



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 27 – Ano XIII – 05/2025
<https://doi.org/10.70597/vozes.v12i27.706>

Aplicação da análise multicritério a para integração de sistemas fotovoltaicos às edificações de habitação popular com placas de solo-cimento de alto desempenho

Luís Guilherme Monteiro Oliveira
Graduação Eng. Controle Automação (PUC Minas); Mestrado em Energia (USP); Doutorado Eng. Elétrica (UFMG); Pós-Doutorado Eng. Elétrica (UFMG).
Professor Adjunto IV (IPUC - PUC Minas) / Professor Especialização Fontes Renováveis de Energia (PPGEE-UFMG) / Pesquisador Laboratório Tesla (UFMG)
<http://lattes.cnpq.br/9218574917080030>
E-mail: luis.monteiro@gmail.com

Demisson Renato Ferreira
Bacharel em Ciência e Tecnologia
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM – Brasil
Discente em Engenharia Civil na UFVJM
<https://lattes.cnpq.br/2584835042271030>
E-mail: demisson.renato@ufvjm.edu.br

João luiz da Cruz Júnior
Graduando em gestão ambiental – UNOPAR; Especialização em administração pública e legislação urbana – Universidade Cândido Mendes – UCAM
Discente da UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/1069944001293323>
joao.luiz@ufvjm.edu.br

Rosana Passos Cambraia
Doutorado em Psicobiologia, Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (USP-RP). Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa (UFV).
Docente Departamento de. Farmácia, Faculdade de Ciências Biológicas e da Saúde - FCBS, UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/5804714230015958>
E-mail: rosa.cambraia@ufvjm.edu.br

Dr. Bernat Vinolas Prat
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Politécnica de Catalunha – Espanha
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM – Brasil
Docente Instituto de Ciência e Tecnologia – UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/7998463818840636> E-mail:
bernat.vinolas@ict.ufvjm.edu.br

Resumo: Este estudo avalia e compara as tecnologias BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*) e BAPV (*Building Applied Photovoltaics*) em habitações construídas com placas de solo cimento de alto desempenho (SCAD), considerando aspectos econômicos, técnicos, energéticos, ambientais e sociais. A diferença principal em relação aos dois sistemas é que, no caso do BAPV, os módulos fotovoltaicos são acoplados à edificação depois da construção (por exemplo, fixados sobre o telhado), sem função arquitetônica ou estrutural direta — ao contrário do BIPV, que já é integrado no projeto e na construção. A análise multicritério foi usada para permitir uma visão abrangente das vantagens e desafios de cada alternativa. Os resultados indicam que o BIPV se destaca pela integração arquitetônica e potencial de redução do consumo energético convencional, enquanto o BAPV apresenta flexibilidade de instalação e menor custo inicial. Ambas as tecnologias contribuem para a redução das emissões de CO₂ e promovem eficiência energética. No aspecto social, a adoção dessas tecnologias pode melhorar o conforto térmico, facilitar a manutenção e gerar oportunidades de emprego para a comunidade. A escolha entre BIPV e BAPV deve seguir uma abordagem holística, equilibrando diferentes critérios para maximizar os benefícios da energia solar integrada às edificações. Estudos futuros podem explorar a otimização dessas soluções para distintas condições climáticas e padrões construtivos.

Palavras-chave: análise multicritério, BIPV, BAPV, eficiência energética, geração fotovoltaica, placas SCAD, sustentabilidade.

Introdução

O setor da construção civil continua sendo um dos principais causadores da crise climática mundial, consumindo 32% da energia global e contribuindo para 34% das emissões globais de CO₂. O setor depende de materiais como cimento e aço, que são responsáveis por 18% das emissões globais e são uma grande fonte de resíduos de construção (UNEP, 2025). Esses dados evidenciam a urgência de buscar alternativas tecnológicas sustentáveis que possam minimizar esses impactos negativos. Nesse contexto, soluções construtivas mais econômicas e ambientalmente adequadas ganham relevância crescente, especialmente em regiões onde os custos elevados e a inacessibilidade de materiais convencionais dificultam o acesso, especialmente das populações de baixa renda, a habitações dignas e sustentáveis (DE CARVALHO, 2012).

Uma das soluções tecnológicas que tem despertado interesse no cenário atual é o solo-cimento (NEGREIROS et al., 2018). Este material consiste em uma mistura de solo arenoso ou argiloso, cimento Portland e água, compactado mecanicamente e submetido à cura adequada. O solo-cimento tradicional apresenta vantagens ambientais e econômicas, incluindo baixo custo de produção, menor uso de cimento (um dos materiais mais impactantes ambientalmente devido às altas emissões de CO₂ em sua fabricação), além da possibilidade de utilização de recursos locais abundantes (AUGUSTO et al., 2022). No entanto, apesar dessas vantagens, o solo-cimento convencional apresenta limitações técnicas importantes, particularmente em relação à resistência mecânica, geralmente

limitada a valores entre 2 e 6 MPa de resistência à compressão, além de ser suscetível à ação de agentes atmosféricos como água e erosão, limitando seu uso principalmente a paredes de vedação ou pequenas construções (DE CARVALHO et al., 2022).

Buscando superar essas limitações e ampliar as possibilidades de uso do solocimento, nossa equipe de pesquisa da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, desenvolveu e patenteou-se, em 2023, o Solo-Cimento de Alto Desempenho (SCAD) (VINOLAS et al., 2023). Essa inovação tecnológica resulta de uma combinação criteriosa de ajustes nas proporções dos componentes, seleção rigorosa da granulometria do solo, bem como controle preciso da pressão aplicada e do processo de desforma das placas produzidas. Essas modificações permitiram alcançar resistências à compressão superiores a 50 MPa aos 28 dias, desempenho comparável ao concreto de alto desempenho (CAD), garantindo maior durabilidade e estabilidade estrutural, bem como maior resistência à erosão e à ação da água. O registro definitivo dessa patente foi realizado em outubro de 2024.

Com base nessa inovação tecnológica, foi desenvolvido o projeto institucional na UFVJM "InovaLar: construção de baixo custo, com responsabilidade ambiental e promoção da justiça social", que propõe a construção de habitações populares utilizando exclusivamente placas pré-fabricadas de SCAD, integrando estruturalmente pisos, paredes, lajes e coberturas. Esse sistema construtivo inovador se destaca por ser replicável, reduzir custos construtivos em até 60% em comparação às tecnologias convencionais e diminuir os resíduos gerados durante a obra. O projeto já possui financiamento aprovado e encontra-se atualmente em fase avançada de implantação na UFVJM, na sua região de abrangência no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais.

Embora o uso do SCAD represente um avanço, para maximizar a sustentabilidade dessas habitações é fundamental considerar não apenas o material construtivo, mas também soluções energéticas renováveis capazes de suprir, parcial ou integralmente, as necessidades energéticas das edificações (CHIVELET et al., 2025). Nesse contexto, destaca-se especialmente o uso da energia solar fotovoltaica. A energia solar é reconhecida globalmente como uma alternativa viável e sustentável, capaz de gerar energia limpa diretamente no local de consumo, reduzindo custos operacionais das edificações e mitigando impactos ambientais relacionados à geração convencional de energia elétrica.

De acordo com Zilles et al. (2012) os sistemas fotovoltaicos (FV) podem ser classificados em duas categorias: sistemas FVs isolados (*off grid*) e os sistemas FVs conectados à rede elétrica (*on grid*).

