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.v21i1.8368

Potencial de produção alimentar em fachadas urbanas: uma abordagem baseada na integral diária de luz

Potential for food production on urban façades: a daily light integral approach

João Alencastro
University of Plymouth | Plymouth | Reino Unido | joao.alencastro@plymouth.ac.uk
Alexandre Reis Felippe
Universidade do Vale do Itajaí | Itajaí | Brasil | alexandrefelippe@univali.br
Marlos Hardt
Pontifícia Universidade Católica do Paraná | Curitiba | Brasil | marlos.hardt@pucpr.br
Rafael Prado Cartana
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | rafael.cartana@ufsc.br
Fernando Oscar Ruttkay Pereira
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | ruttkay.pereira@ufsc.br
Raphaela Walger da Fonseca
Universidade do Vale do Itajaí | Itajaí | Brasil | raphaela.walger@univali.br

Resumo

A crescente densificação urbana impõe desafios à integração de sistemas produtivos no ambiente construído, especialmente no que se refere à agricultura urbana em fachadas. Nesse contexto, a disponibilidade de luz fotossinteticamente ativa constitui um fator limitante para o desenvolvimento vegetal. O presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial de produção alimentar em fachadas urbanas a partir da integral diária de luz (Daily Light Integral — DLI), utilizando simulação computacional anual baseada no clima. A pesquisa foi aplicada a recortes urbanos dos municípios de Balneário Camboriú (SC) e Florianópolis (SC), caracterizados por alta densidade construtiva. Os resultados foram organizados em classes de aptidão luminosa, permitindo a elaboração de um zoneamento vertical das fachadas. A análise evidencia a forte influência da morfologia urbana na disponibilidade de luz e, consequentemente, na viabilidade da agricultura em fachadas. Conclui-se que a DLI pode ser incorporada como indicador ambiental no planejamento urbano, ampliando o papel da radiação solar para recurso produtivo.

Palavras-chave: Agricultura Urbana. Fachadas Verdes. DLI. Simulação Ambiental. Morfologia Urbana.

Abstract

Increasing urban densification poses challenges to the integration of productive systems within the built environment, particularly with regard to urban agriculture on building façades. In this context, the availability of photosynthetically active radiation constitutes a limiting factor for plant development. This study aims to evaluate the potential for food production on urban façades based on the Daily Light Integral (DLI), using annual climate-based computational

Como citar:
ALENCASTRO, et al, Potencial de produção alimentar em fachadas urbanas: uma abordagem baseada na integral diária de luz. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.

simulation. The research was applied to urban areas in the municipalities of Balneário Camboriú (SC) and Florianópolis (SC), characterized by high building density. The results were organized into classes of light suitability, enabling the development of a vertical zoning of façades. The analysis highlights the strong influence of urban morphology on light availability and, consequently, on the feasibility of façade-based agriculture. It is concluded that DLI can be incorporated as an environmental indicator in urban planning, expanding the role of solar radiation as a productive resource.

Keywords: Urban farming. Green walls. DLI. Environmental simulation. Urban morphology.

INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada deverá concentrar cerca de 70% da população mundial nas cidades até 2050 [1]. Esse adensamento intensifica a demanda por infraestrutura e recursos, ao mesmo tempo em que gera impactos ambientais e microclimáticos, especialmente pela formação de cânions urbanos decorrentes da verticalização.
O envelopamento vegetal de edificações, por meio de coberturas e fachadas verdes, apresenta potencial para mitigar o efeito de ilha de calor e melhorar o conforto térmico [2]. Além disso, contribui para a redução de poluentes atmosféricos, podendo diminuir em até 50% a concentração de partículas PM10 em cânions urbanos [3], além de favorecer a biodiversidade, a saúde urbana e a gestão hídrica [4]. Diversas cidades já adotam políticas de incentivo ou regulamentações que tornam obrigatória a aplicação de superfícies vegetadas [5].

Iniciativas como a *Parisculteurs*, na França, demonstram o potencial de integrar o envelopamento vegetal à produção de alimentos, ampliando os benefícios ambientais e sociais da agricultura urbana [6]. Nesse contexto, o uso de fachadas como superfícies produtivas desponta como alternativa promissora em áreas de alta verticalização [7], embora sua viabilidade dependa da disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa [8][9]. O indicador *Daily Light Integral* (DLI) permite avaliar essa disponibilidade ao integrar intensidade luminosa e duração da exposição [10][11].

