XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8844

Avaliação da implantação de sistemas fotovoltaicos em coberturas de escolas públicas em Curitiba-PR e Foz do Iguaçu-PR

Evaluation of the installation of photovoltaic system into the roofs of public schools in Curitiba-PR and Foz do Iguaçu-PR

Giovanna Schiwinski Verussa
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | giovanna.verussa@ufpr.br
Cleyton Cristiano Crovador
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | cleytoncrovador@ufpr.br
Kimberly Gabriela Angelo Dias
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | kimberly.ufpr@gmail.com
Leandro Carlos Fernandes
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | leandrofernandes@ufpr.br
Márcio José Sorgato
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | sorgato@professores.utfpr.edu.br

Resumo

O crescimento do consumo energético brasileiro impulsiona a geração de eletricidade e a diversificação das fontes renováveis, com expansão da produção eólica e solar. Esta tendência observada nos setores residencial e comercial ainda se manifesta pouco no setor público. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar e comparar o potencial de implantação de sistemas fotovoltaicos nas coberturas de escolas públicas em Curitiba-PR e Foz do Iguaçu-PR. A metodologia consiste em um estudo de caso da implementação do sistema em edificações existentes utilizando o software SAM para simulação computacional. Os resultados indicam uma geração capaz de atender 106% da demanda anual em Curitiba e 46% em Foz do Iguaçu, mantendo as características originais das construções. Na comparação com um cenário ideal (orientação norte), os valores aumentam 11% e 10%, respectivamente.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Energia Solar. Arquitetura Escolar. Simulação Computacional.

Abstract

The growth in Brazilian energy consumption is driving electricity generation and the diversification of renewable sources, with the expansion of wind and solar production. This trend, observed in the residential and commercial sectors, still has little application in the public sector. This research aims to evaluate and compare the potential for installing photovoltaic systems on the roofs of public schools in Curitiba-PR and Foz do Iguaçu-PR. The methodology is a case study of the system's implementation in existing buildings using SAM software for computer simulation. The results indicate a generation capable of meeting 106% of the annual demand in Curitiba and 46% in Foz do Iguaçu, using the original characteristics of the construction. Compared to an ideal scenario (north-facing orientation) the values increase by 11% and 10%, respectively.

Keywords: Energy Efficiency. Solar Energy. School Architecture. Computer Simulation.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8844

INTRODUÇÃO

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética [1], houve um aumento de 5,5% no consumo de energia elétrica em 2024 confirmando a tendência de crescimento observada nas últimas décadas. Este incremento impulsiona a geração de energia que apresentou elevação de 2,4% no mesmo período. Observa-se ainda uma diversificação das fontes de energia renováveis que atingiram 50% da oferta interna, com destaque para a geração eólica e solar com aumento de 12,4% e 39,6% entre 2023 e 2024.

Verifica-se que diversos setores têm recorrido a Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), que consiste na geração local seguida pela injeção na rede para abater o consumo e reduzir os gastos com eletricidade [1]. Este movimento é facilitado pela diminuição dos custos de implantação e possibilidade de integração em construções existentes sem descaracterizar a edificação, principalmente no caso dos módulos fotovoltaicos (*Building attached photovoltaic* – BAPV). Neste contexto emerge o conceito de edificações de energia quase zero (NZEBs) cuja geração de energia produzida nos limites da edificação ou do lote atende 50% ou mais da demanda anual, ou as edificações de energia positiva (EEPs) cuja geração supera a demanda anual [2].

No âmbito nacional, foram identificados diversos trabalhos que abordam a implantação destes sistemas em edifícios residenciais, comerciais e públicos com foco na análise da viabilidade técnico-econômica [3], na busca pela neutralidade energética [4], no incremento da eficiência termoenergética [5] ou na integração dos módulos para a obtenção de certificação ambiental [6]. Observa-se que a principal metodologia das pesquisas é o estudo de caso único para a avaliação da instalação efetiva ou simulada de sistemas fotovoltaicos em edificações existentes. Foi localizado ainda um grupo menor de trabalhos que comparam a geração de energia solar em diferentes zonas bioclimáticas considerando o uso de projetos padrão habitacionais [7].

A avaliação do comportamento de componentes prediais em condições climáticas distintas é facilitada pelo uso de projetos padronizados em função da redução das variáveis atuantes. Esta padronização é comumente utilizada em conjuntos residenciais, mas também pode ser aplicada à outras tipologias visando facilitar a manutenção e a gestão de ativos. É o caso dos colégios estaduais do Paraná que há décadas empregam módulos padrão para a construção e ampliação das mais de 2.000 unidades geridas pelo Instituto Paranaense de Desenvolvimento Educacional (FUNDEPAR).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar o potencial de implantação de sistemas fotovoltaicos na cobertura de duas escolas públicas, com características construtivas semelhantes, localizadas em Curitiba-PR (zona bioclimática 1M) e Foz do Iguaçu-PR (Zona Bioclimática 3A).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos de pesquisa são divididos em 5 etapas: seleção das escolas, caracterização das coberturas, diretrizes de simulação, proposta inicial, proposta final.

SELEÇÃO DAS ESCOLAS

A escolha das escolas teve como premissa a localização em diferentes condições climáticas de unidades com o mesmo padrão construtivo, resultando na seleção do Colégio Estadual Moradias Monteiro Lobato e no Colégio Estadual Pioneiros, cujas características principais são descritas no Quadro 1. Observa-se na Figura 1 que ambas as escolas se encontram em áreas predominantemente residenciais, ao lado de áreas de preservação, sem obstrução significativa da incidência solar e apresentam grandes áreas de cobertura que são propícias para a instalação de módulos fotovoltaicos.

