



## O CONSUMO ENERGÉTICO EM FAZENDAS VERTICAIS - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

DOI: 10.19177/rgsa.v9e0I2020793-810



Allyson Freires C. da Silva<sup>1</sup>

Andréa Teresa Riccio Barbosa<sup>2</sup>



A garantia da Segurança Alimentar está em risco. As mudanças climáticas podem alterar as propriedades físicas do solo e com isso impossibilitar a atividade agrícola. Soma-se o fato da inexistência de terras cultiváveis frente ao aumento populacional. Assim, é necessário desenvolver novos meios de produção agrícola. A Fazenda Vertical pode ser a solução a esse impasse, mas o seu alto consumo energético impossibilita a sua implantação como atividade rentável. O objetivo desse trabalho é realizar uma revisão sistemática sobre o uso/consumo de energia na operação de Fazendas Verticais, visando responder a indagação sobre a viabilidade econômica na implantação de uma Fazenda Vertical. Para isso, foram realizadas buscas no banco de dados do *Google Scholar* com os descritores “*Vertical Farm*” AND *Energy*. Após, fez-se algumas filtragens para selecionar pesquisas relevantes ao assunto. Os resultados encontrados apontam para o uso de energias renováveis e soluções arquitetônicas adaptadas ao clima local. Como conclusão, os poucos trabalhos encontrados não são suficientes para afirmar a viabilidade econômica das Fazendas Verticais no meio urbano.

**Palavras-chave:** Fazenda Vertical. Agricultura Vertical. Eficiência energética. Energias renováveis. Segurança Alimentar.

<sup>1</sup> Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade. UFMS. allysonfreires@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheira Eletricista, Dra., Professora do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade. UFMS. andrea.barbosa@ufms.br

## ENERGY CONSUMPTION IN VERTICAL FARMS - A REVIEW

### ABSTRACT

The Food Safety guarantee is in risk. Climate change can modify the agrarian properties of the soil and with this, it is impossible to farming. Furthermore, the fact of the absence of arable land in the face of the population increase is added. Therefore, it is necessary to develop new forms of agricultural production. Vertical Farm can be a solution to this problem, but its energy consumption impossible to implement as a profitable activity. The objective of this work is to perform a systematic review on the use/consumption of energy in the operation of Vertical Farms, aiming to answer a question about an economic viability in the implantation of a Vertical Farm. For this, searches without *Google Scholar* database with the descriptors "*Vertical Farm*" AND *Energy*. Afterwards, some filtering was done to select relevant searches. The results found aim to the use of renewable energies and architectural solutions adapted to the local climate. In conclusion, the few researches found aren't sufficient to affirm the economic viability of Vertical Farms in the urban context

**Key words:** Vertical Farm. Vertical Farming. Energy Efficiency. Renewable energies. Food Safety.



### 1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional, frente à escassez de terras disponíveis ao cultivo agrícola e os efeitos das mudanças climáticas no solo, torna preocupante a garantia da Segurança Alimentar para as próximas gerações. Isso tem chamado a atenção de pesquisadores nos últimos anos, que disponibilizaram algumas possíveis soluções ao impasse: agricultura urbana, cultivo em ambiente controlado, agricultura vertical, dentre outras (LUCENA, 2014).

Nesse período surgiu a denominação Fazenda Vertical, que teve grande aceitação na comunidade científica. Trata-se de um modelo de produção agrícola dentro de edifícios (GIANEZINI; RUVIARO; FAGUNDES, 2016), verticalizado e com ambiente controlado (DESPOMMIER, 2011).

Com a implantação de alguns modelos de Fazendas Verticais - como o de Singapura (China) e o de Vancouver (Canadá) - veio também o problema do custo de operação do sistema. Dentre os gastos operacionais, o de consumo de energia elétrica está no topo, atrás apenas dos custos com mão-de-obra (LUCENA, 2014). Assim, surgiram

alguns estudos que buscavam diminuir os custos operacionais com energia elétrica em ambientes fechados que disponham de atividade agrícola (BANERJEE, 2014; BENIS; REINHART; FERRÃO, 2017; CARLINI; HONORATI; CASTELLUCCI, 2012; CHEL; KAUSHIK, 2011; ESEN; YUKSEL, 2013; HASSANIEN et al., 2016).

