

AMBIENTE AUTONOMO PARA FAZENDAS VERTICAIS ORIENTADO POR REDES NEURAIS

AUTONOMOUS ENVIRONMENT FOR VERTICAL FARMS GUIDED BY NEURAL NETWORKS

Araujo, A { andrei.araujo01@fatec.sp.gov.br }
Santos, E { erlon.santos3@fatec.sp.gov.br }
Sueoka, L { leandro.sueoka@fatec.sp.gov.br }
Estevam, R { ricardo.conceicao@fatec.sp.gov.br }

RESUMO

Fome, indústria, inovação e agricultura sustentável são alguns dos desafios mundiais apontados pela Organização das Nações Unidas. Neste âmbito as fazendas verticais são uma alternativa promissora por fornecerem alta produtividade em áreas reduzidas e utilizando poucos recursos. Além disso, para que possam operar de forma autônoma, necessitam de tecnologias como internet das coisas e inteligência artificial. Com base nisso, este trabalho propõe-se a desenvolver e validar uma Arquitetura de Gerenciamento de Fazendas Verticais controladas por Inteligência Artificial. O sistema utiliza uma rede de sensores IoT para coletar dados críticos (fluxo hídrico e concentração de nutrientes), os quais são transmitidos e processados em um servidor cloud. A IA centraliza a análise destas informações, emitindo ajustes prescritivos e automáticos para o ambiente de cultivo.

PALAVRAS-CHAVE: Fazendas verticais; Inteligencia artificial; ODS.

ABSTRACT

Hunger, industry, innovation, and sustainable agriculture are some of the global challenges identified by the United Nations. In this context, vertical farms represent a promising alternative, as they provide high productivity in limited areas while using few resources. Furthermore, to operate autonomously, they require technologies such as the Internet of Things and Artificial Intelligence. Based on this, this work proposes the development and validation of an AI-Controlled Vertical Farm Management Architecture. The system uses an IoT sensor network to collect critical data (water flow and nutrient concentration), which is transmitted and processed on a cloud server. The AI centralizes the analysis of this information, issuing prescriptive and automatic adjustments for the cultivation environment.

KEYWORDS: Vertical farms; Artificial intelligence; SDG.

INTRODUÇÃO

A cidade de São Paulo possui 11,9 milhões de habitantes (Brasil, 2025), dos quais 5,8 milhões enfrentam alguma situação de insegurança alimentar (Radioagencia, 2024). Em contrapartida, estão mapeadas apenas 818 Unidades de Produção Agropecuária e 209 hortas urbanas (Sampa+Rural, 2025). Neste contexto, a proposta de fazendas verticais é uma alternativa.

Fazenda vertical é um conceito criado por Despommier (1999) e vem se aperfeiçoando ao longo dos anos. Consiste em um modelo de cultivo em locais fechados e ambiente controlado, combinado com técnicas como a hidroponia. No Brasil, há mais de 20 fazendas verticais, número baixo em comparação com os EUA, que possuem cerca de 2 mil plantações deste tipo (Costa, 2025). Para São Paulo, é um modelo aplicável, podendo ampliar a produção em até 30 vezes em um tempo 70% menor comparado aos modelos tradicionais (Gundim; Lima, 2022).

O cultivo em fazendas verticais apresenta vantagens como ausência de secas, alagamentos e granizo, melhor controle de pragas, economia de água graças ao reuso e não degradação do solo (Ingram, 2023). É um modelo escalável, podendo ser aplicado desde pequenos espaços até arranhacéus, controlando luz, ambiente, umidade, temperatura, gases e fertirrigação (Lucena; Massuia, 2021). Entre os métodos de cultivo utilizados temos a hidroponia.