Quadro 1: Características das escolas

Características	Colégio Moradias Monteiro Lobato	Colégio Pioneiros
Localização	Curitiba-PR	Foz do Iguaçu-PR
Zona Bioclimática [8]	1M=muito fria com inverno rigoroso	3A=mista e úmida
Padrão Construtivo	Estrutura em concreto armado, vedação com bloco cerâmico, cobertura com laje de concreto e telha cerâmica	Estrutura em concreto armado, vedação com bloco cerâmico, cobertura com laje de concreto e telha cerâmica
Área Construída Aproximada	2.600,00 m²	2.450,00 m²
Capacidade (set/2025) [9]	2.150 matrículas	667 matrículas
Consumo Energético Anual (2024) [9]	437.760,00 kWh	851.360,00 kWh
Irradiação Global Horizontal (2024) [10]	4,30 kWh/m²/mês	5,27 kWh/m²/mês

Fonte: Autores (2026); [8] ABNT (2024); [9] SEED-PR (2005), [10] SAM (2025).

Figura 1: Vista superior Colégio Moradias Monteiro Lobato (esquerda) e Colégio Pioneiros (direita)



Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

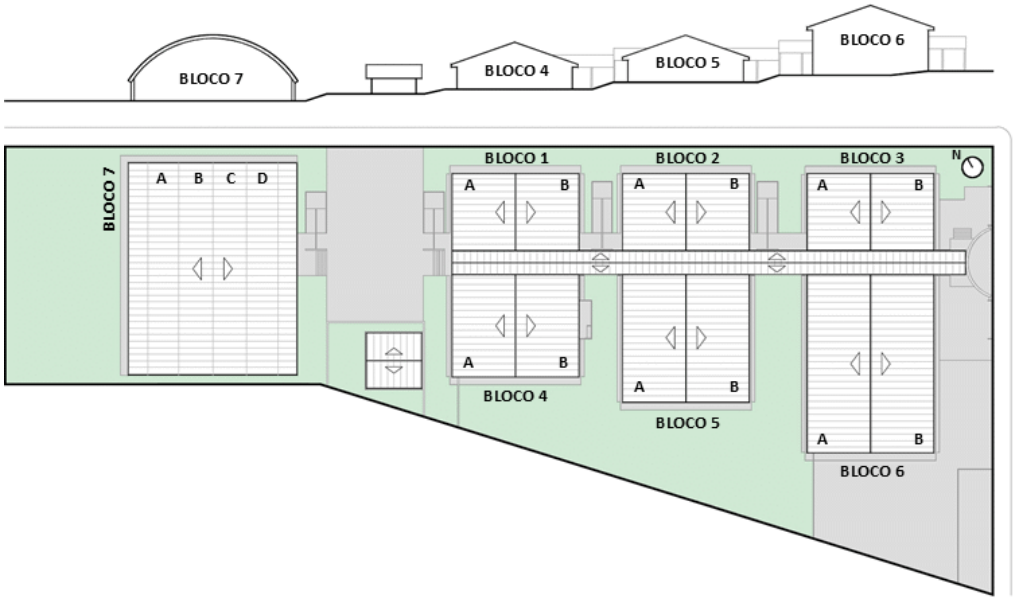
CARACTERIZAÇÃO DAS COBERTURAS

As informações referentes às coberturas foram levantadas nos projetos originais. Para fins de estudo, foi considerado que a estrutura de telhado existente se encontra em boas condições e possui capacidade estrutural para sustentar os módulos fotovoltaicos. Em um cenário real, seria verificado *in loco* estas condições e se

necessário seriam providenciados reforços a fim de viabilizar a instalação do novo sistema, além de assegurar a devida manutenção ao longo de sua vida útil.

Em Curitiba (Figura 2, Tabela 1), a escola é composta por seis blocos, quadra coberta, passarela e casa do zelador. Os blocos 1 a 6 apresentam inclinação de 35% e azimutes 120° e 300°. O bloco 7 possui cobertura curva que pode ser facetada nas inclinações 20% e 50% em ambos os lados, com orientação 120° e 300°. Desconsiderando a passarela e a casa do zelador, a área total de cobertura é 2.308,00m².

Figura 2: Curitiba - Planta e Corte



Fonte: Autores (2026).

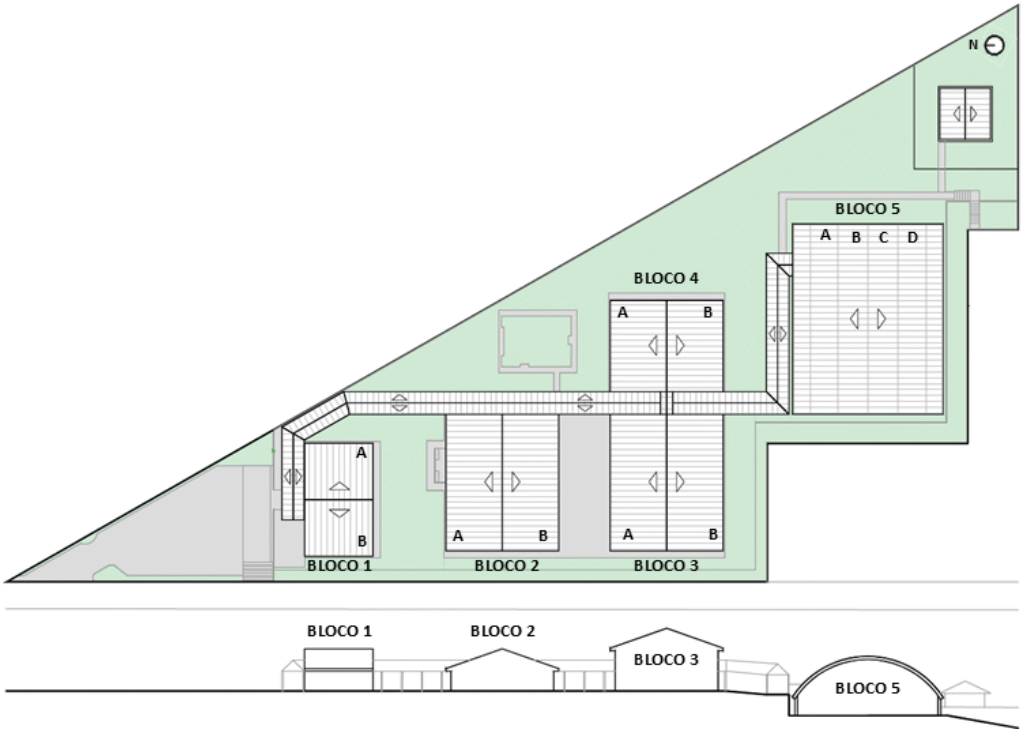
Tabela 1: Curitiba - Caracterização das coberturas

