



INOVAÇÕES EM AGRICULTURA VERTICAL: SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EM ÁREAS URBANAS

PEDRO HENRIQUE SILVA DE ROSSI

RESUMO

A agricultura vertical em ambientes urbanos emergiu como uma solução promissora para enfrentar os desafios da segurança alimentar, utilizando de forma eficiente os limitados espaços urbanos. Este método envolve o cultivo de culturas em camadas empilhadas verticalmente ou em superfícies inclinadas, dentro de ambientes controlados, como arranha-céus, armazéns ou estruturas especialmente projetadas. A integração da agricultura vertical na arquitetura urbana é um esforço multifacetado que envolve considerações sobre a utilização do espaço, eficiência energética e práticas sustentáveis. A integração arquitetônica desempenha um papel crucial no sucesso dos sistemas de agricultura vertical. Esta revisão explora diversas estratégias de *design* empregadas na incorporação de fazendas verticais em paisagens urbanas, incluindo a incorporação de paredes verdes, sistemas modulares e a reutilização adaptativa de estruturas existentes. A relação simbiótica entre arquitetura e agricultura vertical é fundamental para otimizar a utilização dos recursos, garantir uma distribuição eficiente de energia e minimizar o impacto ambiental.

Palavras-chave: Ambientes Urbanos; Agricultura Vertical; Hidroponia; Sustentabilidade; Tecnologia Agrícola

1 INTRODUÇÃO

A rápida urbanização e o crescimento populacional apresentam um desafio sem precedentes para a segurança alimentar global (Kookana et al., 2020). À medida que as práticas agrícolas tradicionais lutam para acompanhar a crescente demanda por produtos frescos, soluções inovadoras são imperativas para alimentar de forma sustentável as populações urbanas. A agricultura vertical, um paradigma agrícola emergente, tem ganhado considerável atenção por seu potencial de revolucionar a produção de alimentos em ambientes urbanos.

Esta revisão investiga a complexa relação entre a agricultura vertical, a integração arquitetônica e seu papel crucial na abordagem da questão crítica da segurança alimentar (Konou et al., 2023). As áreas urbanas, caracterizadas por espaço limitado e populações crescentes, demandam abordagens inventivas para cultivar alimentos de maneira eficiente em termos de recursos e ambientalmente sustentável. A agricultura vertical responde a essa necessidade ao aproveitar o espaço vertical, utilizando sistemas de cultivo inovadores e integrando-se à arquitetura urbana para otimizar o uso da terra. A simbiose entre agricultura e arquitetura torna-se um ponto focal para a criação de estruturas funcionais, esteticamente agradáveis e ambientalmente conscientes, que contribuem para a resiliência alimentar urbana. A integração arquitetônica, como explorado nesta revisão, desempenha um papel crucial no sucesso e na escalabilidade dos sistemas de agricultura vertical (Parkes et al., 2022).

Ao examinar várias estratégias de design, como paredes verdes, sistemas modulares e a reutilização adaptativa de estruturas existentes, buscamos entender como a arquitetura pode ser utilizada para acomodar e melhorar a eficiência das fazendas verticais. A integração da tecnologia, incluindo sensores, inteligência artificial e robótica, acentua ainda mais a sinergia

entre arquitetura e agricultura, permitindo uma agricultura de precisão e a otimização dos recursos. Para além das complexidades arquitetônicas, esta revisão aborda as implicações mais amplas da agricultura vertical na segurança alimentar (Chowdhury et al., 2023).

A proximidade dos centros urbanos reduz as distâncias de transporte, minimizando a pegada de carbono associada à distribuição de alimentos. Além disso, o ambiente controlado das fazendas verticais oferece uma proteção contra as variações climáticas, contribuindo para uma produção de alimentos estável e segura.

