

LEAN NA AGRICULTURA VERTICAL: OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS E BENEFÍCIOS PARA A SUSTENTABILIDADE¹

Jucileia Filomena Barbosa Severino²
Letícia. O. G. R. de Souza³
Oswaldo Luiz Gonçalves Quelhas⁴
Carlos Francisco Simões Gomes⁵
Fernando Neves Pereira⁶

Resumo

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial deverá atingir mais de 9 bilhões de pessoas até 2050, com um número maior presente nos centros urbanos dos países em desenvolvimento. A produção sustentável de alimentos em larga escala tornou-se um desafio para a sociedade, e a agricultura vertical surge como uma solução promissora para a produção de hortaliças em áreas urbanas. O presente artigo tem como objetivo apresentar um framework para melhorar a eficiência e sustentabilidade do processo de produção de agricultura vertical, utilizando-se ferramentas como o Lean e LED nesta implantação. A pesquisa empregou metodologicamente uma abordagem qualitativa na revisão da literatura, adotando uma pesquisa bibliográfica de artigos científicos relevantes em base de dados reconhecidas nacional e internacionalmente. Os resultados obtidos apontam que a aplicação de ferramentas como Lean e LED na agricultura vertical de hortaliças, podem resultar em maior produtividade e eficiência, reduzindo desperdícios relacionados ao manejo e transporte, além de tornar o processo de produção mais sustentável para resultados em áreas urbanas, onde se concentra a maior parcela da população.

Palavra-chave: Agricultura Vertical, Led na Agricultura, Lean.

Abstract

According to the United Nations (UN), the world population is expected to reach more than 9 billion people by 2050, with a greater number present in the urban centers of developing countries. The sustainable production of food on a large scale has become a challenge for society, and vertical farming emerges as a promising solution for the production of vegetables in urban areas. This article aims to present a framework to improve the efficiency and sustainability of the vertical agriculture production process, using tools such as Lean and LED in this implementation. The research methodologically employed a qualitative approach in the literature review, adopting a bibliographical research of relevant scientific articles in nationally and internationally recognized databases. The results show that the application of tools such as Lean and LED in vertical vegetable farming can result in greater productivity and efficiency, reducing waste related to handling and transport, in addition to making the production process more sustainable for results in urban areas, where most of the population is concentrated.

Keyword: Vertical Farm, Led in Agriculture, Lean.

¹ Recebido: 25/07/2023. 1ªavaliação:05/09/2023. 2ªavaliação em 03/08/2023. Publicado: 28/08/2023.
DOI:<https://doi.org/10.22409/2675-4924.59307>

² Universidade Federal Fluminense. Email: jucileia.severino@cefet-rj.br

³ Universidade Federal Fluminense. Email: leticiaog29@gmail.com

⁴ Universidade Federal Fluminense. Email: osvaldoquelhas@id.uff.br

⁵ Universidade Federal Fluminense. Email: cfsg1@bol.com.br

⁶ Universidade Federal Fluminense. Email: fnevesp@gmail.com

1. Introdução

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (2012), até 2050 a população chegará ao número de 9,5 bilhões de pessoas. Para alimentar todas essas pessoas, com as tecnologias mais usadas atualmente, seria necessária uma área de terra arável semelhante à extensão territorial da América do Sul para produção de 70% mais alimentos do que se produz atualmente (FAO, 2012). Para combater essa questão, e garantir a segurança alimentar da população, oportunidades atuais têm relacionado agricultura, engenharia e arquitetura com o intuito de criar tipologias de agricultura vertical para as cidades.

A agricultura vertical ou fazenda vertical consiste em uma opção de metodologia relacionada a agricultura dentro dos edifícios, livres de mudanças climáticas onde a água e os resíduos são reaproveitados, e a plantação é frequentemente monitorada, sem a utilização de agrotóxicos e pesticidas. Com isso, o alimento é produzido, transportado e comercializado dentro de uma mesma região, minimizando o desperdício, criando empregos, reduzindo a emissão de poluentes e o consumo de combustíveis fósseis (DESPOMMIER, 2013).

Esta metodologia tem como atividade principal o controle das condições necessárias para o crescimento, maturação e sobrevivência de qualquer cultura e na questão ambiental cria possibilidade ao retorno da função ecológica original das terras agrícolas. Utiliza-se nela tecnologias que empregam a energia solar, eólica, baterias de armazenamento, iluminação LED (*Light Emitting Diode*) e tecnologias de informação (TI) (SIVAMANI et al., 2013).

Esse tipo de agricultura possibilita o controle de pragas e doenças nas plantas, minimização do desperdício e da poluição do meio ambiente, não sofre pela sazonalidade na produção, considerando ser uma produção contínua que ocorre durante o ano todo. (KALANTARI et al., 2018).

Nicole et al. (2016) mencionam que a proximidade da produção com o consumidor proporciona uma alimentação mais saudável com produtos frescos, livres de pesticidas etc. (SIVAMANI et al., 2013). Porém, esse tipo de produção, apresenta alto custo referente aos elevados preços das terras nas áreas urbanas e a manutenção das atividades, além da falta de mão de obra qualificada e a necessidade de políticas públicas com foco em pesquisas de novos tipos de plantas, as quais possam sobreviver sob as variáveis de temperatura, umidade, níveis de CO² e iluminação LED. (KRIJN, 2018).

Segundo Despommier (2010), existem tecnologias economicamente viáveis para promover a produção vertical. Uma consiste na tecnologia que simula a luz natural necessária ao desenvolvimento das espécies cultivadas, que pode ser feita por lâmpadas LED, mas tem como fonte as energias eólicas, solar ou geotérmica (SHENG, 2018).

Assim, nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar um *framework* para melhorar a sustentabilidade no processo de produção de agricultura vertical, utilizando o Lean como ferramenta desta implantação.

Este artigo é dividido em seis seções distintas, que são: 1- Introdução, 2- Referencial Teórico, 3- Materiais e Métodos, 4- Resultados e Discussão, 5- Conclusão e 6- Referências. Na seção de Introdução, é apresentada uma visão geral do tema abordado. O Referencial Teórico, localizado na seção 2, oferece embasamento teórico sobre o assunto em questão. A seção 3, denominada Materiais e Métodos, descreve detalhadamente os procedimentos e técnicas utilizados na pesquisa. Os resultados obtidos e a discussão relacionada a esses resultados são apresentados na seção 4.

