ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

A influência dos parâmetros urbanos de Salvador na geração de energia solar fotovoltaica das edificações

The Influence of Salvador's Urban Parameters on the Photovoltaic Solar Energy Generation of Buildings

Andrea Verri Bastian
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | andrea.bastian@ufba.br

Resumo

O crescimento populacional global desafia o planejamento urbano, especialmente em relação às questões energéticas. Neste contexto, a energia solar fotovoltaica emerge como uma solução viável para centros urbanos. Este trabalho parte do pressuposto de que a morfologia urbana desempenha um papel crucial no potencial de geração de energia solar fotovoltaica das edificações e visa demonstrar essa relação por meio de simulações que utilizam modelos numéricos, levando em consideração as regulamentações do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (2016) de Salvador. A revisão da literatura oferece um panorama sobre a tecnologia fotovoltaica, o desenho urbano e, a relação entre parâmetros urbanísticos e disponibilidade de radiação solar. A experimentação utiliza como base para simulações, modelos genéricos de trechos urbanos, criados em diferentes cenários variando-se os parâmetros da forma urbana. O estudo comprova a influência do entorno, do coeficiente de aproveitamento, da altura das edificações e do arranjo espacial na quadra. Tais achados ressaltam a importância de implementar regulamentações urbanísticas mais rigorosas para favorecer o aproveitamento da energia solar fotovoltaica.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Morfologia Urbana. Parâmetros Urbanísticos. Modelagem Geométrica. Sustentabilidade.

Abstract

Global population growth challenges urban planning, especially in terms of energy issues. In this context, photovoltaic solar energy emerges as a viable solution for urban centers. This work assumes that urban morphology plays a crucial role in the potential for photovoltaic solar energy generation in buildings and aims to demonstrate this relationship through simulations using numerical models, considering the regulations of the Urban Development Master Plan (2016) of Salvador. The literature review provides an overview of photovoltaic technology, urban design, and the relationship between urban parameters and solar radiation availability. The experimentation uses generic models of urban sections as a basis for simulations, created in different scenarios by varying the parameters of urban form. The study proves the influence of the surroundings, the utilization coefficient, the height of the buildings, and the spatial arrangement in the block. Such findings highlight the importance of implementing more stringent urban regulations to promote the utilization of photovoltaic solar energy.

Como citar:
BASTIAN, A. V. A influência dos parâmetros urbanos de Salvador na geração de energia solar fotovoltaica das edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Urban Morphology. Urban Planning Parameters. Geometric Modeling. Sustainability.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional global, especialmente em áreas urbanas, trouxe desafios significativos para o planejamento das cidades. A Organização das Nações Unidas [1] estima que a população mundial atingirá 9,7 bilhões em 2050, com 66% das pessoas vivendo em áreas urbanas. No Brasil, a população urbana já é majoritária, e espera-se que alcance 92,4% até 2050 [2]. Esse crescimento desordenado exerce pressão sobre as infraestruturas urbanas, resultando em problemas ambientais e de qualidade de vida.

As cidades consomem três quartos da energia final global e são responsáveis por 75% das emissões de CO2. No Brasil, a dependência de fontes energéticas hídricas e fósseis torna o país vulnerável a eventos climáticos extremos e à indisponibilidade de energia [3, p. 14]. Para mitigar esses impactos, a adoção de energias renováveis, como a solar fotovoltaica, é crucial. Este tipo de energia é limpo, reduz as emissões de gases de efeito estufa e pode ser integrado tanto em áreas urbanas quanto isoladas.

A Agenda 2030 da ONU destaca a importância de ampliar a participação das energias renováveis na matriz energética global. O Brasil, apesar de possuir uma matriz energética relativamente renovável, ainda depende fortemente de combustíveis fósseis. Segundo dados de 2021 [4], a participação da fonte eólica foi de 11% e a solar de 2,6%, o que representou um avanço de 55,9% em relação ao ano anterior. No entanto, esse avanço ainda é insuficiente quando comparado a outros países que possuem condições climáticas menos favoráveis para a geração solar.

Para o caso específico de Salvador, iniciativas locais, como o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e o programa Salvador 360, têm incentivado a produção e uso de energia solar, mas a cidade ainda não está entre as principais em potencial instalado.

Para promover a energia solar em Salvador, é necessário considerar a morfologia urbana, a densidade construtiva e as condições climáticas. Avaliar a viabilidade da geração de energia solar envolve analisar a interação entre o potencial de geração e o ambiente construído, incluindo a geometria e altura dos edifícios e o afastamento entre eles. A integração de estratégias de bioclimatologia e geração de energia solar pode otimizar a eficiência energética e contribuir para a sustentabilidade urbana.

REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção aborda de maneira resumida uma revisão de literatura, baseada no estado da arte, aborda as principais tecnologias para geração de energia solar fotovoltaica, seus princípios de funcionamento e características técnicas de aplicação.

TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

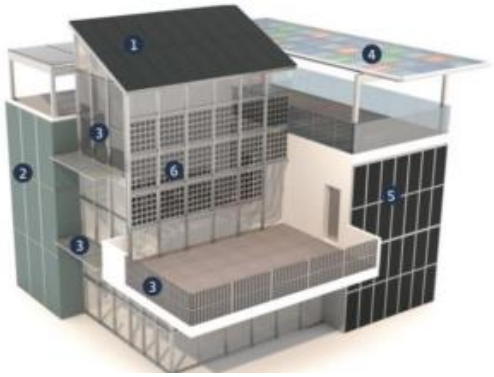
Um sistema fotovoltaico é composto por módulos fotovoltaicos, suportes de fixação, cabos, conexões elétricas, disjuntores, chaves elétricas, inversores e outros

componentes, como sistemas de seguimento solar, armazenamento e monitoramento remoto. Esses sistemas podem ser conectados diretamente ou não à rede elétrica de distribuição pública. Além do tipo de célula fotovoltaica, vários fatores influenciam o rendimento, sendo o mais importante a irradiância, que depende da localização, inclinação e orientação dos painéis solares. Outros fatores incluem temperatura dos painéis, sombreamento, desempenho entre painéis, resistência dos condutores e limpeza dos painéis. Em ambientes urbanos, o sombreamento entre edificações é crucial, como demonstrado por estudos em Cingapura e Florianópolis [5].

Os sistemas fotovoltaicos podem ser isolados, conectados à rede ou híbridos. Os sistemas isolados são utilizados em áreas sem rede elétrica, como zonas rurais, ilhas e para iluminação pública. A tecnologia fotovoltaica é classificada em geração distribuída ou centralizada. Na geração distribuída, a energia é gerada perto do consumidor, reduzindo perdas técnicas e custos de terrenos, enquanto a geração centralizada ocorre em usinas de grande porte distantes dos consumidores. Desde os anos 1990, programas de incentivo impulsionaram o crescimento da conexão de sistemas fotovoltaicos à rede. Esta pesquisa foca nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR), classificados pela ANEEL como microgeração, minigeração e usinas de eletricidade. A Lei 14.300, regulamentada em 2022, permite que os consumidores produzam energia elétrica para consumo próprio com compensação de créditos.

Os painéis fotovoltaicos podem ser incorporados às edificações de diversas formas, como sobre coberturas, fachadas, elementos sombreadores e estacionamentos. Com base no método de instalação, os sistemas fotovoltaicos são classificados em Sistemas Fotovoltaicos Aplicados a Edificação (BAPV) e Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificação (BIPV). No sistema BAPV, os painéis são instalados por sobreposição, geralmente em telhados, utilizando estruturas e trilhos, enquanto no sistema BIPV (Figura 1), os módulos são integrados nas estruturas do edifício, substituindo elementos construtivos tradicionais [6].

Figura 1: Sistemas fotovoltaicos integrados à edificação



SISTEMA FOTOVOLTAICO	
1	Cobertura
2	Fachada
3	Dispositivo de proteção solar
4	Elemento de cobertura e sombreamento
5	Revestimento
6	Sistema de vedação

Fonte: SUPSI (2020).

Para que os painéis fotovoltaicos atendam às novas exigências, é essencial considerar a orientação e inclinação, controle de sombras, acúmulo de calor e ventilação. Assim, é crucial discutir a escolha da tecnologia fotovoltaica desde as primeiras fases do processo de projeção para utilizar os módulos de maneira eficaz, entendendo suas funções e controlando os parâmetros que afetam seu desempenho [7].

DESENHO URBANO E GERAÇÃOD E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os parâmetros da morfologia urbana, como índice de ocupação, coeficiente de aproveitamento, volumetria e distribuição das edificações, influenciam o acesso ao sol. Quando os sistemas fotovoltaicos estão integrados às fachadas das edificações, a eficiência pode ser comprometida devido ao sombreamento causado pelos edifícios circundantes. [8], [9], [10] correlacionaram a demanda de energia em edificações e a geração de energia com altas densidades construtivas em áreas urbanas. Outros estudos investigaram os fatores morfológicos urbanos e seu impacto na disponibilidade de irradiação solar em coberturas e fachadas ([11]; [12]; [13]; [14]; [15]; [16]; [17]). [18] desenvolveram uma metodologia para otimizar a forma das edificações e o contexto urbano visando maximizar a irradiação solar. [19] e [20] analisaram como a largura e orientação das ruas, bem como a forma da cobertura e do envelope das edificações, podem influenciar o acesso ao sol. [21] identificaram que a densidade urbana, a orientação da fachada, a forma dos edifícios e a relação entre a altura das edificações e a largura das ruas são os principais fatores que afetam o potencial solar no contexto urbano.

Estudos como os de [22] mostraram que a combinação otimizada de parâmetros da forma urbana pode aumentar a irradiação solar em fachadas e coberturas em 9% e 45%, respectivamente. Concluíram também que a aleatoriedade da forma urbana tem um impacto significativo na irradiação incidente no solo e nas fachadas. [23] correlacionaram variáveis da geometria urbana e a disponibilidade de radiação solar em diferentes períodos, demonstrando que os arranjos urbanos influenciam significativamente a disponibilidade de energia solar tanto no solo quanto nas fachadas das edificações.

