

Analysis of urban morphology to generation of photovoltaic energy in Belém - PA

Análise da morfologia urbana para geração de energia solar fotovoltaica em Belém - PA

Article Info:

Article history: Received 2021-03-29 / Accepted 2021-03-29 / Available online 2021-03-30

doi: 10.18540/jcecv17iss1pp12124-01-11e

Ana Lídia Aragão Maia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2280-120X>

Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil

E-mail: arq.analidiam Maia@gmail.com

Luis Carlos Macedo Blasques

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5350-5171>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Brasil

E-mail: blasques@ifpa.edu.br

Marcela Marçal Maciel Monteiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6923-9376>

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Brasil

E-mail: marcela.monteiro@unifesspa.edu.br

Resumo

A fonte solar fotovoltaica é aquela que apresenta as melhores possibilidades de integração ao meio urbano dentre todas as demais fontes de geração de eletricidade e representam uma das soluções tecnológicas mais utilizadas e em processo de estudo no que se refere aos aspectos relativos à eficiência energética predial. O artigo analisa a influência da morfologia urbana na geração de energia fotovoltaica, no bairro do Marco, na cidade de Belém, Pará (Brasil). Os padrões urbanísticos juntamente com fatores de radiação solar, identificam parâmetros que maximizam ou minimizam o aproveitamento do recurso solar para a geração de energia fotovoltaica. Foi utilizado o software SketchUp, com o plug-in Skelion, para modelar em duas edificações específicas do bairro que representavam a predominância da tipologia arquitetônica local: edificações térreas e verticais de padrão residencial até 4 pavimentos. Os resultados obtidos demonstram que em todas as superfícies instaladas, obteve-se, mesmo com as perdas por orientação e inclinação, um valor suficiente que suprisse a necessidade de geração de cada uma das unidades habitacionais estudadas.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos. Morfologia Urbana. Arquitetura Solar.

Abstract

The photovoltaic solar source represents the best possibilities for integration to the urban environment among all the other sources of electricity generation. The article analyzes the influence of urban morphology in generation of photovoltaic energy, in the city of Belém, Pará (Brazil), at Marco's neighborhood. Urbanistic patterns, together with solar radiation factors, identify parameters that maximize or minimize the use of solar resource for generation of photovoltaic energy. The SketchUp software, in collaboration with the Skelion plug-in, was used to model two kinds of building in the neighborhood that represents predominance of architectural typology: ground floor residential buildings and vertical residential buildings up to 4 floors. The results obtained demonstrate that in all installed surfaces, even considering losses due to orientation and inclination, a sufficient value was obtained to supply the need to generate each of the studied housing units.

Keywords: Photovoltaic Systems. Urban Morphology. Solar Architecture.

1. Introdução

O assunto sustentabilidade tem sido bastante inserido na construção civil por meio da sua relação com o uso coerente dos elementos da natureza de forma a garantir o atendimento às prioridades da vida humana, sem que gere prejuízos para as próximas populações. Aquecimento global, escassez de energia, fontes alternativas e renováveis, grandes catástrofes anunciadas por conta das mudanças climáticas por que passa nosso planeta estão na agenda do dia da comunidade mundial. (Santos, 2013).

Por sua vez, algumas técnicas e formas de utilização de energias renováveis, como a energia solar fotovoltaica, representam uma forma sustentável de proporcionar infraestrutura necessária ao funcionamento dos edifícios e o desenvolvimento das tarefas diárias dos indivíduos, por meio da produção de energia elétrica através de origem renovável e com baixa geração de poluentes. (Santos, 2013).

Como elemento principal para geração de energia renovável, apresenta-se a tecnologia solar fotovoltaica (FV), desenvolvida em 1954 por pesquisadores da Bell Telephone (Santos, 2013). Características como funcionamento e tipologias do sistema FV aceitam sua integração aos edifícios se adequando ao contexto climático de cada local e servindo como elemento construtivo e estético.

A morfologia urbana das cidades, assim como o potencial solar de cada região, são os principais fatores que justificam (ou não) a utilização e eficiência do sistema fotovoltaico. O objetivo desse artigo é definir diretrizes projetuais para auxiliar os projetistas e profissionais da construção civil sobre a integração da tecnologia fotovoltaica em suas edificações, analisando, para isso, a morfologia urbana de um bairro específico na cidade de Belém no estado do Pará, assim como o potencial solar da região e conceitos dos sistemas fotovoltaicos de geração de energia.

Para alcançar este objetivo, partiu-se de uma metodologia dividida em quatro etapas: apresentação das características gerais da cidade; definição do potencial solar disponível na região; área disponível para a instalação do sistema fotovoltaico e estudo de caso em Belém, capital do estado do Pará, mais notadamente no bairro Marco, que será melhor descrito no referencial teórico do trabalho.

A primeira etapa objetiva pesquisar e analisar dados referentes às características da cidade como ocupação, morfologia urbana, tipologia arquitetônica predominante, etc. A segunda etapa visa avaliar o potencial solar disponível em diferentes ângulos de orientação e inclinação.