Na seção 5, é feita a conclusão do artigo, resumindo os principais achados e destacando sua importância. Por fim, na seção 6, são listadas as referências bibliográficas utilizadas como embasamento teórico e citações ao longo do trabalho.

2. Referencial teórico

A revisão da literatura é parte fundamental para o processo de investigação de uma pesquisa. Assim, o capítulo a seguir utilizou-se como referência os trabalhos já publicados sobre o tema investigado, para proporcionar um estudo mais pormenorizado sobre o atual estado de um referido tema

2.1 Agricultura vertical

A Agricultura Vertical foi engendrada pelo Professor Dickson Despommier e seus alunos, que pensaram em uma construção de centros urbanos de produção de alimentos que devem ser cultivados dentro de edifícios, e por isso não teriam a preocupação com eventos climáticos nem com a necessidade do uso de agrotóxicos, porque o método utilizaria-se da hidroponia, aeroponia ou aquaponia, no qual o processo não utiliza de elementos tóxicos, economizando ainda um mínimo de 70% de água, comparado ao sistema tradicional (DESPOMMIER, 2015). O método, promove o cultivo de plantas na cidade, proporcionando o não desperdício no deslocamento das fazendas até o distribuidor. Existem estufas usadas há tempos, porém a inovação se apresenta na ideia de se ter “arranha-céus” (high-rise) com plantações (GIANEZINI, *et al.*, 2016).

Despommier (2015) apresenta o conceito de agricultura vertical como:

“Construção de centros urbanos de produção de alimentos – fazendas verticais – nos quais nossos alimentos seriam cultivados continuamente dentro de edifícios altos dentro do ambiente construído” (DESPOMMIER, 2015).

Dutta *et al.* (2023) mencionam que esses métodos estão ganhando importância na era atual de urbanização e industrialização 5.0, por aumentar a sustentabilidade, por utilizar menos espaço e reduzir as emissões de carbono e gases de efeito estufa.

E com o reconhecimento dos impactos das mudanças climáticas na segurança alimentar, a aceitação por estes métodos têm aumentando porque ele tem o intuito de fornecer produção resiliente ao clima e de alta qualidade, além de permitir a produção primária em locais urbanos, bem como reduzir a sazonalidade e a variabilidade na produção. (SANDISON *et al.*, 2023).

O autor afirma que a fauna original do local, que até então era prejudicado pelo método tradicional, seria recuperada, não se fazendo necessário o uso de pesticidas que causam danos à saúde e poluem a água e o solo. (DESPOMMIER, 2015).

A agricultura vertical também é conhecida como fazenda vertical e Lucena *et al.* (2014) mencionam que é uma estrutura localizada em grandes centros urbanos, com a finalidade do plantio de vegetais em camadas verticais.

Despommier (2015) acredita que com esse tipo de agricultura, o solo antes devastado, consiga se recuperar sozinho. O autor menciona 10 vantagens que esta proposta possibilita:

- Produtos agrícolas todos os dias, independente das intempéries climáticas;

- Redução da quantidade de combustível fóssil para entregar os produtos e de maquinários não necessários para a agricultura vertical como: semeadoras, aradores, aplicadores de fertilizantes, etc.;
- Elimina a utilização de rodovias (ou outros modais), que às vezes são precárias (e custosas).
- Utiliza propriedades antes abandonadas, podendo tornar-se pontos turísticos;
- Menos falhas de produção devido ao clima;
- Sustentabilidade para os centros urbanos;
- Recuperação do ecossistema, reparando solos antes usados por plantações agrícolas;
- Economia de recursos hídricos, podendo chegar a 70-95% se comparado ao método tradicional;
- Novas oportunidades de emprego;
- Melhor controle de vermes e outras pragas;

2.1.1 Métodos que podem ser usados em uma Agricultura Vertical. Segue a descrição dos três métodos:

- Hidroponia é uma forma de cultivo sem o manuseio do solo, com utilização de apenas uma pequena quantidade de água com a junção de uma solução nutritiva adequada a cada espécie cultivada (JÚNIOR, *et al.*, 2004). Pode ocorrer tanto na posição vertical quanto na horizontal e pode ser aberto ou fechado, no sistema aberto a solução nutritiva não retorna ao tanque de origem, e no fechado isso acontece. (EPAMIG, 2020).
- Aeroponia é um método que não utiliza o solo, a diferença entre a anterior é a forma com que os nutrientes chegam até as plantas. Na hidroponia os nutrientes chegam através das lâminas d'água, enquanto na aeroponia as plantas ficam suspensas e a água com os nutrientes chega até as raízes (TARGINO, *et al.*, 2018). Os dois métodos têm as mesmas características de economia de água e a mesma desvantagem de precisar da eletricidade, com isso elas são dependentes de geradores, o que as tornam métodos com maior investimento inicial que o método tradicional (TARGINO, *et al.*, 2018).
- Aquaponia é um método que se mistura a criação de peixes e compõem um ecossistema próprio, onde estes peixes se alimentam de ração e seus dejetos com nutrientes retornam para as plantas e a água e depois é devolvida aos tanques dos peixes novamente em um processo cíclico. (CARNEIRO, *et al.*, 2015). A economia de água se dá com a não necessidade de trocá-la, somente repor a quantidade que sofreu evaporação. (CARNEIRO, *et al.*, 2015). Este método é a mistura do método de hidroponia com a aquicultura (criação de peixes), ou seja, é uma maneira de produção de plantas e de peixes (CARNEIRO, *et al.*, 2015).

2.2 - LED na agricultura vertical

Um dos principais desafios da agricultura vertical é a falta de luz natural adequada para a fotossíntese das plantas. Para superar essa limitação, o uso de iluminação artificial com LEDs (*Light Emitting Diodes*) tem se mostrado uma solução eficaz. Os LEDs possuem características únicas que os tornam ideais para aplicação

na agricultura vertical, como sua eficiência energética, vida útil longa, espectro ajustável e capacidade de emitir luz em comprimentos de onda específicos.