Os sistemas *off grid* são sistemas fotovoltaicos que não estão conectados a um ramal de distribuição de energia de uma concessionária, ou seja, estes sistemas são instalados em locais dispersos e isolados da rede de energia elétrica e, portanto, são sistemas onde são utilizadas baterias para o armazenamento e uso da energia, principalmente, no período noturno (BARRETO et al., 2008).

Geralmente, estes sistemas são aplicados em comunidades tradicionais (ex: ribeirinhas na Amazônia, caiçaras no litoral, comunidades quilombolas, aldeias indígenas e etc.) e/ou em edificações isoladas, ou em estruturas de telecomunicação e de radares rodoviários, além de bombeamento de água, iluminação etc. (VALER et al., 2017 e SOUSA et al., 2021). Podem ter como principal fonte de geração de energia através de módulos fotovoltaicos, mas também podem compartilhar a sua geração de energia com outras fontes

energéticas tais como: sistemas eólicos, hídrico, biomassa etc., os denominados de sistemas híbridos (BARRETO et al., 2008). A Figura 1 apresenta exemplo de sistema fotovoltaico isolado instalado em comunidade ribeirinha.

Figura 1 - Sistema fotovoltaico isolado em comunidade ribeirinha.



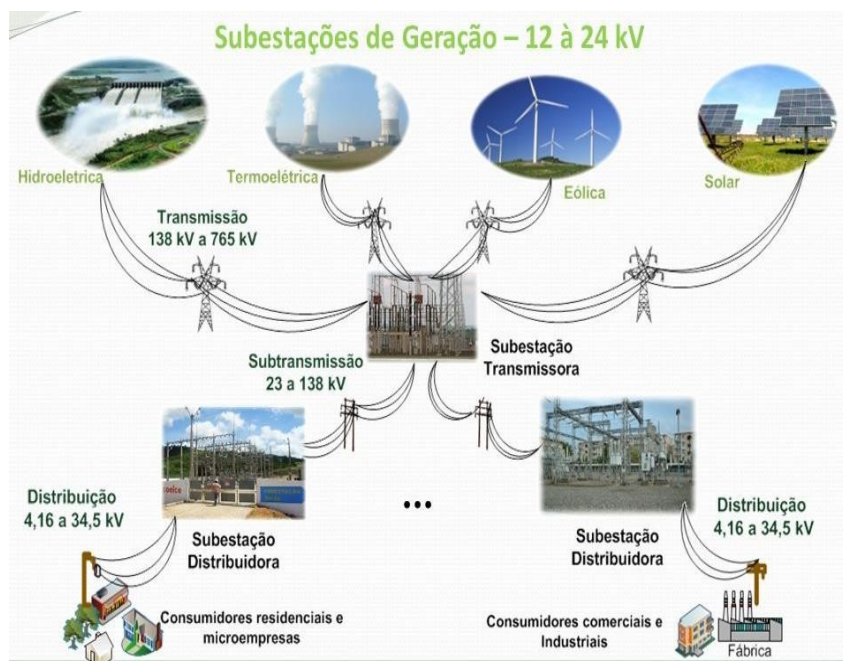
Fonte: Barrense (2024).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCRs), podem ser subdivididos em sistemas FVs centralizados e os sistemas FVs de geração distribuída (GD). Os SFCR centralizados, são considerados sistemas de grande porte, são compostos por milhares de módulos fotovoltaicos interligados entre si de forma a resultar em um grande gerador de energia e de potência instalada (geralmente, na grandeza de Megawatts - MW). São instalados no solo com inclinação e orientação fixas, porém, otimizadas para receber com mais eficiência os raios solares incidentes ou podem também utilizar-se de sistemas de rastreamento solar, ou seja, sistema que orienta automaticamente os módulos FVs ao longo do dia de acordo com a movimentação do sol (ZILLES et al., 2012).

Os geradores FVs destas usinas solares são acoplados à grandes inversores de potência (convertem corrente contínua - CC em corrente em alternada - CA) e estes são

conectados a uma subestação de potência a qual irá adequar a potência, tensão e frequência gerada pela usina solar para ser transportada para os centros consumidores / urbanos por meio de linhas de transmissão e depois, ser distribuída (novamente passando por mais um sistema de condicionamento de potência - subestação) e assim, ser utilizada por residências, estabelecimentos comerciais e indústrias (ZILLES et al., 2012). A Figura 2 (a) mostra a estrutura de sistemas centralizados os quais incluem também outros sistemas de energia de grande porte (hidroelétricas, usinas eólicas, termoeletricas etc.) e Figura 2 (b) geração centralizada fotovoltaica.

Figura 2 - (a) Estrutura básica da geração de energia centralizada (b) sistema fotovoltaico centralizado.



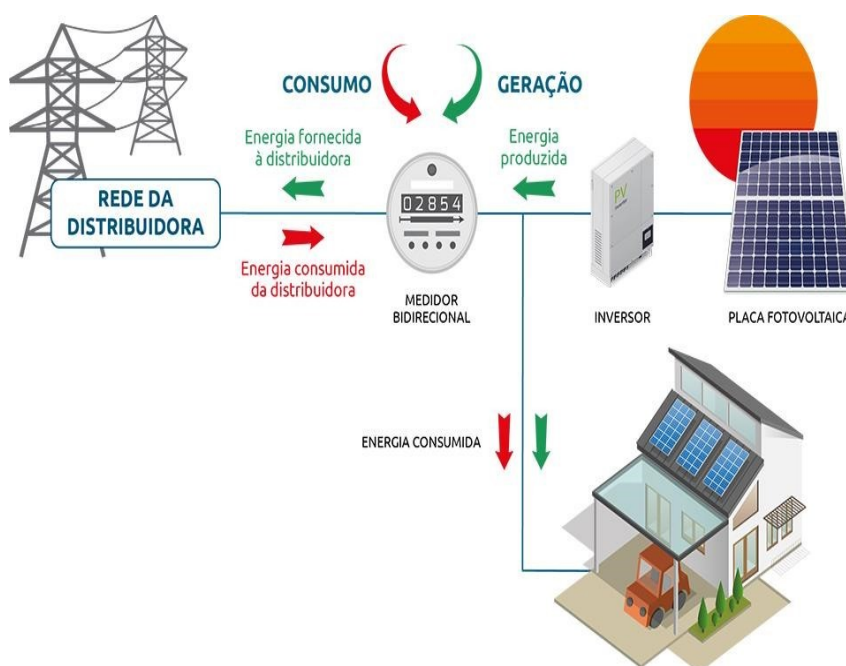
Fonte: IEEE Smart Grid Workshop (2013).



Fonte: Portal solar (2025).

A geração fotovoltaica distribuída (GD) é a produção de energia elétrica, próxima ou no local de consumo. Esse modelo permite que residências, comércios, empresas, indústrias e até mesmo condomínios produzam sua própria energia e quando há excedente, podem injetar diretamente em um ramal de distribuição de uma concessionária de energia local gerando assim créditos que podem ser utilizados e descontados na conta de energia através do sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*) (ZILLES et al., 2012). A Figura 3 apresenta o fluxo de energia gerada / consumida em residência com Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV).

Figura 3 - Fluxo de energia gerada / consumida em residência com GDFV.



Fonte: Inovacare Solar (2021).

De acordo com Bonomo et al. (2016) e Chilevet et al. (2025), atualmente a GD pode ser classificada em sistemas fotovoltaicos integrados à edificação (BIPV - *BuildingIntegrated Photovoltaics*) e os sistemas aplicados à edificação (BAPV - *Building-Applied Photovoltaics*). Os sistemas BIPV substituem diretamente elementos construtivos da edificação (ex: telhas, fachadas, brises, etc.) por módulos FVs desenvolvidos para este fim, desempenhando simultaneamente funções estruturais, arquitetônicas e energéticas, ver Figura 4.;

Figura 4 - Fachada BIPV semitransparente termicamente isolada em um edifício de escritórios. Foto: Sunovation GmbH, Alemanha.