A terceira etapa visa, com base nos conceitos de BIPV e BAPV, associar qual a área da superfície da envoltória disponível para a instalação fotovoltaica. A quarta etapa, apresentação de estudo de caso, visa apontar em uma edificação real, por meio da utilização de um software, formas de integração do sistema FV às superfícies de um edifício, focando em sua máxima geração.

2. Referencial teórico

2.1 Características da cidade de Belém

Belém, localiza-se na região de clima equatorial quente e úmido, e em função da proximidade com o equador, com latitude de 1°28'S e 48°27'W, apresenta aproximadamente doze horas de brilho solar, considerando uma situação sem nuvens. Porém, no período mais chuvoso esse tempo é reduzido, pelo elevado nível de nebulosidade, chegando a atingir um valor médio de 6,4h diárias. (Bastos et al. 2002)

As características morfológicas da cidade, responsáveis pela divisão da mesma em zonas determinadas pelo tipo de uso e ocupação do solo, consideraram o fato da cidade apresentar uma

baixa altitude, em torno de 12m e por possuir diversos cursos d'água, que cortam a cidade em vários pontos, conhecidos como furos e igarapés, que influenciam nas características do solo bastante alagado. (Lopes & Lima, 2014)

2.2 Potencial solar da cidade em estudo: Belém – Pará (Brasil)

Belém é considerada como aquela que detém o melhor potencial para utilização de energia solar das principais cidades da região amazônica brasileira (Vinagre, et al., 2016). A média anual de insolação diária é de 6 (seis) horas e a radiação solar global é de 16 (MJ/m².dia). O clima é predominante tropical quente e úmido, com temperatura e pluviosidade média anual em torno de 26,4° C e 3001,3 mm, respectivamente. (Bastos et al. 2002)

Com relação a altura solar, o sol atinge o ponto mais alto, ao meio dia, chegando num ângulo máximo próximo de 90°, enquanto que a menor altura, normalmente, fica acima de 60°, o que gera grande potencial solar, mesmo em dias mais chuvosos ou com grandes índices de nebulosidade. Em se tratando de valores de potencial solar, pode-se considerar como o número de horas de sol pleno (HSP), ou número de horas de insolação, disponíveis no ano em cada região. (Bastos et al. 2002)

De maneira conceitual, o número de horas de sol pleno é o valor equivalente ao tempo, em horas, em que a irradiância solar se equivale a 1.000 W/m², valor padrão considerado pela indústria solar para geração de eletricidade, e verificado usualmente em condições de sol forte e céu claro. Em resumo, a cidade de Belém, por exemplo, tem ao longo do ano um total de 1.844 horas de sol pleno disponíveis no plano horizontal (aproximadamente 5 horas de insolação diária). Para considerar o potencial solar de Belém em sua totalidade, o gerador FV precisaria estar perfeitamente paralelo ao solo.

Porém, quando busca-se a maximização da geração FV e compatibilidade com as características arquitetônicas das edificações, deve-se observar a disponibilidade de superfícies da envoltória com inclinações e orientações distintas.

Como Belém está abaixo da linha do Equador, hemisfério Sul, a inclinação ideal do gerador deve ser ao norte. Isso acontece pela influência da inclinação na maximização da utilização do potencial solar. Outro ponto fundamental é a sua orientação, cujo ângulo é chamado de azimutal de superfície, ou simplesmente azimute, pois ela também está diretamente relacionada com a radiação solar incidente no plano e pode influenciar significativamente no aproveitamento do recurso solar.

O azimute é a medida angular tomada a partir da orientação norte do observador, considerado neste caso igual a 0°, sendo considerado positivo quando a projeção se encontra negativo quando à direita do norte (leste=-90°), à esquerda do norte (oeste=90°), e 180° quando a projeção encontra-se ao sul.

Em Belém, para inclinações até aproximadamente 10°, o recurso solar incidente em geradores instalados em todas as orientações é praticamente equivalente. Por outro lado, a partir de inclinações de 15° existe uma maior disponibilidade na orientação norte, o que neste caso a caracteriza como a melhor escolha, conforme recomendação anteriormente apresentada. (Figura1).

É sempre necessário avaliar o potencial solar da cidade onde se pretende instalar sistemas FV a fim de se obter um melhor aproveitamento do recurso. Programas como Meteonorm, Radiasol e Sundata podem auxiliar na análise. Apesar de se recomendar o estudo da inclinação e orientação para a instalação dos geradores FV, é certo que diversas situações podem surgir, principalmente na integração arquitetônica. Por isso a necessidade de se conhecer todas as possibilidades de instalação disponíveis, assim como os impactos de cada uma delas.

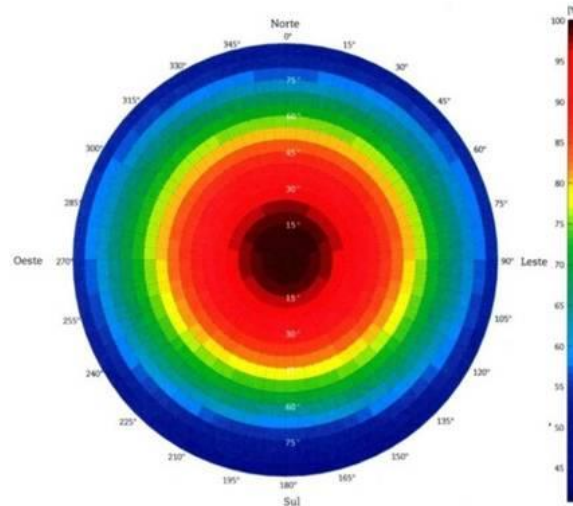


Figure 1 - Recurso solar para Belém em função da orientação e inclinação do gerador FV.
Fonte: Zilles et al., 2012.