Ao ajustar o espectro de luz emitido pelos LEDs, é possível otimizar o crescimento das plantas em cada estágio de desenvolvimento. Por exemplo, a luz azul é essencial para a fase vegetativa, estimulando o crescimento foliar e o enraizamento, enquanto a luz vermelha é mais adequada para a fase reprodutiva, influenciando o florescimento e a frutificação.

Vários estudos têm investigado os efeitos dos LEDs na agricultura vertical. Li et al. (2018) analisou o impacto da combinação de diferentes cores de LEDs no crescimento e qualidade de alface cultivada em agricultura vertical. Os resultados mostraram que a combinação adequada de luz azul e vermelha promoveu um crescimento significativo das plantas e aumentou a concentração de compostos bioativos.

Já Massa *et al.* (2018), investigou o uso de LEDs na produção de tomates em sistemas de agricultura vertical. Os pesquisadores descobriram que a combinação específica de LEDs vermelhos e azuis resultou em maior produção de frutas, melhor qualidade nutricional e maior eficiência no uso de energia em comparação com sistemas de iluminação convencionais.

Além disso, o trabalho de Dou et al. (2017) explorou a influência do espectro de luz dos LEDs no cultivo de ervas aromáticas em fazendas verticais. Os resultados indicaram que a combinação de luz vermelha, azul e branca promoveu maior crescimento vegetativo e concentração de compostos voláteis, resultando em ervas de melhor qualidade.

Esses e outros estudos destacam a importância do uso estratégico de LEDs na agricultura vertical, permitindo o controle preciso do ambiente de cultivo e maximizando a produção de alimentos de alta qualidade. O uso de iluminação artificial personalizada pode reduzir o tempo de crescimento das plantas, aumentar o rendimento, melhorar a qualidade nutricional e ao mesmo tempo contribuir para a sustentabilidade da agricultura vertical.

2.3 - Lean Agriculture

Nesta seção, mergulharemos na análise e discussão do Lean Agriculture, uma abordagem que tem como base a redução de desperdícios em todas as etapas da produção agrícola, desde o plantio até a comercialização dos produtos. Empregando ferramentas como o mapeamento do fluxo de valor e uma análise minuciosa dos processos, busca-se aprimorar a cadeia produtiva de forma abrangente.

O Lean Agriculture não se limita apenas à eliminação de desperdícios, mas também valoriza o trabalho em equipe e a busca incessante pela melhoria contínua. Incentiva-se os colaboradores a identificar desafios e propor soluções, com o objetivo de elevar a eficiência e a qualidade dos processos produtivos. Essa prática estabelece uma cultura de progresso constante, onde todos os envolvidos são motivados a contribuir com soluções para aprimorar a produção agrícola.

Melin *et al.* (2018) ratificam a relevância do comprometimento da gerência e a capacitação dos funcionários para a aplicação das ferramentas lean na agricultura em sua experiência com fazendas suecas.

O Lean agriculture segue um conjunto de cinco etapas, que abrangem desde a identificação dos processos até a implementação das melhorias. Todos os processos

são minuciosamente identificados e analisados para detectar possíveis desperdícios e gargalos. Com base nessa análise, realiza-se um mapeamento completo do fluxo de valor da cadeia produtiva, revelando as atividades que agregam valor ao produto e aquelas que geram desperdícios.

Ressalta-se também a significativa importância de instaurar um processo de melhoria contínua, motivando os colaboradores a identificar desafios e apresentar soluções inovadoras. O emprego de práticas como o Kaizen se torna fundamental para estimular a colaboração e a inovação no enfrentamento dos obstáculos encontrados

3. Materiais e métodos

A presente pesquisa tem o objetivo de apresentar um *framework* para melhorar a sustentabilidade no processo de produção de agricultura vertical, utilizando o Lean e LED como ferramentas desta implantação, mediante uma abordagem qualitativa, visando compreender os dados coletados, a fim de trazer resultados elucidativos para sociedade. Quanto aos objetivos, a pesquisa é descritiva e exploratória, tendo como premissa que, a pesquisa descritiva almeja relatar as características de um fenômeno, já a pesquisa exploratória busca apresentar maior familiaridade com o problema e construir hipóteses. Quanto aos procedimentos utilizados, esta pesquisa realizou o levantamento bibliográfico.

Para o levantamento bibliográfico, usou-se a base Scopus e Web of Science, mediante o uso das palavras-chave constantes no Quadro 1. Ainda no mesmo quadro pode-se observar os operadores booleanos que auxiliaram na formação das palavras-chave.

Quadro 1: Busca nas bases de dados

Palavra-Chave	Booleano	Base	Resultado	Filtro	Período
"vertical farming" and sustainability*	And	SCOPUS e Web of Science	45	Selecionados os artigos com aderência ao tema tendo resultado final = 33	2018 até 2023
"vertical farm" and LED	And	SCOPUS e Web of Science	69	Selecionados os artigos com aderência ao tema tendo resultado final = 21	2018 até 2023
lean and farm and agriculture	And	SCOPUS e Web of Science	51	Selecionado os artigos com aderência ao tema tendo resultado final = 36	2018 até 2023

Fonte: Autores (2023)

Após análise dos resultados e a devida adaptação ao tema, avaliando a aderência de cada artigo pesquisado, este estudo possibilitou a apresentação de um framework que orienta a implementação do *Lean* e LED na agricultura vertical, destacando os pontos relevantes encontrados na pesquisa bibliográfica realizada.

4. Resultado e discussão

Os resultados obtidos apontam que a aplicação de ferramentas como *Lean* e o uso do LED na agricultura vertical, resultam em maior produtividade e eficiência, reduzindo desperdícios relacionados ao manejo e transporte, além de tornar o processo de produção mais sustentável para resultados em áreas urbanas, onde se concentra maior parcela da população da sociedade.

Assim, o presente capítulo apresenta uma discussão que desdobrou-se em framework, que aponta o caminho para eficiência e sustentabilidade do processo de produção agrícola vertical, utilizando-se de ferramentas como *Lean* e iluminação LED. Tais referências são descritas no texto a seguir, onde destaca-se inicialmente o *Lean* e sequencialmente o LED.