Bloco	Cobertura	Área (m²)	Inclinação (%)	Inclinação (°)	Azimute (°)
Bloco 1	1A	95,00	35	19,29	300
	1B	95,00	35	19,29	120
Bloco 2	2A	95,00	35	19,29	300
	2B	95,00	35	19,29	120
Bloco 3	3A	95,00	35	19,29	300
	3B	95,00	35	19,29	120
Bloco 4	4A	126,00	35	19,29	300
	4B	126,00	35	19,29	120
Bloco 5	5A	158,00	35	19,29	300
	5B	158,00	35	19,29	120
Bloco 6	6A	222,00	35	19,29	300
	6B	222,00	35	19,29	120
Bloco 7	7A	363,00	50	26,57	300
	7B		20	11,31	300
	7C	363,00	20	11,31	120
	7D		50	26,57	120
TOTAL		**2.308,00**	-	-	-

Fonte: Autores (2026).

Em Foz do Iguaçu (Figura 3, Tabela 2), a escola é constituída por quatro blocos, quadra coberta, passarela e casa do zelador. O bloco 1 possui inclinação de 35% e azimutes 89° e 269°. Os blocos 2, 3 e 4 apresentam inclinação de 35% nas orientações 1° e 181°. Para o bloco 5 foi considerada a cobertura curva facetada nas inclinações 20% e 50% em ambos os lados, com azimutes 1° e 181°. Desconsiderando a passarela e a casa do zelador, a área resultante de cobertura é 1.934,20m².

Figura 3: Foz do Iguaçu - Planta e Corte



Fonte: Autores (2026).

Tabela 2: Foz do Iguaçu - Caracterização das coberturas

Bloco	Cobertura	Área (m²)	Inclinação (%)	Inclinação (°)	Azimute (°)
Bloco 1	1A	95,00	35	19,29	89
	1B	95,00	35	19,29	269
Bloco 2	2A	190,00	35	19,29	1
	2B	190,00	35	19,29	181
Bloco 3	3A	190,00	35	19,29	1
	3B	190,00	35	19,29	181
Bloco 4	4A	127,00	35	19,29	1
	4B	127,00	35	19,29	181
Bloco 5	5A	363,60	50	26,57	1
	5B		20	11,31	1
	5C	363,60	20	26,57	181
	5D		50	11,31	181
TOTAL		**1.934,20**	-	-	-

Fonte: Autores (2026).

DIRETRIZES DE SIMULAÇÃO

Para a simulação foi utilizado o software SAM 2025.4.16 (*System Advisor Model),* desenvolvido pelo *National Laboratory of the Rockies* (NLR), disponibilizado gratuitamente e com capacidade para testar diferentes composições de sistemas fotovoltaicos. Para tanto, foram definidas as seguintes configurações referentes ao arquivo climático, módulo fotovoltaico, inversores e perdas de geração.

Em relação aos dados climáticos, foi utilizado o arquivo fornecido na página https://sam.nlr.gov/weather-data.html [10], acessado a partir da locação de um ponto sobre o mapa correspondente ao centro dos terrenos e da seleção de um ano de referência, sendo escolhido 2024 por coincidir com o período no qual as informações de consumo são conhecidas (Quadro 2). Segundo o *SAM's Help System* [11] a simulação detalhada de modelos fotovoltaicos (*Detailed photovoltaic model*) utiliza as seguintes variáveis climáticas disponibilizadas pelo *National Solar Radiation Database* (NSRDB): latitude, longitude, elevação, irradiação horizontal difusa, irradiação normal direta, irradiação global horizontal, irradiação no plano de arranjo, albedo, pressão atmosférica, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, ponto de orvalho, velocidade e direção do vento.

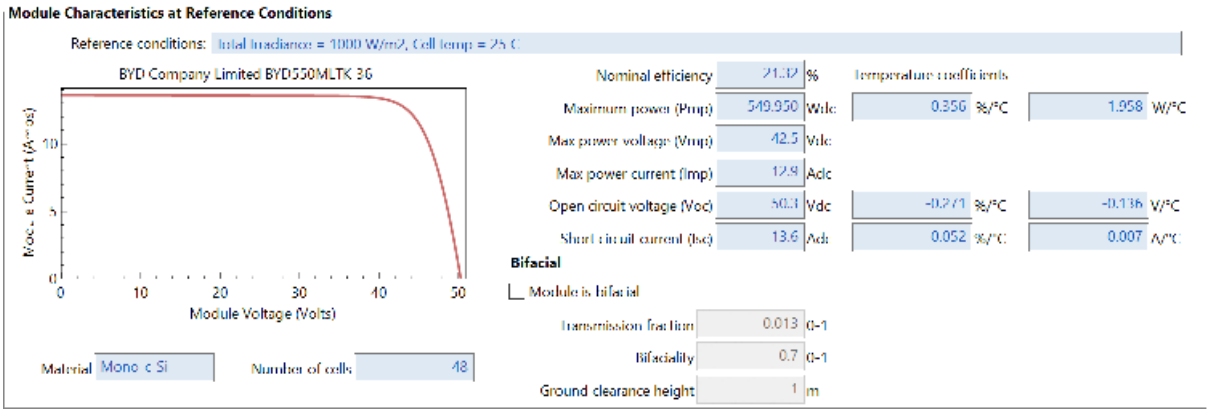
Quadro 2: Caracterização dos arquivos climáticos

Cidade	Localidade	Latitude	Longitude	Ano
Curitiba-PR	8788936	-25,58	-49,33	2024
Foz do Iguaçu-PR	8293387	-25,52	-54,55	2024

Fonte: Autores (2026).