Fonte: Adaptado de Chivelet et al. (2025).

Os sistemas BAPV, utilizam módulos fotovoltaicos que são instalados sobre as estruturas existentes, utilizando-se de perfis / suportes metálicos, sem a substituição integral dos componentes estruturais, portanto, são sistemas mais utilizados e comercializados (SANTOS & RÜTHER, 2012/ FARIAS et al., 2014), ver Figura 5.

Figura 5 – Exemplos de sistemas BAPV.



Fonte: Terli, 2025.

Cada uma dessas categorias possui suas características próprias, influenciando diretamente a eficiência energética, os custos iniciais, operacionais e de manutenção (O&M), o projeto arquitetônico e sua estética e o desempenho térmico das edificações conforme destacam Young-sub An et al. (2023) e Zomer et al. (2020).

A escolha adequada de um sistema fotovoltaico em habitações populares construídas com placas SCAD deve, portanto, considerar uma multitude de critérios simultaneamente. Esses critérios envolvem não apenas aspectos técnicos e econômicos, como eficiência energética, durabilidade estrutural, custos de implantação e manutenção,

mas também critérios ambientais, como redução de emissões de gases do efeito estufa e impacto no ciclo de vida dos materiais, além de critérios sociais fundamentais, como facilidade de manutenção pelos moradores, empoderamento energético comunitário e geração de emprego local (SANTOS e RÜTHER, 2012, BAO e XIANG, 2025).

Para atender a essa complexidade, a utilização da análise multicritério como metodologia de apoio à decisão se mostra especialmente apropriada (DE ALMEIDA et al., 2025). Entre as diferentes abordagens multicritério existentes, optou-se pela Teoria Multiatributo de Utilidade (MAUT - *Multiattribute Utility Theory*) (KEENEY, 1979), metodologia reconhecida pela capacidade de integrar critérios quantitativos e qualitativos, fornecer decisões transparentes e facilmente compreensíveis pelos diversos atores envolvidos. A metodologia MAUT permite atribuir pesos específicos aos critérios, refletindo sua importância relativa no contexto estudado, possibilitando decisões robustas e coerentes com as necessidades sociais, econômicas e ambientais locais (CASANOVAS e VINOLAS, 2024).

Além disso, a UFVJM, localizada nos Vales do Jequitinhonha e do Mucuri, é um ambiente ideal para o desenvolvimento deste tipo de projeto, pois conjuga condições favoráveis ao aproveitamento energético solar, com índices médios diários de irradiação solar superiores a 5,00 kWh/m². dia, com forte potencial solar do Brasil (PEREIRA et al., 2017). Ao mesmo tempo, é uma região marcada por vulnerabilidade social, carência habitacional e baixa disponibilidade de recursos econômicos tradicionais (UFMG, 2018). Essas condições possibilitam testar a solução proposta em um contexto desafiador e realista, com impacto social relevante por meio da capacitação técnica local e empoderamento das comunidades beneficiadas na gestão autônoma de sua própria infraestrutura energética e habitacional.

O objetivo geral deste estudo é propor uma estrutura metodológica baseada em uma árvore hierárquica de critérios, visando a avaliação e a identificação de qual alternativa de implementação de energia fotovoltaica é mais adequada para aplicação em habitações populares construídas com placas SCAD. Os objetivos específicos deste estudo são: 1) Caracterizar detalhadamente os principais tipos de sistemas fotovoltaicos aplicáveis às habitações construídas com placas SCAD, identificando claramente suas vantagens, limitações técnicas e peculiaridades estruturais, energéticas e econômicas. 2) Identificar e selecionar um conjunto representativo de critérios que devem ser considerados na avaliação das alternativas tecnológicas propostas, organizando-os em uma árvore hierárquica estruturada (objetivo principal, critérios, subcritérios e indicadores específicos), possibilitando assim uma análise ordenada e sistemática. 3) Detalhar, para cada critério e subcritério identificado, os métodos e procedimentos adequados para sua avaliação quantitativa ou qualitativa, permitindo futuramente obter um índice único de avaliação integrado (por meio da metodologia MAUT), que permita a comparação objetiva das alternativas tecnológicas de implementação de energia fotovoltaica nas habitações SCAD.

Portanto, o presente artigo apresenta a metodologia inicial para aplicação da (MAUT), enfatizando especificamente a fase de seleção e definição dos critérios que devem ser utilizados para avaliação de forma integrada das alternativas tecnológicas para implementação de energia solar fotovoltaica em habitações populares construídas com placas SCAD. Este trabalho visa a contribuição para o avanço científico, tecnológico e social no campo da construção sustentável, oferecendo uma base metodológica clara e replicável para futuras decisões estratégicas relacionadas à sustentabilidade energética e habitacional no Brasil.

Metodologia

Para atingir os objetivos específicos deste estudo, a metodologia está organizada em três fases sequenciais, que correspondem aos objetivos estabelecidos, garantindo clareza e objetividade no desenvolvimento da pesquisa.

Fase 1 – Fases da metodologia de MAUT utilizadas para análise dos tipos de sistemas fotovoltaicos

Nesta fase inicial é apresentada, do ponto de vista metodológico, a estrutura completa da aplicação da análise multicritério utilizando especificamente a MAUT. A explicação metodológica descreve a seguir as etapas previstas para a análise das alternativas tecnológicas de sistemas fotovoltaicos a serem utilizados nas habitações populares construídas com placas SCAD, sem antecipar resultados específicos.

Primeiramente, é definida com a problemática de decisão, descrevendo o objetivo central da análise multicritério, que é determinar qual dos sistemas de energia fotovoltaica (BIPV ou BAPV) apresenta melhor desempenho global para aplicação prática em habitações construídas com placas SCAD. Essa definição metodológica inicial é realizada considerando o contexto habitacional popular e as características ambientais e sociais do Vale do Jequitinhonha.

Em seguida, a metodologia apresenta o detalhamento das etapas da abordagem MAUT adaptada para esta pesquisa. Assim, é descrito como se realiza a identificação e seleção inicial dos critérios que são considerados relevantes para a avaliação, envolvendo métodos qualitativos e quantitativos tais como revisão bibliográfica sistemática, consulta técnica a especialistas, realização de oficinas participativas (*workshops*) com pesquisadores e representantes da comunidade, além de entrevistas técnicas com profissionais do setor. É explicitado ainda o procedimento metodológico previsto para classificação e organização dos critérios selecionados em uma estrutura hierárquica definida (árvore multicritério).

Finalmente, são descritos os procedimentos metodológicos previstos para definição de como cada critério selecionado pode ser avaliado futuramente, detalhando as formas previstas para coleta de dados quantitativos (tais como simulações energéticas, levantamentos econômicos, análises estruturais e ambientais) ou qualitativos (questionários, entrevistas técnicas, avaliações especializadas). É explicado também o método que deve ser utilizado futuramente para atribuição de pesos relativos aos critérios, indicando que tal etapa envolve novamente uma validação participativa com especialistas e *stakeholders*. Não são antecipados resultados específicos nessa etapa, garantindo que o detalhamento metodológico apresente apenas os passos que são realizados no estudo, deixando clara a sequência lógica e operacional da metodologia proposta.