Hidroponia, embora ainda não tão difundida no Brasil, cresce continuamente. Proporciona controle de nutrientes, antecipação da colheita, padronização da quantidade e qualidade, menor incidência de pragas e racionalização da energia. Sua desvantagem é a necessidade de acompanhamento constante do sistema produtivo (Luz; Guimarães; Korndöfer, 2006), altos custos de investimento, dependência energética e necessidade de conhecimento técnico para sua implantação (Alves et al., 2021). A alface (*Lactuca sativa* L.), especialmente o grupo Solta-Crespa, é uma das hortaliças mais importantes, representando 70% do mercado brasileiro. Combinada com a hidroponia, o tempo de colheita é reduzido em cerca de 10 dias (Luz; Guimarães; Korndöfer, 2006). Além disso, podemos combinar a hidroponia com a tecnologia de Internet das Coisas.

A tecnologia Internet das Coisas (do inglês, Internet of the Things ou IoT) permite conectar objetos inteligentes à internet, transmitindo dados de forma segura (Carnaz; Nogueira, 2016). O aprendizado de máquina (Machine Learning) é um ramo da Inteligência Artificial que constrói sistemas capazes de aprender a partir de dados e gerar modelos de predição ou classificação (Paixão et al., 2022). Já as redes neurais são sistemas compostos por unidades de processamento simples, semelhantes ao funcionamento do cérebro humano (Haykin, 2001). Entre elas, as redes neurais recorrentes (RNN) tratam dados sequenciais, sendo úteis para reconhecimento de padrões, tradução de textos e predição de valores de mercado (Baronte, 2022). Tanto IoT quanto Redes Neurais são ferramentas cada vez mais presentes na Agricultura 4.0.

Por sua vez, Agricultura 4.0 é baseada na aplicação de tecnologias como IoT, robótica, sensores, IA e aprendizado de máquina, visando produtividade, lucratividade e ecoeficiência (Lisbinski et al., 2020). Alinhado a esse conceito, temos as Smart Farms, que são fazendas inteligentes equipadas com IoT e conhecimento especializado, permitindo cultivo até por pessoas com pouca experiência e oferecendo vantagens como prevenção e detecção de doenças (Ryu et al., 2015).

Esta é uma proposta de interação máquina-máquina, combinando IoT e RNN, criando assim um sistema que trabalhe de forma autônoma, visando um sistema com valor acessível, produtividade com o mínimo de uso de água e terra agricultável, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2, ODS 9, ODS 11 e ODS 12, respectivamente, fome zero e agricultura sustentável, indústria, inovação e infraestrutura, cidades e comunidades sustentáveis e consumo e produção responsáveis) da Organização das Nações Unidas (Unidas, 2024).

Desta forma, buscamos responder o questionamento: como utilizar redes neurais em conjunto com IoT para tornar fazendas verticais mais autônomas, reduzindo custos operacionais, aumentando a eficiência no uso de recursos naturais e mantendo um valor acessível?

OBJETIVO

O objetivo principal deste projeto é desenvolver uma proposta de ambiente autônomo para gerenciamento de fazendas verticais baseadas em hidroponia, focada em residentes na cidade de São Paulo e região metropolitana. Para alcançar o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos: 1 - Projetar e implementar um sistema web e IoT para o monitoramento e a coleta centralizada de dados de crescimento, nível de água e fertilizantes no cultivo de alface crespa. 2 - Desenvolver e treinar um modelo de Rede Neural capaz de realizar a tomada de decisão autônoma sobre o fluxo de água e fertilizantes. 3 - Propor uma arquitetura de hardware/software de baixo custo, com investimento inicial compatível com o pequeno agricultor urbano da região, e analisar a sua viabilidade econômica em comparação com sistemas comerciais existentes.