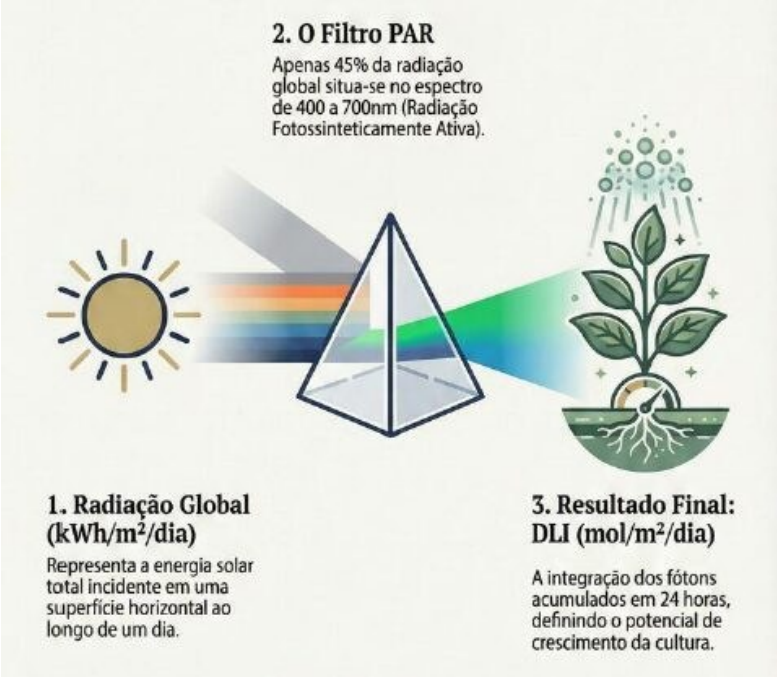
Assim, este trabalho tem como objetivo analisar o potencial de produção alimentar em fachadas urbanas de Santa Catarina, considerando a influência da morfologia e da orientação das superfícies verticais sobre a oferta de luz, utilizando recortes urbanos dos municípios de Balneário Camboriú e Florianópolis.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A DLI é amplamente utilizada em estudos de horticultura como indicador da quantidade total de fótons na faixa da radiação fotossinteticamente ativa (*Photosynthetically Active Radiation* – PAR) disponíveis para a fotossíntese ao longo de um dia [10][11]. Diferentemente de medidas instantâneas de radiação, essa métrica permite avaliar de forma integrada a disponibilidade luminosa, apresentando relação direta com o crescimento e a produtividade vegetal [8][9].

A DLI é obtida a partir da integração temporal da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD), expressa em $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot t^{-1}$, ao longo de um período de 24 horas (Figura 1). Em termos operacionais, essa integração pode ser realizada a partir de dados horários ou sub-horários de radiação. Quando se dispõe de valores de radiação solar global, torna-se necessário realizar a conversão para a faixa da PAR, considerando que aproximadamente 45% a 50% da radiação solar incidente corresponde a essa faixa espectral [8][9].

Figura 1 – Conversão de radiação global para DLI.



Fonte: Adaptado de Akitsu et al. [8] and Faust [9].

A conversão de radiação global ($W \cdot m^{-2}$) em PPFD pode ser realizada por meio de fatores empíricos, sendo comum a utilização de coeficientes próximos de 2,02 $\mu mol \cdot J^{-1}$ para a transformação de energia radiante em fluxo de fótons [12]. A partir dessa conversão, a DLI é obtida pela soma dos valores instantâneos ao longo do dia, resultando em unidades de $mol \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$. Estudos de referência indicam que diferentes culturas apresentam faixas específicas de exigência de DLI, variando desde valores reduzidos, associados a espécies tolerantes à sombra, até níveis elevados requeridos por culturas de maior demanda energética, como espécies frutíferas [10][11]. Essas faixas constituem base consolidada para a avaliação da adequação do plantio em função da disponibilidade de luz.

No contexto urbano, a distribuição da radiação solar é fortemente influenciada pela morfologia do tecido construído. A presença de edificações altas e com reduzidos afastamentos diminui o fator de visão do céu e altera significativamente a incidência de radiação direta e difusa [13], sobretudo em superfícies verticais.

Além disso, sistemas de vegetação vertical apresentam desempenho condicionado às condições microclimáticas locais, incluindo disponibilidade de luz, temperatura do ar e regimes de ventilação [14]. Nesse sentido, a análise da DLI em fachadas urbanas demanda a integração entre climatologia urbana, simulação ambiental e conhecimentos de fisiologia vegetal, de modo a subsidiar a avaliação da aptidão produtiva desses sistemas.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido a partir da simulação da radiação solar global anual de dois recortes urbanos localizados em Balneário Camboriú (latitude 26° 59’ 27”, longitude 48° 38’ 06”) e Florianópolis (latitude 27° 35' 49'' Sul, longitude 48° 32' 58'' Oeste), caracterizados por elevada densidade construtiva e forte verticalização. Os recortes urbanos estudados das cidades de Balneário Camboriú (Figura 2) e Florianópolis (Figura 4) foram escolhidos de acordo com sua densidade construtiva e localização central, caracterizando áreas verticalizadas em ambos os contextos urbanos. Considerando as diferenças morfológicas principalmente decorrentes dos gabaritos e afastamentos regulamentados em cada cidade, escolheram-se trechos com a maior similaridade possível. As áreas selecionadas apresentam dimensões aproximadas de 350 m × 650 m (23 ha).