Alternativas de sistemas fotovoltaicos avaliadas

As alternativas avaliadas para escolha do melhor tipo de implementação de sistema fotovoltaico são:

- **Sistemas integrados às edificações (BIPV – *Building-Integrated Photovoltaics*):** São caracterizados detalhadamente os módulos fotovoltaicos

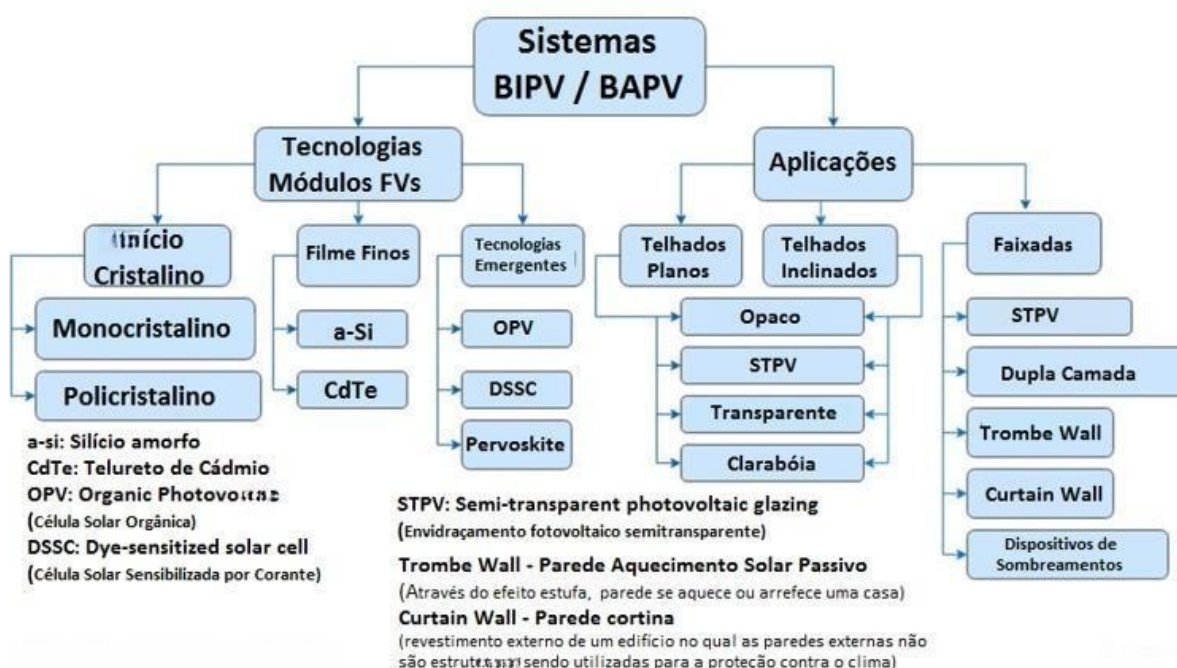
que substituem elementos estruturais tradicionais, abordando características estruturais, técnicas, econômicas, estéticas e energéticas. Descrição detalhada das vantagens relacionadas à eficiência energética, durabilidade estrutural, estética arquitetônica e possíveis limitações (custos elevados, necessidade de manutenção especializada,

etc.).

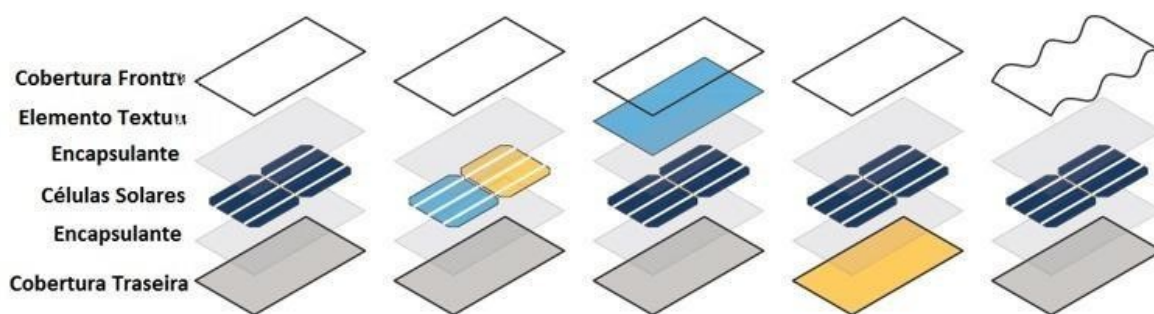
- **Sistemas aplicados às edificações (BAPV – *Building-Applied Photovoltaics*):** Da mesma forma, são caracterizados como módulos solares aplicados sobre estruturas existentes, detalhando aspectos técnicos (tipo de fixação, impacto sobre a estrutura existente), econômicos (custos iniciais menores, simplicidade de instalação e manutenção) e energéticos (possíveis perdas de eficiência devido à instalação sobre estrutura pré-existente etc.).

A Figura 6 (a), apresenta as possibilidades tecnológicas e de aplicação dos sistemas BIPV / BAPV, já a Figura 6 (b) mostra tipos de camadas que compõem módulos FVs utilizados em sistemas BAPV (módulos FVs convencionais), e módulos FVs para sistemas BIPV (CHILEVET, 2025). Cabe salientar que todos estes parâmetros apresentados na Figura 6 (a) / (b) são critérios de análise os quais são considerados no estudo (BONOMO, 2016).

Figura 6 - (a) Possibilidades tecnológicas e de aplicação dos sistemas BIPV / BAPV; (b) diferentes camadas que compõem módulos FVs convencionais (BAPV) e módulos utilizados em sistemas FVs BIPV.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Chilevet (2025).

Nesta fase também são indicadas as especificações técnicas essenciais para garantia da compatibilidade entre os módulos fotovoltaicos e as placas SCAD, considerando aspectos estruturais (peso, resistência mecânica), térmicos (influência dos módulos fotovoltaicos no desempenho térmico das habitações) e construtivos (detalhes executivos para montagem e manutenção futura).

Fase 2 – Seleção e organização dos critérios para MAUT

A segunda fase é dedicada integralmente ao processo de seleção dos critérios que são utilizados futuramente para realização de uma análise multicritério robusta e fundamentada. Esta fase se desdobra em três etapas específicas, cada uma detalhadamente explicada a seguir:

Etapla 1: Identificação inicial dos critérios

Para garantia de uma abrangência e robustez na identificação dos critérios, é utilizada inicialmente uma abordagem exploratória combinada, que inclui: 1) Ampla revisão bibliográfica de artigos científicos sobre aplicação de análise multicritério em construções sustentáveis e sistemas energéticos renováveis. 2) Análise documental de projetos já realizados no contexto da sustentabilidade habitacional, especialmente aqueles relacionados a sistemas construtivos alternativos e energia solar.

Essa primeira etapa gera uma lista inicial ampla de critérios potenciais, sem ainda definição de sua hierarquia ou agrupamento específico.

Etapla 2: Validação participativa e seleção final dos critérios

Após a identificação inicial, é realizado um processo participativo, envolvendo um painel técnico especializado, composto pelos próprios autores do trabalho com colaboração de pesquisadores e docentes da universidade, com experiência na temática do projeto.

Esse processo participativo utiliza uma técnica estruturada de consenso, como o método Delphi ou oficinas presenciais de discussão moderada (*workshops*), visando selecionar, dentre os critérios previamente identificados, apenas aqueles que sejam

relevantes e aplicáveis ao contexto específico das habitações populares SCAD no Vale do Jequitinhonha.