ESTADO DA ARTE

As fazendas verticais representam um modelo produtivo inovador aos desafios contemporâneos da segurança alimentar, especialmente em centros urbanos densamente povoados. Ao permitir a produção de alimentos em ambientes controlados e em menor espaço físico, essas estruturas contribuem para reduzir a dependência de terras agricultáveis e minimizar os impactos ambientais associados à agricultura tradicional. Entretanto, o pleno aproveitamento desse modelo exige a integração de tecnologias avançadas, como sensores IoT, inteligência artificial e redes neurais, capazes de monitorar continuamente variáveis críticas — como umidade, luminosidade, temperatura e concentração de nutrientes — e realizar ajustes automáticos em tempo real. Dessa forma, não apenas se garante maior eficiência e produtividade, como também se promove um manejo sustentável, acessível e alinhado às metas globais de desenvolvimento sustentável. Realizando busca por artigos neste sentido, foram identificados alguns trabalhos com a mesma temática. Saraswathy et al (2020) apresentaram um trabalho muito parecido com este, com o objetivo de integrar inteligência artificial utilizando IoT em uma fazenda hidropônica focada no estado de Tamil Nadu, no sul da Índia. A metodologia proposta monitorava parâmetros de umidade, pH, temperatura, intensidade de luz e fluxo de água por meio de sensores, enviando os valores para a nuvem via Node MCU. Utilizando uma rede neural recorrente (RNN) do tipo Long-Short-Term Memory (LSTM) com algoritmo de previsão visando maior precisão na automação, o trabalho apresentou resultados satisfatórios, eliminando a necessidade de acompanhamento constante pelos fazendeiros e permitindo que os erros apresentados pela rede neural fossem utilizados para automatizar toda a produção da fazenda hidropônica.

Sousa (2023) desenvolveram um projeto sobre um sistema baseado em IoT e sensores com o objetivo de supervisionar e controlar de fazendas verticais. A metodologia era baseada em um módulo gerenciado por microcontrolador, estufa e banco de dados hospedado em um computador pessoal. O módulo dispunha de entradas e saídas analógicas e digitais (para conexão dos sensores utilizados), além de conexão sem-fio. O autor relatou que os objetivos propostos foram alcançados, utilizando um equipamento de custo acessível e monitoramento constante.

Rakhmatulin et al (2021) apresentam um sistema automatizado combinando IoT e rede neural, juntamente com um software desenvolvido pelo autor, câmera digital e sensores de luminosidade, gás carbônico, temperatura, umidade, pH e temperatura do solo. Em sua metodologia o autor se utilizou de um ambiente fechado em que 7 sensores monitoram o crescimento da hortaliça. Por sua vez o sinal dos sensores é encaminhado para um controlador que envia os dados para uma rede neural avaliar e fazer a gestão do cultivo.

Ahmareen et al (2024) apresentaram um sistema utilizando IoT para gerenciar uma fazenda vertical. Combinado com tecnologias para monitoramento remoto, sensores e bancos de dados, o sistema buscava melhorar a gestão da fazenda vertical e desenvolver um modelo de custo acessível. A metodologia utilizada combinava sensores de umidade, chuva, solo e temperatura com um controlador que, por sua vez, encaminhava os dados para a nuvem. Estes dados eram convertidos em gráficos e apresentados em uma tela, tornando possível a tomada de decisão no controle de uma bomba d'água e sistema de ventilação.

Embora os trabalhos de Saraswathy (2020) e Rakhmatulin et al (2021) empreguem Redes Neurais, eles não focam na agricultura hidropônica vertical ou em um custo acessível. Os trabalhos de Sousa (2023) e Ahmareen et al (2024) focam no baixo custo, mas carecem da autonomia proporcionada pela IA. A contribuição central deste trabalho reside em combinar a autonomia da RN com uma arquitetura de baixo custo, valendo-se de um escopo reduzido (apenas água e fertilizante) para a realidade da agricultura urbana em São Paulo.

METODOLOGIA

Para a problemática de uma fazenda vertical autônoma orientada por redes neurais foi definida uma metodologia baseada no ciclo Planejar-Fazer-Verificar-Agir (do inglês, Plan-Do-Check-Act ou PDCA) e consiste em a) revisão bibliográfica; b) planejamento da solução lógica do sistema; c) definição das tecnologias, layout do sistema e funcionalidades e d) prototipação.