O *Lean Agriculture*, que resume a aplicação de ferramentas *lean* na agricultura, tem como premissa a eliminação de desperdícios em todas as etapas da produção agrícola, desde o plantio até a comercialização dos produtos. Para isso, são utilizadas ferramentas como o mapeamento do fluxo de valor, a análise dos processos e a identificação dos gargalos, de modo a otimizar a cadeia produtiva como um todo.

Outra característica importante do *Lean Agriculture* é a valorização do trabalho em equipe e da melhoria contínua. Os funcionários são incentivados a identificar problemas e propor soluções, de forma a aumentar a eficiência e a qualidade dos processos produtivos.

Dentre os benefícios do *Lean Agriculture*, pode-se destacar a redução de custos, o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos e a redução do impacto ambiental da produção agrícola.

Portanto, o *Lean Agriculture* é uma abordagem extremamente relevante para o agronegócio, pois permite maximizar a eficiência e a rentabilidade do setor, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade e a responsabilidade social.

Além dos artigos extraídos no *Scopus* e *Web of Science*, pode-se destacar inicialmente alguns nomes relevantes, para agregar a utilidade do *Lean* como ferramenta para a abordagem do tema da *Lean and Agriculture*. Assim temos a construção do Quadro 2.

Quadro 2: Nomes de destaque na abordagem do tema *Lean and Agriculture*

Autor	Destaque
Henry Ford	O pai da linha de montagem, Henry Ford, também aplicou conceitos <i>lean</i> em suas fazendas, incluindo a utilização de máquinas agrícolas eficientes e a organização do trabalho de forma a minimizar o desperdício de tempo e recursos.
George Koenigsaecker	O autor do livro "Leading the Lean Enterprise Transformation", destaca a importância da aplicação de conceitos <i>lean</i> na agricultura para a melhoria da qualidade dos produtos, aumento da produtividade e redução de custos.
Norman Uphoff	O professor emérito de desenvolvimento internacional da Universidade Cornell destaca a importância do uso de técnicas de manejo sustentável do solo e da água, bem como de sistemas agroflorestais, para a produção de alimentos de forma mais eficiente e sustentável.

Steve Blank	O autor do livro "The Lean Startup" destaca a importância da aplicação de conceitos lean na agricultura para a inovação e melhoria contínua, utilizando a colaboração
John Shook	O autor do livro "Managing to Learn" destaca a importância da utilização de ferramentas lean, como o kaizen, para a melhoria contínua na agricultura.
Mark Graban	O autor do livro "Lean Hospitals" destaca a importância da aplicação de conceitos lean na agricultura para a redução do desperdício de recursos, melhoria da qualidade dos produtos e aumento da satisfação do cliente.

Fonte: Autores (2023)

Esses autores destacam a importância da aplicação dos conceitos *lean* na agricultura para melhorar a eficiência, qualidade, sustentabilidade e inovação da produção agrícola. Além disso, eles enfatizam a importância do uso de ferramentas e técnicas específicas, como o kaizen e a utilização de sistemas agroflorestais, para aprimorar a produção.

Com o objetivo de fornecer um contexto abrangente sobre a abordagem da agricultura vertical e sua sustentabilidade, foram analisados artigos científicos das renomadas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Esses estudos desempenharam um papel fundamental na fundamentação teórica e na construção do framework apresentado no fim deste trabalho. Ao explorar esses artigos, foi possível obter uma compreensão mais aprofundada das práticas, desafios e benefícios da agricultura vertical, bem como sua contribuição para a sustentabilidade ambiental e socioeconômica.

A revisão desses artigos enriqueceu a discussão e forneceu subsídios relevantes para a elaboração de diretrizes eficazes no desenvolvimento e implementação de práticas de agricultura vertical sustentável. O Quadro 3 apresenta os artigos de maior relevância encontrados na busca.

Quadro 3 - Artigos de destaque para Agricultura Vertical e Sustentabilidade

Autores	Ano	Resumo
Dutta et al.	2023	Analisa e realiza um estudo comparativo do crescimento da cevada em hidroponia e métodos de cultivo de substrato para melhorar a eficiência energética e a conservação de água nestes sistemas.
Sandison et al.	2023	explorar os principais impactos ambientais da produção na agricultura vertical em comparação com métodos convencionais, utilizando a alface como cultura como exemplo.
Parkes et al.	2023	Analisar os motivos pelo qual o projeto de agricultura vertical criado em 2018, em um prédio na Universidade de Lisboa não foi adiante.
Arabzadeh et al.	2023	Simulação de um sistema energético urbano que pratica agricultura vertical com energias renováveis variáveis em grande escala e medidas de flexibilidade.
Chaichana et al.	2022	Modelo para prever a disponibilidade anual de luz solar em prateleiras verticais, porque a disponibilidade limitada de energia solar é uma de suas desvantagens.

Casey et al.	2022	Aplicação de uma avaliação do ciclo de vida com o intuito de determinar os impactos ambientais da alface produzida em dez configurações de cadeia de suprimentos, com base na agricultura hidropônica de ambiente fechado com seis fontes diferentes de eletricidade ou de transporte.
Farokhi Soofi et al.	2022	Apresenta além de outras coisas, um roteiro para descarbonizar as atividades que emitem gases de efeito estufa nas fazendas.
Vermeulen et al.	2020	Demonstrar que o espaço pode ser um ambiente para a inovação da biologia vegetal.
Klerkxa e Rose	2020	Argumentam a necessária atenção para inclusão e exclusão das tecnologias da Agricultura 4.0 e na reflexão sobre a relação com diversos caminhos de transição para sistemas agrícolas e alimentares sustentáveis como foco na inovação.
Martin et al.	2019	Avaliar ambientalmente os fluxos de materiais residuais na agricultura vertical em ambientes urbanos, para apoiar a circularidade.
Avgoustaki	2019	Investigar as possibilidades de um fotoperíodo otimizado para plantas de manjerição que reduzam o custo de energia da unidade de cultivo.
de Anda e Shear	2017	Analisa o desenvolvimento da cultura hidropônica como uma maneira de produzir alimentos em locais com pouca água e investiga as possíveis oportunidades e benefícios para o México.

