultado está relacionado principalmente ao seu porte elevado e à menor densidade foliar observada durante parte do ano, reduzindo a eficiência do sombreamento da fachada analisada.

Já a Tipuana (*Tipuana tipu*) apresentou comportamento intermediário, reduzindo 30,66% do consumo energético para resfriamento e elevando em 17,91% a demanda para aquecimento. Sua copa relativamente densa durante o verão e parcialmente aberta durante o inverno favoreceu um desempenho equilibrado entre as duas situações climáticas. Os resultados demonstram que a simples presença da vegetação não garante maior eficiência energética, sendo indispensável considerar aspectos fisiológicos das espécies, como arquitetura da copa, índice de área foliar, sazonalidade e porte vegetal.

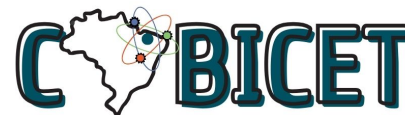
A simulação computacional demonstrou que a residência sem proteção vegetal apresentou consumo anual para resfriamento de aproximadamente 1.188,82 kWh. Quando utilizada a espécie Araçá-Rosa, esse consumo reduziu para 763,35 kWh, representando economia anual superior a 425 kWh, equivalente a aproximadamente 36% de redução energética. Esses resultados evidenciam o potencial da arborização urbana como estratégia passiva para redução do consumo energético em habitações de interesse social, especialmente em regiões de clima subtropical.

Segundo o IPCC (2023), soluções baseadas na natureza (*Nature-Based Solutions*) representam uma das principais alternativas para reduzir simultaneamente emissões de carbono, consumo energético e vulnerabilidade climática das cidades. Da mesma forma, Livesley, McPherson e Calfapietra (2023) destacam que o sombreamento proporcionado pelas árvores reduz significativamente as temperaturas superficiais das edificações, contribuindo para diminuir a necessidade de climatização artificial. De maneira geral, de acordo com a Tabela 2, os resultados obtidos confirmam que a seleção adequada das espécies arbóreas constitui fator determinante para o desempenho energético das edificações.

Tabela 2. Consumo anual para resfriamento.

Cenário	Consumo anual (kWh)	Redução (%)
Sem arborização	1.188,82	—
Araçá-Rosa	763,35	35,87

Observa-se que espécies perenes apresentam maior eficiência para redução das cargas térmicas em climas predominantemente quentes.



Em contrapartida, espécies caducifólias oferecem melhor equilíbrio entre resfriamento e aquecimento em regiões subtropicais, possibilitando estratégias de arborização mais eficientes sob a perspectiva da arquitetura bioclimática e da sustentabilidade urbana.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a arborização, como estratégia passiva de proteção solar, apresenta elevado potencial para melhorar o desempenho energético das edificações, reduzindo o consumo de energia para condicionamento artificial e contribuindo para soluções alinhadas aos princípios da arquitetura bioclimática. Sua eficiência depende das características morfológicas e fisiológicas das espécies, especialmente da densidade da copa, sazonalidade foliar, porte arbóreo e capacidade de transmissão da radiação solar.

A análise das quatro espécies evidenciou desempenhos distintos. A *Psidium cattleianum* (Araçá-Rosa), devido à copa perene e à elevada densidade foliar, apresentou a maior redução no consumo de energia para resfriamento, alcançando diminuição de 35,87% em relação à edificação sem proteção vegetal. Entretanto, sua manutenção da folhagem no inverno reduziu os ganhos solares passivos, aumentando a demanda por aquecimento. Entre as espécies caducifólias, a *Lagerstroemia indica* (Extremosa) apresentou o desempenho mais equilibrado para a Zona Bioclimática 2, pois a perda das folhas no inverno favoreceu o aproveitamento da radiação solar, enquanto a copa no verão proporcionou sombreamento eficiente.

As simulações computacionais confirmaram que todas as espécies contribuíram para a redução do consumo energético da residência, embora com diferentes níveis de eficiência. O consumo anual foi reduzido de 1.188,82 kWh, na condição sem vegetação, para 763,35 kWh com o uso do Araçá-Rosa, evidenciando o potencial da arborização como estratégia de controle solar.

Conclui-se, portanto, que a arborização deve ser considerada um componente integrado ao projeto arquitetônico, capaz de promover conforto térmico e eficiência energética, além de benefícios ambientais e paisagísticos. A escolha das espécies deve considerar as condições climáticas locais e suas características biológicas, buscando equilibrar o sombreamento no verão e o aproveitamento da radiação solar no inverno. Dessa forma, a inserção planejada da vegetação representa uma alternativa sustentável para reduzir impactos ambientais, melhorar o conforto dos usuários e contribuir para edificações e cidades mais resilientes.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi apoiado pela CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ATTIA, S. Regenerative and positive impact architecture: Learning from case studies and frameworks. Cham: Springer, 2022.

BEATLEY, T. The handbook of biophilic city planning & design. Washington: Island Press, 2016.

DOE – UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations. Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Energy Efficiency 2023. Paris: IEA, 2023.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2023.

KÖPPEN, W. Climatologia: com um estudo dos climas da Terra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, E. G.; CALFAPIETRA, C. The urban forest and ecosystem services: impacts on climate adaptation and mitigation. Urban Forestry & Urban Greening, 2023.

RAHMAN, M. A. et al. Urban tree effects on building energy consumption and outdoor thermal comfort: a review. Sustainable Cities and Society, 2022.

SANTAMOURIS, M. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated strategies and energy efficiency. Energy and Buildings, 2022.

ZHANG, Y. et al. Modeling vegetation effects on building energy performance through dynamic solar transmittance approaches. Building and Environment, 2023.