2.3 Impacto da instalação dos módulos na geração FV

Dentre os fatores que interferem na geração FV, se destacam o posicionamento da envoltória da edificação existente e/ou do lote. Entretanto, o conhecimento dos dados solarimétricos e geográficos da cidade, favorecem o melhor aproveitamento energético por meio da identificação das melhores superfícies e inclinações, não sombreadas, para inserção dos painéis.

Com base nas informações acima, pode-se elaborar ábacos volumétricos que representam fatores de orientação e inclinação encontrados nas respectivas faces, sendo elas (orientações e inclinações): Norte (0°, 6°, 35°, 90°), Leste (6°, 35°, 90°), Nordeste (6°, 35°, 90°), Oeste (6°, 35°, 90°), Noroeste (6°, 35°, 90°), Sudeste (6°, 35°, 90°) e Sudoeste (6°, 35°, 90°), conforme ilustram a Figura 2 e a Tabela 1. (Vinagre, et al., 2016)

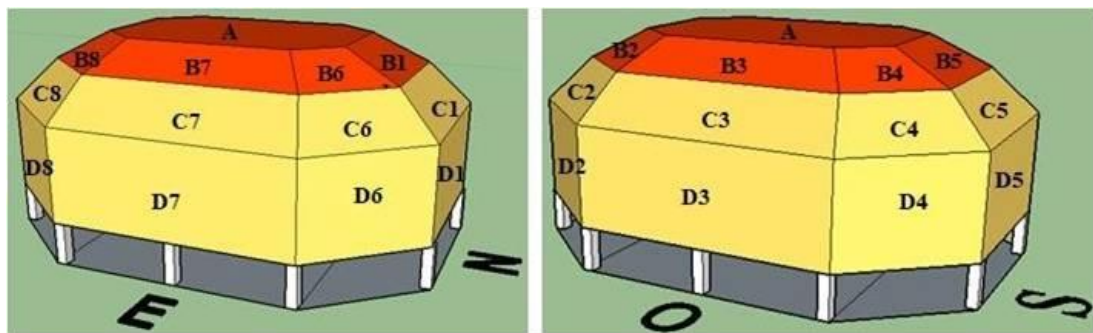


Figura 2: Ábaco volumétrico representativo das inclinações do plano de geração em função das orientações. Fonte: Vinagre et al, 2016.

Tabela 1: Inclinação para cada orientação.

Orientação	Azimute	Inclinação do módulo FV (em graus)			
		0°	6°	35°	90°
Norte	0°	A	B1	C1	D1
Noroeste	45°		B2	C2	D2
Oeste	90°		B3	C3	D3
Sudoeste	135°		B4	C4	D4
Sul	180°		B5	C5	D5
Nordeste	-45°		B6	C6	D6
leste	-90°		B7	C7	D7
sudeste	-135°		B8	C8	D8

Fonte: Vinagre et al, 2016.

Para a cidade de Belém-Pa, em função da orientação (ângulo azimutal da superfície, γ) e da inclinação dos módulos FV (β), os percentuais de aproveitamento de irradiância à situação de geração FV ideal, de 100%. (Figura 3)

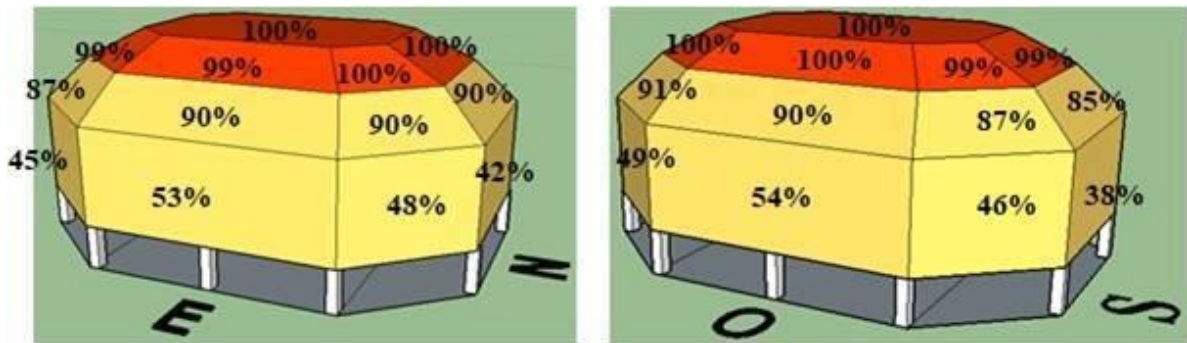


Figura 3: Aproveitamento para inclinações e orientações em Belém. Fonte: Vinagre et al, 2016.