Fonte: Autores (2023)

Após os pesquisadores levantaram os artigos relevantes e identificarem aqueles que possuem aderência com a proposta da presente pesquisa, pode-se destacar os diversos autores mencionados no Quadro 3. Estes fazem uma abordagem de pesquisas sobre agricultura vertical e sustentabilidade, apresentando algumas semelhanças em suas perspectivas. Todos eles compartilham o enfoque na sustentabilidade como um objetivo central, buscando maneiras de tornar a agricultura vertical mais eficiente em termos energéticos e de conservação de recursos, além de avaliar os impactos ambientais decorrentes dessas práticas. Eles também exploram tecnologias e inovações para melhorar os sistemas agrícolas verticais.

Apesar das diferenças existentes entre as pesquisas, todas elas convergem para o mesmo propósito: promover práticas agrícolas mais sustentáveis na agricultura vertical. Essas pesquisas desempenham um papel fundamental na definição de diretrizes e na criação de um framework que oriente a implementação de abordagens sustentáveis na agricultura vertical. Ao considerar os aspectos energéticos, ambientais e tecnológicos, essas pesquisas fornecem informações valiosas para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis no contexto da agricultura vertical.

Já no Quadro 4 é apresentado em destaque um novo conjunto de artigos internacionais que contribuem para o desenvolvimento do *framework* desta pesquisa. Esses autores exploram e analisam diversas aplicações das ferramentas *lean* na agricultura em diferentes contextos geográficos. Suas contribuições forneceram *insights* sobre as melhores práticas e os benefícios da implementação de abordagens *lean* na indústria agrícola.

Quadro 4: Artigos em destaque sobre Lean Agriculture

Autores	Ano	Resumo
Martins <i>et al.</i>	2023	Faz uma revisão sistemática da aplicação dos princípios de Lean na produção agropecuária analisando ferramentas enxutas que são aplicadas em diferentes contextos para melhorar a eficiência e a qualidade na produção agropecuária
Pearce <i>et al.</i>	2021	Realizada uma avaliação do impacto das práticas enxutas no desempenho sustentável da produção de frutas hortícolas na África do Sul.
Kovilage <i>et al.</i>	2021	Analisa práticas Lean e recomenda-se que as organizações busquem melhorar seu desempenho sustentável começando com a abordagem lean e, em seguida, avancem para a implementação de práticas ambientalmente sustentáveis.
Gustafsson <i>et al.</i>	2020	Identificaram oportunidades para melhorias significativas na eficiência e sustentabilidade da produção agrícola em uma cooperativa agrícola na Suécia com a aplicação dos princípios lean.
Elia <i>et al.</i>	2020	Descreveram como a aplicação dos princípios lean pode melhorar a sustentabilidade ambiental na produção de alimentos.
Singh <i>et al.</i>	2019	Demonstraram melhorias na eficiência, qualidade e satisfação do cliente na produção de grãos na Índia com a aplicação do lean.
Mohammadi <i>et al.</i>	2018	Analisaram oportunidades para melhorias na eficiência energética em sistemas de produção agrícola por meio da aplicação dos princípios lean.

Fonte: Autores (2023)

As pesquisas apresentadas no Quadro 4 compartilham a premissa fundamental de buscar avanços na eficiência, qualidade e sustentabilidade da produção agrícola ao aplicar os princípios do *lean*. Embora cada estudo possui suas particularidades, alguns se concentram em aspectos específicos, enquanto outros exploram uma ampla gama de melhorias. Essas abordagens diversificadas oferecem perspectivas valiosas para a implementação de práticas lean na agricultura, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e eficiente do setor agrícola.

Ao integrar esses conhecimentos, é possível impulsionar a otimização dos processos agrícolas, aprimorar a qualidade dos produtos e promover a preservação dos recursos naturais, resultando em uma cadeia produtiva mais resiliente e economicamente viável

Sequencialmente, para se alcançar uma agricultura vertical eficiente e sustentável, tem-se também como ferramenta, estudos sobre lâmpadas LED. Conforme discutido no embasamento teórico, a ausência de luz natural é um dos desafios enfrentados na agricultura vertical. Nesse contexto, o uso de lâmpadas de LED tem se destacado como uma solução eficaz, econômica e sustentável de iluminação artificial, devido ao seu baixo consumo de energia elétrica. Essa tecnologia tem sido amplamente estudada e aplicada para otimizar o crescimento e a eficiência da produção na agricultura vertical.

Com o objetivo de aprofundar o conhecimento acerca do uso de lâmpadas de LED na agricultura vertical, o Quadro 5 apresenta uma seleção de pesquisas realizadas por diversos autores, que se debruçaram sobre essa temática específica. Esses estudos proporcionam importantes perspectivas, servindo também de base para a construção do *framework* proposto e contribuindo para o desenvolvimento de diretrizes que visam otimizar a eficiência e a sustentabilidade desse sistema de cultivo.

Quadro 5: Autores de pesquisas que utilizam LED na agricultura vertical

Autor	Ano	Resumo
Razzak <i>et al.</i>	2022	Avaliaram os efeitos de diferentes combinações de luz no crescimento e rendimento da alface na agricultura vertical. O estudo pode ser utilizado para otimizar a produção de alface na agricultura vertical.
Arizona <i>et al.</i>	2022	Descrevem um sistema de crescimento de plantas hidropônicas que utiliza luz LED e células solares para melhorar a eficiência energética.
Limaje <i>et al.</i>	2021	Avaliou o efeito da luz LED no crescimento de sorgo e na interação entre a planta e o pulgão do milho em um ambiente controlado. Esse conhecimento pode ser usado para otimizar a produção de culturas em ambientes controlados e reduzir o uso de pesticidas.
Olvera-Gonzalez <i>et al.</i>	2021	É realizado uma avaliação dos efeitos da luz LED pulsada em comparação com a luz LED contínua no consumo de energia em Sistemas Fechados de Produção em Plantas (CPPS), com foco na Agricultura Vertical. Faz uma análise da eficiência quântica como indicador dos efeitos positivos e/ou negativos da utilização de luz contínua ou pulsada em plantas.
Jin, W. <i>et al.</i>	2021	Investigam os efeitos da radiação do vermelho e da densidade de plantio no crescimento da alface em uma fazenda vertical.
Hernandez Velasco <i>et al.</i>	2021	Analisa técnicas de cultivo em climas nórdicos com uso de controle adaptativo de iluminação LED.
Filatov <i>et al.</i>	2021	Uso de iluminação LED intermitente para reduzir custos de energia na produção em ambientes controlados verticais.
Larsen <i>et al.</i>	2020	Avalia a resposta do crescimento e morfologia do manjeriço em agricultura vertical sob o efeito da intensidade de luz LED.
Hosseinfarhangi, M. <i>et al.</i>	2019	Aborda a transição impulsionada pela tecnologia na produção de vegetais, por meio do uso de iluminação de LED, hidroponia, agricultura vertical e ambientes controlados.