Nessa etapa, critérios redundantes ou pouco aplicáveis ao contexto real são eliminados, e novos critérios relevantes eventualmente sugeridos pelos participantes podem ser incluídos. O resultado é uma lista consensuada e finalizada de critérios específicos para avaliação multicritério.

Etapas 3: Agrupamento e estruturação dos critérios em forma hierárquica

Com a lista de critérios definida, é realizado um agrupamento conceitual destes critérios em grandes categorias temáticas. Esse agrupamento é feito com base em similaridade temática e lógica operacional, objetivando facilitar sua avaliação posterior e tornar mais compreensível a análise multicritério.

Possíveis agrupamentos podem incluir grandes categorias conceituais, tais como: 1) Econômicos (custos iniciais, operacionais e financeiros); 2) Técnicos e energéticos (produtividade e eficiência energética, durabilidade estrutural, degradação elétrica e termomecânica de células solares, facilidade de implementação técnica, acústica, vedação); 4) Ambientais (emissões de CO₂, impacto no ciclo de vida dos materiais); 5) Sociais e de conforto (conforto térmico, coeficiente solar de ganho térmico, facilidade de uso, capacitação comunitária); 6) Aspectos estéticos e arquitetônicos (compatibilidade do projeto arquitetônico; seleção tecnológica; *layout* (orientação / inclinação); escala (área) e proporção; padrões de sombreamentos / claridade; transparência / opacidade / cores / percepção da comunidade / aspectos pedagógicos de sustentabilidade).

A estruturação hierárquica (em forma de árvore multicritério) é então definida da seguinte forma geral: 1) Nível superior: objetivo central da avaliação; 2) Nível intermediário: critérios principais; 3) Nível inferior: subcritérios e indicadores específicos, detalhando com clareza como cada critério geral pode ser avaliado ou mensurado posteriormente.

A árvore hierárquica resultante dessa fase é utilizada futuramente para a realização das avaliações quantitativas ou qualitativas individuais de cada critério definido, possibilitando a aplicação da MAUT (AGUADO, 2011).

Fase 3 – Explicação metodológica sobre as formas dos critérios para futura aplicação do método MAUT

Nesta fase final da metodologia é realizada uma explicação das abordagens metodológicas recomendadas para avaliação de cada um dos critérios e subcritérios definidos anteriormente. A proposta metodológica indica assim: 1) Critérios ou subcritérios que devem ser avaliados quantitativamente (por exemplo, custos em reais, eficiência energética em kWh/m², emissões em kg de CO₂, entre outros); 2) Critérios que são avaliados qualitativamente, descrevendo-se como será realizada essa avaliação (por exemplo, conforto térmico através de questionários qualitativos com moradores, facilidade de manutenção por meio de avaliações técnicas qualitativas feitas por especialistas); 3) Métodos de coleta de dados previstos (pesquisas técnicas de mercado, simulações energéticas futuras utilizando softwares apropriados como *EnergyPlus*, *PVsyst*, etc.); 4) Indicação de como futuramente os dados avaliados qualitativa ou quantitativamente podem ser integrados para geração de índices únicos de avaliação das alternativas tecnológicas.

Por fim, embora este estudo não empreenda diretamente a fase final de aplicação dos índices multicritério (etapa de agregação dos resultados quantitativos/qualitativos e

ponderação final com pesos específicos), é descrito brevemente o procedimento metodológico da MAUT, explicando como é possível a realização futura dessa agregação para obtenção de um índice único, capaz de orientar a seleção da melhor alternativa tecnológica dentre as estudadas.

Resultados

Fase 1 – Fases da metodologia de análise multicritério utilizadas para avaliação das alternativas dos tipos de sistemas fotovoltaicos

Nesta primeira fase de resultados, são descritas as etapas metodológicas fundamentais que compõem a análise multicritério utilizada nesta pesquisa. As etapas foram definidas com base na adaptação da metodologia MAUT especificamente para o contexto de avaliação das alternativas tecnológicas de sistemas fotovoltaicos (BIPV e BAPV), aplicados em habitações populares construídas com placas SCAD. Cada uma dessas etapas metodológicas é apresentada separadamente nos tópicos seguintes.

Definição clara e precisa do problema decisório

O primeiro passo fundamental da metodologia MAUT correspondeu à definição do problema de decisão central da pesquisa. Nesta etapa, foi explicitado o objetivo geral, consistente na determinação de qual das alternativas tecnológicas estudadas – sistemas fotovoltaicos integrados (BIPV) ou aplicados (BAPV) – seria mais adequada em termos técnicos, econômicos, ambientais e sociais para implementação prática em habitações construídas com placas SCAD. A definição do problema decisório foi elaborada considerando-se as características locais da região do Vale do Jequitinhonha, tais como carências habitacionais, disponibilidade econômica reduzida das comunidades locais, e potencial de utilização da energia solar devido à alta incidência solar na região.

Essa etapa metodológica assegurou que a avaliação multicritério fosse contextualizada, garantindo relevância prática e alinhamento às necessidades reais das comunidades envolvidas.

Identificação e descrição detalhada das alternativas tecnológicas (BIPV e BAPV)

Na sequência, detalhou-se metodologicamente o procedimento adotado para identificação e descrição das alternativas tecnológicas sob avaliação. Esta etapa consistiu em uma revisão sistemática da literatura técnica especializada, incluindo artigos científicos, manuais técnicos, documentos de fabricantes, e relatórios técnicos nacionais e internacionais sobre sistemas fotovoltaicos aplicados na construção civil sustentável.

Foram definidas, assim, duas categorias principais de sistemas fotovoltaicos a serem considerados na análise multicritério futura: 1) Sistemas integrados às edificações (BIPV), que substituem elementos construtivos tradicionais, possuindo múltiplas funções estruturais, arquitetônicas e energéticas, detalhados os aspectos como eficiência energética, impacto arquitetônico e custos estimados; 2) Sistemas aplicados às edificações (BAPV), consistindo em módulos fotovoltaicos instalados sobre elementos estruturais existentes, sendo analisados aspectos como facilidade de instalação, custos iniciais mais baixos e implicações estruturais. Esta etapa metodológica garantiu que as alternativas tecnológicas fossem caracterizadas e estivessem disponíveis para serem avaliadas na próxima etapa da metodologia.

Seleção dos critérios para a análise multicritério

Posteriormente, detalhou-se o processo metodológico adotado para identificação e seleção dos critérios de avaliação relevantes para a análise multicritério das alternativas tecnológicas propostas. O procedimento adotado nessa etapa foi dividido em três passos metodológicos: 1) Identificação preliminar de critérios: uma ampla revisão bibliográfica foi conduzida para levantamento de uma lista de possíveis critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais considerados na literatura científica especializada em construção sustentável e sistemas energéticos renováveis. 2) Validação participativa dos critérios selecionados: após essa identificação preliminar, foi realizado um processo participativo envolvendo entrevistas técnicas com especialistas da universidade e profissionais da área, além de oficinas e reuniões técnicas presenciais com representantes locais das comunidades e *stakeholders* envolvidos no projeto. O objetivo dessa etapa foi a seleção, dentre os critérios previamente identificados, apenas daqueles relevantes ao contexto específico das habitações construídas com placas SCAD na região do Vale do Jequitinhonha. 3) Definição final do conjunto consensuado de critérios: como resultado da validação participativa, obteve-se uma lista final de critérios considerados essenciais para avaliação multicritério futura. Este conjunto consensual foi registrado e detalhado metodologicamente.

Essa seleção participativa e metodologicamente estruturada dos critérios garantiu consistência técnica, representatividade social e adequação prática ao contexto estudado.

