

## ***Smart Grow Light: um sistema para manejo de hortas em cultivo indoor utilizando Internet das coisas (IoT) e iluminação artificial***

Lucas Bryan Lima Vieira

Instituto Federal de Alagoas – Instituto Federal de Alagoas

<https://orcid.org/0009-0009-6091-0122>

lblv1@aluno.ifal.edu.br

Mônica Ximenes Carneiro da Cunha

Instituto Federal de Alagoas - Instituto Federal de Alagoas

<https://orcid.org/0000-0002-5869-9358>

monica@ifal.edu.br

---

**Resumo** – Em uma era movida pela tecnologia da quarta revolução industrial, produzir alimentos em grande escala e com qualidade se tornou um desafio. As projeções da ONU apontam para 10 bilhões de pessoas até 2050. Assim, faz-se necessário desenvolver novas técnicas de agricultura para fornecer alimentos saudáveis. Diante disso, o presente trabalho apresenta um sistema composto por hardware e software para o cultivo *indoor* de hortas utilizando IoT. O procedimento metodológico adotado segue o *Design Science Research Methodology* (DSRM) que consiste em seis etapas de desenvolvimento. Os resultados apontam para um sistema com capacidade de produzir hortaliças desde a semeadura, germinação e colheita, realizando a produção de *microverdes* de beterraba, couve-brócolis e repolho roxo sem o surgimento de fungos ou qualquer outro tipo de problema durante o processo.

**Palavras-chave:** Internet das Coisas, *Microverdes*, Hortaliças, LED, Cultivo *indoor*.

---

## **Smart Grow Light: a system for managing indoor vegetable gardens using the Internet of Things (IoT) and artificial lighting**

**Abstract** – In an era driven by the technology of the fourth industrial revolution, producing food on a large scale and with quality has become a challenge. UN projections point to 10 billion people by 2050. Therefore, it is necessary to develop new agricultural techniques to provide healthy food. Thus, this work presents a system composed of hardware and software for the indoor cultivation of vegetable gardens using IoT. The methodological procedure adopted follows the Design Science Research Methodology (DSRM) which consists of six development stages. The results point to a system capable of producing vegetables from sowing, germination, and harvesting, producing microgreens from beetroot, broccoli, and red cabbage without the emergence of fungi or any other type of problem during the process.

**Keywords:** Internet of Things. Microgreens. Vegetables. LED. Indoor Cultivation.

---

**Data da Submissão:** 13/08/2024

-

**Data de aceitação:** 24/06/2025

---

DOI: <https://doi.org/10.51359/2317-0115.2025.267033>

Os direitos autorais desta obra pertencem aos autores, 2025.  
Este artigo está licenciado sob forma de uma licença Creative Commons  
[Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)].  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



## 1. Introdução

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2009), os agricultores precisam aperfeiçoar os seus modelos de produção a fim de garantir alimentos para atender uma demanda prevista de mais de 10 bilhões de pessoas a partir de 2050. Despommier (2010) chamou atenção para o fato de que, desde 2007, as cidades urbanas já contemplam mais de 50% da população mundial e está previsto que até 2050 esta taxa aumente para 70%. Por isso, estão surgindo cada vez mais pessoas interessadas em agricultura urbana e fazendas verticais.

Para se ter uma ideia do potencial de fazendas verticais, Kozai *et. al.* (2015) mencionaram que a produtividade anual de alface por unidade de área é cerca de duzentas vezes maior em *Plant Factory with Artificial Lighting* (PFALs) e aproximadamente dez vezes maior em estufas climatizadas em comparação com o campo. Com o avanço das PFALs, as aplicações de LEDs para pesquisa em horticultura têm sido realizadas intensivamente desde a década de 90 (Massa; Norrie, 2015).

A agricultura urbana é uma técnica de cultivo para cidades destinada a produzir alimentos e conservar os recursos naturais dentro dos centros urbanos, gerando assim pequenas fábricas de plantas ao longo das cidades (Kozai *et. al.*, 2015). Por outro lado, a agricultura inteligente, também chamada de agricultura de precisão, utiliza *software*, sensores e atuadores para monitorar e controlar atividades da produção agrícola, proporcionando inovações na coleta de informações ambientais sobre os sistemas (Mulla, 2013).

Gzar *et. al.* (2022) ressaltou que o uso de tecnologias inteligentes juntamente com o uso eficaz de dados pode aumentar a eficiência da produção através da interpretação dos dados que acarretam redução de desperdícios, otimização de tarefas, monitoramento das variáveis ambientais e controle da qualidade das culturas. Santos (2020) descreveu que casas de vegetação ou popularmente conhecidas como estufas, são estruturas utilizadas na produção de hortaliças que podem ou não possuir processos controlados de climatização.

Tendo em vista o uso de tecnologias inteligentes, a Internet das Coisas (IoT) emergiu dos avanços de várias áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento (Santos *et. al.*, 2016). Transformando coisas comuns em

inteligentes e conectadas a internet, bem como proporcionado a coleta e processamento de informações em que está inserido (Oliveira, 2017).

Dentre os principais protocolos de comunicação utilizados dentro da IoT, o padrão *Zigbee* é ideal, pois o seu baixo consumo energético, baixo custo e baixa vazão de dados favorecem aplicações que utilizam informações curtas como acionamento de atuador, leitura de informações numéricas e sinais de alarmes (Farahani, 2008). A iluminação artificial na agricultura é um tema bastante explorado, pois é considerada um dos fatores de maior importância para o desenvolvimento e produtividade das plantas (Cardia; Bortolassi Junior, 2019).

De acordo com Darko *et. al.* (2014), a luz solar natural contém um amplo comprimento de onda e fluência, sendo a luz ideal para as plantas. Dou *et. al.* (2018) sinalizaram que manipular as condições da luz natural através da luz artificial é essencial para o cultivo de plantas em agricultura vertical para obter economia de custos de eletricidade e equilibrar o rendimento e a qualidade das plantas.

Kozai *et. al.* (2016) ressaltaram que as principais vantagens dos LEDs em relação às lâmpadas incandescentes, fluorescentes e HID são: robustez; longa vida útil; compactas e leves, permitem que a luz seja facilmente controlada e podem ser projetadas para emitir quaisquer comprimentos de onda do espectro visível. Como alternativa para o cultivo tradicional de hortaliças, Freitas (2020) sinalizou o surgimento de uma nova classe de alimentos especiais que veio contribuir com a demanda do mercado de alimentos que agregam elevado valor nutricional: os *microverdes* de hortaliças.

Um dos fatores que apontam a elevada procura dos pesquisadores por *microverdes* é o fato da elevadíssima taxa de *fitonutrientes* e compostos bioativos nas plântulas comparadas às folhas maduras (Lester et al, 2010). Apesar de seu tamanho, as *microverdes* possuem elevada densidade de nutrientes, sabores concentrados, textura macia e apresentam cores vibrantes. Os *microverdes* ganharam popularidade no mercado devido ao seu alto valor nutricional e potenciais benefícios à saúde. Possuem altos níveis de compostos bioativos, como vitaminas, minerais, ácido ascórbico, *carotenóides* e *glucosinolatos* (Putri et. al., 2023; Prihtanti et. al., 2023; Uher et. al. 2023).

Baseando-se nas informações expostas até então, o problema desta pesquisa caracterizou-se pela necessidade de desenvolvimento de uma fábrica de plantas de cultivo indoor com o auxílio de iluminação artificial, tendo como diferencial o monitoramento e controle das variáveis ambientais em tempo real de forma funcional, uniforme e segura.

## 2. Revisão de Literatura

Nesta seção são apresentados conceitos voltados à agricultura urbana, iluminação artificial, *microverdes* e Internet das coisas, bem como trabalhos correlatos.