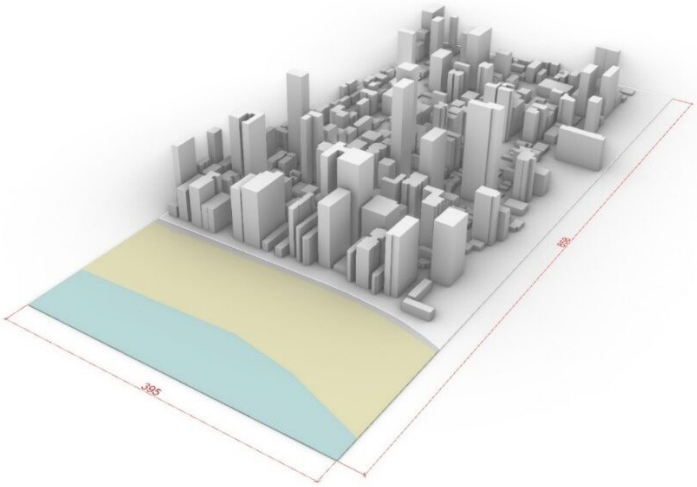
A modelagem tridimensional considerou a geometria das edificações, os afastamentos entre torres e a largura das vias, de modo a representar adequadamente o DLI resultante com base na radiação total incidente e sombreamento urbano (Figuras 3 e 5).

Figura 2 –Recorte urbano de Balneário Camboriú.



Fonte: Google Earth.

Figura 3 – Modelo tridimensional do trecho urbano de Balneário Camboriú.



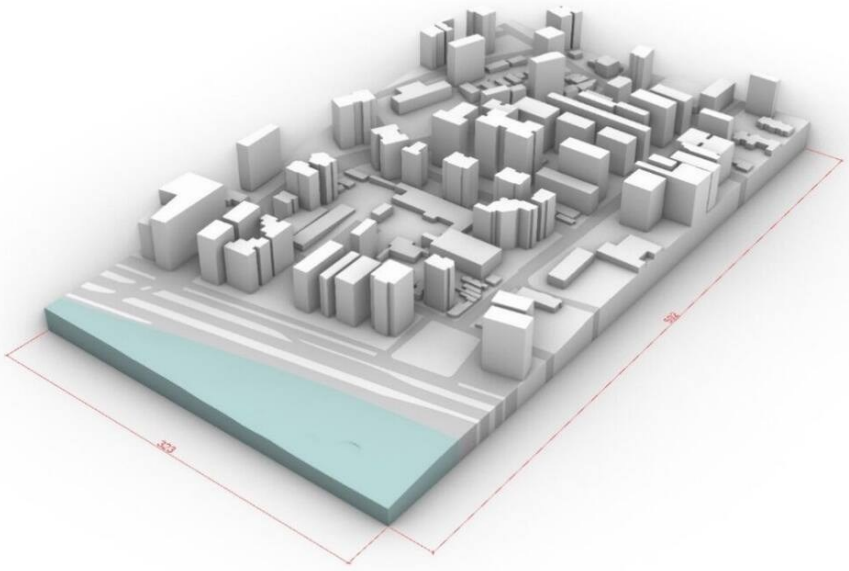
Fonte: os autores.

Figura 4 –Recorte urbano de Florianópolis.



Fonte: Google Earth.

Figura 5 – Modelo tridimensional do recorte urbano de Florianópolis.



Fonte: os autores.

A simulação da radiação solar foi realizada com base em arquivos climáticos do tipo TMYx [15] (Tabela 1), amplamente utilizado em estudos de desempenho ambiental por representar condições climáticas típicas.

Tabela 1 – Arquivos Climáticos utilizados para simulação

Cidade	Arquivo Climático Utilizado
Florianópolis	BRA_SC_Florianopolis-Luz.Intl.AP.838990_TMYx.2009-2023.epw
Balneário Camboriú	BRA_SC_Itajai.869480_TMYx.2009-2023.epw

Fonte: os autores.

Foi utilizado o software Rhinoceros 3D [16] e o plugin Grasshopper [17] para modelagem paramétrica e as aplicações do LadyBug Tools [18] para simulação de radiação incidente nas fachadas. O Honeybee [19] foi o utilizado para gerar as simulações. Este aplicativo utiliza o *Radiance* [20] como mecanismo de simulação. Os parâmetros para descrição do *Radiance* e respectivos materiais podem ser visualizados nas Tabelas 2 e 3. Foram consideradas 2 reflexões ambientais (*ambient bounces*), uma vez que o modelo não apresenta geometrias complexas, permitindo a redução do tempo de simulação sem comprometer significativamente a precisão dos resultados.

Tabela 2 – Parâmetros de descrição dos materiais do *Radiance*

Materiais	Refletância	Especularidade	Rugosidade
Solo	0.1	0.02	0.1
Edificações	0.3	0.02	0.05

Fonte: os autores.

Tabela 3 – Parâmetros do *Radiance* adotados para as simulações

Parâmetro	Nome	Valor
-ab	*Ambient Bounces*	2
-ad	*Ambient Divisions*	600
-as	*Ambient Super-Samples*	100
-lr	*Limit Reflections*	3
-lw	*Limit Weight*	0,02

Fonte: os autores.

CONVERSÃO DE IRRADIAÇÃO SOLAR EM DLI

A radiação solar diária (kWh·m^{-2}·dia^{-1}) foi convertida em DLI (mol·m^{-2}·dia^{-1}) por meio do coeficiente empírico de 2,02 µmol·J^{-1}, proposto por Reis e Ribeiro [12], o qual já incorpora a fração PAR da radiação global (~45%), convertendo diretamente a energia radiante global em fluxo de fótons fotossinteticamente ativos. O DLI foi obtido conforme Equação 1:

Equação 1 – Conversão de radiação solar diária em DLI

$$\text{DLI} = E \times 2{,}02 \times 3{,}6$$

onde *E* é a radiação solar diária em kWh·m⁻²·dia⁻¹, 2,02 é o coeficiente de conversão em µmol·J⁻¹ e 3,6 é o fator de conversão de kWh para MJ, resultando em DLI expresso em mol·m⁻²·dia⁻¹.