Estruturação hierárquica dos critérios selecionados

Após a seleção do conjunto final de critérios, definiu-se o procedimento metodológico adotado para estruturar hierarquicamente os critérios selecionados. Essa estrutura hierárquica seguiu as recomendações metodológicas da literatura sobre MAUT, organizando os critérios em três níveis conceitualmente distintos: 1) Primeiro nível (nível superior): representando o objetivo central da análise multicritério, ou seja, seleção da melhor alternativa tecnológica de sistemas fotovoltaicos para aplicação nas habitações SCAD; 2) Segundo nível (nível intermediário): constituído por grandes categorias conceituais, tais como critérios econômicos, técnicos e energéticos, ambientais e sociais; 3) Terceiro nível (nível inferior): representado pelos subcritérios específicos e pelos indicadores detalhados que permitem avaliar cada um dos critérios intermediários identificados.

Essa estrutura hierárquica, ou árvore multicritério, facilitou metodologicamente a organização lógica dos critérios e subcritérios selecionados, permitindo que futuramente seja possível a realização de uma avaliação sistemática, ordenada e objetiva das alternativas tecnológicas consideradas.

Procedimentos metodológicos previstos para avaliação dos critérios

Finalmente, nesta fase dos resultados, foram apresentados os procedimentos metodológicos previstos para avaliação futura de cada critério identificado na estrutura hierárquica. Esses procedimentos foram diferenciados em métodos quantitativos e qualitativos: 1) Métodos quantitativos previstos: contemplaram simulações energéticas futuras detalhadas (*EnergyPlus*, *PVsyst*), análises econômicas objetivas, baseadas em custos de mercado, cálculos técnicos específicos (tempo de retorno financeiro, eficiência energética, análises estruturais, entre outros), além de avaliação preliminar do impacto ambiental das alternativas tecnológicas com uso da Análise do Ciclo de Vida (ACV); 2)

Métodos qualitativos previstos: abrangeram entrevistas técnicas e questionários estruturados aplicados junto a especialistas e representantes comunitários, avaliando critérios como conforto térmico, facilidade de manutenção e empoderamento comunitário.

Fase 2 – Seleção e organização dos critérios para avaliação multicritério

Após a aplicação dos procedimentos metodológicos definidos, a etapa seguinte do estudo envolveu a seleção e organização hierárquica dos critérios que são utilizados para a avaliação multicritério das alternativas tecnológicas (BIPV e BAPV). O processo foi conduzido por meio da combinação de uma revisão bibliográfica técnica e científica, consultas participativas com especialistas e representantes locais da região do Vale do Jequitinhonha, além da validação técnica realizada em oficinas presenciais com a equipe envolvida no projeto.

Dessa maneira, foi possível a identificação de um conjunto completo e robusto de critérios considerados relevantes pelos *stakeholders* técnicos e sociais envolvidos no projeto. Esses critérios foram classificados em quatro categorias principais, visando uma avaliação abrangente e integrada das alternativas tecnológicas propostas: I. Critérios econômicos:

- Custo inicial - Avaliação do investimento inicial total necessário para aquisição e instalação dos sistemas fotovoltaicos propostos, considerando os custos diretos (placas solares, inversores, cabeamentos) e indiretos (estruturas auxiliares, mão de obra especializada).
- Custo operacional e de manutenção - Avaliação dos gastos financeiros necessários à manutenção periódica, preventiva e corretiva dos sistemas fotovoltaicos ao longo do tempo.
- Tempo de retorno financeiro (*payback*) - Avaliação do período necessário para recuperação do investimento inicial realizado com a instalação dos sistemas fotovoltaicos, considerando economias geradas nas despesas com energia elétrica convencional.

II. Critérios técnicos e energéticos:

- Eficiência energética - Avaliação da eficiência energética real obtida pelos sistemas fotovoltaicos propostos, mensurada em termos percentuais (% de eficiência energética).
- Produção energética anual (kWh/m²) - Avaliação quantitativa da energia elétrica total efetivamente gerada pelas placas fotovoltaicas ao longo do ano, levando em consideração as condições climáticas específicas da região estudada.
- Compatibilidade estrutural e facilidade de instalação - Avaliação qualitativa das condições técnicas necessárias para a instalação dos sistemas fotovoltaicos integrados (BIPV) ou aplicados (BAPV) nas habitações construídas com placas SCAD, incluindo facilidade técnica, tempo necessário e impactos na estrutura existente.
- Durabilidade e vida útil prevista - Avaliação da vida útil estimada e resistência estrutural das soluções propostas, especialmente considerando fatores ambientais da região como altas temperaturas, chuvas intensas e radiação solar elevada.

III. Critérios ambientais:

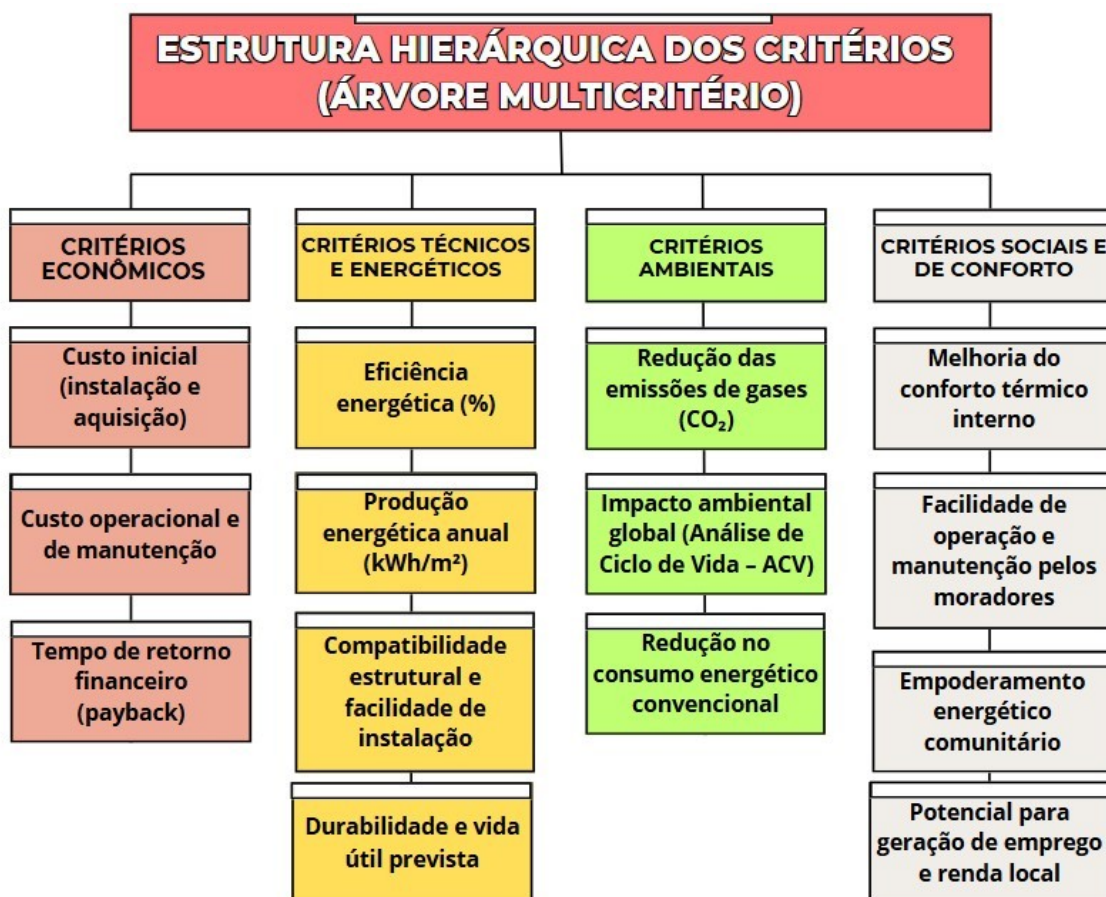
- Redução das emissões de gases de efeito estufa (CO₂) - Avaliação quantitativa da redução das emissões de dióxido de carbono associada à substituição parcial ou integral do consumo de energia elétrica convencional por energia solar fotovoltaica.
- Impacto ambiental global (Análise de Ciclo de Vida - ACV) - Avaliação global do impacto ambiental das alternativas tecnológicas, contemplando desde a fabricação dos componentes fotovoltaicos até o descarte ou reciclagem no final da vida útil das placas solares.
- Redução no consumo de energia convencional - Avaliação quantitativa da redução obtida no consumo de energia elétrica proveniente da rede pública convencional após implementação dos sistemas fotovoltaicos nas habitações.