Fonte: Autores (2023)

O quadro 5 apresenta a importância da ferramenta LED para aumentar produtividade da agricultura em ambientes urbanos, comprometidos com a sustentabilidade.

Convergindo as informações coletadas dos artigos, consolidadas nos quadros de 1 ao 6, além do referencial teórico, o presente artigo apresenta um *framework* ilustrado na Figura 1 como base para implementação da ferramenta *Lean* em agricultura com o uso de luz LED para melhorar a eficiência e sustentabilidade do processo de produção agrícola em ambiente controlado.

Quadro 6: Diretrizes relevantes dos autores de artigos e seus destaques para construção de uma agricultura vertical sustentável.

Diretriz	Palavras-Chave	Autores
Agricultura Vertical	Cultivo em Ambiente Controlado	Chaichana <i>et al.</i> (2022)
	Utilização eficiente de espaços	Parkes <i>et al.</i> (2023)
	Controle de fatores ambientais	Hosseinifarhangi, M. <i>et al.</i>
	Redução de impactos ambientais	Sandison <i>et al.</i> (2023); Arabzadeh <i>et al.</i> (2023); Casey <i>et al.</i> (2022)
LED	Eficiência energética se comparado a métodos tradicionais	Arizona <i>et al.</i> (2022)
	Iluminação Artificial para cultivo	Filatov <i>et al.</i> (2021); Limaje <i>et al.</i> (2021)
	Personalização do espectro da luz para atender necessidades específica das plantas	Razzak <i>et al.</i> (2022)
	Baixo consumo com eficiência	Larsen <i>et al.</i> (2020)
LEAN	Redução de perdas e desperdícios	Martin <i>et al.</i> (2019); Avgoustake (2019)
	Melhorias na produção	Singh <i>et al.</i> (2019); Mohammadi <i>et al.</i> (2018); Gustafsson <i>et al.</i> (2020)
	Aumento de produtividade e lucratividade	Martins <i>et al.</i> (2023)
Sustentabilidade	Conservação de recursos	Dutta <i>et al.</i> (2023)
	Produção sustentável	De Anda e Shear (2017); Elia <i>et al.</i> (2020); Pearce <i>et al.</i> (2021)
	Inclusão e exclusão de tecnologias agrárias	Klerkxa e Rose (2020)

Fonte: Autores (2023)

Por fim, consubstanciando a Figura 1, segue as diretrizes selecionadas pelos pesquisadores através do quadro 6, que destaca os autores dos artigos que tiveram aderência nesta pesquisa e suas orientações para construção de uma agricultura vertical sustentável.

DIRETRIZES – AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

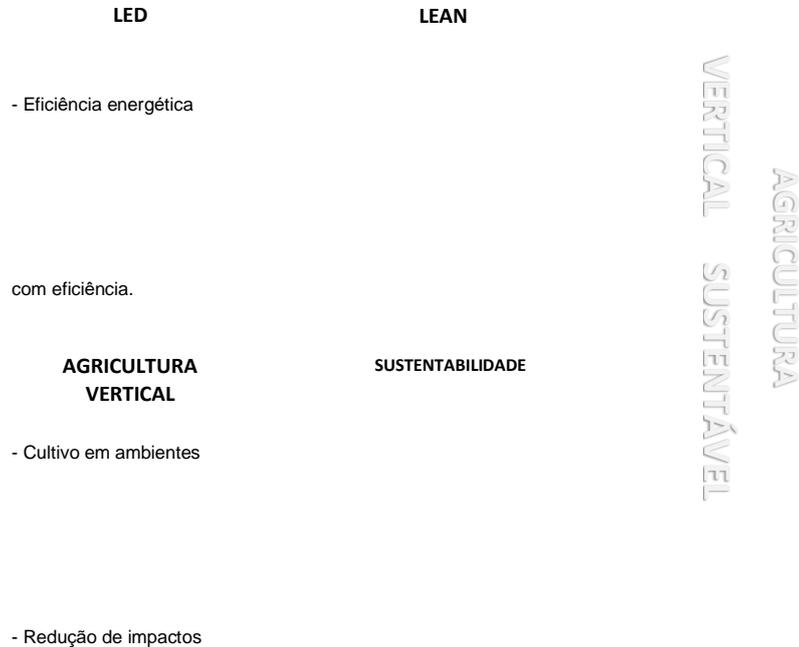


Figura 1: Framework para Otimização de processo na Agricultura Vertical

Fonte: autores (2023)

O *framework* como resultado da presente pesquisa tem como objetivo principal aumentar a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade da produção agrícola, por meio da eliminação de desperdícios e da valorização do trabalho em equipe. Com a implementação das melhorias propostas pelo *framework*, é possível reduzir os custos da produção, aumentar a produtividade, melhorar a qualidade dos produtos e contribuir para a preservação do meio ambiente.

5. Conclusão

Com base no trabalho realizado, podemos concluir que a implementação do *Lean* na agricultura vertical pode trazer benefícios significativos em termos de eficiência, qualidade e sustentabilidade do processo de produção. O objetivo geral deste trabalho foi apresentar um framework para a aplicação do *Lean* na agricultura vertical, visando melhorar a eficiência e sustentabilidade do setor. Os objetivos específicos foram realizar um levantamento bibliográfico, desenvolver o *framework* e apresentar evidências dos resultados obtidos. Os resultados obtidos mostraram que a aplicação do *Lean* na agricultura vertical pode resultar em reduções significativas nos custos, melhorias na eficiência e qualidade dos produtos, além de contribuir para a preservação dos recursos naturais. Os estudos de caso apresentados

demonstraram melhorias na produtividade, eficiência e sustentabilidade da produção agrícola com a aplicação do *Lean*. Portanto, concluímos que a implementação do *Lean* na agricultura vertical, utilizando o *framework* proposto, pode ser uma estratégia eficaz para otimizar os processos agrícolas, melhorar a qualidade dos produtos e promover a sustentabilidade no setor agrícola.