Para o módulo fotovoltaico, foi selecionada opção de análise do desempenho com base no banco de dados (CEC *Performance Model with Module Database*), para o qual foi escolhido o BYD550MLK-36 por ser um módulo de alta potência, comercializado no Brasil e com informações técnicas disponíveis automaticamente pelo programa (Figura 4), dentre as quais destacam-se: material silício monocristalino (Mono-c Si), eficiência nominal de 21,32%, 48 células por módulo, potência de 550W, dimensões 2.278mm x 1.134mm e uso monofacial.

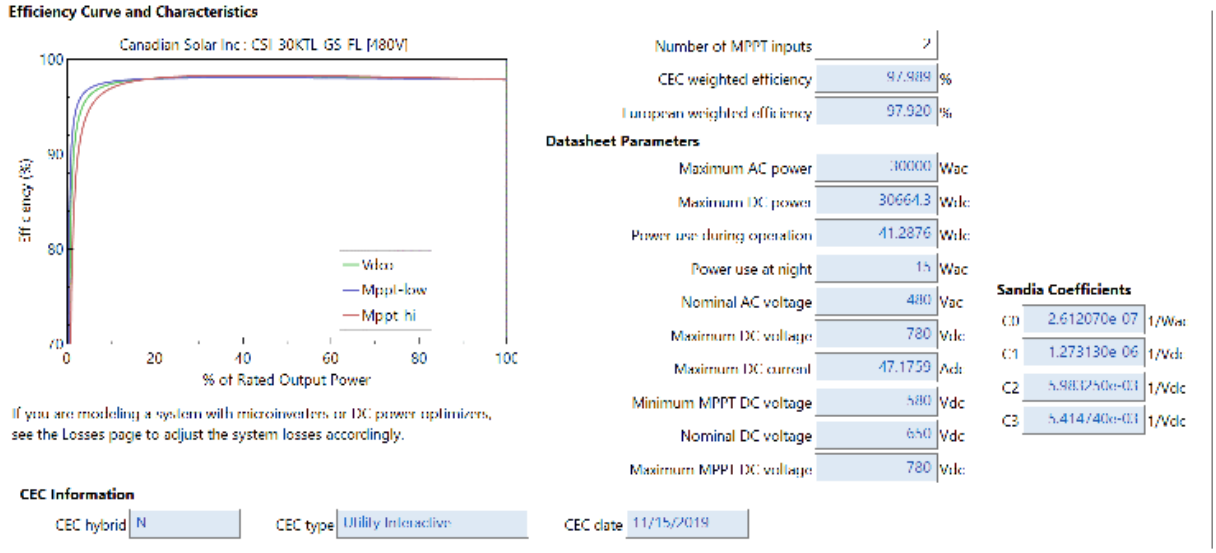
Figura 4: Caracterização dos módulos fotovoltaicos



Fonte: [10] SAM (2025).

Para os inversores, foi selecionada a opção de análise a partir do banco de dados (*Inverter CEC Database*), sendo utilizados os modelos CSI-30KTL-GS-FLB e CSI-40KTL-GS-FLB da *Canadian Solar*, que por padrão estão disponíveis no software. As principais características observadas no processo de simulação foram a capacidade de 30kW e 40kW que permite seu emprego nos diferentes arranjos propostos e a faixa de voltagem de 580-780 Vdc a ser respeitada (Figura 5).

Figura 5: Caracterização dos inversores



Fonte: [10] SAM (2025).

As perdas em corrente contínua (DC) totalizam 5,396%, sendo: 2% incompatibilidade (*mismatch*); 0,5% diodos e conexões; 2% fiação (*wiring*); 1% otimizador de energia. As perdas em corrente alternada (AC) foram: 1% fiação (*wiring*) e 2% de perda constante (*constant loss*). Também foi considerada perda de 5% ao mês por acúmulo de sujeira.

PROPOSTA INICIAL

Consiste na implantação do número máximo de módulos por cobertura. No caso de Curitiba foram locados 800 módulos, sendo 72 nos blocos 1, 2 e 3; 96 no bloco 4; 120 no bloco 5; 168 no bloco 6; e 200 no bloco 7. Em Foz do Iguaçu foram utilizados 656 módulos, sendo 72 no bloco 1; 144 nos blocos 2 e 3; 96 no bloco 4 e 200 no bloco 5.

PROPOSTA FINAL

Considerou a quantidade de módulos locados anteriormente e os ajustes realizados para a configuração dos arranjos e das *strings* conforme as características elétricas do inversor. O software permite a configuração de até quatro arranjos com a definição do número de módulos por *string* condicionada a faixa de voltagem do inversor selecionado. Desta forma, foi necessário reduzir o número de módulos em relação a proposta inicial, uma vez que, o inversor escolhido aceita em média 15 módulos por *string*. A exemplo, nos blocos 1, 2 e 3 de Curitiba, cuja capacidade máxima era de 72 módulos, foram locadas 60 unidades. As Tabelas 3 e 4 indicam os módulos e inversores aplicados em cada caso.

Tabela 3: Curitiba - Proposta Final

Bloco	Módulo	Quant.	Capacidade Máx.	Inversor
Bloco 1	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	60	33,0 kWp	1x CSI-30KTL-GS-FL (480V) 30 kW
Bloco 2	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	60	33,0 kWp	1x CSI-30KTL-GS-FL (480V) 30 kW
Bloco 3	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	60	33,0 kWp	1x CSI-30KTL-GS-FL (480V) 30 kW
Bloco 4	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	90	49,5 kWp	1x CSI-40KTL-GS-FL (480V) 40 kW
Bloco 5	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	120	66,0 kWp	2x CSI-30KTL-GS-FL (480V) 60 kW
Bloco 6	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	150	82,5 kWp	2x CSI-40KTL-GS-FL (480V) 80 kW
Bloco 7	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	180	99,0 kWp	2x CSI-40KTL-GS-FL (480V) 80 kW
TOTAL	-	**720**	**396,0 kWp**	**350 kW**

Fonte: Autores (2026).