Para assimilar informações confiáveis e obter dados conclusivos para esse tema - que dispõem de poucos trabalhos publicados - fez-se necessário realizar um levantamento bibliográfico sistemático. Pesquisas relatam que a Prática Baseada em Evidência (PBE) é dada como um uso consciente, explícito e criterioso para a prática da pesquisa científica e trabalhos desenvolvidos de forma criteriosa fornecem certezas para auxiliar na tomada de decisão (SAMPAIO; MANCINI, 2007). Isso significa dizer que a procura por respostas na pesquisa científica deve ser embasada na melhor evidência possível. Assim, deve-se fazer uma busca na literatura correspondente e avaliar quais serão os trabalhos que servirão de base para a pesquisa a ser realizada. As revisões sistemáticas se encaixam perfeitamente para desempenhar esse papel, pois possibilitam uma análise objetiva dos resultados e habilitam a criação de uma hipótese conclusiva sobre determinado tema de pesquisa. Trata-se de uma forma de pesquisa que faz uso da literatura como fonte de dados.

O objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão sistemática qualitativa sobre o uso/consumo de energia na operação de Fazendas Verticais. Como esse é um assunto novo, são poucos os trabalhos disponíveis. Então, as buscas na literatura foram realizadas procurando encontrar informações que fossem relevantes ao consumo de energia para com esse modelo de agricultura.

## **2 APORTES TEÓRICOS**

A recente conscientização de que os recursos do planeta são limitados irá gerar uma verdadeira revolução e o incremento de novas alternativas de produção agrícola poderá ser necessário dentro de alguns anos. A Organização das Nações Unidas (2017)<sup>3</sup> projeta que no ano de 2050 a humanidade chegue ao número de 9,8 bilhões

---

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=57028#.WgNUc2hSx9B>>. Acesso em 05 de nov. 2017.

de habitantes, o que implicará em adicionar 1 bilhão de hectares para a produção de alimentos. Porém, não existe essa quantidade de terra disponível para o cultivo.

Gianezi (2016) relata que 800 milhões de hectares da superfície terrestre é utilizada para atividades agrícolas, 38% da face continental do planeta. Deve-se levar em consideração que nem toda a superfície continental é adequada ao plantio, como desertos e locais com presença de neve durante grande parte do ano.

Abreu (2009) trata a Pegada Ecológica como forma de medir a quantidade de terra e água (em termos de hectares globais – gha) que seria necessário para sustentar o consumo atual da população, considerando cinco tipos de superfície: áreas cultivadas, pastagens, florestas, áreas de pesca e áreas edificadas. O planeta possui aproximadamente 13,4 bilhões de hectares globais de terra e água biologicamente produtivas. Segundo a *Global Footprint Network* (2010)<sup>4</sup>, a Pegada Ecológica atingiu a marca de 2,7gha por pessoa. Fazendo uma análise com a população atual de 7,5 bilhões de habitantes, significa dizer que para sustentar o planeta, atualmente, seriam necessários 20,25 bilhões de gha (1,5 vezes a área que o planeta possui).

Deve-se destacar também a ligação direta entre as mudanças climáticas, o uso de combustíveis fósseis e os desmatamentos em favor do aumento de áreas cultiváveis (DESPOMMIER, 2015). Em países industrializados até 20% dos combustíveis fósseis são queimados nos processos que envolvem a agricultura convencional. Soma-se os desmatamentos que acabam por prejudicar a qualidade do ar, árvores de grande porte produzem uma importância muito alta de oxigênio e demoram décadas, até séculos, para atingir a maturidade plena. As mudanças climáticas podem contaminar o solo, ou mesmo alterar suas propriedades, impossibilitando a atividade agrícola (DESPOMMIER, 2011).