Em suma, esta exploração visa fornecer uma compreensão abrangente da integração em ambientes urbanos, enfatizando o nexo crítico entre arquitetura e agricultura. Ao desvendar as complexidades dessa relação dinâmica, buscamos lançar luz sobre como a agricultura vertical pode ser uma força transformadora na garantia da segurança alimentar, ao mesmo tempo em que se harmoniza com o cenário urbano em evolução.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As bases de dados ScienceDirect, SpringerLink e Google Scholar foram consultadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A segurança alimentar, um componente crítico do desenvolvimento sustentável, continua sendo uma preocupação global premente, enquanto o mundo enfrenta desafios decorrentes da rápida urbanização (Steenkamp et al., 2021). O crescimento exponencial das populações urbanas impõe demandas sem precedentes às práticas agrícolas tradicionais, gerando preocupações sobre a capacidade de alimentar bilhões de pessoas nos próximos anos. Este artigo explora os desafios globais à segurança alimentar no contexto da urbanização, introduz a agricultura vertical como uma solução potencial e enfatiza o papel crucial da integração arquitetônica para garantir seu sucesso.

A urbanização é uma faca de dois gumes para a segurança alimentar. Por um lado, os centros urbanos funcionam como polos de crescimento econômico, intercâmbio cultural e avanço tecnológico (Eyita, 2022; Adebukola et al., 2022). Por outro lado, o influxo de pessoas para as cidades sobrecarrega os sistemas de produção de alimentos existentes, exacerbando os desafios relacionados à escassez de terras, disponibilidade de água e mudanças climáticas. As práticas agrícolas tradicionais, dependentes de vastas extensões de terra arável, lutam para atender às demandas das populações urbanas. A necessidade de transporte de alimentos por longas distâncias também levanta preocupações ambientais e contribui para as emissões de carbono (Li et al., 202).

À medida que as áreas urbanas se expandem, a competição por terras se intensifica, levando à conversão de terras agrícolas férteis em infraestrutura urbana (Follmann et al., 2023; Okunade et al., 2023). Além disso, os ambientes urbanos frequentemente enfrentam limitações na disponibilidade de recursos, tornando desafiador sustentar práticas agrícolas convencionais. Essas dinâmicas ressaltam a necessidade urgente de soluções inovadoras para garantir um abastecimento alimentar resiliente e sustentável para as populações urbanas.

A agricultura vertical apresenta várias vantagens (Mir et al., 2022; Khalil e Wahhab, 2020). Ela reduz a necessidade de grandes áreas de terra arável, otimiza o uso da água por meio de sistemas de circuito fechado e minimiza o impacto ambiental associado ao transporte de alimentos por longas distâncias. Ao aproximar a produção de alimentos dos centros urbanos, a agricultura vertical aborda as limitações espaciais impostas pela urbanização, garantindo um uso mais eficiente e sustentável dos recursos disponíveis.

Central para o sucesso da agricultura vertical é sua integração harmoniosa com a arquitetura urbana. A integração arquitetônica envolve o design e a incorporação de sistemas de agricultura vertical no ambiente construído, assegurando uma coexistência harmoniosa com a infraestrutura urbana. Este artigo destaca o papel crucial da integração arquitetônica e seu

impacto profundo na segurança alimentar. A integração arquitetônica abrange uma variedade de estratégias de design, incluindo paredes verdes, sistemas modulares e a reutilização adaptativa de estruturas existentes (Monsù et al., 2021). As paredes verdes, por exemplo, permitem o cultivo vertical nas fachadas dos edifícios, integrando a agricultura ao paisagismo urbano de forma estética. Os sistemas modulares oferecem flexibilidade e escalabilidade, permitindo o uso eficiente do espaço disponível. A reutilização adaptativa de estruturas existentes, como a readequação de armazéns ou edifícios desativados, demonstra o potencial para a transformação sustentável dos espaços urbanos.