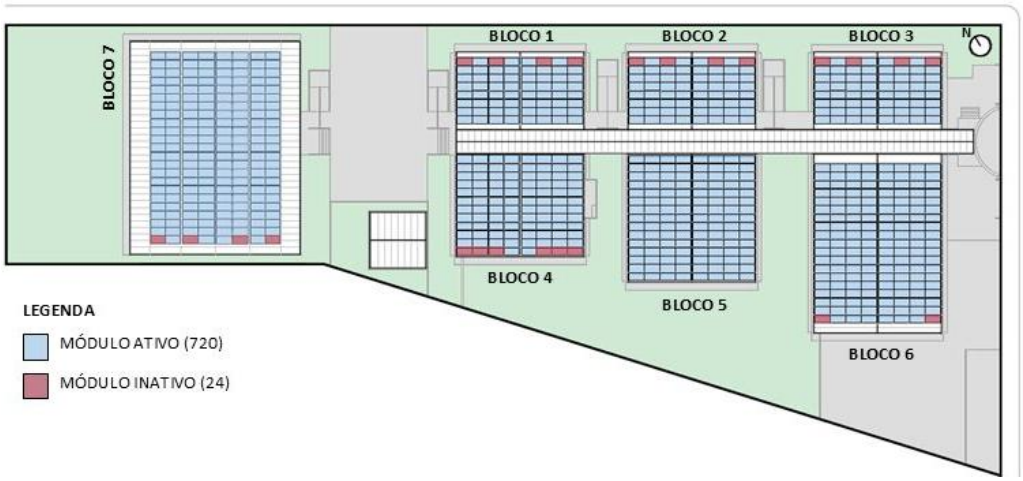
Tabela 4: Foz do Iguaçu - Proposta Final

Bloco	Módulo	Quant.	Capacidade Máx.	Inversor
Bloco 1	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	60	33,0 kWp	1x CSI-30KTL-GS-FL (480V) 30 kW
Bloco 2	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	120	66,0 kWp	2x CSI-30KTL-GS-FL (480V) 60 kW
Bloco 3	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	120	66,0 kWp	2x CSI-30KTL-GS-FL (480V) 60 kW
Bloco 4	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	90	49,5 kWp	1x CSI-40KTL-GS-FL (480V) 40 kW
Bloco 5	BYD MLK-36 MONOFACIAL 550W	180	99,0 kWp	2x CSI-40KTL-GS-FL (480V) 80 kW
TOTAL	-	**570**	**313,5 kWp**	**270 kW**

Fonte: Autores (2026).

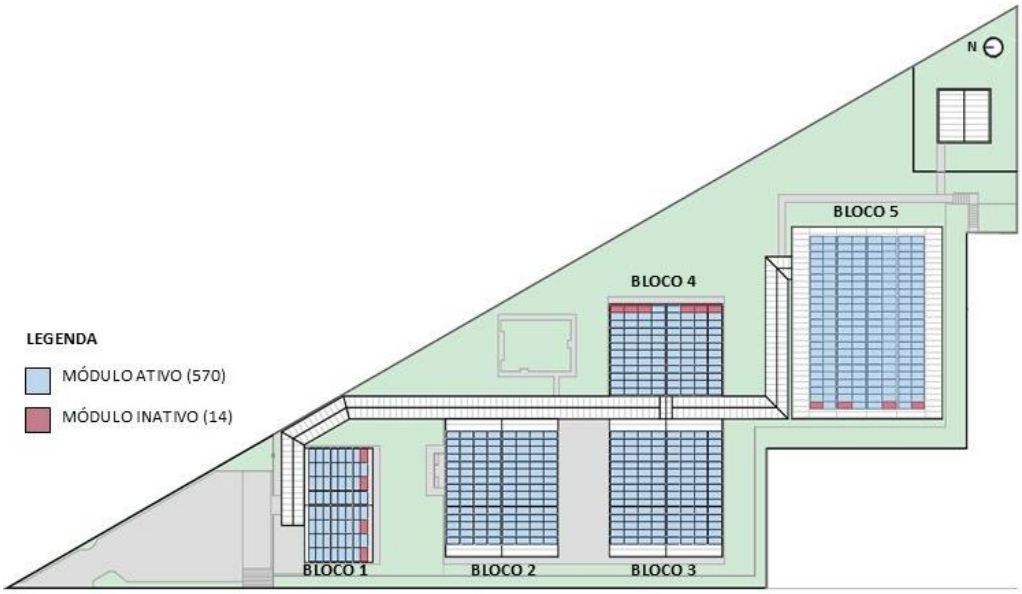
A planta de cobertura foi desenhada considerando a quantidade final de módulos obtida pela simulação (Figura 6 e Figura 7). A nova configuração deixou espaço vazios que foram preenchidos com módulos inativos, assim além de garantir a otimização do sistema são previstas peças para reposição. Em Curitiba, a proposta final apresenta 744 módulos, sendo 24 inativos e 720 ativos, com uma redução de 10% em relação ao aproveitamento máximo, resultando em uma potência do sistema integrado de 396,0 kWp. Em Foz do Iguaçu, foram locados 584 módulos, sendo 14 inativos e 570 ativos, sendo 14% a menos na comparação com o potencial máximo, resultando em uma potência do sistema integrado de 313,5 kWp.

Figura 6: Curitiba - Proposta Final



Fonte: Autores (2026).

Figura 7: Foz do Iguaçu - Proposta Final



Fonte: Autores (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos na simulação para cada estudo de caso, incluindo a comparação da geração anual e mensal de energia com o consumo, além da análise da produção na orientação real e ideal, direcionada para norte em função do maior tempo diário de exposição solar [12].

CASO 01 – COLÉGIO ESTADUAL MORADIAS MONTEIRO LOBATO, CURITIBA-PR

A Tabela 5 apresenta a geração simulada [10], o consumo [9] e o percentual de atendimento para o colégio de Curitiba-PR. A produção anual em corrente alternada supre 106% do consumo, contudo, na verificação mensal apenas os meses de janeiro, fevereiro, março, junho e agosto apresentam saldo positivo (verde). O melhor caso é janeiro (menor consumo, maior geração e irradiação mediana) com excedente de 156% e o pior caso é julho (menor geração, consumo mediano e irradiação baixa) com déficit de 65%.