### 2.1 Agricultura Urbana

A agricultura urbana é uma técnica de cultivo para cidades destinada a produzir alimentos e conservar os recursos naturais dentro dos centros urbanos, gerando assim pequenas fábricas de plantas ao longo das cidades (Kozai et. al., 2015). Essa técnica permite que indivíduos desfrutem da horticultura tanto como passatempo nos grandes centros urbanos, quanto como produção e venda para consumo local (Kozai et. al., 2016).

Desde a aquisição do conhecimento sobre formas de cultivo, a humanidade busca aprimorar cada vez mais as técnicas de plantio, objetivando contornar os diversos problemas encontrados na produção de plantas. As formas de cultivo protegido podem ser consideradas resultado dessa busca (Santos, 2020).

O cultivo em ambiente protegido pode ser caracterizado pela construção de uma estufa, estrutura capaz de oferecer proteção contra os agentes meteorológicos, ao mesmo tempo que possibilita o controle de algumas condições climáticas como temperatura, umidade do ar, radiação solar, solo e vento (Figueiredo; Miura, 2011).

O controle sobre essas condições gera ganho de produtividade, qualidade das hortaliças e redução do efeito de sazonalidade da planta (Silva et. al., 2014). Santos (2020) descreveu que estufas são estruturas utilizadas na produção de hortaliças que podem ou não possuir processos controlados de climatização. No interior das estufas, o microclima gerado pode ser alterado ou mantido por meio da atuação de diversos equipamentos como ventiladores, exaustores, aquecedores, nebulizadores e lâmpadas.

O microclima de estufas é um fator extremamente importante para o ciclo de desenvolvimento das plantas. Em consequência, a temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade são alguns dos fatores que compõem o clima e são elementos fundamentais no desenvolvimento das plantas (Santos et. al., 2010).

Manter o controle sobre as variáveis que afetam diretamente o ciclo de vida das plantas torna-se essencial no processo de produção agrícola em ambientes internos (Aquino, 2013). Purquerio e Tivelli (2006) expõem que a temperatura é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento de uma planta, influenciando o processo natural de germinação até a frutificação. No clima brasileiro, o cultivo de hortaliças é possível durante o ano todo, porém, a depender do calor nas regiões mais quentes do Brasil um déficit na qualidade das hortaliças pode ser notório.

Em ambientes de cultivo protegido, a temperatura pode ser controlada através da ventilação, trocando ar quente pelo ar frio do ambiente externo (Landsberg et. al., 1979). Por outro lado, a umidade relativa do ar, que representa a quantidade de vapor de água na atmosfera, estabelece uma relação inversa com a temperatura no interior da estufa.

Durante o dia a umidade será inferior ao período noturno, afetando diretamente o equilíbrio hídrico das plantas. Conseguindo alterar o processo de evapotranspiração e sua

capacidade de absorver água e nutrientes. Também é possível realizar o controle da umidade através de ventiladores e exaustores (Purquerio; Tivelli, 2006).

Por fim, a luminosidade é a terceira variável do ambiente e a mais essencial no processo de fotossíntese na realização do desenvolvimento das plantas. Para se obter um maior aproveitamento em cultivos internos com iluminação artificial são utilizados revestimentos internos refletivos para melhor aproveitamento da luz, reduzindo a quantidade de luz que se converteria em calor pelo ambiente (Vischi Filho, 2002).

A luz é um dos fatores ambientais mais importantes que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A seleção das fontes de luz pode ter uma influência significativa nos custos iniciais e nos custos operacionais de produção de um PFAL, além dos efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas (Kozai et. al., 2016).

A agricultura vertical tem se constituído uma resposta para fornecer produtos de alta qualidade de forma sustentável. Consiste em um processo de cultivo de alimentos em camadas empilhadas verticalmente obtendo grande vantagem contra a produção de alimentos onde não há terra adequada disponível. Associada à agricultura urbana, apresenta diversas técnicas de cultivo, principalmente no solo, hidropônico ou *aeropônico* (Clercq et. al., 2018).

## 2.2 Agricultura Inteligente

O conceito de agricultura inteligente consiste em aumentar a produtividade e a sustentabilidade na produção de alimentos, integrando novas formas de análise de informações agrícolas e ambientais baseando-se principalmente em Internet das coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data* e Computação em Nuvem (Gebresenbet et. al., 2023).

A IA é utilizada na agricultura inteligente usando tecnologias amplamente difundidas nos últimos anos, como tem sido o *machine learning* e o *deep learning* (Javaid et. al., 2023). O aprendizado de máquina é uma tecnologia crucial com diferentes modelos que permitem aos usuários terem diversos e eficazes sistemas de apoio à decisão, do inglês *Decision Support Systems* – DSS. Através disto, os agricultores tomam decisões rápidas automatizando e otimizando o manejo da água e do solo, detecção e doenças nas culturas, pesticidas, manejo de animais, análise de temperatura e umidade etc. (Ciruela-Lorenzo et. al., 2020; Javaid et. al., 2022; Sharma et. al., 2022;).

Por outro lado, o *deep learning* está sendo introduzido na agricultura inteligente através do processamento de imagens e informações para solução de problemas complexos (Aldhyani; Alkahtani, 2023). A IoT, por sua vez, conecta diferentes objetos através da Internet usando tecnologias como o *Bluetooth*, *Zigbee*, *Wi-Fi* em sensores sem

fiu permitindo que os profissionais monitorem e controlem informações sobre o sistema (Ciruela-Lorenzo et. al., 2020; Sharma et. al., 2022).

As técnicas de computação em nuvem estão sendo majoritariamente aplicadas na agricultura inteligente através da previsão do tempo e aquisição de dados futuros. Além disso, tecnologia de *big data* operam modelos analíticos avançados com diversas bases de dados extremamente massivos e oriundos de diferentes dispositivos para realizar previsões sobre tempo de colheita, estado do clima, saúde das culturas, comportamento dos animais etc. (Ciruela-Lorenzo et. al., 2020).

A agricultura inteligente também é chamada de agricultura de precisão, visto que utiliza *software*, sensores e atuadores para monitorar e controlar atividades da produção agrícola, proporcionando inovações na coleta de informações ambientais sobre os sistemas (Mulla, 2013). Gzar et. al. (2022) apontam que o uso de tecnologias inteligentes juntamente com o uso eficaz de dados pode aumentar a eficiência da produção através da interpretação dos dados que acarretam redução de desperdícios, otimização de tarefas, monitoramento das variáveis ambientais e controle da qualidade das culturas.

Nesta conjuntura, tecnologias como computação em nuvem, *blockchain* (BC), *big data*, inteligência artificial (IA) e Internet das coisas (IoT) estão sendo cada vez mais utilizadas e têm sido capazes de apoiar os agricultores através da otimização dos sistemas agrícolas (Ciruela-Lorenzo et. al., 2020; Gzar et. al., 2022).

### 2.3 Iluminação Artificial

A iluminação artificial na agricultura é um tema bastante explorado, pois é considerada um dos fatores de maior importância para o desenvolvimento e produtividade das plantas (Cardia; Bortolassi Junior, 2019).

As plantas utilizam a luz não apenas para a fotossíntese, mas também como um sinal para regular o crescimento e desenvolvimento ideais ao longo do seu ciclo de vida. A qualidade da luz, quantidade, direção e duração mudam dependendo da estação, latitude e condições locais (Tamotsu, 2016).

Pattaro (2019) ressaltou que como as plantas são organismos autotróficos e dependem da fotossíntese para o seu crescimento, são bastante sensíveis às alterações dos múltiplos parâmetros da luz (qualidade, quantidade, periodicidade e direção) em seu ambiente. Luo e Shi (2018) complementaram sinalizando que os fatores do desenvolvimento das plantas em relação às propriedades da luz do ambiente são referidos como *fotomorfogênese*.