As pesquisas indicam que a morfologia urbana, na escala do bairro, impacta consideravelmente o potencial de geração de energia solar fotovoltaica, mas a maioria dos estudos foi realizada na Europa e não pode ser replicada diretamente para outras realidades. [24] analisaram diferentes tipologias urbanas para determinar qual apresentaria melhor potencial de geração de energia solar fotovoltaica em suas superfícies verticais e horizontais, destacando que a altura das edificações é fundamental ao analisar o desempenho do edifício isolado, mas não no contexto em que está inserido. A pesquisa de [25] mostrou que o aumento da taxa de ocupação melhora a razão entre geração e consumo de energia em fachadas e coberturas das edificações, mas essa tendência se inverte ao considerar apenas as fachadas.

O estudo de [26] para Maceió (Alagoas) verificou o potencial solar para coberturas de edifícios, inicialmente com pouca influência do entorno construído em termos de sombreamento de coberturas. Constatou também a dependência da verticalidade, do coeficiente de aproveitamento e da taxa de ocupação para otimizar o potencial de geração. [27] avaliaram a disponibilidade de irradiação solar no envelope das edificações em diferentes contextos urbanos, identificando sete parâmetros da forma urbana que influenciam a irradiação solar.

[28] avaliaram a influência do contexto urbano no potencial de geração de energia solar fotovoltaica considerando os climas de Florianópolis (Santa Catarina) e Fortaleza (Ceará), concluindo que arranjos uniformes de edificações são mais adequados para módulos fotovoltaicos em coberturas de edifícios baixos, enquanto arranjos aleatórios favorecem o uso em fachadas de edifícios altos. [29] otimizaram as formas urbanas para maximizar a irradiância em coberturas e minimizar em fachadas, constatando que

lotes pequenos e próximos com alta taxa de ocupação prejudicam os níveis de iluminância.

[30] analisaram, no bairro do Belenzinho (São Paulo), os parâmetros urbanísticos que maximizam ou minimizam a incidência de radiação solar nas coberturas das edificações, indicando que coeficientes intermediários de aproveitamento e taxa de ocupação de 0,70 são ideais para maximizar a geração de energia fotovoltaica na vizinhança, enquanto valores máximos são indicados na escala da edificação.

Conforme [23], os descritores da forma urbana têm um papel importante na maximização ou minimização da disponibilidade de radiação solar nas edificações, influenciando a quantidade de radiação solar que incide nas superfícies dos edifícios. Todos os estudos relacionados demonstram a importância de explorar a relação entre a configuração urbana e a geração de energia solar fotovoltaica de modo que se possa tirar maior proveito de sua utilização no contexto urbano.

EXPERIMENTAÇÃO

Este trabalho enquadra-se na Design Science (DS), um paradigma de pesquisa que, conforme [31], se preocupa com como as coisas devem ser para alcançar determinados objetivos, seja para solucionar problemas conhecidos ou para projetar algo novo. [32] destaca que a DS busca prescrever soluções que diminuam a distância entre teoria e prática, enquanto [33] consideram-na essencial nas áreas de engenharia, arquitetura e artes. [34] veem a DS como uma ciência que desenvolve soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas ou criar novos artefatos. A metodologia usada, Design Science Research (DSR), orienta-se à solução de problemas por meio da criação de artefatos ou sistemas que melhoram processos ou atividades. Esses artefatos são testados e refinados para atender aos critérios estabelecidos [35]. A DSR contribui para fortalecer a base de conhecimento existente, conforme [36], passando por camadas de design, desenvolvimento e uso do artefato.

CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Com base na revisão de literatura, para a simulações da forma urbana foram escolhidos parâmetros urbanísticos de aproveitamento de uso do solo que apresentam maior influência na disponibilidade de irradiação solar das edificações. Sendo eles: Coeficiente de Aproveitamento (CA), Índice de Ocupação (IO) e gabarito das edificações definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU 2016) de Salvador (Bahia)

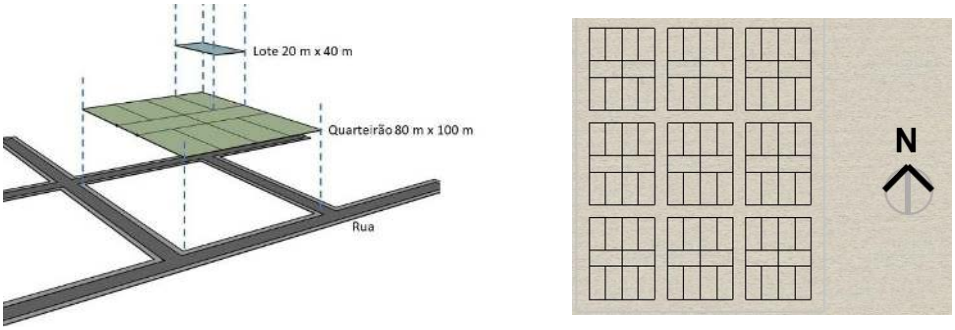
Tabela 1: Parâmetros urbanos – PPDU Salvador (2016)

Parâmetro urbano	definição	Valores utilizados
Índice de Ocupação Máxima (IO)	é dado pela relação entre a área de projeção da edificação e a área do terreno.	0,3; 0,5; 0,6 e 0,7
Coeficiente de aproveitamento (CA)	quota máxima de terreno por unidade habitacional.	0,5 (mínimo); 2,0 (básico); 4,0 (máximo).
Gabarito das edificações	altura limite permitida aos edifícios calculada pela distância entre o pavimento térreo e o nível da cobertura (*). (*) definidos conforme Área de Borda Marítima (ABM)	36,00 m; 45,00 m; 60,00 m; 75,00 m

Fonte: adaptado de PDDU (2016).