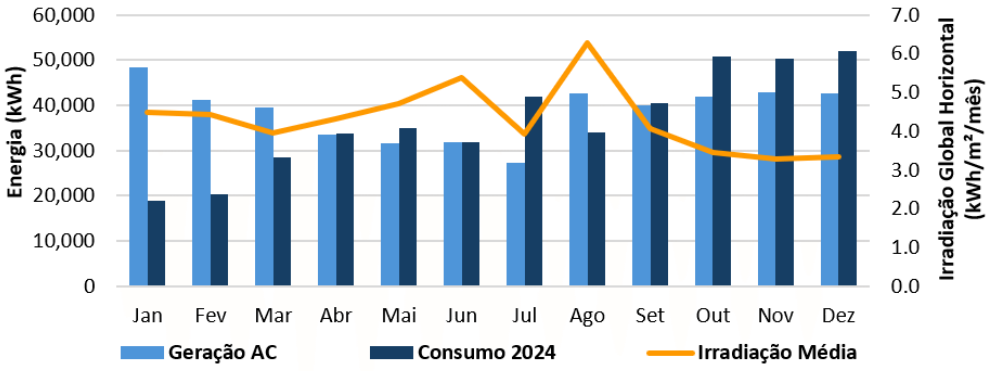
A Figura 8 ilustra as variações observadas ao longo do ano. Nos meses de janeiro, fevereiro, março e agosto, a produção foi significativamente superior à demanda; em abril, maio, junho e setembro, houve equilíbrio; em julho, outubro, novembro e dezembro, ocorreu déficit. O aumento da geração nos meses mais quentes é explicado por condições climáticas mais favoráveis, somado ao menor consumo durante as férias. O saldo negativo coincide com o período de utilização de aquecedores individuais para incremento do conforto térmico, uma vez que, a escola não possui sistema de climatização.

Tabela 5: Curitiba - Geração versus Consumo

Mês	Percentual de atendimento da demanda	Geração AC (kWh/mês) [10]	Consumo 2024 (kWh/mês) [9]
Janeiro	256%	48.482,00	18.940,00
Fevereiro	204%	41.246,00	20.220,00
Março	139%	39.622,00	28.592,00
Abril	99%	33.423,00	33.640,00
Maio	90%	31.623,00	34.960,00
Junho	100%	31.808,00	31.876,00
Julho	65%	27.366,00	42.020,00
Agosto	125%	42.538,00	34.065,00
Setembro	99%	40.066,00	40.400,00
Outubro	83%	41.950,00	50.512,00
Novembro	85%	42.760,00	50.304,00
Dezembro	82%	42.707,00	52.031,00
TOTAL	**106%**	**463.589,00**	**437.760,00**

Fonte: Autores (2026); [9] SEED-PR (2024); [10] SAM (2025).

Figura 8: Curitiba – Geração, Consumo e Irradiação

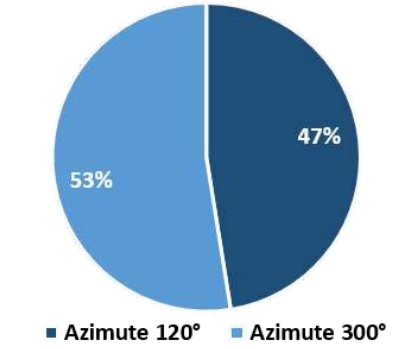


Fonte: Autores (2026).

Na análise da geração de energia por orientação (Figura 9), verifica-se que as coberturas com azimute 120° respondem por 47% do total, ao passo que as posicionadas para o azimute 300° alcançaram 53%. Observa-se uma vantagem de 5% na geração orientada para noroeste em detrimento da direcionada para sudeste, sendo a área de cobertura distribuída igualmente entre os azimutes.

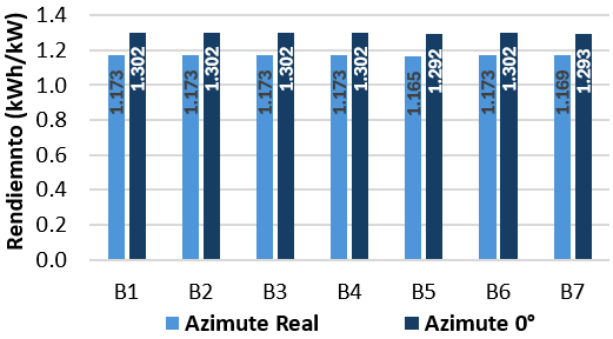
Para a análise do rendimento (*yield*) foi comparado o valor obtido na simulação das orientações reais (azimutes 120° e 300°) com a orientação considerada ideal (azimute 0°), conforme indicado na Figura 10. O rendimento médio real foi de 1.171kWh/kW e o rendimento médio ideal foi de 1.299kWh/kW, correspondendo a um aumento aproximado de 11%. Esta pequena diferença pode ser compensada com a instalação de mais módulos, não justificando a descaracterização da arquitetura com o posicionamento do sistema em orientação diferente da existente.

Figura 9: Curitiba - Geração por Azimute



Fonte: Autores (2026)

Figura 10: Curitiba - Rendimento Real versus Ideal



Fonte: Autores (2026)

CASO 02 – COLÉGIO ESTADUAL PIONEIROS, FOZ DO IGUAÇU-PR

A Tabela 6 indica a geração obtida [10], o consumo [9] e a porcentagem de atendimento da demanda para a escola de Foz do Iguaçu-PR. A produção anual atende 46% do consumo e na análise mensal todos os meses apresentam déficit (vermelho). O melhor caso é janeiro (maior geração, consumo mediano e maior irradiação) suprindo 83% e o pior caso novembro (geração mediana, maior consumo e irradiação alta) com atendimento de 32%.