Os fotorreceptores são *cromoproteínas* compostas por uma *apoproteína* ligada a uma variedade de cromóforos e os espectros de absorção característicos são determinados pelo caráter químicos do cromóforo e da *apoproteína* (Kami et. al., 2010).

Cope *et. al.* (2014) descreveram as três principais classes de fotorreceptores identificados em plantas, que são os *criptocromos e fototropinas* sensíveis a região ultravioleta (luz azul) do espectro de luz, e os fitocromos que estão na região infravermelha (luz vermelha e vermelha distante) do espectro. Folta e Maruhnich (2007) e Smith *et. al.* (2017) ressaltaram que a luz verde promove diversos efeitos *fotomorfogênicos*, porém ainda não foi identificado um fotorreceptor exclusivo para ela.

A qualidade do espectro luminoso interfere na síntese de pigmentos, principalmente em genótipos que produzem bastante antocianina, como rabanete, repolho-roxo, manjerição-roxo, couve-rábano-roxo, entre outros (Freitas, 2020).

De acordo com Darko *et. al.* (2014), a luz solar natural contém um amplo comprimento de onda e fluência, sendo a luz ideal para as plantas. Desta forma, Dou *et. al.* (2018) sinalizaram que manipular as condições da luz natural através da luz artificial é essencial para o cultivo de plantas em agricultura vertical para obter economia de custos de eletricidade e equilibrar o rendimento e a qualidade das plantas.

## 2.4 Microverdes

De acordo com a Embrapa<sup>1</sup>, *microverdes* é um termo empregado para ervas aromáticas, condimentos e majoritariamente para hortaliças que são cultivadas e colhidas poucos dias após a semeadura. Normalmente são cultivados até o grau máximo de expansão cotiledonar e são colhidos quando atingem entre 5 a 10 centímetros de comprimento (Kyriacou, 2016).

Apesar de seu tamanho, as *microverdes* possuem elevada densidade de nutrientes, sabores concentrados, textura macia e apresentam cores vibrantes. As *microverdes* ganharam popularidade no mercado devido ao seu alto valor nutricional e potenciais benefícios à saúde. Possuem altos níveis de compostos bioativos, como vitaminas, minerais, ácido ascórbico, *carotenóides e glucosinolatos* (Putri *et. al.*, 2023; Prihtanti *et. al.*, 2023; Uher *et. al.* 2023).

Putri *et. al.*, 2023 e Prihtanti *et. al.*, 2023 indicam que as *microverdes* podem ser cultivadas usando sistemas hidropônicos modernos oferecendo vantagens como o crescimento acelerado das plantas, colheita mais precoce e aumento da produção de biomassa. São capazes de ser cultivadas em áreas urbanas com a utilização de luz artificial e são adequadas para cultivo em fazendas verticais.

---

<sup>1</sup> Embrapa. *Microverdes*: Cultivo fácil e oportunidade de melhoria nutricional na dieta dos consumidores. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79478103/artigo---microverdes-cultivo-facil-e-oportunidade-de-melhoria-nutricional-na-dieta-dos-consumidores>. Acesso em 30 jun 2025.

As *microverdes* surgiram como uma nova classe de alimentos especiais, propondo gerar colheitas de curto prazo, alto valor nutricional e alta produção em ambientes reduzidos. São definidas como vegetais imaturos sendo produzidos a partir de sementes de hortaliças, ervas aromáticas, leguminosas e espécies silvestres (Xiao, 2012).

As espécies mais cultivadas e apreciadas são aquelas pertencentes às famílias Brassicaceae (repolho-roxo, couve, nabo, rúcula), Asteraceae (alface, almeirão, chicória), *Chenopodiaceae* (beterraba e acelga), Apiaceae (salsa, coentro, aipo, funcho, chicória-do-pará) e *Amaryllidaceae* (cebolinha, alho poró) (Kyriacou et. al., 2019).

As *microverdes* são consideradas excelentes aliadas nas novas perspectivas de alimentação moderna. Pois, ao invés de produzir hortaliças no ciclo tradicional, colhendo quando estiver maduro, as *microverdes* apresentam uma nova perspectiva de colheita ainda na fase de plântula com poucos dias de germinação. Sendo, então, uma ótima alternativa para consumo de rabanete, cenoura, beterraba, brócolis e couve-flor, por exemplo.

## 2.5 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* - IoT) emergiu dos avanços de várias áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento (Santos et. al., 2016). Transformando coisas comuns em inteligentes e conectadas a internet, bem como proporcionado a coleta e processamento de informações em que está inserido de acordo com (Oliveira, 2017).

Atualmente percebe-se um elevado número de dispositivos conectados à Internet, tais como TVs, automóveis, telefones celulares, consoles de jogos, câmeras, caixas de som, cafeteiras e geladeiras, por exemplo. Neste novo cenário, a Forbes<sup>2</sup> prevê que mais de 27 bilhões de dispositivos estarão conectados na Internet até 2025.

Com as informações advindas desses dispositivos será possível detectar contextos, controlá-los, viabilizar trocar de dados entre si, acessar serviços de compra na internet e interagir com pessoas, possibilitando assim, inovações nas áreas de cidades inteligentes, saúde e casas inteligentes (Santos et. al., 2016).

Para um dispositivo ser considerado inteligente, necessita ter: capacidade de receber e enviar dados para outros dispositivos; capacidade de agir em atividades conjuntas com outros dispositivos (alarmes com atuadores, por exemplo); monitorar, captar informações ambientais, energéticas ou humanas; e por fim, agir como um atuador no ambiente, manipulando as condições ao seu redor (Faccioni Filho, 2016).

---

<sup>2</sup> FORBES. IoT: até 2025, mais de 27 bilhões de dispositivos estarão conectados. 2022. *Online*. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech>. Acesso em: 02 de set. 2023.

Em termos de *hardware*, estes dispositivos apresentam unidades de processamento, memória, comunicação sem fio, periféricos contendo sensores e atuadores. Para que um objeto com essas características esteja conectado à internet o dispositivo necessita utilizar de tecnologias e protocolos padronizados (Santos et. al., 2016).

A relação da Internet das coisas com automação de sistemas está justamente unida através das tecnologias de comunicação como *Wi-Fi e Zigbee*, onde entrelaçam sistemas automatizados com o mundo digital. A automação de processos ou máquinas pode ser definida como uma forma de controle automático, na qual os dispositivos verificam seu próprio funcionamento, determinando novas medidas e ajustes com mínima ou nenhuma interferência humana (Pellini, 2017).

Por sua vez, na agricultura, a automação é utilizada para facilitar as diferentes atividades agrícolas ou aprimorar técnicas de cultivo, contribuindo com a qualidade dos vegetais cultivados e também com a qualidade de vida humana. Teruel (2010) salienta que por meio dessas tecnologias existe a possibilidade da redução de custos de produção e aumento progressivo da produtividade.

## 2.6 Trabalhos Correlatos

A popularização das tecnologias através dos *kits* de desenvolvimento de fácil programação e interface simples proporcionaram a criação de diversas soluções modulares de *hardware e software* para as inúmeras áreas do desenvolvimento tecnológico humano. Do mesmo modo, o setor agrícola ganhou atenção com aplicações de sistemas controlados e automatizados via Internet (Verdouw et. al., 2016).

Serrano et. al. (2022) desenvolveram um protótipo de mini-PFAL (Plant Factory with Artificial Lightning) com múltiplas camadas de software para o controle dos parâmetros de desenvolvimento da alface. O enfoque do trabalho foi no desenvolvimento de uma interface gráfica para o gerenciamento das informações obtidas pela *mini-PFAL* para serem monitoradas e controladas. Na cabine de cultivo *Smart Grow Light*, o sistema de controle e monitoramento das variáveis é integrado no aplicativo *Tuya Smart*<sup>®</sup> por uma rede *Zigbee* gerenciada por um coordenador que translada as informações da rede *Zigbee* para o aplicativo na internet, que gerencia alarmes, agenda acionamentos e monitora as informações por gráficos.