Para os cenários utilizados nas simulações foi proposto um contexto urbano genérico com uma área de 100 x 100 m representando os quarteirões da cidade, com dez lotes de 20 x 40 m cada, e vias locais de mão dupla, com estacionamento paralelo à calçada (Figura 1). A altura das edificações foi definida conforme o número de pavimentos propostos em cada uma das situações e considerando 3,00 m entre cada pavimento.

Figura 1: Contexto urbano proposto para as simulações



Fonte: a autora.

FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO

Os estudos de simulação foram realizados no programa Rhinoceros, utilizando o plug-in ClimateStudio[1] (v 1.9.8389.22035) com a ferramenta *Radiation Map* para avaliar os valores de irradiação solar. O plug-in considera fatores como o período do ano, a forma do edifício, os materiais das fachadas e do solo, e o contexto urbano, incluindo topografia e obstruções. A simulação requer o arquivo climático da localidade, em formato EPW[2], para Salvador. O programa quantifica a média de irradiação incidente em sensores virtuais nas superfícies das edificações[3], permitindo totalizar esses valores.

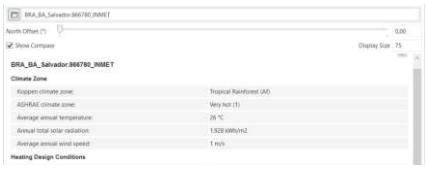
[1] É uma ferramenta de análise integrada nos ambientes Rhinoceros e Grasshopper, foi lançada pela empresa Solemma LLC , em substituição ao programa Diva.
[2] indicado e disponibilizado no PBE Edifica por meio do endereço: http://pbeedifica.com.br/arquivos-climaticos.
[3] Cada edificação é composta por cinco superfícies, sendo quatro fachadas e uma cobertura totalizando cinco linhas de informação por edificação.

Figura 2: Ferramenta de simulação ClimateStudio

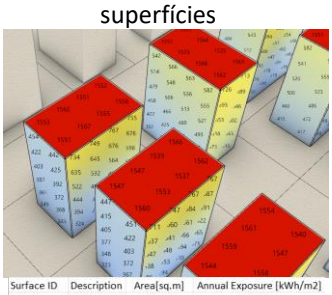
(a) módulo *Radiation Map*



(b) Arquivo EPW utilizado nas simulações



(c) Sensores virtuais nas superfícies



Surface ID	Description	Area[sq.m]	Annual Exposure [kWh/m2]
01_BL	01_BLOCO	485,75	1546,63
01_BL	01_BLOCO	217,50	569,52
01_BL	01_BLOCO	502,50	503,61
01_BL	01_BLOCO	217,50	491,20
01_BL	01_BLOCO	502,50	573,12

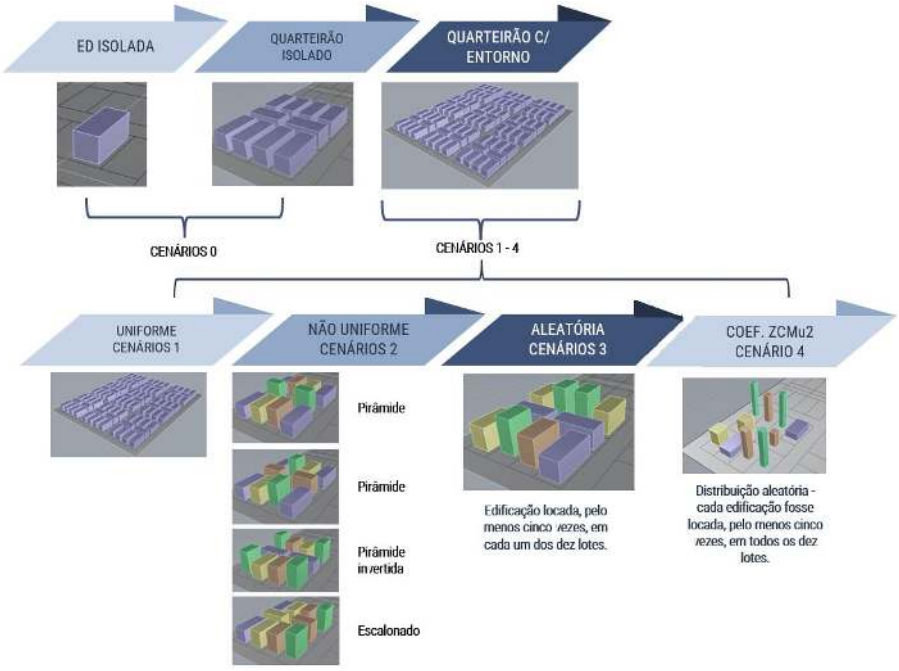
Fonte: a autora.