Além disso, os avanços tecnológicos desempenham um papel fundamental na melhoria da integração da agricultura vertical na arquitetura urbana (Chatterjee et al., 2020). A incorporação de sensores, inteligência artificial e robótica possibilita a agricultura de precisão, otimizando a utilização dos recursos e melhorando a eficiência geral. Essas inovações tecnológicas não apenas contribuem para o aumento da produtividade, mas também facilitam a automação de vários processos agrícolas, reduzindo a intensidade de trabalho associada à agricultura tradicional.

Agricultura Urbana e Agricultura Vertical

A agricultura urbana, uma prática cujas raízes remontam a civilizações antigas, sofreu uma evolução notável (Shostak, 2021). Hoje, está na vanguarda da resposta aos desafios colocados pela urbanização, com medidas verticais a agricultura emergindo como uma solução pioneira.

A agricultura urbana tem uma história rica e diversificada que abrange culturas e civilizações. Datado da antiguidade Mesopotâmia, onde os Jardins Suspensos da Babilônia exibiam as primeiras formas de jardinagem urbana, e continuando através dos mosteiros medievais europeus cultivando ervas e vegetais dentro das muralhas da cidade, a prática tem manifestado de diversas formas ao longo dos séculos. Durante a revolução industrial, à medida que as populações migraram para as cidades, as cidades a agricultura assumiu um papel mais utilitário para complementar o abastecimento alimentar (Newton, 2020, Maduka et al., 2023).

As hortas durante a Primeira e a Segunda Guerra Mundial exemplificaram o potencial das áreas urbanas para contribuir significativamente para a alimentação produção em tempos de crise. No entanto, com a ascensão da agricultura industrializada e dos transportes modernos, as cidades a agricultura sofreu um declínio, à medida que as cidades se tornaram cada vez mais dependentes das regiões rurais para o seu abastecimento alimentar.

Nas últimas décadas, ocorreu um ressurgimento do interesse pela agricultura urbana, alimentado por preocupações com a segurança alimentar, sustentabilidade ambiental e desejo por produtos locais frescos. Hortas comunitárias, fazendas em telhados e outras práticas inovadoras de agricultura urbana ganharam força, sinalizando uma mudança de paradigma em direção a culturas mais sustentáveis e sistemas alimentares localizados (Glaros, 2023, Ikwuagwu et al., 2020). A agricultura vertical representa uma evolução transformadora no âmbito da agricultura urbana. Ao contrário da agricultura tradicional que depende de vastas extensões de espaço horizontal, vertical a agricultura maximiza o uso do espaço vertical, empilhando as colheitas em camadas ou em superfícies inclinadas. Este método é frequentemente implementadas em ambientes controlados, como arranha-céus, armazéns ou estruturas especializadas, aproveitando tecnologia para criar condições ideais de cultivo.

As principais características da agricultura vertical incluem; As culturas são cultivadas em camadas empilhadas, fazendo uso eficiente do espaço limitado (Van et al., 2021). As fazendas verticais empregam sistemas climatizados, permitindo a regulação precisa da temperatura, umidade e luz. Muitas fazendas verticais usam métodos de cultivo sem solo, como hidroponia ou aeroponia, em que as plantas recebem nutrientes essenciais por meio de água rica em nutrientes ou névoa, respectivamente. Sensores, inteligência artificial e a robótica é

frequentemente utilizada para monitorar e gerenciar as condições de cultivo, otimizando o uso de recursos e maximizando os rendimentos.

Integração Arquitetônica na Agricultura Vertical

A integração arquitetônica desempenha um papel fundamental no sucesso e na viabilidade de sistemas agrícolas verticais em áreas urbanas. ambientes (Chatterjee et al.,2020). À medida que o mundo enfrenta os desafios de alimentar as crescentes populações urbanas populações, a sinergia entre a agricultura e a arquitetura torna-se um aspecto crítico da produção sustentável de alimentos.