IV. Critérios sociais e de conforto:

- Melhoria do conforto térmico interno - Avaliação qualitativa e quantitativa da melhoria proporcionada pelos sistemas fotovoltaicos ao conforto térmico interno das habitações, considerando especialmente as temperaturas máximas e mínimas internas ao longo do ano.
- Facilidade de operação e manutenção pelos moradores - Avaliação qualitativa da facilidade prática com que os moradores locais, devidamente capacitados, poderão operar e realizar a manutenção básica dos sistemas instalados.
- Empoderamento energético comunitário - Avaliação qualitativa do potencial das soluções propostas para promover autonomia energética e empoderamento social, considerando a independência energética proporcionada às famílias beneficiadas.
- Potencial para geração de emprego e renda local - Avaliação qualitativa da capacidade das alternativas propostas de gerar empregos locais diretos e indiretos, fortalecendo a economia local e proporcionando capacitação técnica e profissional da população local.

Após a definição dos critérios, estes foram organizados metodologicamente em uma estrutura hierárquica (Figura 7), permitindo futuras avaliações integradas das alternativas tecnológicas, tendo por intuito a seleção da melhor alternativa tecnológica (BIPV ou BAPV) para aplicação em habitações construídas com placas SCAD.

Figura 7 - Estrutura hierárquica dos critérios (árvore multicritério).



Fonte: Autoria própria.

Dessa maneira, a organização estruturada e metodologicamente validada dos critérios selecionados fornecerá futuramente uma base objetiva, transparente e consistente para a realização da análise multicritério integrada, permitindo a comparação das alternativas tecnológicas (BIPV e BAPV) propostas para habitações populares construídas com placas SCAD.

Fase 3 – Explicação metodológica sobre as formas de avaliação dos critérios para futura aplicação do método MAUT

Nesta fase são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para avaliação individual de cada critério identificado na árvore multicritério previamente descrita. Cada critério é avaliado por meio de métodos específicos, quantitativos ou qualitativos, possibilitando que, em estudos futuros, tais avaliações sejam integradas em um índice multicritério único, conforme prevê a metodologia MAUT.

Para clareza e organização, as formas de avaliação utilizadas são descritas separadamente para cada grupo de critérios.

Os critérios econômicos são avaliados quantitativamente por meio de levantamentos detalhados de custos locais. O custo inicial é calculado com base em orçamentos fornecidos por empresas e fornecedores regionais de sistemas fotovoltaicos, considerando os custos diretos de materiais e mão de obra especializada. O custo operacional e de manutenção é estimado por meio de valores históricos e médios regionais relacionados à manutenção preventiva e corretiva dos sistemas solares instalados. Já o tempo de retorno financeiro (*payback*) é calculado utilizando métodos financeiros convencionais, considerando a economia mensal estimada nas contas de energia elétrica e os custos iniciais dos sistemas.

Para os critérios técnicos e energéticos, as avaliações são feitas por meio de métodos quantitativos específicos e qualitativos complementares. A eficiência energética dos módulos solares é avaliada em percentuais (%), baseados em especificações técnicas dos fabricantes, ajustadas às condições locais (temperatura, inclinação e orientação solar). A produção energética anual (kWh/m²) é estimada através de simulações energéticas detalhadas, utilizando softwares especializados como *EnergyPlus* e *PVsyst*, considerando as condições climáticas específicas do Vale do Jequitinhonha. A compatibilidade estrutural e facilidade de instalação são avaliadas qualitativamente por meio de entrevistas estruturadas e pareceres técnicos especializados, enquanto a durabilidade e vida útil prevista baseia-se em dados fornecidos pelos fabricantes e estudos anteriores publicados na literatura especializada.

Nos critérios ambientais, são previstas avaliações quantitativas rigorosas. A redução das emissões de gases de efeito estufa (CO₂) é avaliada com base em metodologias reconhecidas internacionalmente, comparando diretamente o consumo convencional com o consumo reduzido proporcionado pela implementação dos sistemas fotovoltaicos. O impacto ambiental global, incluindo fabricação, instalação e descarte das placas solares, é avaliado através da aplicação direta da metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV), com auxílio de *software* especializado como o SimaPro. A redução no consumo energético convencional é determinada quantitativamente por meio das simulações energéticas mencionadas anteriormente.

Por último, nos critérios sociais e de conforto, a metodologia prevê principalmente avaliações qualitativas, complementadas por medições quantitativas específicas. A melhoria do conforto térmico interno das habitações é avaliada por simulações térmicas detalhadas (utilizando o *software EnergyPlus*), complementadas por questionários estruturados aplicados aos moradores. A facilidade de operação e manutenção pelos moradores é avaliada qualitativamente através de entrevistas estruturadas com moradores capacitados e técnicos responsáveis pelas ações previstas no projeto. O empoderamento energético comunitário é avaliado qualitativamente por meio de entrevistas e questionários com moradores locais e representantes das comunidades beneficiadas, analisando a autonomia energética percebida pela população. Já o potencial para geração de emprego e renda local é avaliado qualitativamente com entrevistas técnicas direcionadas a especialistas locais e análises qualitativas sobre capacitações realizadas e empregos gerados pelas atividades previstas.

É importante salientar que a atribuição específica dos pesos relativos aos critérios e a obtenção do índice multicritério integrado não são objeto direto deste estudo e estão

previstas para etapas posteriores, sendo explicitamente reservadas para aplicação futura completa da metodologia MAUT no contexto específico deste projeto.

Conclusões

Este estudo teve como objetivo avaliar e comparar as tecnologias BIPV e BAPV para habitações construídas com placas SCAD, considerando critérios econômicos, técnicos, energéticos, ambientais e sociais. A análise multicritério aplicada permitiu uma avaliação abrangente dos benefícios e desafios associados a cada alternativa tecnológica.

Os resultados indicam que a escolha entre BIPV e BAPV depende das prioridades e condições específicas de cada projeto. O BIPV apresenta vantagens em termos de integração arquitetônica e potencial de redução do consumo energético convencional, enquanto o BAPV se destaca pela maior flexibilidade de instalação e menor custo inicial. No aspecto ambiental, ambas as opções contribuem para a redução das emissões de CO₂ e promovem uma maior eficiência energética nas habitações.

Do ponto de vista social, a implementação de tecnologias fotovoltaicas em habitações SCAD pode melhorar o conforto térmico interno, facilitar a operação e manutenção pelos moradores, além de gerar oportunidades de emprego e renda para a comunidade local. Assim, a escolha da tecnologia ideal deve considerar não apenas o custo-benefício imediato, mas também os impactos a médio e longo prazo sobre a sustentabilidade e a qualidade de vida dos habitantes.