Ao término das simulação, o programa fornece os resultados expressos em Wh/m².ano, para cada uma das superfícies e foram exportados no formato CSV[4] para posterior tratamento e análise.

CENÁRIOS PROPOSTOS

Para que fosse possível avaliar individualmente a influência dos parâmetros urbanos, foram propostos cinco grupos de cenários para as simulações (Figura 3).

Figura 3: Cenários propostos para as simulações



Fonte: a autora.

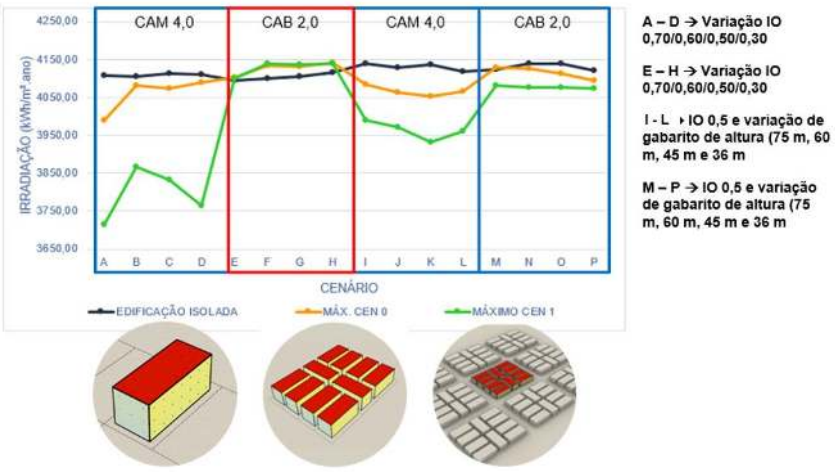
A seção a seguir apresenta um resumo das experimentações, os principais resultados obtidos e suas análises.

[4] O formato Valores Separados por Vírgula - CSV (do inglês *Comma-Separated-Values*) é um tipo especial de arquivo que pode ser criado ou editado no Excel. Em vez de armazenar informações em colunas, os arquivos CSV armazenam informações separadas por vírgulas (MICROSOFT, 2020).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Inicialmente, as simulações foram realizadas para edificações isoladas e em um quarteirão sem entorno (Cenário 0) e no contexto urbano (Cenário 1). A Figura 4 compara os valores máximos de IM (Irradiação Média) entre esses cenários. Verificou-se que, para um coeficiente de aproveitamento (CA) de 2,0, a influência do entorno foi pouco significativa. No entanto, com um CA de 4,0, os valores de IM foram menores, com uma diferença de até 10% em relação ao cenário sem entorno, indicando que maior densidade construtiva aumenta a influência do entorno sobre a radiação solar.

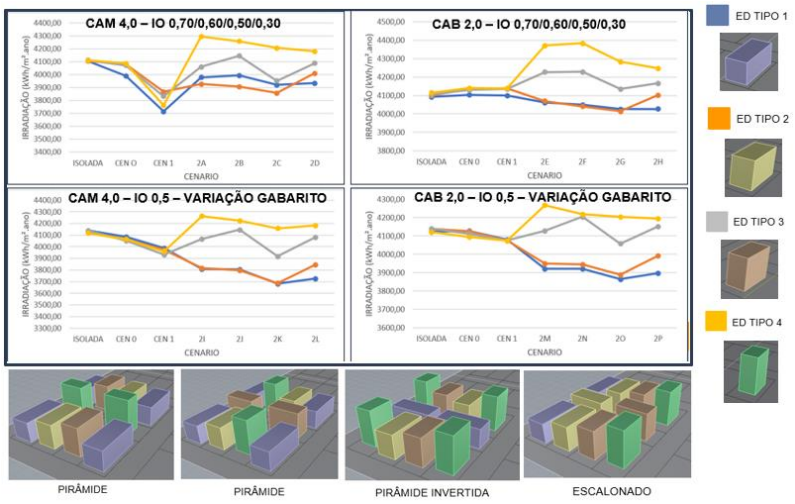
Figura 4: Comparação das simulações entre Cenários 0 e Cenários 1



Fonte: a autora.

Para os Cenários 2, as edificações foram dispostas de maneira não-uniforme em quatro arranjos diferentes (“Pirâmide”, “Pirâmide invertida” e “Escalonado”) (Figura 5). Observou-se que a variação na altura das edificações reduziu o impacto do entorno, mas os tipos de edificações 1 e 2 tiveram as maiores perdas de irradiação solar. As edificações mais altas (tipos 3 e 4) registraram maiores índices de irradiação em todas as posições, independentemente do CA utilizado.