Com base no ábaco e de acordo com os autores (Vinagre, et al., 2016), a inclinação (β) de 6° é a ideal para a cidade de Belém, com $\gamma = 0^\circ$, pois essa instalação apresenta uma irradiância global anual de 1.851 kWh/m^2 , ou horas de sol pleno (HSP). Considerando este valor como ideal, ou 100 % do aproveitamento do recurso, a figura acima ilustra o resultado para os tipos de instalações apresentadas no Quadro 1, com diferentes inclinações e orientações, com seus respectivos valores percentuais de recurso solar disponível, se comparados ao caso ideal.

Nota-se, por exemplo, que a instalação de módulos na vertical ($\gamma=90^\circ$), orientados também ao norte, apresenta disponibilidade de somente 42% do recurso da posição ideal, aproveitamento este que só perde para módulos verticais voltados à Sul, cuja disponibilidade é de apenas 38%.

2.3.1 Características dos sistemas fotovoltaicos: conceitos de BIPV e BAPV

Quanto aos elementos que compõem os sistemas fotovoltaicos e sua relação com a arquitetura, são consideradas duas formas de utilização, com os painéis posicionados de forma a estarem integrados ou adaptados ao edifício, chamados, respectivamente, de Building-Integrated PV – BIPV e Building-Added/Attached PV – BAPV. Dessa forma, os sistemas BAPV, sugerem maior trabalho na montagem, por exigir adaptações sobre estruturas pré-existentes, o que indica a necessidade de peças especiais ou feitas sob medida, a fim de atender a cada situação. Enquanto que os sistemas BIPV, são utilizados a fim de substituir algum componente da envoltória, como paredes ou coberturas. (Didoné, et al. 2024)

Com relação às tecnologias existentes atualmente para a produção de células e módulos, três gerações ganham mais destaque, principalmente em função de apresentarem diferentes peculiaridades com relação a eficiência na geração FV e integração com a edificação, que são o silício cristalino, filmes finos e as células orgânicas. Sendo que a primeira tecnologia corresponde a maior parte da produção mundial (85%) por ser uma tecnologia consolidada, confiável e ter a maior eficiência comercial entre as demais tecnologias. As três possibilidades de encapsulamento nos painéis para esta tecnologia são: Silício monocristalino, Silício policristalino e silício monocristalino com encapsulamento vidro-vidro. (Didoné, et al. 2024)

2.3.2 Possibilidades de Integração

Sobre as opções para integração dos módulos, podem-se destacar cinco posições básicas: Coberturas e claraboias, brises, sistemas de janelas, sistemas de parede cortina e fachadas ventiladas. É indicado usar o componente da cobertura para situações em que a intenção seja não interferir na imagem e estética do edifício ou quando se pretende ter um maior nível de captação de energia solar. (Vinagre, et al., 2016)

Nas coberturas (Figura 4) os sistemas FV, são utilizados em diferentes abordagens, como em substituição a telhados, planos, inclinados ou curvos, com diferentes materiais, ou ainda em coberturas tipo sheds e claraboias. Particularmente livre de sombras, na cobertura pode-se orientar os módulos para um melhor ângulo solar e garantir a ventilação na parte posterior dos painéis. (Santos, 2013)

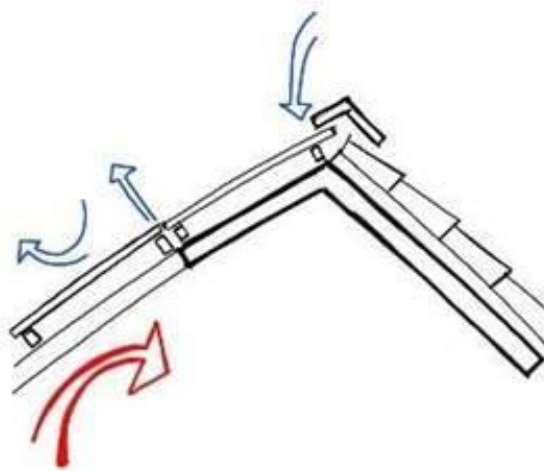


Figura 4: Esquema de Cobertura e clarabóia. Fonte: Vinagre et al, 2016.

Com relação às proteções solares externas (fixas ou móveis), os sistemas FV podem ser pensados de forma a se adaptar a latitude do local, ou seja, prevendo inclinações para aumentar a captação solar e consequentemente a geração FV. Para o caso do uso de dispositivos de proteção solar em fachadas, os sistemas FV ficarão visíveis e dessa forma, deve-se considerar que os mesmos irão influenciar na composição estética da edificação, o que requer maior cuidado e participação do profissional arquiteto no processo, a fim de definir a abordagem de projeto que irá adotar. Os sistemas FV podem ser aplicados sobre diferentes materiais, como vidro, madeira, concreto ou metal ou ser o próprio elemento de proteção solar. Com relação à posição, podem ser instalados: na vertical, horizontal ou inclinada, externamente à vedação principal, e principalmente sobre as aberturas, janelas ou portas ou ainda pelas de vidros (Vinagre, et al., 2016). (Figura5)

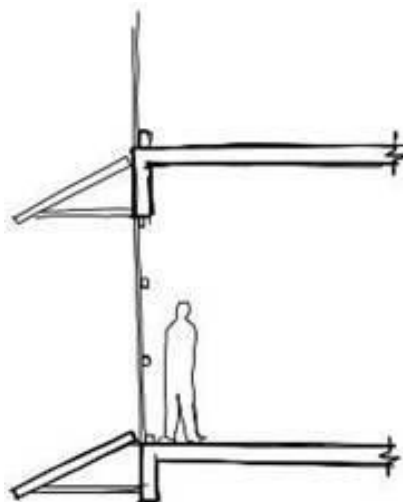


Figura 5: Esquema de brises. Fonte: Vinagre et al, 2016.