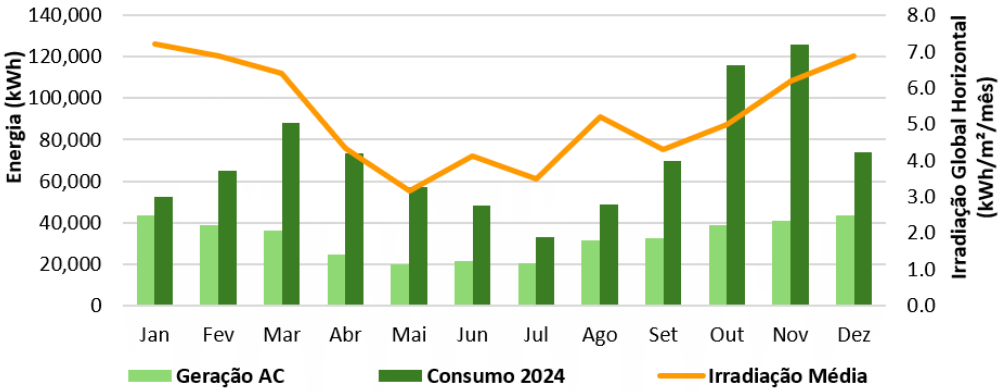
Tabela 6: Foz do Iguaçu - Geração versus Consumo

Mês	Percentual de atendimento da demanda	Geração AC (kWh/mês) [10]	Consumo 2024 (kWh/mês) [9]
Janeiro	83%	43.478,00	52.480,00
Fevereiro	60%	38.785,00	64.960,00
Março	41%	36.076,00	88.000,00
Abril	33%	24.509,00	73.280,00
Maio	35%	19.778,00	57.280,00
Junho	44%	21.203,00	48.320,00
Julho	61%	20.298,00	33.200,00
Agosto	65%	31.586,00	48.800,00
Setembro	47%	32.603,00	69.600,00
Outubro	34%	38.842,00	115.680,00
Novembro	32%	40.589,00	125.760,00
Dezembro	59%	43.393,00	74.000,00
TOTAL	**46%**	**391.140,00**	**851.360,00**

Fonte: Autores (2026); [9] SEED-PR (2024); [10] SAM (2025).

A Figura 11 ilustra as variações mensais dos parâmetros analisados. A geração variou entre 20.000-45.000kWh e o consumo entre 30.000-125.000kWh. Neste cenário, mesmo com uma maior irradiação nos meses mais quentes e um menor consumo durante as férias não foi possível suprir a demanda. O aumento do consumo nos meses de março, outubro e novembro confirma o uso de equipamentos de climatização. No inverno, verifica-se uma menor geração e um menor consumo, todavia ainda assim o saldo foi negativo, como observado em julho durante o recesso escolar.

Figura 11: Foz do Iguaçu – Geração, Consumo e Irradiação

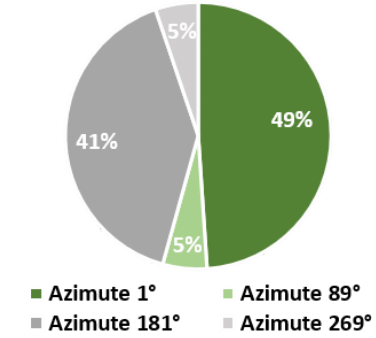


Fonte: Autores (2026).

Quanto à geração de energia por orientação (Figura 12), a maior parte das coberturas está distribuída para o azimute 1° que responde por 49% e para o azimute 181° que alcançou 41%. As demais coberturas orientadas a 89° e 269° correspondem a 5% cada dos valores totais. Observa-se uma vantagem de 8% na geração voltada para norte em relação ao sul e um equilíbrio na geração orientada para leste e oeste.

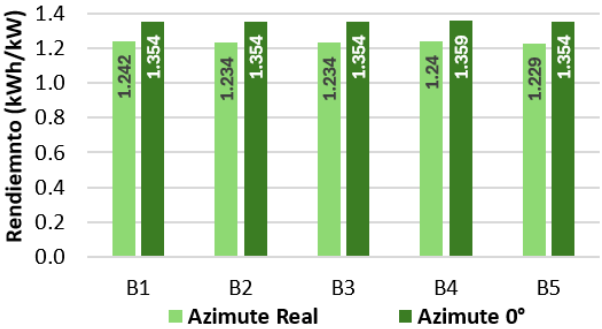
Na análise do rendimento (*yield*) foi comparado o valor das orientações reais (azimutes 1°, 89°, 181° e 269°) com a orientação ideal (azimute 0°), cujos resultados são apresentados na Figura 13. O rendimento médio real foi de 1.236kWh/kW e o rendimento médio ideal foi de 1.355kWh/kW, com um incremento de 10%. Considera-se que esta diferença é pequena e não justifica a instalação dos módulos fotovoltaicos em orientação diferente da existente, o que implicaria em um maior custo de implantação do sistema e poderia danificar a cobertura.

Figura 12: Foz - Geração por Azimute



Fonte: Autores (2026)

Figura 13: Foz - Rendimento Real versus Ideal



Fonte: Autores (2026)

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Quadro 3 apresenta a comparação de alguns parâmetros em ambos os estudos de caso. Em Curitiba, a irradiação é 18% menor e o consumo é 46% inferior, no entanto, a geração obtida foi 26% maior do que em Foz do Iguaçu. Neste sentido, era esperado encontrar resultados mais favoráveis para a instalação do sistema fotovoltaico no

Colégio Moradias Monteiro Lobato, cujo percentual anual de atendimento a demanda alcançou 106%, ao passo que no Colégio Pioneiros foi possível suprir apenas 46% da necessidade.

Na análise do consumo por matrícula observa-se que o valor obtido para Foz do Iguaçu é 6,3 vezes superior ao de Curitiba e na avaliação do consumo por área construída esta diferença diminui para 2,1. Desta forma, verifica-se que neste estudo o uso do ar condicionado impactou mais o consumo energético do que o número de matrículas ou o tamanho da instituição. Dado este que sinaliza um incremento significativo nos gastos operacionais das escolas com sistemas de climatização.