Figura 5: Comparação das simulações para edificação isolada, Cenários 0, 1 e 2

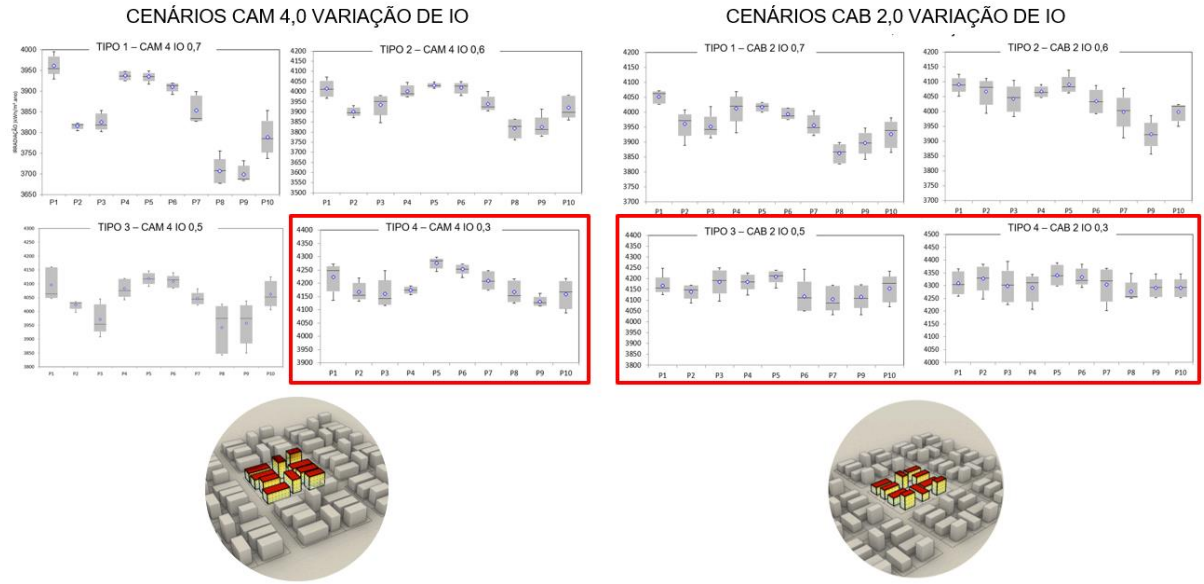


Fonte: a autora.

No Cenário 3, com distribuição aleatória dos blocos no quarteirão (Figura 6), as simulações mostraram que a distribuição espacial influenciou significativamente a

incidência de radiação solar, com edifícios mais baixos sendo mais afetados por sua posição dentro do quarteirão, especialmente com um CA de 4,0.

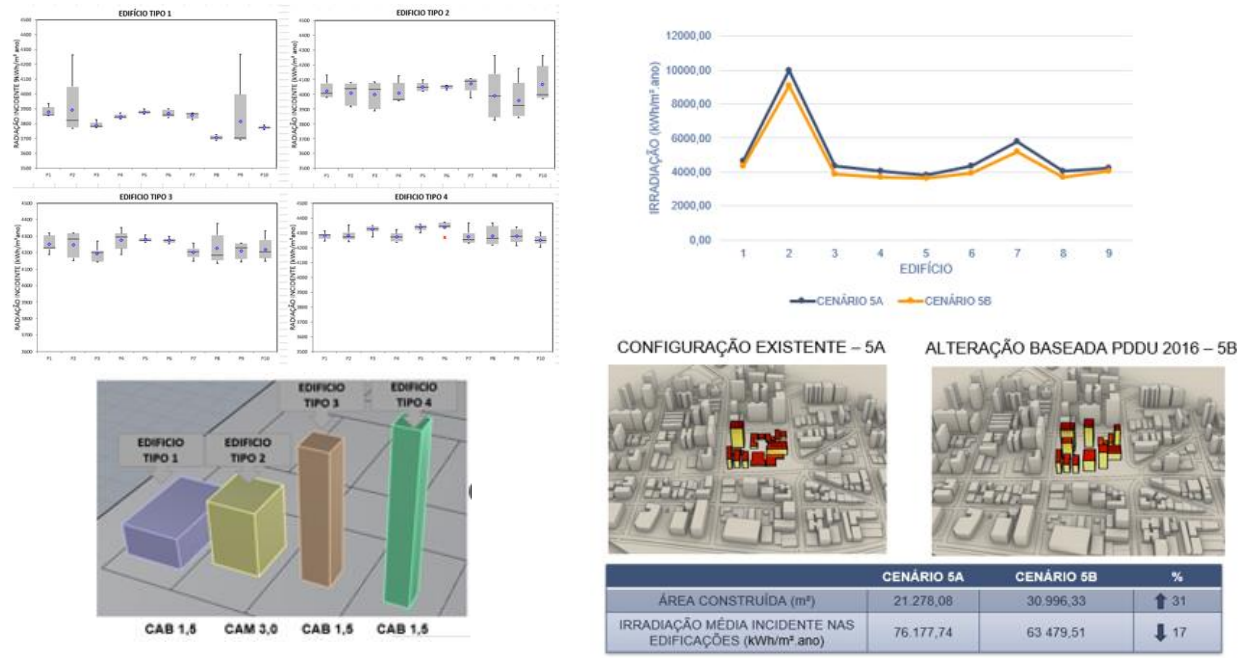
Figura 6: Comparação das simulações para edificação no Cenário 3 (variação IO)



Fonte: a autora.