Rho et. al. (2020) criaram um sistema de estufa inteligente que se propõe a facilitar o cultivo de plantas dentro de residências, realizando o monitoramento de temperatura, umidade do ar e do solo em tempo real. Foram utilizadas placas de desenvolvimento do *Raspberry Pi* e do Arduino para implementar o sistema. A cabine de cultivo *Smart Grow Light* não necessita utilizar placas de desenvolvimento para realizar o controle e monitoramento das variáveis e apresenta mais facilidade na implementação do sistema de

monitoramento. São utilizados interruptores inteligentes *Zigbee* para realizar o controle e o monitoramento da energia consumida do painel de LED e do sistema de ventilação, sensores de temperatura e umidade *Zigbee* para monitorar as condições climáticas internas e externas da cabine de cultivo.

Watjanatepin e Srichanin (2021) implementaram uma PFAL em escala de laboratório, contendo módulo de iluminação, sistemas embarcados para realizar o controle das variáveis ambientais e monitoramento por computador local. O protótipo visa analisar o funcionamento da PFAL através da qualidade da iluminação artificial, correlação de PPFD e rendimento da planta, consumo de energia elétrica, consumo de água e o desenvolvimento das culturas. A cabine de cultivo *Smart Grow Light* diferencia-se pelo fato da implementação de um sistema de controle e monitoramento utilizando conceitos de internet das coisas através do aplicativo móvel *Tuya Smart* e também do servidor local *Home Assistant*, integrador poderoso para diversos dispositivos de código aberto e com grande variedade de tecnologias e protocolos.

Penzenstadler *et. al.* (2018) desenvolveram um protótipo de jardim inteligente com dispositivos IoT de fácil mobilidade, podendo reconstruir e dimensionar de diversas formas e tamanhos. Usou-se um pequeno kit de desenvolvimento com sensores, que se comunicam através do *Wi-Fi*, para realizar o monitoramento de temperatura e umidade. A cabine de cultivo *Smart Grow Light* difere em apresentar uma estrutura que isola o ambiente de alterações abruptas de temperatura e umidade. E realiza o controle das variáveis de monitoramento através dos ventiladores e exaustor. O painel de LED e o sistema de ventilação são controlados por meio da rede *Zigbee* ao invés de congestionar a rede *Wi-Fi* com diversos sensores conectados ao roteador aumentando a latência e o atraso na rede.

Como é possível observar nos trabalhos supracitados, as soluções são distintas até mesmo dentro dos conceitos de agricultura urbana. Cabe ressaltar que nenhum trabalho correlato apresentou uma cabine de cultivo totalmente isolada do ambiente externo para fornecer mais estabilidade climática no cultivo das hortaliças. São utilizados sensores IoT que se comunicam diretamente com a rede *Wi-Fi*, isso implica em congestionamento na rede, pois os diversos sensores disputarão conexões com celulares, computadores, TVs e outros eletrodomésticos. Além disso, os painéis de LED não fornecem todo o espectro de luz necessária para o cultivo adequado das plantas, implicando em déficit nutricional para o consumo e morfológico para o desenvolvimento da planta. Tais lacunas conduziram a proposta deste trabalho.

### 3. Metodologia

O presente trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada, tendo como objetivo gerar um ambiente controlado de cultivo indoor para *microverdes* de hortaliças.

Para isso, foi utilizado o *Design Science Research Methodology* (DSRM), proposto por Peffers (2007), como procedimento metodológico da pesquisa para o desenvolvimento do *hardware e software* da cabine de cultivo *Smart Grow Light*.

A estrutura de processos da DSRM consiste em seis etapas de desenvolvimento: Identificação do problema e motivação; Definição dos objetivos para a solução; Concepção e Desenvolvimento; Demonstração; Avaliação; Comunicação. O quadro 1 apresenta a descrição das etapas citadas adaptando-as ao propósito da pesquisa.

Quadro 1 - Etapas da DSRM adaptadas a pesquisa.

Diretriz	Aplicação da Diretriz
Identificação do problema e motivação	O crescente aumento populacional, especialmente anexado com a alta densidade de pessoas nas grandes metrópoles, tem gerado a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias no setor agrícola para suprir as necessidades alimentícias da população atrelada com a sustentabilidade e a qualidade dos suprimentos consumidos na geração de uma vida mais saudável. Nesta perspectiva, tecnologias direcionadas para sistemas de cultivo vertical em áreas urbanas são fundamentais para o progresso humano
Definição dos objetivos	Realizar a revisão sistemática de literatura para identificar e estruturar os conceitos sobre cultivo <i>indoor</i> com iluminação artificial; Projetar um sistema composto por <i>hardware e software</i> a partir dos resultados obtidos da RSL; Validar o sistema proposto com o cultivo de hortaliças; Elaborar manuais contendo as descrições da arquitetura de <i>hardware</i> para replicação das estruturas e sistemas, arquitetura de <i>software</i> contendo os códigos com métodos utilizados para automação e os manuais de manejo das hortaliças citadas no projeto
Concepção e desenvolvimento	O artefato resultante desta pesquisa consiste em um produto composto por <i>hardware e software</i> utilizando tecnologias de IoT que proporciona um sistema compacto, monitorado e automatizado para realização do manejo de hortaliças em cultivo <i>indoor</i> de espaços urbanos
Demonstração	As instâncias problemáticas relacionadas a iluminação artificial, comprimentos de onda específicos, variáveis ambientais, categorias de monitoramento e tipos de tecnologias IoT são apresentados e erguidos na composição do artefato. O artefato é utilizado experimentalmente através de uma cabine de cultivo que proporciona um ambiente controlado de temperatura e umidade para proporcionar um ecossistema mais constante, evitando as oscilações ambientais do meio externo
Avaliação	Realização de análises sobre as especificações adequadas para o cultivo <i>indoor</i> com iluminação artificial, avaliações sobre os tipos de variáveis ambientais importantes para o conjunto, sistematização do monitoramento atrelado com as tecnologias IoT vinculadas ao escopo do problema de pesquisa e o objetivo
Comunicação	Publicação de artigos sobre a pesquisa e elaboração de manuais com a descrição detalhada dos processos de software e do hardware envolvidos no projeto, visando colaborar com a comunidade científica interessada no desenvolvimento, pesquisa e inovação de projetos na linha de internet das coisas com aplicabilidade em cultivos <i>indoor</i> em ambientes urbanos

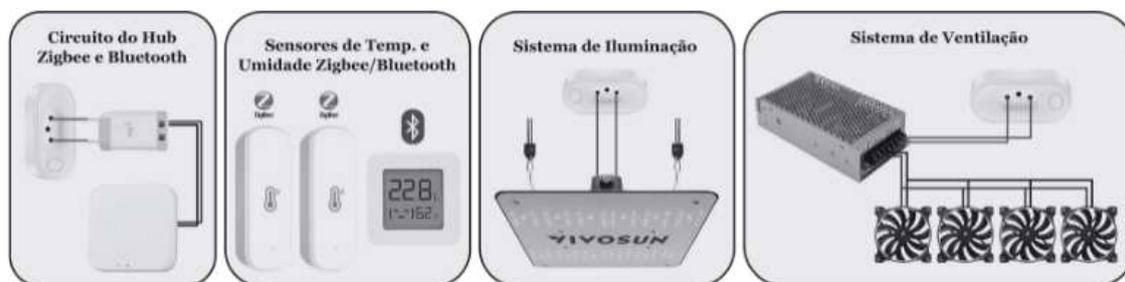
#### 4. *Smart Grow Light*: concepção e desenvolvimento

O sistema proposto contém uma infraestrutura física, sensores de temperatura e umidade, sistema de iluminação artificial e sistema de ventilação com o objetivo de

produzir *microverdes* de hortaliças em cultivo *indoor*. O diagrama conceitual de todos os sistemas propostos com suas interconexões está representado na figura 1.