A integração arquitetônica envolve a incorporação perfeita de sistemas agrícolas verticais no ambiente construído, transformando paisagens urbanas em espaços multifuncionais que harmonizam estética, funcionalidade e eficiência. No contexto da agricultura vertical, a integração arquitetônica vai além do conceito convencional de agricultura como uma atividade rural (Van et al., 2022, Ikechukwu et al., 2019). Ela reimagina os espaços urbanos, tornando-os centros de desenvolvimento sustentável. produção de alimentos. Esta abordagem envolve estratégias de design inovadoras que não só otimizam o espaço, mas também contribuem ao apelo visual e à sustentabilidade ambiental das áreas urbanas.

As paredes verdes, também conhecidas como jardins verticais, são uma estratégia de design visualmente marcante e ambientalmente benéfica dentro de casa. integração arquitetônica (Naqvi, 2023). Essas estruturas envolvem o cultivo de plantas em superfícies verticais, como fachadas de edifícios. Na agricultura vertical, as paredes verdes têm um duplo propósito: contribuem para a estética do ambiente urbano. arquitetura, ao mesmo tempo que fornece uma plataforma com uso eficiente de espaço para o cultivo. Esta estratégia de design melhora a integração da agricultura em paisagens urbanas, transformando edifícios em entidades vivas e respirantes que contribuem para a produção de ar purificação e melhoria do microclima. As paredes verdes não só otimizam a utilização do espaço, mas também promovem biodiversidade em ambientes urbanos.

Os sistemas modulares oferecem uma abordagem flexível e escalável para integração arquitetônica na agricultura vertical (Monteiro et al.,2023). Esses sistemas envolvem o uso de estruturas modulares que podem ser facilmente montadas, desmontadas e reconfigurado com base nas exigências espaciais do ambiente urbano. Fazendas verticais modulares permitem uso eficiente de espaço disponível, atendendo aos diversos layouts das áreas urbanas. Esta adaptabilidade é particularmente vantajosa quando lidar com espaços de formato irregular ou subutilizados nas cidades (Ukoba e Jen, 2023). A abordagem modular promove uma integração dinâmica e responsiva da agricultura na arquitetura urbana, permitindo a experimentação e otimização em resposta às mudanças nas necessidades e condições.

Implicações para a Segurança Alimentar

À medida que a população global continua a aumentar e a urbanização remodela as paisagens, a busca por soluções sustentáveis e seguras

as fontes de alimentos tornam-se cada vez mais críticas (Zhang et al.,2022, Okunade et al., 2023). A agricultura vertical, com seu inovador abordagem para o cultivo de culturas em camadas empilhadas verticalmente em ambientes controlados, tem implicações profundas para a segurança alimentar. Este artigo explora dois aspectos-chave destas implicações: a proximidade dos centros urbanos e a redução distâncias de transporte e resiliência climática através de ambientes controlados.

Uma das principais implicações da agricultura vertical para a segurança alimentar é o seu potencial para aproximar a produção alimentar centros urbanos, reduzindo assim as distâncias que os alimentos devem percorrer da exploração agrícola até à mesa. A agricultura tradicional envolve muitas vezes o transporte de produtos por longas distâncias, contribuindo

para as emissões de carbono, consumo de energia e custos logísticos desafios. A agricultura vertical, quando integrada em ambientes urbanos, aborda diretamente este desafio.

As fazendas verticais situadas nos centros urbanos ou próximas a eles diminuem significativamente a necessidade de transporte de longa distância (AlKodmany, 2020). A proximidade permite que os produtos frescos cheguem aos consumidores de forma mais eficiente, reduzindo o carbono pegada associada ao transporte de frutas, vegetais e outras culturas. Esta redução nas emissões de carbono alinha-se com os objetivos globais de sustentabilidade, promovendo cadeias de abastecimento alimentar ecológicas e resilientes.