Com base nos resultados e conclusões deste trabalho, algumas propostas para trabalhos futuros são: Realizar estudos de caso adicionais em diferentes contextos de agricultura vertical para validar a eficácia do *framework* proposto em termos de melhoria da eficiência e sustentabilidade; Investigar a aplicação de tecnologias da Agricultura 4.0, como sensores e automação, em conjunto com o *Lean* na agricultura vertical, visando otimizar ainda mais os processos de produção; Realizar análises econômicas para avaliar o impacto financeiro da implementação do *Lean* na agricultura vertical, considerando os custos de investimento e os benefícios obtidos; Explorar a aplicação do *Lean* em culturas como frutas e ervas, para verificar a sua viabilidade e benefícios nesses contextos; Investigar a aplicação do *Lean* na agricultura vertical em países em desenvolvimento, considerando as particularidades e desafios enfrentados nesses contextos.

Essas propostas de trabalhos futuros podem contribuir para a expansão do conhecimento sobre a aplicação do *Lean* na agricultura vertical, bem como para a identificação de novas oportunidades de melhoria da eficiência e sustentabilidade nesse setor.

6. Referências

ARABZADEH, V. et al. Urban vertical farming with a large wind power share and optimised electricity costs. *Applied energy*, v. 331, n. 120416, p. 120416, 2023. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120416>

ARIZONA, R. et al. Rekayasa Growth Light LED Berbasis Solar Cell untuk Percepatan Pertumbuhan Tanaman Hidroponik Pada Usaha “Sidomulyo Hidroponik”. *Dinamisia : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, v. 6, n. 3, p. 596–602, 2022. DOI: [10.31849/dinamisia.v6i3.9184](https://doi.org/10.31849/dinamisia.v6i3.9184)

AVGOUSTAKI. Optimization of photoperiod and quality assessment of basil plants grown in a small-scale indoor cultivation system for reduction of energy demand. *Energies*, v. 12, n. 20, p. 3980, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12203980>

CARNEIRO, Paulo César Falanghe, et al. 2015. Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1025991/producao-integrada-de-peixes-e-vegetais-em-aquaponia>. (acesso em 21 de abril de 2023)

CASEY, L. et al. Comparative environmental footprints of lettuce supplied by hydroponic controlled-environment agriculture and field-based supply chains. *Journal of cleaner production*, v. 369, n. 133214, p. 133214, 2022. DOI: [10.1016/j.jclepro.2022.133214](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133214)

CHAICHANA, C. et al. Modelling of annual sunlight availability on vertical shelves: A case study in Thailand. *Energy reports*, v. 8, p. 1136–1143, 2022. DOI: [10.1016/j.egy.2022.07.077](https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.07.077).

DE ANDA, J.; SHEAR, H. Potential of vertical hydroponic agriculture in Mexico. *Sustainability*, v. 9, n. 1, p. 140, 2017. DOI: 10.3390/su9010140

DESPOMMIER, D. *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. New York: Thomas Dunne Books, 2010.

DESPOMMIER, D. Farming up the city: the rise of urban vertical farms. *Trends in Biotechnology*, 2013. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799\(13\)00070-X](https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799(13)00070-X). Acesso em: 21.abr.2023.

DESPOMMIER, D. *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. *Ensaio Agrícolas Verticais*. [s.l.: s.n.]. Agosto de 2015.

DOU, H. et al. Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. *Horticulturae*, v. 3, n. 2, p. 36, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020036>

DUTTA, M. et al. Monitoring root and shoot characteristics for the sustainable growth of barley using an IoT-enabled hydroponic system and AquaCrop simulator. *Sustainability*, v. 15, n. 5, p. 4396, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15054396>

ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. Evaluating the adoption of circular economy practices in industrial supply chains: An empirical analysis. *Journal of cleaner production*, v. 273, n. 122966, p. 122966, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122966>

EPAMIG. 2020. Sistema de cultivo sem a utilização do solo apresenta ciclo curto, rápido retorno de capital e baixos índices de fertilizante e agrotóxicos. Cultivo hidropônico de hortaliças é oportunidade para pequenos e grandes produtores. [Online] EPAMIG, 23 de Abril de 2020. Disponível em: <https://www.epamig.br/blog/2020/04/23/cultivo-hidroponico-de-hortalicas-e-oportunidade-para-pequenos-e-grandes-produtores/>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

FAROKHI SOOFI, A.; D. MANSHADI, S.; SAUCEDO, A. Farm electrification: A roadmap to decarbonize the agriculture sector. *Electricity Journal*, v. 35, n. 2, p. 107076, 2022. DOI: 10.1016/j.tej.2022.107076

FILATOV, D. A. et al. Intermittent LED lighting helps reduce energy costs when growing microgreens on vertical controlled environment farms. *IOP conference series. Earth and environmental science*, v. 979, n. 1, p. 012096, 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012096

GIANEZINI, Miguelangelo, RUVIARO, Clandio Favarini e FAGUNDES, Paloma de Mattos. 2016. A proposta da agricultura vertical no âmbito das perspectivas de produção sustentável. 18 de Abril de 2016, Vol. 37, p. 15.