O sistema de sensores é composto por dois sensores de temperatura e umidade que se comunicam através do protocolo *Zigbee* e um terceiro sensor comunica-se via *Bluetooth* com o concentrador *Hub Zigbee/Bluetooth* operando nas duas bandas de frequência de 2.4 GHz que por sua vez é conectado a uma tomada inteligente *Zigbee* que realiza o monitoramento do consumo energético do aparelho.

Figura 1 - Diagrama conceitual dos sistemas.

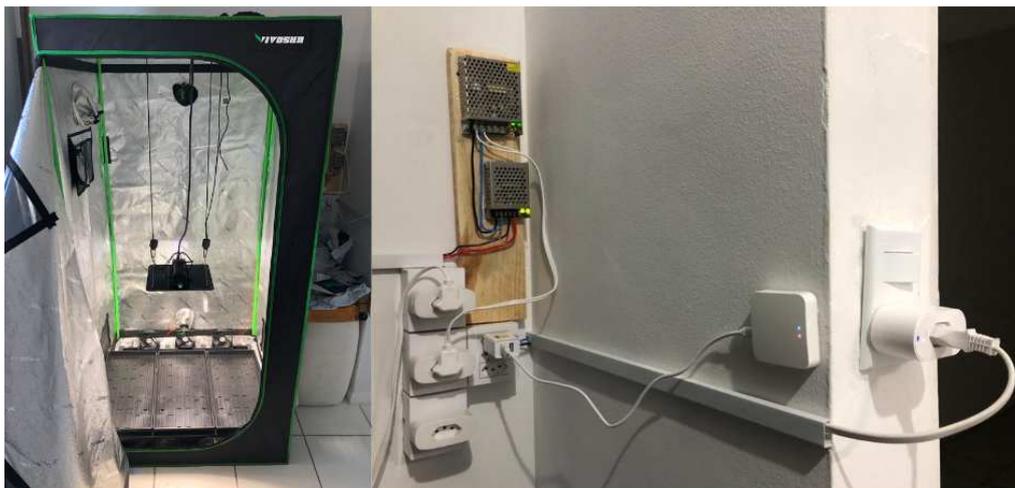


O sistema de iluminação é composto por tomada inteligente *Zigbee* que realiza o monitoramento do consumo energético e acionamento do painel de LED *VivoSun* VS1000E de 100W que opera nas faixas do espectro ideal para o cultivo de hortaliças, contendo LEDs do espectro branco frio (*Cool White* - 5000K), branco quente (*Warm White* - 3000K), vermelho (*red* - 660nm) e vermelho distante (*far red* - 730nm). Por outro lado, o sistema de ventilação também é composto por tomada inteligente *Zigbee* que monitora o consumo energético e controla uma fonte chaveada cuja função é fornecer energia para os ventiladores da cabine de cultivo.

A cabine de cultivo (figura 2) consiste em uma estrutura de tubos de alumínio com intertravamentos, cujo processo de montagem foi rápido e simples. Após a montagem, iniciou-se a fase de organização interna da cabine de cultivo com a aquisição de pallets de madeira e plástico para proporcionar um ambiente mais ergonômico para manuseio. Com a montagem da estrutura concluída, teve início a fase de instalação dos sistemas eletrônicos de atuadores e sensores.

Em conjunto, a instalação dos sistemas eletrônicos deu-se primeiramente a partir dos sensores de temperatura e umidade, funcionando com baterias, sem a necessidade de qualquer implementação de fonte de alimentação. À vista disso, instalou-se os sistemas de iluminação artificial e de ventilação no lado de fora da cabine de cultivo alojados na parede.

Figura 2 – Ambiente da cabine de cultivo e instalações elétricas.



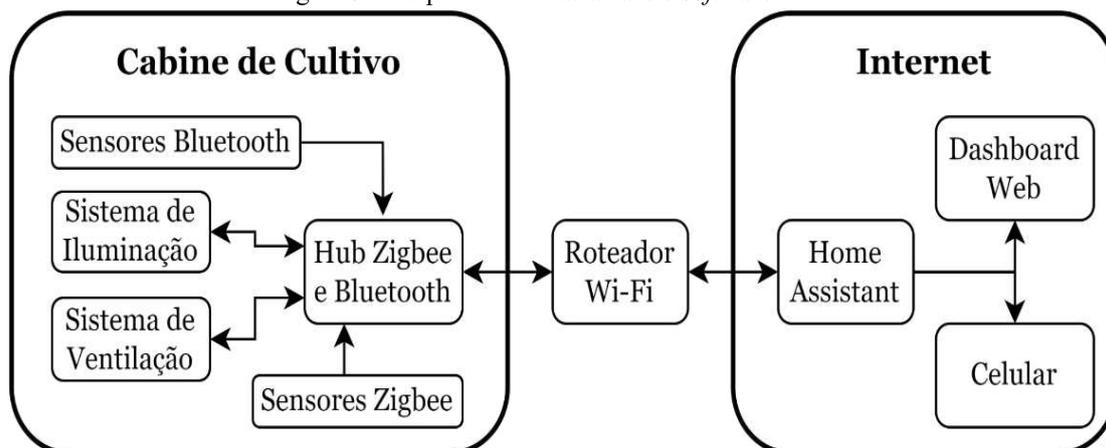
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Na figura 2 também é descrito o circuito mencionado no diagrama de blocos supracitado, incluindo tomadas inteligentes destinadas a controlar e monitorar o consumo energético dos sistemas de ventilação e iluminação em conjunto com duas fontes, principal e reserva, para o acionamento dos ventiladores de ar. Por fim, foi instalada uma tomada inteligente conectada ao concentrador *Zigbee/Bluetooth*.

A arquitetura do sistema IoT foi baseada na utilização dos protocolos *Zigbee* e *Bluetooth* como técnica de comunicação sem fio para criar uma rede de dispositivos que monitoram temperatura e umidade e realizem o controle da iluminação artificial em conjunto com a ventilação e exaustão de ar dentro da cabine de cultivo *indoor* disponibilizando as informações na Internet.

Na figura 3 é apresentada a arquitetura de *hardware* e *software* utilizada no projeto, que possui integração com a *Tuya Smart* através do *Home Assistant*. A implementação do *Home Assistant* se dá através de um computador utilizando uma máquina virtual, porém pode-se realizar a instalação da imagem do sistema operacional em *kits* de desenvolvimento, como na *Raspberry Pi* (Christopher e Marie, 2022).

*Tuya Smart* um aplicativo *web* de inteligência artificial e Internet das coisas projetado para fornecer serviços de monitoramento e controle de dispositivos IoT. Sua grande vantagem é controlar dispositivos inteligentes de várias marcas e categorias, realizando o controle através de aplicativo móvel para sistemas *Android* ou *iOS*. Possui emparelhamento automático de dispositivos inteligentes com apenas alguns toques, cria cenários inteligentes e dispõe de controle de voz de plataformas parceiras, como *Amazon* e *Google*, favorecendo ainda mais o alcance do aplicativo em diversas categorias e marcas. Sua desvantagem está relacionada a ausência de liberdade para manipular as variáveis monitoradas.