Para o Cenário 4, com parâmetros urbanísticos específicos (Figura 7a), um CA menor resultou em menor variação nos valores médios de IM, favorecendo edificações de maior altura. No Cenário 5, com padrão de ocupação de Salvador (Figura 7b), foi observado que o aumento da densidade construtiva reduziu o potencial de geração solar.

Figura 7: Análise para: (a) Cenários 4; (b) Cenário 5



	CENÁRIO 5A	CENÁRIO 5B	%
ÁREA CONSTRUÍDA (m²)	21.278,08	30.996,33	⬆ 31
IRRADIAÇÃO MÉDIA INCIDENTE NAS EDIFICAÇÕES (kWh/m² ano)	76.177,74	63.479,51	⬇ 17

Fonte: a autora.

Esses resultados indicam que a configuração urbana, densidade construtiva e altura das edificações influenciam significativamente o potencial de geração de energia solar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a influência da morfologia urbana e dos parâmetros de densidade construtiva no potencial de geração de energia solar fotovoltaica em Salvador. As simulações mostraram que o coeficiente de aproveitamento (CA) e a configuração espacial das edificações impactam significativamente a irradiação solar incidente. Um CA menor (2,0) reduz a influência do entorno, enquanto um CA maior (4,0) aumenta a sensibilidade ao sombreamento. Edificações mais altas (tipos 3 e 4) apresentaram melhor desempenho em termos de captação de radiação solar, independentemente da posição, evidenciando a importância da verticalidade na maximização do potencial de geração. Estes achados estão alinhados com os resultados obtidos nas simulações dos Cenários 0 e 1, que indicaram que um CA de 4,0 resulta em uma redução na irradiação solar devido ao aumento da densidade construída.

Os resultados também indicaram que a distribuição espacial das edificações, seja uniforme ou aleatória, afeta a eficiência na geração de energia solar. Distribuições não-uniformes, especialmente com variações de altura, reduziram o impacto do sombreamento. No entanto, o aumento da densidade construtiva tende a diminuir o potencial de geração solar devido à maior incidência de sombras. A análise dos cenários, conforme a legislação urbanística de Salvador, mostrou que parâmetros como altura máxima permitida e taxa de ocupação influenciam diretamente na eficiência energética das soluções fotovoltaicas. A pesquisa reforça a necessidade de integrar considerações de planejamento urbano e critérios de eficiência energética para o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis e energeticamente eficientes. Estes resultados corroboram as observações de que estratégias de verticalização e diversificação de alturas podem aumentar o potencial de geração solar, conforme demonstrado nos Cenários 2, 3 e 4.

REFERÊNCIAS

[1] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Department of Economic and Social Affairs. Population Division. Global Population Growth and Sustainable Development. United States of America., n. 02, p.1-124, 2021. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/content/ global-population-growth. Acesso em: 11 jan. 2022.

[2] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Department of Economic and Social Affairs. Population Division. World Population Prospects. The 2018 Revision. United States of America, 2019. p.1-126. Disponível em: https://population.un.org/wup/publications/Files/WUP2018-Report.pdf. Acesso em: 11 jan. 2020.

[3] PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. p. 1-120. 2016. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio_UM_v10-2017-1.pdf. Acesso em: 26 jun. 2019.

[4] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). BEN Balanço Energético Nacional Relatório Síntese. 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-

pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

[5] ZOMER, Clarissa Debiazi. **Método de Estimativa da Influência do Sombreamento Parcial na Geração Energética de Sistemas Solares Fotovoltaicos Integrados em Edificações**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

[6] KUMAR, Nallapaneni Manoj; SUDHAKAR, K.; SAMYKANO, M. Performance comparison of BAPV and BIPV systems with c-Si, CIS and CdTe photovoltaic technologies under tropical weather conditions. **Case Studies in Thermal Engineering**, [s. l.], v. 13, p. 1-10, mar. 2019.

[7] CHIVELET, Núria Martin; SOLLA, Ignacio Fernandez. **Técnicas de vedação fotovoltaica na Arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2010. p. 194.

[8] BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. **Energy and Environment in Architecture**: a technical design guide. Nova York: E & Fn Spon, 2000. 168 p.

[9] STEEMERS, Koen. Energy and the city: density, buildings, and transport**. Energy And Buildings**, [s. l.], v. 2003, n. 35, p. 3-14, 2003.

[10] STRØMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. A. The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 2011, n. 43, p. 2011-2020, 2011.

[11] CHENG, Vicky et al. Compact cities in a sustainable manner. In: SOLAR CITIES CONGRESS, 2, 2006, Oxford. International Solar Cities Congress, Oxford, 2006. p. 1-11.

[12] MONTAVON, Marylène. **Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the Solar Potential**. 2010. Dissertação (Mestrado) - À LA FACULTÉ Environnement Naturel, Architectural Et Construit, Suíça, 2010.

[13] KANTERS, Jouri; HORVAT, Miljana. Solar Energy as a Design Parameter in Urban Planning. **Energy Procedia**, [s. l.], v. 30, p. 1143-1152, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.127. Acesso em: 14 maio 2019.