Para instalações dos sistemas FV na vertical, ou seja, em fachadas, podem se classificar nos seguintes tipos: fachadas com janelas, em que os módulos FV podem ser os próprios elementos que compõem a esquadria da janela; fachadas em pele de vidro fixo, em que os sistemas FV ficarão integrados à edificação, ou seja, substituirão os elementos em vidro e dessa forma serão

chamadas de fachada “Parede cortina”; fachadas cegas opacas, com módulos instalados sobrepostos a envoltória, de forma a manter algum afastamento que permita circulação de ar e com isso ajudar no resfriamento da costa do módulo, contribuindo para aumentar seu desempenho, também chamada de “Fachada Ventilada”. (Santos, 2013) (Figura6)

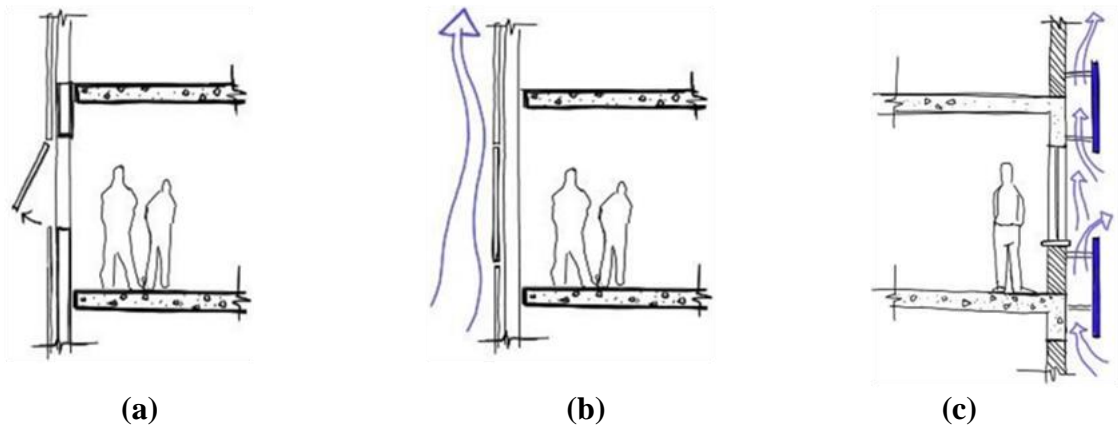


Figura 6: Esquema de fachadas: (a) Sistema de Janela; (b) Sistema de parede cortina; (c) Fachadas ventiladas. Fonte: Vinagre et al, 2016.

2.4 Estudo de caso: Bairro do Marco

O Marco é um bairro planejado na capital paraense, apresentando, em sua maioria, uso residencial, com padrão econômico de classe média. Recebeu esse nome como referência por ter sido um bairro planejado que marcou o limite da primeira légua patrimonial da cidade. Destaca-se pela malha ortogonal, com grandes quadras e vias largas. O projeto é de autoria do engenheiro do município Nina Ribeiro, elaborado juntamente com o Plano de Expansão da Cidade de Belém, entre 1883-1886. (Abreu, 2016)

Em se tratando do tipo de uso das edificações no bairro do Marco, percebe-se uma configuração gráfica bastante mista, compreendendo usos diversos que abrangem desde o residencial até o sistema de recreio. Contudo a predominância se dá no uso residencial. No que diz respeito ao gabarito das edificações do bairro do Marco, percebe-se que as edificações são predominantemente baixas, sendo a maioria de até 02 pavimentos.

3. Procedimentos Metodológicos

A metodologia está dividida em quatro etapas: apresentação das características gerais da cidade; definição do potencial solar disponível na região; área disponível para a instalação do sistema fotovoltaico e estudo de caso em Belém, especificamente no bairro Marco.

- A primeira etapa tem por objetivo pesquisar e analisar dados referentes às características da cidade como ocupação, morfologia urbana, tipologia arquitetônica predominante, etc.
- A segunda etapa visa avaliar o potencial solar disponível em diferentes ângulos de orientação e inclinação.
- A terceira etapa visa, com base nos conceitos de BIPV e BAPV, associar qual a área da superfície da envoltória disponível para a instalação fotovoltaica.
- A quarta etapa, apresentação de estudo de caso, visa apontar em uma edificação real, por meio da utilização de um software, formas de integração do sistema FV às superfícies de um edifício, focando em sua máxima geração.

Com base nas características da cidade, do potencial solar disponível e da morfologia do bairro, e adotando os procedimentos metodológicos apresentados, foi possível selecionar duas tipologias arquitetônicas (predominantes) para a aplicação e estudo dos painéis PV, sendo uma delas residência e a outra dois edifício de até 4 (quatro) pavimentos (Figura 7).