GUSTAFSSON, A.; SNYDER, H.; WITELL, L. Service innovation: A new conceptualization and path forward. *Journal of service research*, v. 23, n. 2, p. 111–115, 2020. DOI: 10.1177/1094670520908929

HERNANDEZ VELASCO, M. Enabling year-round cultivation in the Nordics-agrioltaics and adaptive LED lighting control of daily light integral. *Agriculture*, v. 11, n. 12, p. 1255, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11121255>

HOSSEINIFARHANGI, M. et al. Technology-driven transition in urban food production practices: A case study of Shanghai. *Sustainability*, v. 11, n. 21, p. 6070, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11216070>

JIN, W. et al. Adding far-red to red-blue light-emitting diode light promotes yield of lettuce at different planting densities. *Frontiers in plant science*, v. 11, 2021. DOI: [10.3389/fpls.2020.609977](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.609977)

JÚNIOR, Pedro Roberto FURLANI e Fernandes, Flavio. 2004. Cultivo Hidroponico de Morango em Ambiente Protegido. [ed.] Maria do Carmo Bassols RASEIRA, et al. Pelotas, RS : Embrapa Clima Temperado, 2004, pp. 102-114.

KALANTARI, F. et al. Opportunities and challenges in sustainability of Vertical Farming: A review. *Journal of Landscape Ecology*, v. 11, n. 1, p. 35–60, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0016>

KLERKX, L.; ROSE, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global food security*, v. 24, n. 100347, p. 100347, 2020. DOI: [10.1016/j.gfs.2019.100347](https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347)

KOVILAGE, M. P. Influence of lean–green practices on organizational sustainable performance. *Journal of Asian business and economic studies*, v. 28, n. 2, p. 121–142, 2021. DOI: <https://doi-org.ez108.periodicos.capes.gov.br/10.1108/JABES-11-2019-0115>

KRIJN, M.P.C.M., VAN ELMPT, R.F.M., VAN DE VOORT, S.L., VAN DER FELTZ, G., VAN DEN BERGH, T. Factors critical to plant factory performance. *Acta Horticulturae*, v. 1227, pp. 615- 622, 2018.

LARSEN D. H, Woltering EJ, Nicole CCS and Marcelis LFM (2020) Response of Basil Growth and Morphology to Light Intensity and Spectrum in a Vertical Farm. *Front. Plant Sci.* 11:597906. doi: [10.3389/fpls.2020.597906](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597906)

LI, Q.; KUBOTA, C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and experimental botany*, v. 67, n. 1, p. 59–64, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.011>

LIMAJE, A, Armstrong JS, Paudyal S, Hoback WW. LED Grow Lights Alter Sorghum Growth and Sugarcane Aphid (Hemiptera: Aphididae) Plant Interactions in a Controlled Environment. *Florida Entomologist*. 2019;102(1):174-180. doi: [10.1653/024.102.0128](https://doi.org/10.1653/024.102.0128).

Lucena, L. P. et al. Avaliação multicriterial das fazendas verticais canadenses como modelos sustentáveis de agricultura urbana. *RAI – Revista de Administração e Inovação*, v.11, n.1, p.181-202, 2014. DOI: [10.5773/rai.v11i1.1159](https://doi.org/10.5773/rai.v11i1.1159)

MARTIN, M.; POULIKIDOU, S.; MOLIN, E. Exploring the environmental performance of urban symbiosis for vertical hydroponic farming. *Sustainability*, v. 11, n. 23, p. 6724, 2019. DOI: 10.3390/su11236724

MARTINS, A. DE O.; DOS ANJOS, F. E. V.; DA SILVA, D. O. The lean farm: Application of tools and concepts of lean manufacturing in Agro-pastoral crops. *Sustainability*, v. 15, n. 3, p. 2597, 2023. DOI: 10.3390/su15032597

MASSA, G. D. et al. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, v. 43, n. 7, p. 1951–1956, 2008. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>

MELIN, M.; BARTH, H. Lean in Swedish agriculture: strategic and operational perspectives. *Production planning & control*, v. 29, n. 10, p. 845–855, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1479784>

MOHAMMADI, M. et al. Optimal management of energy hubs and smart energy hubs – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 89, p. 33–50, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2018.02.035

NICOLE, C. C. S. et al. Lettuce growth and quality optimization in a plant factory. *Acta horticulturae*, n. 1134, p. 231–238, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.31>

OLVERA-GONZALEZ, E. et al. Pulsed LED-lighting as an alternative energy savings technique for vertical farms and plant factories. *Energies*, v. 14, n. 6, p. 1603, 2021. DOI: 10.3390/en14061603

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). Criar cidades mais verdes. 2012. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i1610p/i1610p00.pdf>. Acesso em: em 21.abr.2023.

PARKES, M. G. et al. An experimental Portuguese social-enterprise project in urban agriculture: A case study on the influence of the interaction of stakeholder roles on sustainable governance. *Sustainability*, v. 15, n. 4, p. 3817, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15043817>

PEARCE, D. et al. Toward sustainable primary production through the application of lean management in South African fruit horticulture. *Journal of cleaner production*, v. 313, n. 127815, p. 127815, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127815

RAZZAK, M. A. et al. Effects of supplementing green light to red and blue light on the growth and yield of lettuce in plant factories. *Scientia horticulturae*, v. 305, n. 111429, p. 111429, 2022. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111429

SANDISON, F.; YELURIPATI, J.; STEWART, D. Does green vertical farming offer a sustainable alternative to conventional methods of production?: A case study from Scotland. *Food and energy security*, v. 12, n. 2, 2023. DOI: 10.1002/fes3.438

SINGH, B.; AULAKH, C. S.; WALIA, S. S. Productivity and water use of organic wheat–chickpea intercropping system under limited moisture conditions in Northwest India.

Renewable agriculture and food systems, v. 34, n. 2, p. 134–143, 2019. DOI: 10.1017/S1742170517000370

SIVAMANI, S.; BAE, N.; CHO, Y. A smart service model based on ubiquitous sensor networks using vertical farm ontology. *International journal of distributed sensor networks*, v. 9, n. 12, p. 161495, 2013. DOI: 10.1155/2013/161495

TARGINO, Alessio Torquato, et al. 2018. AEROPONIA - Plantação Sustentável e Econômica. [Online] 2018. Disponível em: <https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Alimentando2ed/pdf/Alimentando2ed-40.pdf>. (Acesso em 21 de abril de 2023)

VERMEULEN, A. C. J. et al. What horticulture and space exploration can learn from each other: The Mission to Mars initiative in the Netherlands. *Acta astronautica*, v. 177, p. 421–424, 2020. DOI: 10.1016/j.actaastro.2020.05.015