4 CONCLUSÃO

Concluindo, a síntese da integração arquitetônica e da agricultura vertical apresenta integração arquitetônica e apresenta um paradigma transformador para a agricultura sustentável em ambientes urbanos. A exploração desta interação dinâmica revelou uma tapeçaria de soluções inovadoras que abordam os desafios prementes da segurança alimentar, sustentabilidade ambiental e urbanização.

Além disso, a revisão aborda as implicações das escolhas arquitetônicas sobre a eficiência geral e a escalabilidade da agricultura vertical. Ao aproximar a produção de alimentos dos centros urbanos, a agricultura vertical reduz a dependência de transporte de longa distância, minimizando a pegada de carbono e aumentando a resiliência das cadeias de abastecimento alimentar.

REFERÊNCIAS

- ADEBUKOLA, A. A., NAVYA, A. N., JORDAN, F. J., JENIFER, N. J., & BEGLEY, R. D. (2022). Cyber Security as a Threat to Health Care. **Journal of Technology and Systems**, 4(1), 32-64.
- AHAMED, M.S., SULTAN, M., MONFET, D., RAHMAN, M.S., ZHANG, Y., ZAHID, A., BILAL, M., AHSAN, T.A. AND ACHOUR, Y., 2023. A critical review on efficient thermal environment controls in indoor vertical farming. **Journal of Cleaner Production**, p.138923.
- AL-KODMANY, K., 2020. The vertical farm: Exploring applications for peri-urban areas. **Smart Village Technology: Concepts and Developments**, pp.203-232.
- CHATTERJEE, A., DEBNATH, S. AND PAL, H., 2020. Implication of urban agriculture and vertical farming for future sustainability. In **Urban horticulture-Necessity of the future**. IntechOpen
- CHIDOLUE, O. AND IQBAL, T., 2023, March. System Monitoring and Data logging using PLX-DAQ for Solar-Powered Oil Well Pumping. In **2023 IEEE 13th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)** (pp. 0690-0694). IEEE.
- CHOWDHURY, H., ARGHA, D.B.P. AND AHMED, M.A., 2023. Artificial Intelligence in Sustainable Vertical Farming. **arXiv preprint arXiv:2312.00030**.
- COOKE, P., 2021. Future shift for 'Big Things': From starchitecture via agritecture to parkitecture. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, 7(4), p.236.
- DAUVERGNE, P., 2020. **AI in the Wild: Sustainability in the Age of Artificial Intelligence**. MIT Press.
- ENEBE, G.C., UKOBA, K. AND JEN, T.C., 2019. Numerical modeling of effect of annealing

on nanostructured CuO/TiO₂ pn heterojunction solar cells using SCAPS.

ENGLER, N. AND KRARTI, M., 2021. Review of energy efficiency in controlled environment agriculture. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 141, p.110786.

Ewim, D.R.E., Okwu, M.O., Onyiriuka, E.J., Abiodun, A.S., Abolarin, S.M. and Kaood, A., 2021. A quick review of the applications of artificial neural networks (ANN) in the modelling of thermal systems.

Eyita-Onkon, E., 2022. Urbanization and human security in post-colonial Africa. **Frontiers in Sustainable Cities**, 4, p.917764.

FOLLMANN, A., WILLKOMM, M. AND DANNENBERG, P., 2021. As the city grows, what do farmers do. A systematic review of urban and peri-urban agriculture under rapid urban growth across the Global South. **Landscape and Urban Planning**, 215, p.104186.

GALVEZ, E., 2022. Scaling up inclusive innovations in agrifood chains in **Asia and the Pacific**. **Food & Agriculture Org.**

GHOLAMI, H., NILS RØSTVIK, H. AND STEEMERS, K., 2021. The contribution of building-integrated photovoltaics (BIPV) to the concept of nearly zero-energy cities in Europe: Potential and challenges ahead. *Energies*, 14(19), p.6015.

GLAROS, A., 2023. Sustainable Food Systems Transformation, from Critique to Practice: Describing and designing food futures (**Doctoral dissertation, University of Guelph**).