Os valores contínuos de DLI foram reclassificados em classes de aptidão luminosa para produção alimentar. Essa classificação foi fundamentada nas faixas fisiológicas de resposta de culturas alimentares [8][10][11], sendo adaptada ao contexto de superfícies verticais. A Tabela 4 apresenta aptidão luminosa para produção alimentícia onde cinco categorias foram estabelecidas (F0 a F5).

Tabela 4: Classe de aptidão para culturas alimentares

Classe	DLI (mol.m^{-2}.dia^{-1})	Aptidão luminosa
F0	<4	Inapto
F1	4 – 8	Muito baixa
F2	8 – 14	Baixa
F3	14 – 22	Moderada
F4	>22	Alta

Fonte: os autores.

A análise considerou ainda morfologia urbana, a orientação das fachadas e a variação da DLI ao longo da altura das edificações, reconhecendo a influência desses fatores na disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa [13]. Por fim, foi elaborada uma matriz de adequação entre classes de DLI e grupos de culturas alimentares, permitindo a identificação das tipologias de cultivo mais adequadas para cada setor de fachada.

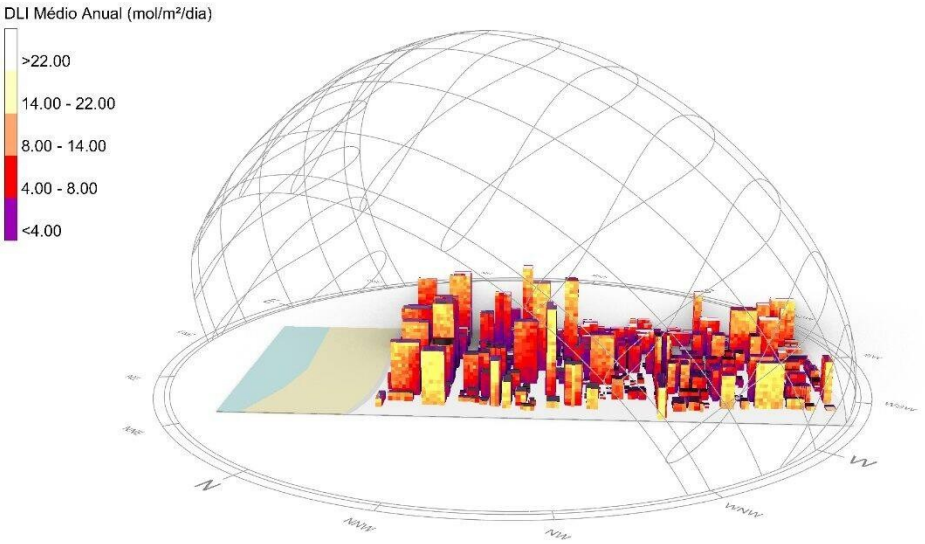
Para a sugestão de espécies vegetais distribuídas ao longo das fachadas adotou-se categorias de culturas alimentares com base nas classes de aptidão lumínica. Ao invés de limitar a escolha a determinadas espécies vegetais, foram propostas categorias divididas em umbrófilas (baixa demanda solar), espécies de meia-sombra e heliófitas (alta demanda solar), considerando também a tolerância térmica e as exigências fotossintéticas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam uma distribuição heterogênea da DLI nas fachadas urbanas, para ambas as cidades, evidenciando a forte influência da morfologia urbana, ver Figuras 6 a 12. Em áreas de maior densidade construtiva, observa-se redução significativa da disponibilidade de luz, com valores na classe F0, inapta ao cultivo (DLI < 4 mol·m⁻²·dia⁻¹) e na classe F1, de aptidão muito baixa (4 < DLI < 8 mol·m⁻²·dia⁻¹), especialmente nos pavimentos inferiores e em fachadas com orientação desfavorável em consonância com Oke [13]. A distribuição da DLI nas fachadas urbanas com base nas simulações desenvolvidas é apresentada nas Figuras 6 a 12 por meio de mapa de cores falsas. Observa-se que as fachadas nas áreas perimetrais (bordas) dos modelos devem ser descartadas. Os modelos desconsideram o restante do entorno real não modelado e as fachadas periféricas não apresentam o potencial sombreamento de edificações adjacentes.