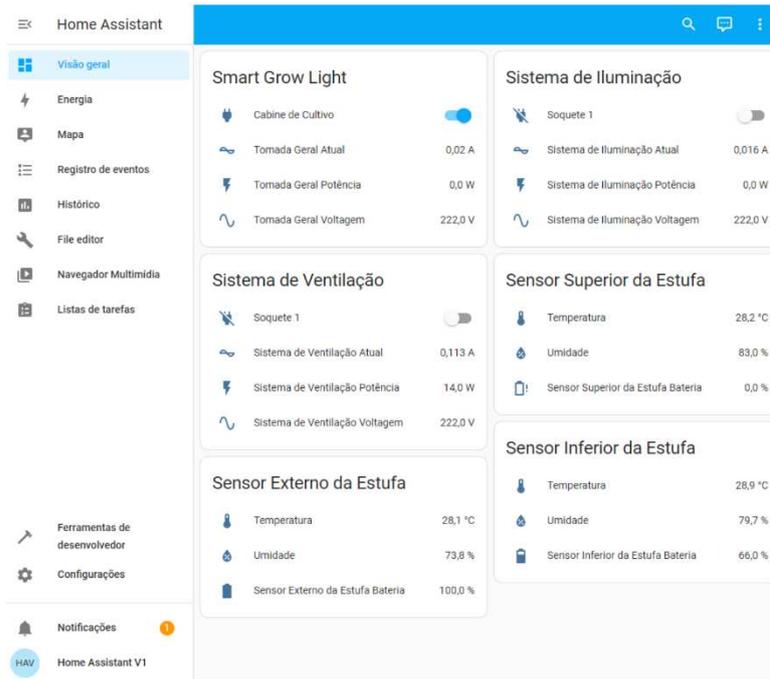
Figura 3 – Arquitetura de *hardware* e *software* do sistema.

Em complemento com os dispositivos IoT que se conectam no sistema da *Tuya Smart*, implementou-se o servidor *Home Assistant* (HA), cujo intuito é preencher as lacunas do *Tuya Smart*. A plataforma da *Tuya* realiza a integração com os diversos dispositivos utilizados neste projeto, em contrapartida o servidor HA realiza o controle a nível de aplicação para realizar a extração de todas as informações do dispositivo - denominadas de entidades. Cada dispositivo possui mais de uma entidade sendo monitorada, por exemplo, sensor de temperatura e umidade possui variáveis de temperatura, umidade e porcentagem de bateria.

Com isso, o servidor *Home Assistant* possui a capacidade de tratar esses dados de forma independente e realizar operações lógicas com os valores recolhidos de temperatura, umidade e porcentagem de bateria, variáveis essas que não são extraídas no *Tuya Smart* com tanta *customização*.

Na figura 4 é apresentado o *dashboard* com a integração dos dispositivos inteligentes da *Tuya Smart*, apresentando as tomadas inteligentes nomeadas com suas respectivas funções de tomada geral (cabine de cultivo), tomada do sistema de iluminação (soquete 1) e sistema de ventilação (soquete 2). Além disso, são apresentadas as informações de temperatura, umidade e bateria dos sensores IoT.

Figura 4 – *Dashboards* do sistema IoT.



Fonte: Dados da pesquisa.

## 5. *Smart Grow Light*: validação

A validação do sistema deu-se a partir dos cenários de testes de cultivo eficiente de *microverdes*, baseando-se na fundamentação teórica e nas particularidades do ambiente. Esse cenário corresponde às características de uma fábrica de plantas em ambiente urbano, realizando-se o cultivo de *microverdes* de quaisquer categorias. No presente projeto, foram utilizadas *microverdes* de hortaliças de Repolho Roxo Krishna, Beterraba Shankar e Couve-Brócolis Piracicaba.

Para iniciar o cultivo das *microverdes*, utilizou-se substrato inerte da *Carolina Soil*, pacotes de sementes de mercado e um pulverizador manual de jardim para irrigação em complemento com embalagens de alumínio do tipo marmitta para alojamento do cultivo. Inicialmente, realizou-se breves testes com baixa densidade de sementes para validar o espectro de luz artificial utilizado. Foram utilizados 1,5 g de repolho, 2g de salsa e 3g de beterraba em recipientes de 16x13x6 centímetros de volume, nas seguintes etapas de cultivo de *microverdes*: germinação, *blackout* de brotação, *blackout* de estiolamento e exposição à luz artificial.

A fase de germinação foi realizada com substrato no recipiente em complemento com as sementes dispostas na superfície, cobertas por uma fina camada de substrato e, por fim, realizou-se a irrigação. Em seguida, o recipiente foi colocado em um ambiente de total escuridão para coagir a germinação mais rapidamente até o primeiro broto surgir (*blackout* de brotação). Nos testes realizados o período foi de 24 horas. Em seguida, iniciou-se a terceira fase, *blackout* de estiolamento do broto na busca por luz. Nos testes

realizados, constatou-se que, após mais um período de 24 horas, obteve-se resultados adequados. Por fim, após a germinação, *blackout* de brotação e de estiolamento, iniciou-se a fase de exposição à luz artificial. A figura 5 ilustra o primeiro teste.

Figura 5 – Validação do primeiro cultivo.



Fonte: Dados da pesquisa.

No primeiro teste de validação da iluminação artificial, obteve-se êxito no cultivo aprovando a configuração do painel de LED.

Deste modo, iniciou-se o segundo experimento de validação, desta vez, cultivando as *microverdes* em maior quantidade com bandejas profissionais. As bandejas possuíam dimensões de 58x28x3 centímetros de volume e foram utilizadas duas para cultivar repolho roxo e couve-brócolis. Foi estimado um valor baseado na área da bandeja mantendo uma densidade baixa de sementes próximas umas das outras e obteve-se 32 gramas para cada cultura de hortaliça.

Assim sendo, foram realizadas as quatro etapas de cultivo (figura 6) citadas na validação anterior também no segundo experimento, obtendo-se êxito.

Figura 6 – Validação do segundo cultivo.



Fonte: Dados da pesquisa.

## 6. Conclusão

Tendo em vista a acessibilidade de produtos com tecnologias IoT no mercado atual em diversos tipos de aplicações e a elevada demanda de novas soluções ambientais relacionadas à otimização de tarefas, redução dos custos operacionais, acesso remoto via internet, aumento da qualidade das culturas e um controle mais preciso do ambiente e dos recursos utilizados, foi desenvolvido o *Smart Grow Light*.

Esta proposta tem o propósito de fornecer uma cabine de cultivo modular para ambientes urbanos com a capacidade de produzir hortaliças sem adição de agrotóxicos, fertilizantes ou quaisquer outros produtos químicos que prejudiquem a saúde humana, favorecendo a sustentabilidade e a produção de vegetais orgânicos.

A cabine de cultivo propõe um sistema de manejo de hortaliças em ambiente controlado através do monitoramento de temperatura e umidade. Além disso, controla o sistema de iluminação artificial e de ventilação interna. Os dados coletados pela *Smart Grow Light* são transmitidos através dos sensores e atuadores com tecnologia *Bluetooth* e *Zigbee* para o coordenador que opera nas duas tecnologias e envia as informações via *Wi-Fi* para as plataformas *Tuya Smart* e *Home Assistant*, onde o usuário possui completo acesso dos dados para análise e atuação no sistema.

As arquiteturas construídas de *hardware* e *software* no ambiente laboratorial supriram as exigências deste projeto. O êxito da cabine de cultivo está diretamente relacionado às características da iluminação artificial utilizadas para desenvolver as

sementes até o estágio vegetativo cotiledonar. Em complemento, o êxito da arquitetura de software se dá a partir dos seguintes pontos: análise e escolha das tecnologias *wireless* mais eficientes em relação a aplicabilidade para sistemas de baixo consumo de energia; satisfazendo os princípios de IoT ao realizar monitoramentos em tempo real, reduzindo os custos operacionais, proporcionando acesso remoto, controle preciso do ambiente de cultivo e redução da intervenção humana; e o monitoramento das variáveis mais críticas, temperatura e umidade, no cultivo em cabines fechadas.