[14] KANTERS, Jouri; WALL, Maria. The impact of urban design decisions on net zero energy solar buildings in Sweden. **Urban, Planning and Transport Research**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 312-332, jan. 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/21650020.2014.939297. Acesso em: 13 out. 2020.

[15] CHATZIPOULKA, Christina; COMPAGNON, Raphaël; NIKOLOPOULOU, Marialena. Urban geometry and solar availability on façades and ground of real urban forms: using London as a case study. **Solar Energy**, [s.l.], v. 138, p. 53-66, nov. 2016. DOI:10.1016/j.solener.2016.09.005. Acesso em: 14 maio 2020.

[16] MOHAJERI, Nahid et al. Effects of urban compactness on solar energy potential. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 93, p. 469-482, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.053. Acesso em: 19 out. 2021.

[17] DEVI, Poonam; LOWRY, John Hyrum; WEBER, Eberhard. Global environmental impact of informal settlements and perceptions of local environmental threats: An empirical case study in Suva, Fiji. **Habitat International**, [s.l.], v. 69, p. 58-67, set. 2017. DOI:10.1016/j.habitatint.2017.08.005.

[18] KÄMPF, Jérôme Henri; ROBINSON, Darren. Optimisation of urban energy demand using an evolutionary algorithm. In: **INTERNATIONAL IBPSA**

CONFERENCE, 11., 2009, Glasgow, Scotland. Anais... Glasgow: IBPSA, 2009. p. 668-673.

[19] VINCENZO, Maria Carla di; KESTEN, Dilay; INFIELD, David. **Assessment of performance of building shading device with integrated photovoltaics in different urban scenarios**. In: IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), [s.l.], p. 1-6, dez. 2010. DOI: 10.1109/ICSET.2010.5684450.

[20] VAN ESCH, M. M. E.; LOOMAN, R. H. J.; BRUIN-HORDIJK, G. J. The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 47, p. 189-200, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.042. Acesso em: 13 maio 2018.

[21] SANAIEIAN, Haniyeh; TENPIERIK, Martin; VAN DER LINDEN, Kees; MOFIDI SHEMRANI, Seyed Majid. Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. **Renewable and Sustainable Energy** Reviews, [s.l.], v. 38, p. 551–560, out. 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.06.007.

[22] SARRALDE, Juan José; QUINN, David James; WIESMANN, Daniel; STEEMERS, Koen. Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 73, p. 10-17, 2015. DOI: 10.1016/j.renene.2014.06.028.

[23] CHATZIPOULKA, Christina; COMPAGNON, Raphaël; NIKOLOPOULOU, Marialena. Urban geometry and solar availability on façades and ground of real urban forms: using London as a case study. **Solar Energy**, [s.l.], v. 138, p. 53-66, nov. 2016. DOI:10.1016/j.solener.2016.09.005. Acesso em: 14 maio 2020.

[24] GAVIRIA, L. R.; PEREIRA, F. O. R.; MIZGIER, M. O. Influência da configuração urbana na geração fotovoltaica com sistemas integrados às fachadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 07–23, out./dez. 2013. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/40646.

[25] GAVIRIA, R. G. Influência da configuração urbana na geração energética de sistemas fotovoltaicos integrados às fachadas. 2013. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

[26] MARTINS, T.; ADOLPHE, L.; BASTOS, L. From solar constraints to urban design opportunities: optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 43-56, 2014.

[27] XXX – COMPLETAR

[28] DIDONÉ, E.; WAGNER, A.; OSCAR RUTTKAY PEREIRA, F. Avaliação da influência do contexto urbano na radiação solar para geração de energia. **Revista Brasileira De Gestão Urbana**, v. 9, 2017. Disponível em: https://periodicos.pucpr.br/Urbe/article/view/22228. Acesso em: 31 maio 2024.

[29] BIRCK, M. B.; AMORIM, C. N. D. Condicionantes solares como princípio orientador da forma urbana: estudo de caso contextualizado no Distrito Federal. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 591-609, jul./set. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300447. Acesso em: 24 maio 2019.

[30] GIROTTI, C.; MARINS, K. R. C.; LARA, A. H. Análise da morfologia urbana para maximização de geração de energia fotovoltaica no Belenzinho, em São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 7-22, out./dez. 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000400340. Acesso em: 15 jul. 2020.

[31] SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3. ed., Cambridge: MIT Press, 1996.

[32] VAN AKEN, Joan Ernst. The Research design for Design Science Research in Management. **British Journal of Management** [s. l.], 16. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2005.00437.x. Acesso em: 15 maio 2018.

[33] WALLS, J. G.; WIDEMEYER, G. R.; SAWY, O. A. E. Building an Information System Design Theory for Vigilent EIS. **Information Systems Research**, v. 3, n. 1, p. 36-59, mar. 1992.

[34] DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JUNIOR, José Antônio Valle. **Design Science Research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. p. 204.

[35] MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 251-266, dez. 1995. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2. Acesso em: 13 jan. 2019.

[36] GILL, T. Grandon; HEVNER, Alan R. A Fitness-Utility Model for Design Science Research. **Service-Oriented Perspectives in Design Science Research**, [s. l.], p. 237-252, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20633-7_17. Acesso em: 20 jun. 2019.