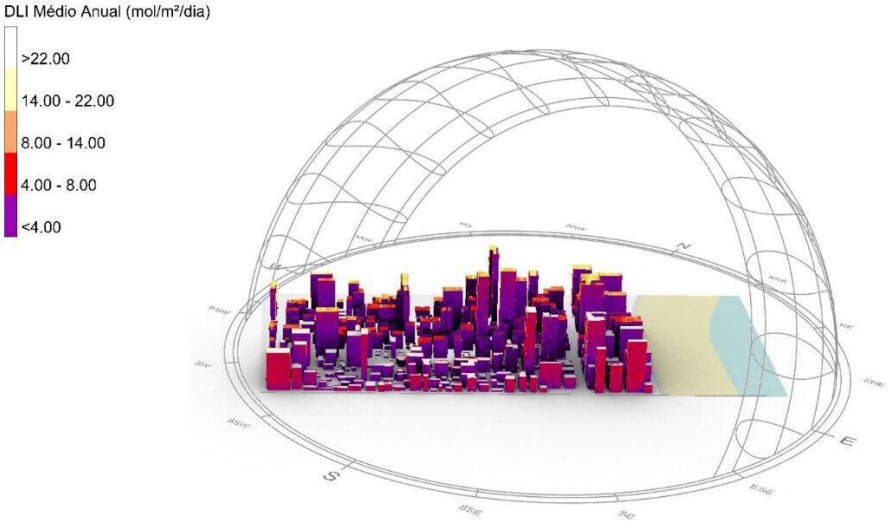
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8368

Figura 6 – Distribuição da DLI nas fachadas urbanas de Balneário Camboriú – Fachada Noroeste



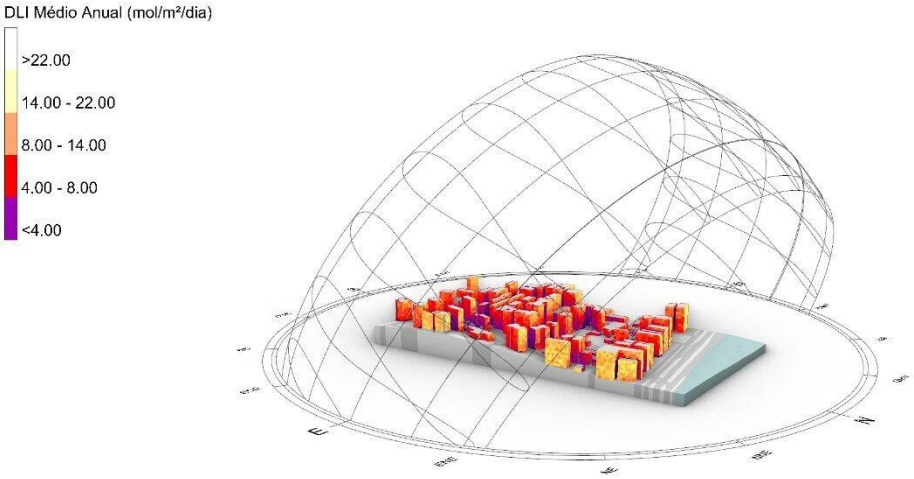
Fonte: os autores.

Figura 7 – Distribuição da DLI nas fachadas urbanas de Balneário Camboriú – Fachada Sudeste



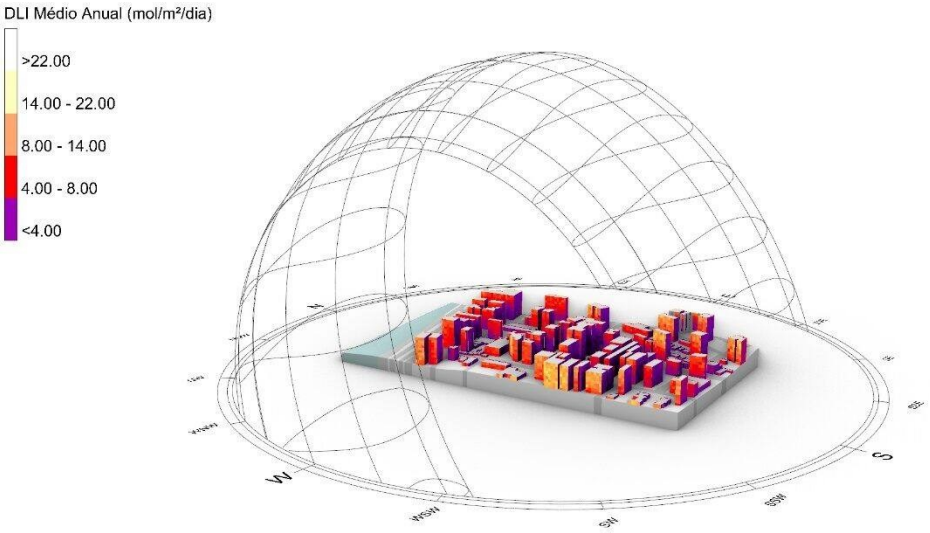
Fonte: os autores.

Figura 8 – Distribuição da DLI nas fachadas urbanas de Florianópolis - Fachadas Norte e Leste