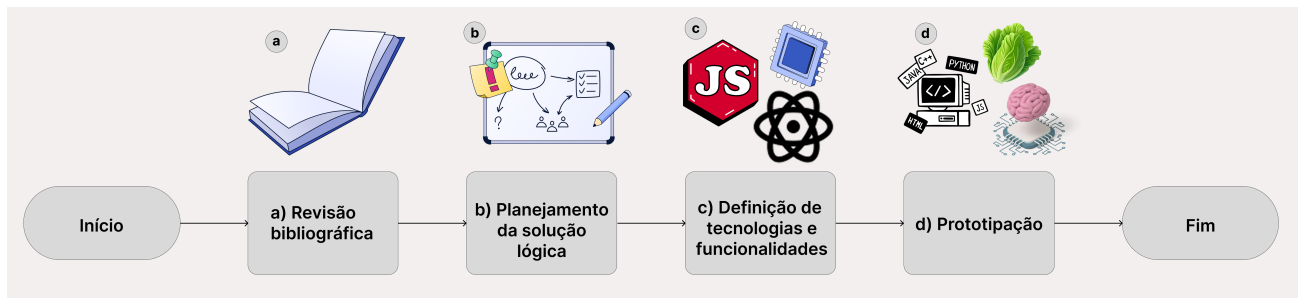


Figura 1 – Metodologia adotada para o desenvolvimento do sistema de fazenda vertical autônoma com redes neurais, organizada em quatro etapas sequenciais.

Após a etapa a) verificação da literatura existente (Estado da Arte), a etapa b) planejamento indicou duas possibilidades: na Figura 2 a fazenda vertical (1) envia, por meio de sensores IoT de nível de água, os dados atuais de fluxo de água e fertilização para um banco de dados na nuvem (2). Estes dados podem ser acessados pelo cliente, por meio de software, onde o usuário pode diretamente tomar a decisão de como devem operar o fluxo de água e fertilização da fazenda, recomeçando o ciclo.

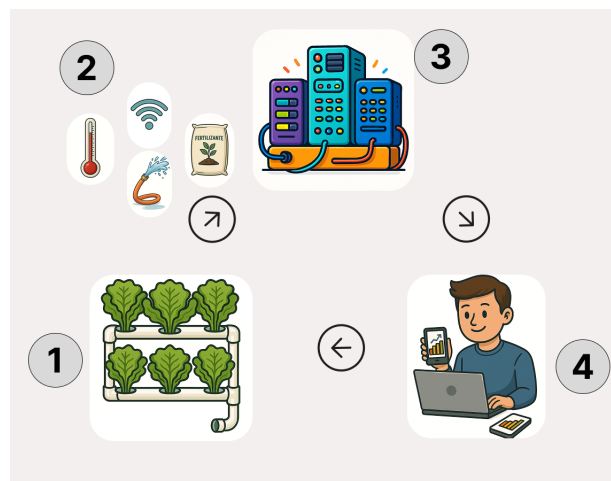


Figura 2 – Exemplo de funcionamento do sistema proposto utilizando 4 etapas, mantendo a tomada de decisão sob controle do usuário.

Também é possível que a fazenda vertical (1) envie os dados de fertilizantes e fluxo de água (2) para um banco de dados na nuvem (3). Porém quem faz a avaliação e tomada de decisão com base nos dados é uma Rede Neural (4), recomeçando o ciclo. Assim o cliente apenas participa do ciclo caso queira (conforme Figura 3).