A primeira edificação, residencial, está localizada na Rua Catalina, entre Travessa Alferes Costa e Avenida Doutor Freitas. Nessa edificação, foi trabalhada a implantação de painéis apenas na cobertura, de forma adaptada à telha existente, em virtude de sua dimensão e presença de vegetação no entorno que possa gerar sombreamento na fachada ou em outras aberturas (janelas e portas).

A segunda edificação (Figura 7b), padrão residencial também, se trata de dois edifícios de 4 pavimentos, localizados na esquina da Travessa Alferes Costa com Avenida Duque de Caxias, com acesso pela Avenida Visconde de Inhaúma e Travessa Perebebuí. Essas edificações, diferentemente da grande maioria encontrada no bairro, se encontram orientadas a Norte, com telhado obedecendo à mesma orientação (Norte-Sul). Por ter essa configuração, e pela implantação e situação no terreno, foi utilizada, em um dos edifícios, a sua cobertura para implantação dos painéis. Em outro, foram aplicados painéis na sua fachada a fim de observar como a mesma se comporta em se tratando da geração fotovoltaica.

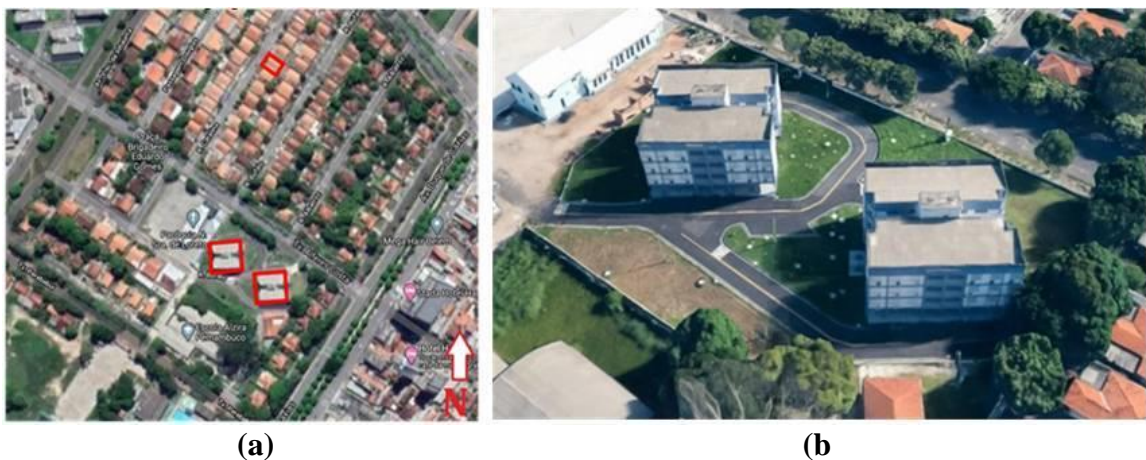


Figura 7: (a) Localização da residência e dos edifícios; (b) Implantação dos edifícios no terreno. Fonte: Google Maps, 2020.

4. Resultados

4.1 Residência

No caso da residência, foi utilizado o módulo fotovoltaico 3E:STK-230P6-A de silício policristalino, nas duas águas da cobertura (à Nordeste e Sudoeste), obedecendo a inclinação do telhado existente que se aproxima de 30° . (Figura 8)

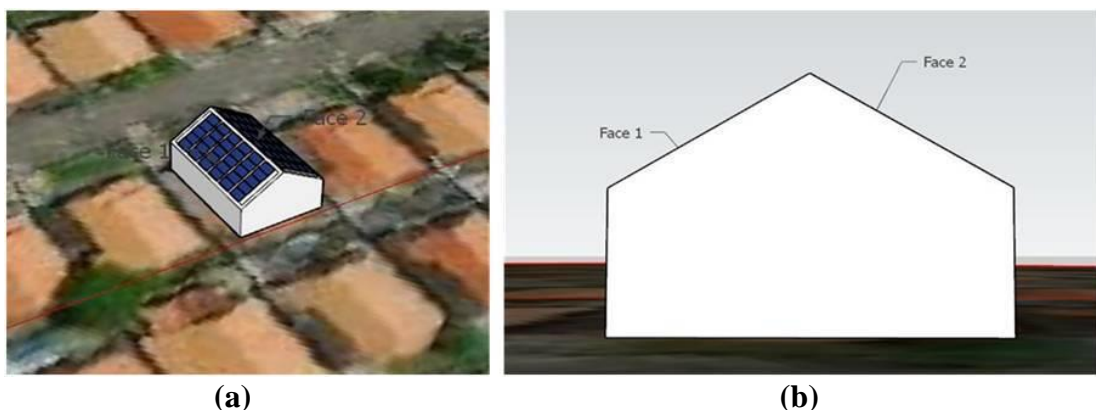


Figura 8: Adaptação dos painéis na cobertura da residência: (a) Perspectiva da residência; (b) Identificação das faces com os painéis PV. Fonte: SketchUp com plugin Skelion, 2020.