Quadro 3: Síntese dos resultados

Parâmetro	Colégio Moradias Monteiro Lobato	Colégio Pioneiros
Irradiação Global Horizontal (2024) [10]	4,30 kWh/m²/mês	5,27 kWh/m²/mês
Consumo Energético Anual (2024) [9]	437.760,00 kWh	851.360,00 kWh
Área de Cobertura	2.308,00 m²	1.934,20 m²
Área Construída Aproximada	2.600,00 m²	2.450,00 m²
Capacidade (set/2025) [9]	2.150 matrículas	667 matrículas
Geração anual AC [10]	463.589,00 kWh	391.140,00 kWh
Número de módulos fotovoltaicos	720 módulos	570 módulos
Percentual de atendimento anual	106 %	46 %
Consumo por matrícula	203,61 kWh/aluno/ano	1.276,40 kWh/ano/aluno
Consumo por área construída	168,37 kWh/m²/ano	347,49 kWh/m²/ano

Fonte: Autores (2026); [9] SEED-PR (2024); [10] SAM (2025).

Diante destes resultados, de acordo com a Portaria nº 42 de 2021 do IMETRO [2], seria possível classificar a escola de Curitiba como uma edificação de energia positiva (EEPs) em função da geração anual ser superior a demanda para o mesmo período. E um aumento de apenas 4% na geração do colégio de Foz do Iguaçu possibilitaria seu enquadramento como um edifício de energia quase zero (NZEBs).

No caso curitibano, apesar do percentual anual de atendimento ser favorável, a análise da geração mensal mostrou que apenas alguns meses alcançaram saldo positivo. Os menores valores de irradiação, o baixo consumo anual e a maior disponibilidade de área de cobertura permitiram uma proximidade entre a demanda e a geração de energia, todavia, não foram suficientes para zerar a necessidade energética da edificação. Desta forma, sugere-se avaliar a possibilidade de instalação de um sistema complementar de armazenamento por baterias, a fim de guardar o excedente gerado para disponibilizá-lo no período noturno.

No caso iguaçuense, um contexto de menor área de cobertura e a maior irradiação não foi suficiente para suprir a demanda elevada pelo uso de climatização. Recomenda-se avaliar a eficiência energética dos equipamentos utilizados e o padrão de consumo dos usuários visando um uso mais consciente, além de verificar a viabilidade de aproveitar outros locais dentro do lote para a instalação de um número maior de módulos fotovoltaicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, considera-se que o objetivo deste estudo foi cumprido, uma vez que, a partir da metodologia proposta foi possível avaliar e comparar o potencial de integração de módulos fotovoltaicos na cobertura existente de duas escolas públicas.

Neste sentido, independente do percentual de atendimento, o incentivo ao emprego de energia solar no setor público é positivo, pois colabora com sua disseminação e traz benefícios financeiros, permitindo alocar em outras áreas os recursos destinados ao custeio energético. Além disso, a energia produzida considerando as características originais da edificação alcançou valores próximos de um cenário ideal, mostrando que a integração do sistema em coberturas existentes não causa redução significativa no potencial de geração local.

Dentre as limitações da pesquisa, destaca-se a utilização dos dados climáticos disponibilizados pelo software de simulação, assim como, a escolha dos módulos e inversores, que ficou restrita aos modelos fornecidos pelo programa. Para as próximas investigações, sugere-se explorar o incremento do consumo energético com a instalação de sistemas de climatização, avaliar a viabilidade financeira da implantação e comparar os resultados obtidos com outros estudos de caso.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados nesta pesquisa e ao Instituto Paranaense de Desenvolvimento Educacional (FUNDEPAR) pelo material técnico disponibilizado.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não fizeram uso de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Relatório Síntese Balanço Energético Nacional (BEN) 2024-2025**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_ S%C3%AD ntese_2025_PT.pdf>. Acesso: 10/10/2025.

[2] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria nº 42**, de 24 de fevereiro de 2021. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf>. Acesso: 01/11/2025.

[3] PIEROZAN, E. et al. Technical and economic feasibility of multi-family social housing and nearly zero-energy buildings in Southern Brazil. **Sustainability**, v. 16, n. 2608, 2024. https://doi.org/10.3390/ su16072608.

[4] ARAÚJO, N. et al. Potencial de sistemas fotovoltaicos integrados em coberturas de residências. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20, 2024. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2024. p 1-14. https://doi.org/10.46421/entac.v20i1.6218.

[5] YAMADA JUNIOR, R. et al. Real-time energy and economic performance of the multi-zone photovoltaic-drive air conditioning system for an office building in a tropical climate. **Energy Conversion and Management**, v. 297, n. 117713, 2023. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117713.

[6] OLIVEIRA, D.; PIMENTEL, M.; ALENCAR, A. Energy efficiency analysis in buildings of a university campus using the procel RTQ-C. In: International Conference on Industry Applications, 14, 2021. **Anais [...]**. São Paulo: IEEE, 2021. https://doi.org/10.1109/INDUSCON51756.2021.9529606.

[7] GABRIEL, E. et al. Optimization of building envelopes for zero-energy social housing in southern brazilian bioclimatic zones using multi-criteria decision analysis. **Energy and Buildings**, v. 357, n. 117119, 2026. https://doi.org/10.1016/j.enbuild. 2026.117119.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220 **Desempenho térmico de edificações** Parte 3: zoneamento bioclimático por desempenho. 2024. Brasil: ABNT.

[9] SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ (SEED-PR). **Consulta escolas Paraná**. Disponível em: <https://www.consultaescolas.pr.gov.br/consultaescolas/pages/templates/initial2.xhtml?windowId=3ee>. Acesso: 25/10/2025.

[10] SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM). **Weather Data**. Disponível em: <https://sam.nrel.gov/weather-data>. Acesso: 25/10/2025.

[11] SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM). **SAM's help system**. Disponível em: < https://sam.nlr.gov/images/web_page_files/sam-help-2025-4-16.pdf>. Acesso em: 25/06/2026.

[12] SANTOS, I.; RÜTHER, R. Limitations in solar module azimuth and tilt angles in building integrated photovoltaic at low latitude tropical sites in Brazil. **Renewable Energy**, v. 63, p.116-124, 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.renene. 2013.09.008.