Os resultados obtidos na avaliação do *Smart Grow Light* apresentaram grande consistência relacionada à uma solução modular confiável não apenas para utilidade de pesquisa acadêmica, mas também como sistema ideal para cultivos residenciais e comércios de pequeno porte. Vale ressaltar que o projeto proposto não contempla sistema de irrigação automática tendo em vista o risco de apodrecimento das folhas e caules através da irrigação tradicional, criando um ambiente extremamente úmido para favorecer o crescimento de fungos e também por causa da distribuição desigual da água afetando o substrato. Por isso, o sistema ideal de irrigação é através de capilaridade, ou seja, irrigação por baixo do substrato e neste projeto não foi contemplado um sistema de irrigação automático por capilaridade, ficando como sugestão para projetos futuros.

## Referências

ALDHYANI, T. H. H.; ALKAHTANI, H. Cyber Security for Detecting Distributed Denial of Service Attacks in Agriculture 4.0: Deep Learning Model. **Mathematics**, v. 11, n. 1, 2023. ISSN 2227-7390. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7390/11/1/233>. Acesso em 30 jun 2025.

AQUINO, Henrique Guilherme. Estufa automatizada para cultivo de plantas: sistema de coleta de dados. CONIC - **Congresso Nacional de Iniciação Científica**, 2013. Disponível em: <https://www.conic-semesp.org.br/anais/files/2013/trabalho-1000015665.pdf>. Acesso em 30 jun 2025.

CARDIA, Luiz Henrique Barboza; BORTOLASSI JUNIOR, Marcio Roberto. Influência da Iluminação Artificial no Cultivo de Rabanete. 2019. 12 p. Monografia (Curso de Graduação em Agronomia) — UNICESUMAR - **Centro Universitário de Maringá**. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/4710/1/LUIZ%20HENRIQUE%20BARBOZA%20CARDIA%20E%20MARCIO%20ROBERTO%20BORTOLASSI%20JUNIOR.pdf>. Acesso em 30 jun 2025.

CIRUELA-LORENZO, A. M. et. al. Digitalization of Agri-Cooperatives in the Smart Agriculture Context. Proposal of a Digital Diagnosis Tool. **Sustainability**, v. 12, n. 4, 2020. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/4/1325>. Acesso em 30 jun 2025.

CLERCQ, Matthieu De et al. Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology. 2018. Online. Disponível em: <https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliverwyman/v2/publications/2021/apr/agriculture-4-0-the-future-of-farming-technology.pdf>. Acesso em 30 jun 2025.

COPE, K. R. et. al. Photobiological interactions of blue light and photosynthetic photon flux: effects of monochromatic and broad-spectrum light sources. **Photochemistry and Photobiology**, v. 90, p. 991 – 1000, 2014. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/php.12233>. Acesso em 30 jun 2025.

DARKO, Eva et. al. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. **Phil. Trans. R. Soc**, 2014. ISSN 1471-2970. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2013.0243>. Acesso em 30 jun 2025.

DESPOMMIER; D., Dickson. The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century. New York: St Martin's Press, 2010. v. 1. 336 p.

DOU, Haijie et. al. Responses of Sweet Basil to Different Daily Light Integrals in Photosynthesis, Morphology, Yield, and Nutritional Quality. *HortScience horts*, American Society for Horticultural Science, Washington, DC, v. 53, n. 4, p. 496 – 503, 2018. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/53/4/article-p496.xml>. Acesso em 30 jun 2025.

FACCIONI FILHO, Mauro. Internet das Coisas (Internet of Things). [S.l.]: Unisul Virtual, 2016. ISBN 9788550601113.

FARAHANI, Shahin. Chapter 1 - ZigBee Basics. In: FARAHANI, Shahin (Ed.). *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. Burlington: Newnes, 2008. p. 1 – 24. ISBN 978-07506-8393-7. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750683937000017>. Acesso em 30 jun 2025.

FIGUEIREDO, Gilberto; MIURA, Maximiliano. Produção em Ambiente Protegido em São Paulo: Atuação da Secretaria de Agricultura favoreceu a expansão. 2011. Online. Disponível em: [https://www.cati.sp.gov.br/revistacasadaagricultura/06/RevistaCA\\_Producao\\_Ano14\\_n\\_2.pdf](https://www.cati.sp.gov.br/revistacasadaagricultura/06/RevistaCA_Producao_Ano14_n_2.pdf). Acesso em 30 jun 2025.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2008.

FOLTA, K. M.; MARUHNICH, S. A. Green light: a signal to slow down or stop. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 3099 – 3111, 2007. Disponível em <https://academic.oup.com/jxb/article/58/12/3099/633072>. Acesso em 30 jun 2025.

FREITAS, Diego Antonio França et al. Qualidade do Solo em Áreas de Plantio Convencional sob Latossolos do Cerrado. 2010. Online. Disponível em: <https://>

[ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46359/1/CBCS2.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46359/1/CBCS2.pdf). Acesso em 30 jun 2025.

FREITAS, Isabela Scavacini. Suplementação luminosa com lâmpadas LED na produção de microverdes em ambiente protegido. 2020. 55 p. Dissertação (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz) - Universidade de São Paulo. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-12082020-173606/publico/Isabela\\_Scavacini\\_de\\_Freitas\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-12082020-173606/publico/Isabela_Scavacini_de_Freitas_versao_revisada.pdf). Acesso em 30 jun 2025.

GEBRESENBET, G. et. al. A concept for application of integrated digital Technologies to enhance future smart agricultural systems. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, 2023. ISSN 2772-3755. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375523000850>. Acesso em 30 jun 2025.

GZAR, D. A.; MAHMOOD, A. M.; AL-ADILEE, M. K. A. Recent trends of smart agricultural systems based on Internet of Things technology: A survey. **Computers and Electrical Engineering**, v. 104, 2022. ISSN 0045-7906. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790622006681>. Acesso em 30 jun 2025.

JAVAID, M. et. al. Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. **Sustainable Operations and Computers**, v. 3, p. 203 – 217, 2022. ISSN 2666-4127. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666412722000071>. Acesso em 30 jun 2025.

JAVAID, M. et. al. Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. **Advanced Agrochem**, v. 2, n. 1, p. 15 – 30, 2023. ISSN 2773-2371. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277323712200020X>. Acesso em 30 jun 2025.

KAMI, C. et al. Light-regulated plant growth and development. **Current Topics in Developmental Biology**, v. 91, p. 29 – 66, 2010. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20705178/>. Acesso em 30 jun 2025.

KOZAI, Toyoki et. al. LED Lighting for Urban Agriculture. Springer, 2016. ISBN 978-981-10-1848-0. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-1848-0?page=3#toc>. Acesso em 30 jun 2025.

Kozai, T., Niu, G. and Takagaki, M. (2015) Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press, Cambridge. <https://books.google.com/books?id=z-C7DwAAQBAJ>. Acesso em 30 jun 2025.

KYRIACOU, M. C. et. al. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. **Trends in Food Science and Technology**, v. 57, p. 103 – 115, 2016. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224416302369>. Acesso em 30 jun 2025.

LANDSBERG, J. J. et. al. Computer analysis of the efficacy of evaporative cooling for glasshouses in high energy environments. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 24, p. 29 – 39, 1979. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:110174076>. Acesso em 30 jun 2025.

LESTER, G. E. et. al.  $\gamma$ -Irradiation dose: Effects on baby-leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate,  $\alpha$ -tocopherol, and phyloquinone concentrations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 8, p. 4901 – 4906, 2010. Disponível em <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf100146m>. Acesso em 30 jun 2025.