Em cada uma das águas (faces) foram utilizados 30 painéis, totalizando 60 unidades, com 230 Wp de potência em cada módulo solar, e com uma potencia nominal de 13,80 kWp (Figura 9). Neste trabalho, são consideradas perdas pela orientação (variáveis de acordo com a disposição dos módulos na edificação), e outras perdas, como as devidas ao aquecimento (consideradas fixas iguais a 10%).

Results for solar modules in each face								
Face	Model	NºP.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Weight (kg)	Azimuth	Tilt	Relative tilt
1	3E:STK-230P6-A	30	230,00	6,90	690,00	212,47	30,96	0,00
2	3E:STK-230P6-A	30	230,00	6,90	690,00	32,47	30,96	0,00

Figura 8: Resultados de geração dos módulos solares em cada face da cobertura. Fonte: Skelion, 2020.

Analisando os dados obtidos, pode-se concluir que um módulo fotovoltaico de 230 Wp gera, por dia, 0,92 kWh.dia, considerando as possíveis perdas. No final do mês, esse mesmo módulo geraria 27,60 kWh.mês. (Equação 1, 2 e 3)

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo} \times (\text{rendimento}) \quad (1)$$

$$\text{Energia} = 230 \times 5 \times (1 - 0,10 - 0,10) = 0,92 \text{ kWh.dia} \quad (2)$$

$$\text{Energia} = 0,92 \times 30 = 27,60 \text{ kWh.mês} \quad (3)$$

Dessa forma, essa residência que consome, em média, 250 kWh.mês na região Norte, precisa aproximadamente de 9módulos fotovoltaicos para suprir a sua necessidade. Tendo espaço na cobertura para 60 módulos, conclui-se que residências térreas, em sua maioria, possuem um potencial maior de geração em sua área de cobertura. Sendo a geração suficiente para o pleno funcionamento desta edificação, assim como de mais 5 outras.

4.2. Edifícios

Nos edifícios de até quatro pavimentos (Figura 10), foram inseridos módulos FV de duas maneiras diferentes: no edifício 1 foram instalados em sua cobertura 204 módulos, e no edifício 2 foram instalados 80 módulos em sua fachada Leste.

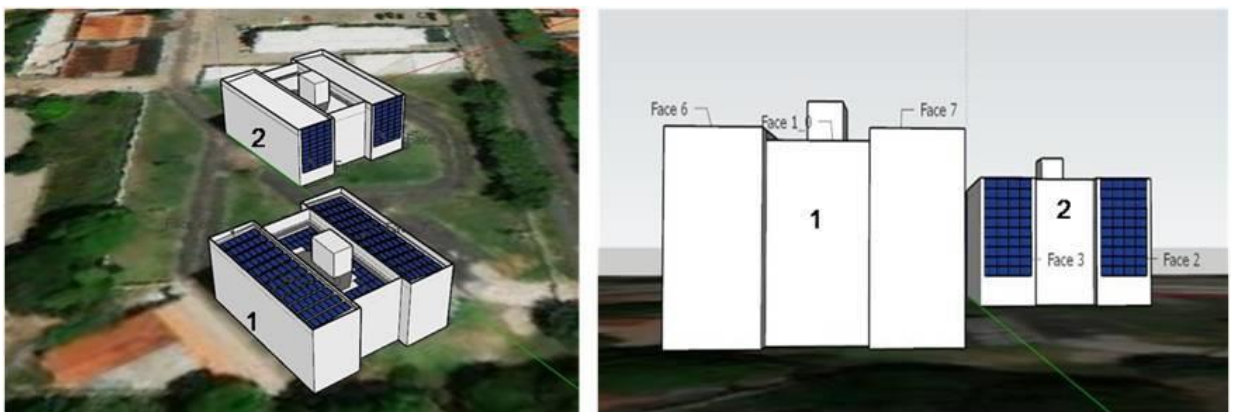


Figura 10: Integração dos painéis na cobertura do edifício 1 e fachada Leste do edifício 2. Fonte: SketchUp com plugin Skelion, 2020.

Cada módulo utilizado, semelhante ao estudo feito na residência térrea, tem uma capacidade de geração de 230 Wp, no dia 1,035 kWph.dia e 31,05 kWh.mês. Apesar dessa geração, e por ser uma edificação residencial de 4 pavimentos, a potência gerada deverá ser dividida entre as 6 unidades habitacionais presentes em cada prédio. (Equação 4, 5 e 6)

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo} \times (\text{rendimento}) \quad (4)$$

$$\text{Energia} = 230 \times 5 \times (1 - 0,1) \text{ (nessa orientação e inclinação a perda é pequena)} = 1,035 \text{ k Wh. dia} \quad (5)$$

$$\text{Energia} = 1,035 \times 30 = 31,05 \text{ kWh.mês} \quad (6)$$

No caso do edifício 1, e considerando também 250 kWh.mês de consumo médio por unidade habitacional, a edificação precisaria de no mínimo 8 módulos FV, para suprir a necessidade de cada uma das 6 unidades habitacionais, portanto, de 48 módulos no mínimo. Entretanto, percebe-se que a cobertura (em virtude da sua orientação, localização no terreno e limite de 4 andares/unidades habitacionais) conseguiu suprir a necessidade total das habitações desta edificação e teria também capacidade para sustentar todo o edifício 2. Vale ressaltar que somente na cobertura, seriam instalados 204 módulos.