Conclui-se que a decisão entre BIPV e BAPV deve ser baseada em uma abordagem holística, equilibrando aspectos econômicos, energéticos, ambientais e sociais. Estudos futuros podem explorar a otimização dessas tecnologias para diferentes regiões climáticas e padrões construtivos, ampliando as possibilidades de aplicação e maximizando os benefícios da geração de energia solar integrada às edificações.

Referências

AGUADO, A.; & VIÑOLAS, B. Aplicaciones y avances de la metodologia MIVES en valoraciones multicriterio. Editorial Académica Española. 2011

AUGUSTO E.C.; JACINTHO, A.E.P.G.D.A.; PIMENTEL, L.; CAMARINI, G.; FONTANINI, P.S.P. Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: Estudo de caso em olaria comunitária. Matéria. 2022.

BONOMO, P.; FRONTINI, F.; DE BERARDINIS, P.; DONSANTE, I. BIPV: building envelope solutions in a multi-criteria approach. A method for assessing life-cycle costs in the early design phase. Advances in Building Energy Research. 2016.
<https://doi.org/10.1080/17512549.2016.1161544>

Barreto, E.J.F.; Pinho, J.T.; Tiago, G.L.; Rendeiro, G.; Nogueira, M.; Gonzalez, W.A. Tecnologias de energias renováveis: sistemas híbridos, pequenos aproveitamentos hidroelétricos, combustão e gasificação de biomassa sólida, biodiesel e óleo vegetal in natura. Brasília: Ministério de Minas e Energia. 2008. p.156.

CASANOVAS-RUBIO, M. D. M., & Vinolas, B. New method for assigning cardinal weights in multi-criteria decision-making: the constant weight ratio method. Operational Research. 2024. p.28.

CHIVELET, N.; Kapsis, C.; Frontini, F. Building-Integrated Photovoltaics: A Technical Guidebook. Editora Routledge, Nova Iorque - EUA, 1a edição. 2025. p.180. ISBN-139781032517056.

DE ALMEIDA P.; PINHEIRO, A.C; DE FIGUEIREDO, C.J.J.; PEDROSA, C.K.A. Modelo multicritério para avaliação de competitividade no setor energia renováveis. Revista de Gestão e Secretariado. 2025.

DE CARVALHO, F.A.; SILVA, A.C.; ROA, J.P.B.; PRAT, B.V. Caracterização Do SoloCimento De Alto Desempenho (SCAD): Alternativa Construtiva Nos Vales De JequitinhonhaMg. Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas. 2022.

DE CARVALHO, T.M.P.; LOPES, W.G.R. A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil. In: VII connepi symposium. 2012.

SOUSA, M. C.; BATISTA, L. M.; FIEL, L. G.; MONTEIRO NETO, A.; FREITAS, K. M.; PEREIRA, R. S.; MARQUES, G. T.; CHASE, O. A. Sistema Fotovoltaico Off Grid para comunidade ribeirinha na Região Insular de Belém – Pará. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais. 2021.

FARIAS, R. T.; MONTEIRO JUNIOR, P. N.; NASCIMENTO, A. C. D.; BLASQUES, L. C. M.; LONGO, F. M. V.; VINAGRE, M. V. de A. BIPV E BAPV: avaliações a partir de conceitos teóricos, de aspectos positivos e negativos e de estimativas de desempenho energético para regiões de baixa LATITUDE. Anais Congresso Brasileiro De Energia Solar - CBENS. 2014. <https://doi.org/10.59627/cbens.2014.2051>

BARRENSE, H. De ECOA. Energia solar transforma comunidade ribeirinha na Amazônia. 2024. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2024/08/23/paineissolares-amazonia.htm>. Acesso em: 21 de mar. 2025.

INOVACARE SOLAR. Você Sabe a Diferença entre Geração Centralizada e Geração Distribuída?. 2021. Disponível em: <https://inovacare.solar/publicacao/voce-sabe-adiferenca-entre-geracao-centralizada-e-geracao-distribuida/127LAR>. Acesso em: 20 de mar. 2025.

KEENEY, R.L; RAIFA H; RAJALA D.W. Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. IEEE Trans Syst Man Cybern. 1979. <https://doi.org/10.2307/2286244>.

NEGREIROS, R. L.; NUNES, K. G.; BISPO, C.; DE MORAIS, A. Comparativo sustentável e econômico entre a utilização do tijolo solo-cimento e o tijolo cerâmico de vedação em

habitação de interesse social na cidade de Teófilo otoni-mg. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro–Unipac. 2018. ISSN, 2178, 6925.

PORTAL SOLAR. Geração centralizada através de energia solar. 2025. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/geracao-centralizada-de-energia-solar>. Acesso em: 20 de mar. 2025.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p.
<http://doi.org/10.34024/978851700089>

SANTOS, I. P.; RÜTHER, R. The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil, Energy and Buildings, 2012. ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.052>

UFMG. Polo Jequitinhonha. 2018. Disponível em: <https://www.ufmg.br/polojequitinhonha/ovale/sobre-o-vale-do-jequitinhonha/>. Acesso em: 21 de mar. 2025.

UNEP – Programa das nações unidas para o meio ambiente. Emissões do setor de construção pararam de aumentar pela primeira vez desde 2020, segundo a ONU. 2025. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-deimprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-pararam-de-aumentar>. Acesso em: 20 de mar. 2025.

VINOLAS PRAT, B. et al. Material construtivo de solo-cimento de alto desempenho e processo de fabricação. BR 102023006072-2 A2. Depósito em 31 de março de 2023. Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI.

VALER, R.; MANITO, A.; RIBEIRO, T.; ZILLES, R.; PINHO, J. Issues in PV systems applied to rural electrification in Brazil, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 78, 2017.p. 1033-1043, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.016>.

IEEE SMART GRID WORKSHOP. SUNSET ENERGIA. Você sabe de onde vem a energia elétrica?. 2013. Disponível em: <https://sunsetenergia.com.br/voce-sabe-de-onde-vem-aenergia-eletrica/>. Acesso em: 21 de mar. 2025.

TERLI. Construindo um Amanhã Mais Verde: Explorando a Tecnologia BIPV. 2023. Disponível em: <https://www.terli.net/Building-a-Greener-Tomorrow-Exploring-BIPVTechnology-id65760917.html>. Acesso em: 22 de mar. 2025.

YOUNG-SUB A.; JONG-KYU K.; HONG-JIN J., WANG-JAE L.; GWANG-WOO H.; HANEUL K.; MIN-HWI K. Experimental performance analysis of photovoltaic systems applied to an positive energy community based on building renovation, Renewable Energy. 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119369>

YUXIN B.; CHANGYING X. Integration of BIPV technology with modular prefabricated building - A review. Journal of Building Engineering, Volume 102, 2025, 111940, ISSN 23527102, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.111940>.

ZILLES, R.; NEGRÃO, W.N.; GALHARDO, M.; OLIVEIRA, S. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. Editora Oficina de Idéias, São Paulo - Brasil, 1ª edição. 2012.p.208. ISBN-978-8579750526.

ZOMER, C.; CUSTÓDIO, I; ANTONIOLLI, A; RÜTHER, R. Performance assessment of partially shaded building-integrated photovoltaic (BIPV) systems in a positive-energy solar energy laboratory building: Architecture perspectives, Solar Energy, Volume 211. 2020, p.879896. ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.10.026>.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto
Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424