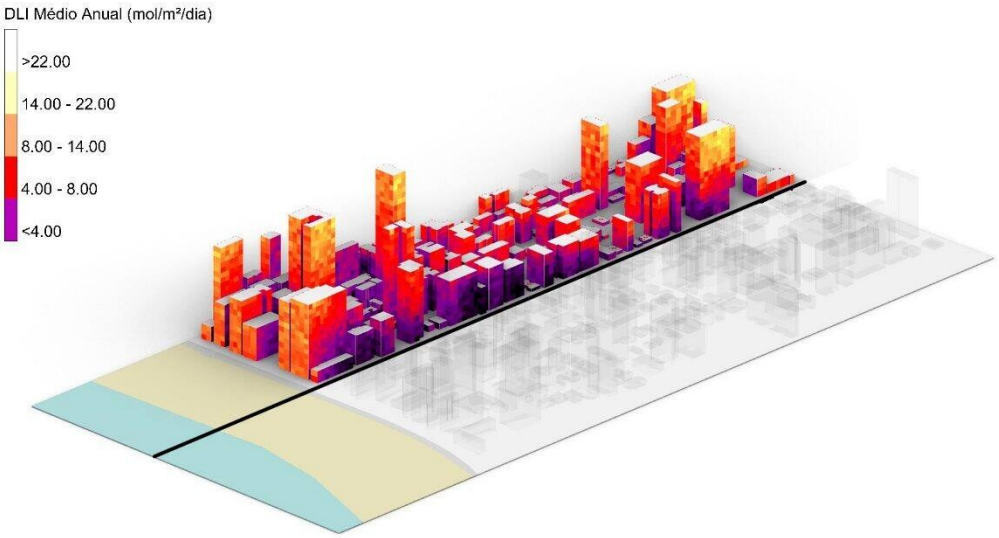
Fonte: os autores.

Figura 9 – Distribuição da DLI nas fachadas urbanas de Florianópolis – Fachada Sul e Oeste



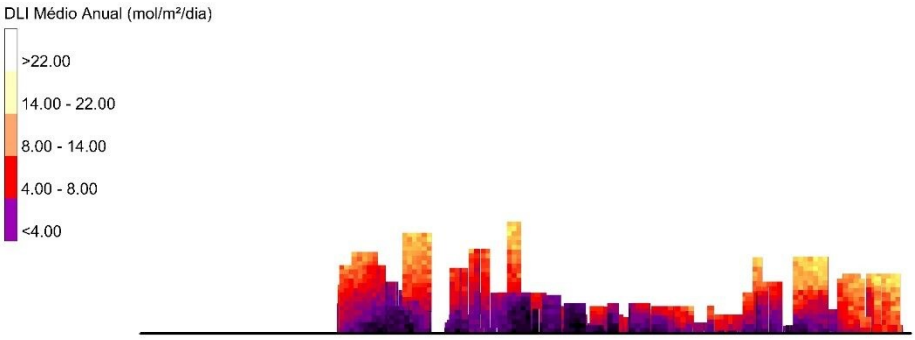
Fonte: os autores.

Figura 10 – Distribuição da DLI nas fachadas urbanas - Corte longitudinal perspectivado do recorte Balneário Camboriú



Fonte: os autores.

Figura 11 – Distribuição da DLI nas fachadas urbanas – vista da seção longitudinal em Balneário Camboriú – Fachada Noroeste



Fonte: os autores.

Figura 12 – Distribuição da DLI nas fachadas urbanas – vista da seção longitudinal em Balneário Camboriú – Fachada Sudeste



Fonte: os autores.

A análise demonstra que fachadas voltadas para noroeste em Balneário Camboriú (Figura 6) e fachadas voltadas para norte em Florianópolis (Figura 8) apresentam maior potencial para produção alimentar devido a maior disponibilidade de DLI - predominantemente classe F3. As fachadas voltadas para sudeste em Balneário Camboriú (Figura 7) e fachadas voltadas para sul em Florianópolis (Figura 9) apresentam limitações significativas, onde a disponibilidade de DLI encontra-se na sua maioria nas classes F0 e F1, inapto e muito baixa aptidão luminosa. Fachadas voltadas para leste e oeste em Florianópolis (Figuras 8 e 9) apresentam comportamento intermediário, com variações ao longo do dia na classe F2. A classe F4, caracterizadas pela aptidão luminosa alta, não foi estabelecida em nenhuma das fachadas nas orientações solares dos modelos simulados. Nas Figuras 10, 11 e 12, observa-se a estratificação das classes de aptidão luminosa, onde o DLI disponível é variável em razão da altura das edificações e o efeito do sombreamento de edificações adjacentes. As classes de aptidão luminosa mais altas também ocorrem nas fachadas dos edifícios próximos à orla e no limite oposto do trecho onde há redução de gabarito, onde o efeito de sombreamento é reduzido.
Esse padrão é consistente com estudos de desempenho ambiental que relacionam orientação solar e acesso à radiação em superfícies edificadas [7]. Assim, o potencial produtivo das fachadas está diretamente associado à orientação e à configuração urbana.

Logo, os resultados evidenciam que a verticalização intensa pode limitar a agricultura em fachadas, como pode ser observado nas Figuras 10, 11 e 12, uma vez que o sombreamento entre edificações reduz a DLI disponível. Esse efeito reforça a necessidade de integrar critérios ambientais no planejamento urbano [14].

Com base nas DLIs resultantes e respectivas orientações solares, foram propostas recomendações de tipologias de cultivo mais adequadas para cada setor de fachada, ver Quadro 1.

A matriz de adequação agrícola foi construída combinando as classes de disponibilidade luminosa (DLI) com a orientação das fachadas. Enquanto a classe de DLI define a quantidade de luz disponível para fotossíntese, a orientação solar influencia o regime de insolação e as condições térmicas locais, orientando a seleção preferencial de culturas.

Quadro 1 – Influência da orientação solar urbana e DLI resultante no potencial produtivo.