LUO, Y.; SHI, H. Direct regulation of phytochrome actions by photoreceptors. **Trends in Plant Science**, v. 20, p. 7 – 9, 2018. Disponível em <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1360138518302644>. Acesso em 30 jun 2025.

MASSA, Gioia; NORRIE, Jeffrey. LEDs Electrifying Horticultural Science: Proceedings from the 2014 Colloquium and Workshop. **HortScience**, v. 50, p. 1272 – 1273, 09 2015. Disponível em <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/50/9/article-p1272.xml>. Acesso em 30 jun 2025.

MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 4, p. 358 – 371, 2013. ISSN 1537-5110. Special Issue: Sensing Technologies for Sustainable Agriculture. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012001419>. Acesso em 30 jun 2025.

OLIVEIRA, Sérgio. Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi. 1. ed. [S.l.]: Novatec Editora, 2017. v. 1.

PATTARO, Mariana Carmona. A influência da luz azul na morfologia de plantas de alface cultivadas sob diferentes qualidades e intensidades de luz. 2019. 89 p. Dissertação (Centro de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Agronomia) — Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6481>. Acesso em 30 jun 2025.

Peffer, K et. al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**. Doi: 10.2753/MIS 0742-1222240302, v. 24, n. 3, p. 45 – 77, 2007. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.535.7773&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 30 jun 2025.

PELLINI, Eduardo Lorenzetti. Introdução a Automação de Sistemas Elétricos: Conceitos básicos. 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/61824180-Introducao-a-automacao-de-sistemas%EF%BF%BEEletricos.html>. Acesso em: 30 jun 2025.

PENZENSTADLER, Birgit et al. Resilient Smart Gardens—Exploration of a Blueprint. **Sustainability**, v. 10, n. 8, 2018. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2654>. Acesso em 30 jun 2025.

PURQUERIO, Luis Felipe Villani; TIVELLI, Sebastião Wilson. Manejo do ambiente em cultivo protegido. Manual técnico de orientação: projeto hortalimento. 2006. Online. Disponível em: <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/administracao/educacao/artigos/MANEJO%20DO%20AMBIENTE%20EM%20CULTIVO%20PROTEGIDO.pdf>. Acesso em 30 jun 2025.

Putri, E. A. D. *et. al.* Growth and yield pattern of microgreen under different types of artificial lighting. **Jurnal Kultivasi**, v. 22, n. 1, April 2023. ISSN 2581-138x. Disponível em: <https://jurnal.unpad.ac.id/kultivasi/article/view/41767>. Acesso em 30 jun 2025.

Prihantanti, T. M. *et. al.* Introduksi Microgreen Sebagai Upaya Mendukung Pangan Sehat Keluarga Dan Edukasi Generasi Muda Masyarakat Perkotaan. **Jurnal Masyarakat Mandiri**, v. 7, n. 2, April 2023. ISSN 2614-5758. Disponível em: [https://journal.ummat.ac.id/index.php/jmm/article/view/13087/pdf\\_1](https://journal.ummat.ac.id/index.php/jmm/article/view/13087/pdf_1). Acesso em 30 jun 2025.

RHO, Jeong-Min *et. al.* IoT-based Smart Greenhouse System. **Journal of The Korean Society of Computer and Information**, JKSCI, Jeju, Korea., v. 25, n. 11, p. 1 – 8, Nov 2020. ISSN 1598-849X. Disponível em: <http://journal.kci.go.kr/jksci/archive/articleView?artiId=ART002649831>. Acesso em 30 jun 2025.

SANTOS, Anna Paula Rodrigues dos. Características Agronômicas e Qualidade da Alface (*Lactuca Sativa L.*) Sob Fertilização Orgânica e Mineral. 2016. 114 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília. Disponível em: [http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/34372/1/2016\\_AннаPaulaRodriguesdosSantos.pdf](http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/34372/1/2016_AннаPaulaRodriguesdosSantos.pdf). Acesso em 30 jun 2025.

SANTOS, Bernardo Schmitz dos. Estudo de um protótipo para controle e monitoramento em estufa de hortaliças baseado em internet das coisas e o microcontrolador esp8266. 2020. 87 p. Monografia (Curso de Ciência da Computação) - Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/8835>. Acesso em 30 jun 2025.

SANTOS, Bruno P *et. al.* Internet das coisas: da teoria à prática. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016, pp 14-50. Disponível em <https://sbrc2016.ufba.br/downloads/anais/MinicursosSBRC2016.pdf>. Acesso em 30 jun 2025.

SANTOS, Lucas Leão *et. al.* Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, p. 83 – 93, 2010. Disponível em: [http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/8\\_artigo\\_v8.pdf](http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/8_artigo_v8.pdf). Acesso em 30 jun 2025.

SERRANO, Luis Tonatiuh Castellanos *et. al.* Software Engineering for a Mini-PFAL (Plant Factory with Artificial Lighting) with IoT Interconnectivity. **Revista Ciências Técnicas Agropecuarias, Universidad Agraria de La Habana**, Habana, Cuba., v. 31, n. 3, p. 1 – 13, Sept 2022. ISSN 2071-0054. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/932/93272914004/html/>. Acesso em 30 jun 2025.

SHARMA, V.; TRIPATHI, A. K.; MITTAL, H. Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 201, 2022. ISSN 0168-1699. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169922005324>. Acesso em 30 jun 2025.

SILVA, B. A. et. al. Cultivo protegido: em busca de mais eficiência produtiva. **Hortifruti Brasil**, v. 1, p. 10 – 18, 2014. Disponível em: [https://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/132/mat\\_capa.pdf](https://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/132/mat_capa.pdf). Acesso em 30 jun 2025.

SMITH, H. L. et. al. Don't ignore the green light: exploring diverse roles in plant processes. **J Exp Bot**. 2017. Apr 1; 68 (9): 2099-2110. DOI: 10.1093/jxb/erx098. Acesso em 30 jun 2025.

TAMOTSU, Higuchi, Yohei and Hisamatsu,. Light Acts as a Signal for Regulation of Growth and Development. In: S., Kozai, Toyoki and Fujiwara, Kazuhiro and Runkle, Erik (Ed.). LED Lighting for Urban Agriculture. Singapore: Springer Singapore, 2016. p. 57 – 73. ISBN 978-981-10-1848-0. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1848-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1848-0_5). Acesso em 30 jun 2025.

TERUEL, Bárbara J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 14, n. 3, 2010. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/gRnTw3hbCbKRSvVg7fmww7j/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em 30 jun 2025.

UHER, S. R. et. al. Alfalfa, Cabbage, Beet and Fennel Microgreens in Floating Hydroponics -- Perspective Nutrition food? **Plants**, v 12, n. 11, 2023. ISSN 2223-7747. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/11/2098>. Acesso em 30 jun 2025.

VERDOUW, C. et. al. Internet of Things in agriculture. **CABI Reviews**, CABI, v. 2016, pp 1-12. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201611035>. Acesso em 30 jun 2025.

VISCHI FILHO, Oswaldo Julio. Avaliação de casas de vegetação para fins quarentenários de flores, com diferentes graus de automação. 2002. 151 p. Dissertação (Curso de Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/273625>. Acesso em 30 jun 2025.

WATJANATEPIN, Napat; SRICHANIN, Thaveesak. Laboratory Scale Plant Factory Artificial Light: Primary Evaluation of the Light Environment, Resources Consumption and Yields. **Journal of Southwest Jiaotong University**, Chengdu, China, v. 56, n. 6, p. 1 – 17, Dec 2021. ISSN 0258-2724. Disponível em: <https://www.jsju.org/index.php/journal/article/view/1121>. Acesso em 30 jun 2025.

XIAO, Z. et. al. Microgreen of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. **Journal of Food composition and Analysis**, v. 49, p. 87 – 93, 2016. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157516300448>. Acesso em 30 jun 2025.