No edifício 2, pôde-se gerar com os 80 módulos instalados na fachada Leste, 1.176 kWh.mês. Este valor em virtude do local da implantação (fachada) sofreu uma perda de 57% na geração (47% devido à disposição dos módulos e 10% devido à temperatura e outros). Entretanto, o edifício 2 precisaria também suprir o consumo de 6 habitações que utilizam em média 250 kWh.mês. (Equação 7, 8 e 9)

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo} \times (\text{rendimento}) \quad (7)$$

$$\text{Energia} = 230 \times 5 \times (1 - 0,47 - 0,1) = 0,49 \text{ kWh. dia} \quad (8)$$

$$\text{Energia} = 0,49 \times 30 = 14,7 \text{ kWh.mês} \quad (9)$$

Apesar dessa grande perda, e mesmo utilizando apenas uma das fachadas para a implantação dos módulos, percebe-se que os módulos na fachada supririam quase 80% das necessidades das unidades habitacionais que compõem essa edificação. A utilização de uma outra fachada ou a cobertura para a instalação de módulos FV, como também, a própria energia excedente gerada no edifício 1, seriam alternativas para suprir estes 20% faltantes.

5. Discussões

Para a cidade de Belém, especificamente o bairro do Marco, o melhor aproveitamento, a maior eficiência do sistema fotovoltaico, ocorreu pela utilização da cobertura, em edificações térreas residenciais e em edifícios de até 4 (quatro) pavimentos.

O que favorece este resultado é o fato do bairro ser predominantemente residencial, com edificações relativamente baixas em sua maioria.

Em casos de utilização do sistema na vertical, para um maior aproveitamento de geração, é possível aproveitar a fachada oeste, chegando a 54% de eficiência em relação ao caso ótimo. Em termos de geração, 100% equivale a 1.851 horas de sol pleno e 54% a 1.001 horas.

Entretanto, para alcançar este nível de aproveitamento, devem-se avaliar as superfícies, em relação ao sombreamento e áreas de janelas, para verificar as melhores possibilidades de geração.

6. Considerações finais

Nos dois estudos de caso os sistemas se mostraram eficientes, por se tratarem de edificações de pequeno porte residenciais. Dessa forma, percebe-se que no bairro ou regiões da cidade com predomínio de edificações residenciais ou edificações com poucos pavimentos, a implantação do sistema de energia fotovoltaica se mostra viável e eficaz no padrão de edificações analisadas, tanto em suas coberturas, quanto nas fachadas e/ou cobertura das edificações com mais de um pavimento.

Isso ratifica a importância que fatores como o clima e a morfologia urbana exercem em projetos fotovoltaicos. Faz-se necessária a identificação completa de elementos da própria edificação e em seu entorno que possam influenciar na geração de energia, tais como elementos que causam sombreamento, pois estas informações nortearão o posicionamento e a correta orientação dos módulos, além das melhores escolhas com relação aos sistemas e tecnologias FV. Estes fatores associados com as corretas estratégias bioclimáticas, privilegiando o uso de sistemas passivos de climatização dos espaços internos, que visam o equilíbrio entre tecnologias fotovoltaicas e o meio ambiente, são capazes de garantir eficiência ao sistema e conforto ambiental aos usuários, utilizando de forma racional os recursos disponíveis.

Outros fatores de grande relevância são a oportunidade de estudar e trabalhar na associação da tecnologia fotovoltaica para geração de energia elétrica aos ambientes construídos na Amazônia, região com grandes carências sociais e econômicas; e o incentivo à discussão interdisciplinar, envolvendo profissionais das áreas da arquitetura e engenharias, em maior nível, mas também de áreas como a normativa e a econômica.

Referências

- Abreu, P. V. (2016). *A Morfologia do plano de expansão da cidade de Belém e a estrutura fundiária do município no século XIX*. Dissertação de Mestrado. Belém, Pará, Brasil: Universidade Federal do Pará.
- Bastos, T. X., Pacheco, N. A., Nechet, D., & Sá, T. D. (2002). *Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos*. Acesso em 15 de janeiro de 2020, disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/389773/1/OrientalDoc128.pdf>
- Didoné, E. L., Wagner, A., & Pereira, F. O. (2024). Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV. *Ambiente Construído*, 14 (3), pp. 27-42. <https://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212014000300003> Acesso em 10 de novembro de 2019, disponível em https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000300003
- Lopes, R. N., & Lima, J. J. (2014). Estudo morfológico de assentamentos em áreas de várzea em belém – pa: bacia do una. *APPURBANA*, (p. 16). Belém-PA.
- Santos, Í. P. (2013). *Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura*. Tese de Doutorado. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Vinagre, M. V., Monteiro, M. M., Longo, F. M., Fonseca, R. L., Nascimento, A. C., Vinagre, N. D., Maia, A. L. A. (2016). *Diretrizes Arquitetônicas para projetos fotovoltaicos na Região Amazônica: Edificações Contemporâneas e Históricas*. Belém, Pará, Brasil.
- Zilles, R., Macêdo, W. N., Galhardo, M. A., & Oliveira, S. H. (2012). *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica*. Oficina de Textos.