Classe / Orientação	**F1** (4–8 mol·m⁻²·dia⁻¹) aptidão muito baixa	**F2** (8–14 mol·m⁻²·dia⁻¹) aptidão baixa	**F3** (14–22 mol·m⁻²·dia⁻¹):aptidão moderada	**F4** (> 22 mol·m⁻²·dia⁻¹):alta aptidão
Norte Ideal para culturas exigentes	Espécies umbrófilas (necessitam de pouco sol).	Espécies de meia-sombra com tolerância à irradiação constante (se	Espécies heliófilas de alta exigência fotossintética (precisam de sol ao	Espécies heliófilas de alta exigência fotossintética (precisam de sol ao

		desenvolvem com pouco sol, mas precisam de boa luminosidade ao longo do dia todo e do ano todo).	longo do dia, o ano todo)	longo do dia, o ano todo)
Leste Adequado, risco de baixa carga térmica no inverno	Espécies umbrófilas estritas (necessitam de muito pouco sol).	Espécies de meia-sombra com tolerância à irradiação ocasional (se desenvolvem com pouco sol e predominância de luz pela manhã).	Espécies de sol pleno adaptadas a baixa carga térmica (precisam de sol e se desenvolvem bem apenas com o sol da manhã).	Espécies de sol pleno adaptadas a baixa carga térmica (precisam de sol e se desenvolvem bem apenas com o sol da manhã).
Oeste Adequado, risco de alta carga térmica no verão	Espécies umbrófilas estritas (necessitam de muito pouco sol).	Espécies de meia-sombra com tolerância à irradiação ocasional e stress térmico (se desenvolvem com pouco sol e predominância de luz à tarde).	Espécies de sol pleno com alta tolerância térmica e de radiação (precisam de sol e se desenvolvem bem apenas com o sol da tarde).	Espécies de sol pleno com alta tolerância térmica e de radiação (precisam de sol e se desenvolvem bem com o sol da tarde).
Sul Limitante	Espécies umbrófilas estritas (necessitam de muito pouco sol e resistentes a stress térmico).	Espécies umbrófilas estritas (necessitam de muito pouco sol e resistentes a stress térmico).	Espécies umbrófilas (necessitam de pouco sol, com exposição no início da manhã e final da tarde no verão, com possível stress térmico). Sem exposição solar no inverno.	Espécies umbrófilas (necessitam de pouco sol, com exposição no início da manhã e final da tarde no verão, com possível stress térmico). Sem exposição solar no inverno.

Obs.: F0 (< 4 mol·m^{-2}·dia^{-1}): inapto para produção alimentar. Fonte: os autores.

É importante ressaltar que a aptidão de espécies vegetais em sistemas de paredes verdes inseridos em cânions urbanos litorâneos, como os observados em Florianópolis e Balneário Camboriú, não pode ser plenamente explicada apenas pela disponibilidade de radiação solar (DLI). Embora esta pesquisa adote o DLI como variável central de análise, reconhece-se como limitação metodológica a não incorporação de outros fatores bióticos e abióticos relevantes, como o regime de ventos intensificado pelo efeito Venturi, a salinidade associada ao spray marinho e a restrição higrotérmica decorrente do reduzido volume de substrato. Tais variáveis exercem influência direta sobre processos fisiológicos essenciais, como evapotranspiração, balanço osmótico e integridade dos tecidos vegetais, condicionando o desempenho das espécies [14][21][22].

Adicionalmente, a própria morfologia arquitetônica e urbana aporta variações significativas no regime de radiação incidente, o que também extrapola o escopo analítico adotado. Elementos como marquises tendem a reduzir substancialmente a incidência solar direta, criando zonas de sombreamento persistente. O uso de vidros refletivos pode ainda alterar o balanço radiativo local ao intensificar componentes difusas por múltiplas reflexões, e a proximidade entre torres gera padrões de sombreamento sazonal crítico, especialmente em tecidos urbanos densos [13][23][24]. Esses aspectos, embora reconhecidos, não foram modelados em detalhe neste estudo.

Por fim, destaca-se que a heterogeneidade microclimática ao longo do gradiente vertical das fachadas, com variações de irradiação, temperatura, umidade e vento, reforça a necessidade de abordagens integradas, como uma setorização ecológica vertical. Conforme discutido por Hardt e Duarte [4], o desempenho de sistemas de envelopamento vegetal depende da articulação entre variáveis ambientais e decisões projetuais. Assim, ainda que o presente trabalho privilegie a análise da radiação, há consciência de que o desempenho das paredes verdes em ambientes urbanos resulta da interação sistêmica entre múltiplos fatores visando seu aproveitamento como infraestrutura verde e a provisão de serviços ecossistêmicos efetivos

CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que a disponibilidade de luz, expressa pela DLI, constitui um fator determinante para a viabilidade da agricultura urbana em fachadas. A análise evidenciou que a morfologia urbana (gabarito e densidade) exerce forte influência sobre essa variável, condicionando o potencial produtivo das superfícies verticais.
A metodologia proposta, baseada na simulação ambiental e na reclassificação da DLI em classes de aptidão, é aplicável ao zoneamento de fachadas para a definição de estratégias de cultivo, em consonância com abordagens contemporâneas de integração entre ambiente construído e sistemas produtivos [7].
Conclui-se que a incorporação da DLI como indicador ambiental no planejamento urbano pode contribuir para estratégias mais sustentáveis, articulando produção alimentar, conforto ambiental e forma urbana. Baseado na metodologia proposta, sugere-se que trabalhos futuros incorporem outras variáveis como pluviometria, regime de ventos, humidade relativa e poluição para melhor entendimento do potencial agrícola em fachadas urbanas.