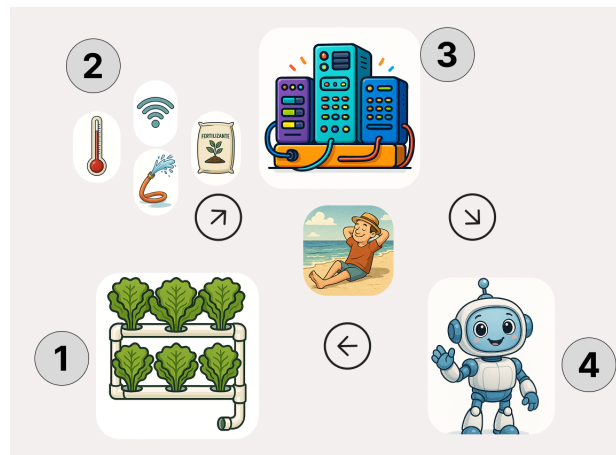


Figura 3 – Exemplo de funcionamento do sistema proposto

Na etapa c) Definição das tecnologias, layout do sistema e funcionalidades, primeiramente foi escolhido o Figma (uma plataforma online e gratuita) para desenvolvimento do design e validação dos fluxos. Para o desenvolvimento da API (do inglês, Application Programming Interface, Interface de Programação de Aplicativos), responsável pela integração entre os sistemas e usuário, foi escolhido o Javascript (graças a compatibilidade com diversos dispositivos e vasto acervo de bibliotecas e frameworks) utilizando Node.js (ambiente de execução JavaScript de prototipagem rápida, integração natural com bancos de dados, demanda de poucos recursos de hardware e escalável), React (biblioteca JavaScript usada para criar interfaces de usuário baseada em atualizações rápidas, componentes reutilizáveis e muito utilizado em aplicações web) e armazenamento em banco de dados não-relacional MongoDB (gratuito, com esquema flexível para armazenagem de registros, com alta performance para leituras e escritas específicas e desenvolvimento ágil). O layout do sistema foi projetado para ser o mais simples e intuitivo, facilitando o uso desde o usuário sem familiaridade com sistemas computadorizados até o usuário avançado. As funcionalidades foram desenhadas com foco no monitoramento e controle da fazenda vertical. Inclui gráficos e relatórios on-line em nível de hortaliça cultivada.

A última etapa (d) prototipação) focou em desenvolver um protótipo de baixa fidelidade, validando assim o layout, usabilidade e garantindo que o sistema seja para o usuário. Na sequência, utilizando-se das tecnologias elencadas anteriormente, foi desenvolvido um protótipo de alta fidelidade, implementando um conjunto de funcionalidades para verificar a viabilidade técnica da API. Foi criado um servidor (back-end) Node.js para receber os dados simulados tanto do cliente quanto dos sensores e IA. O MongoDB foi configurado com uma coleção para armazenar os dados. Também foi criada uma interface web (front-end) em React conectada ao back-end. As funcionalidades implementadas na interface foram uma tela de login (apenas usuários cadastrados podem acessar o sistema), dashboard em tempo real (exibe os dados da fazenda vertical em tempo real), painéis laterais com informações atualizadas, campos para que o usuário possa alterar as informações, tela para cadastro de mais de uma fazenda vertical por usuário e também opção para que o usuário possa atualizar seus próprios dados.

RESULTADOS PRELIMINARES

Em desenvolvimento.

CONCLUSÃO

Em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

AHMAREEN, S.; POTLURI, S.; KHALID, A. **Sustainable Agriculture Through IoT-Enabled Vertical Farming**. [S. l.: s. n.], 2024.

Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10601426>

ALVES, Deise de Oliveira et al. Análise de cenários no contexto das tecnologias utilizadas nas fazendas verticais. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 20, n. 2, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v20i2.6311>.

BARONTE, B. F. **Redes Neurais Aplicadas à Predição de Valores de Ações**. [S. l.: s. n.], 2022. Repositório UNIRIO.

Disponível em: https://bsi.uniriotec.br/wp-content/uploads/sites/31/2022/04/202201_Breno-Phillip-Mendes-Baronte.pdf

BRASIL, Agência. **Brasil tem 15 cidades com mais de 1 milhão de habitantes**. [S. l.: s. n.], 2025. Acesso em: 4 set. 2025.

Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-08/brasil-t-tem-15-cidades-com-mais-de-1-milhao-de-habitantes>

CARNAZ, G. J. F.; NOGUEIRA, V. An Overview of IoT and Healthcare. In: ACTAS das 6as Jornadas de Informática de Universidade de Évora. [S. l.: s. n.], 2016.

Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/19998>

COSTA, A. G. **Fazenda vertical: conheça ideia inteligente - mas cara - para nossa agricultura**. [S. l.: s. n.], 2025. Acesso em: 13 abr. 2025.

Disponível em:

<https://www.terra.com.br/byte/fazenda-vertical-conheca-ideia-inteligente-mas-cara-para-nossa-agricultura,8267ddb7c47bb3cae47443acebc3f9a4b9jno3x9.html>

GUNDIM, L. L. S.; LIMA, R. P. Edifícios agroprodutivos: a fazenda vertical como modelo sustentável de agricultura urbana. **Repositorio UFSC**, v. 5, p. 474–485, 2022. Acesso em: 22 out. 2024.

Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/245051/Vol1.%205%20474%20-%20485.pdf>

HAYKIN, S. **Redes neurais - Princípio e prática**. 2. ed. [S. l.]: Bookman, 2001.

INGRAM, Jay. **The Future of Us: The Science of What We'll Eat, Where We'll Live, and Who We'll Be**. Nova Iorque: Simon & Schuster, 2023.

LISBINSKI, Fernanda Cigainski et al. Perspectivas e desafios da Agricultura 4.0 para o setor agrícola. In: VIII Simpósio de Ciência do Agronegócio – Inovação e Empreendedorismo no Agronegócio. Porto Alegre, RS: [s. n.], 2020. Acesso em: 9 set. 2025.
Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/218601/001122708.pdf>

LUCENA, L. P.; MASSUIA, F. M. O papel da moderna agricultura urbana de Singapura na política de segurança alimentar e na contribuição da redução de emissão de CO₂ na atmosfera. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, e20190272, 2021. DOI: 10.1590/2175-3369.013.e20190272.

LUZ, J. M. Q.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDÖFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 3, 2006.
Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/99RFWNldK6G8HNLtFBpDzrL/>

PAIXÃO, G. M. de M. et al. Machine Learning na Medicina: Revisão e Aplicabilidade. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 118, n. 1, p. 95–102, 2022.

RADIOAGENCIA. **Insegurança alimentar atinge cerca de 50% da população da cidade de SP**. [S. l.: s. n.], 2024. Acesso em: 4 set. 2025.
Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2024-09/ins-eguranca-alimentar-atinge-cerca-de-50-da-populacao-da-cidade-de-sp>

RAKHMATULIN, Ildar. Neural network for automatic farm control. **Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence**, v. 33, n. 1, p. 147–160, 2021. DOI: 10.1080/0952813X.2020.1725653.

RYU, Minwoo et al. Design and implementation of a connected farm for smart farming system. In: IEEE SENSORS. Busan, Coreia do Sul: [s. n.], 2015. Acesso em: 9 set. 2025. DOI: 10.1109/ICSENS.2015.7370624.
Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7370624>

SAMPA+RURAL. **Agricultura**. [S. l.: s. n.], 2025. Acesso em: 9 set. 2025.
Disponível em: <https://sampaaisrural.prefeitura.sp.gov.br/categoria/agricultores>

SARASWATHY, V. R. et al. Integrating Intelligence in Hydroponic Farms. **International Journal of Engineering and Emerging Technology**, v. 11, n. 4, p. 150–158, 2020.
Disponível em: <https://iaeme.com/Home/issue/IJEET?Volume=11&Issue=4>

.
SOUSA, Thiago Pereira de. **Desenvolvimento de módulos de sensoriamento para a supervisão e controle de fazendas verticais**. [S. l.: s. n.], 2023. Universidade Federal de Uberlândia. Acesso em: 9 set. 2025.

Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/38575/1/DesenvolvimentoM%C3%B3dulosSensoriamento.pdf>
.

UNIDAS, Nações. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. [S. l.: s. n.], 2024. Acesso em: 22 out. 2024.

Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
.