AGRADECIMENTOS

Este artigo faz parte do projeto de pesquisa aprovado através do EDITAL Nº 21/2024 - FAPESC: PROGRAMA DE PESQUISA UNIVERSAL. Termo de outorga nº: 2024TR002339.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o primeiro, segundo e sexto autores utilizaram o ChatGPT para revisão e melhoria de coesão do texto. Após a utilização da ferramenta,

os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] UNITED NATIONS - ONU. **United Nations website**. Disponível em: < www.un.org > Acessado em 10/11/2014.

[2] CHUN, B. E.; GULDMANN, J. M. Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. **Computers, Environment and Urban Systems**, 71(1), 165-176. 2018. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.006

[3] PUGH, T. A. M.; MACKENZIE, R. A.; WHYATT, D. J. E; HEWITT, N. C. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. **Environmental Science & Technologie.** 46(14), 7692–7699. 2012. DOI: 10.1021/es300826w.

[4] HARDT, M.; SILVA, F. D. A. Envelopamento Vegetal em Cânions Urbanos: análise da aplicação de superfícies vegetadas em edificações dos setores estruturais de Curitiba, Paraná. **Revista de Morfologia Urbana**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. e00152. 2021. DOI: 10.47235/rmu.v9i1.152.

[5] ANSEL, W. E; APPL, R. Green roof policies - an international review of current practices and future trends**. International Green Roof Congress, IGRA 2010**, Nürtingen, Alemanha. 2010. IGRA. pp.1-4.

[6] DEVE - Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (2020). **Les Parisculteures Toolboxes**. Paris, Setembro de 2020, 140 p. Disponível em : < https://www.parisculteurs.paris/en/about/urban-agriculture-in-paris/ >. Acessado em 18 Jun 2024.

[7] PERINI, K.; MARC, O.; FRAAIJ, A.L.A.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. **Building and Environment**, 2011. https://doi-org.plymouth.idm.oclc.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009

[8] AKITSU, T. K., NASAHARA, K. N., IJIMA, O., HIROSE, Y., IDE, R., TAKAGI, K. & KUME, A. The variability and seasonality in the ratio of photosynthetically active radiation to solar radiation: A simple empirical model of the ratio. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation***,* 108**,** 102724. 2022. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102724

[9] FAUST, J.E.; HAMRICK, D. (Ed.). ***Ball RedBook: Crop Production***. Batavia: Ball Publishing, 2003.

[10] STALLKNECHT, E.J. Calculating and using daily light Integral (DLI): an introductory guide. **Virginia State University**. 2025. Disponível em: https://hdl.handle.net/10919/141151. Acesso em: 1 mar. 2026.

[11] Whitman, C., Padhye, S., & Runkle, E. S. A high daily light integral can influence photoperiodic flowering responses in long day herbaceous ornamentals. **Scientia Horticulturae**, 295, 110897. 2022.

[12] REIS, M., & Ribeiro, A. Conversion factors and general equations applied in agricultural and forest meteorology. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26527.

[13] OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Routledge, 2002.

[14] MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.203.

[15] Climate.OneBuinging.Org. **Repository of free climate data for building performance simulation - From the Creators of the EPW.** Website. Disponível em: < http://climate.onebuilding.org/>. Acesso em: fevereiro de 2026.

[16] MCNEEL, R. & ASSOCIATES. **Rhinoceros 3D, versão 6**. Seattle, 2019. Software. Disponível em: https://www.rhino3d.com/. Acesso em: 16 fev. 2026.

[17] MCNEEL, R. & ASSOCIATES. **Grasshopper. Seattle, 2024**. Software. Disponível em: https://www.grasshopper3d.com/. Acesso em: 16 fev. 2026.

[18] LADYBUG TOOLS. **Ladybug**. 2024. Software. Disponível em: https://www.ladybug.tools/. Acesso em: 16 fev. 2026.

[19] LADYBUG TOOLS. **Honeybee**. 2024. Software. Disponível em: https://www.ladybug.tools/. Acesso em: 16 fev. 2026.

[20] LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY - LBL. **Radiance**. Berkeley, CA, 2024. Software. Disponível em: https://radsite.lbl.gov/radiance/. Acesso em: 16 abr. 2026.

[21] PERINI, K.; ROSASCO, P. Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. **Building and Environment,** v. 70, p. 110–121, 2013.

[22] TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

[23] NG, E. **Designing high-density cities for social and environmental sustainability.** London: Earthscan, 2010.

[24] HECHT, K.; APPELMAN, J.; PEDERSEN ZARI, M. Buildings as living systems: towards a tangible framework for ecosystem services design. In: FAIRCLOTH, B. et al. (org.). Design for climate adaptation: **proceedings of the UIA World Congress of Architects Copenhagen 2023.** Cham: Springer, 2024. p. 297–306. (Sustainable Development Goals Series). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-36320-7_19.