Uma alternativa que pode se tornar viável para sanar esses problemas é a Fazenda Vertical. Ela surgiu em resposta ao modelo inadequado de jardins no terraço de alguns prédios no sul da Itália no início da década de 90, onde os fatores motivacionais para a produção se baseavam apenas na proteção às intempéries climáticas, que faziam oscilar as ofertas de frutas, legumes e verduras, provocando a alta no preço dos

---

<sup>4</sup> Disponível em:

<[https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/especiais/pegada\\_ecologica/pegada\\_ecologica\\_global](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/pegada_ecologica_global)>. Acesso em: 05 de nov. 2017.

alimentos (SCHLUSSLER,2010). Atualmente, o alto consumo energético ocasionado pelo uso de iluminação suplementar, bombeamento e resfriamento/aquecimento está dificultando a implantação desse modelo de produção agrícola.

Uma Fazenda Vertical, equivalente a um edifício de 30 andares, poderia fornecer alimentos para atender as necessidades de 10 mil pessoas, empregando tecnologias atualmente disponíveis (DESPOMMIER, 2010). Em Suwan, na Coreia do Sul, existe uma Fazenda Vertical com área de aproximadamente 450m<sup>2</sup> que elimina 50% do custo de sua energia adotando o uso de energias renováveis (BANERJEE, 2014).

Então, faz-se necessário realizar pesquisas que busquem diminuir os custos de operação de uma Fazenda Vertical, de modo a torná-la viável economicamente. É esse o intuito desse trabalho, buscar o que há de mais relevante na literatura para, assim, apontar as brechas a serem fechadas e auxiliar na garantia da Segurança Alimentar.

### 3 MÉTODOS DE PESQUISA

Primeiramente, foram realizadas buscas no banco de dados do *Google Scholar* com os descritores “*Vertical Farm*” AND *Energy*. Como mostra a Tabela 1, fez-se uma filtragem captando os trabalhos publicados nos últimos dez anos (critério 1), em formato de artigo científico (critério 2), independentemente do conteúdo abordado pela revista (excluiu-se citações, patentes, livros, teses e dissertações). O próximo filtro se deu com a leitura aleatória dos títulos, resumos e palavras-chaves, selecionando os que abordam sobre o uso/consumo de energia em Fazendas Verticais, com escrita na língua inglesa ou portuguesa (critério 3). Os artigos que passaram por essa peneira foram analisados e direcionaram a criação de uma hipótese conclusiva (critério 4).

Tabela 1. Critérios de inclusão.

| Nº | Critério                                                        | Razão do critério                                                                |
|----|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Trabalhos publicados entre 2007-2017                            | Verificar o “Estado da Arte” do tema no período em que a pesquisa foi realizada. |
| 2. | Formato de artigo científico.                                   | Identificar trabalhos resumidos publicados em revistas com credibilidade.        |
| 3. | Abordagem sobre o uso/consumo de energia em Fazendas Verticais. | Direcionar ao problema da pesquisa.                                              |
| 4. | Qualidade do artigo.                                            | Evitar trabalhos com dados duvidosos e/ou incompletos.                           |

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4 RESULTADOS

Com a realização da busca no banco de dados citado no item anterior, foram identificados 743 trabalhos. Após a leitura aleatória dos títulos, resumos e palavras-chave, selecionou-se 24 pesquisas para leitura completa (Tabela 2). Destes, 10 artigos foram excluídos porque não possuíam conteúdo necessário para a criação de uma hipótese de resposta a questão “As Fazendas Verticais, no contexto urbano, podem se tornar economicamente viáveis com ações de eficiência energética?” (Tabela 3).

Tabela 2. Trabalhos selecionados para leitura completa.

| Ano  | Autor(es)                              | Título                                                                             |
|------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 2008 | Dickson Despommier e Eric Ellingsen.   | The Vertical Farm: The sky-scraper as vehicle for a sustainable urban agriculture. |
| 2008 | Tiffany D. Broyles.                    | Defining the architectural Typology of the Urban Farm                              |
| 2010 | Emma Marris.                           | Agriculture: Greenhouses in the sky                                                |
| 2010 | Kheir Al-Kodmany.                      | Eco-iconic skyscrapers: review of new design approaches                            |
| 2011 | J. E. Bayley, M. Yu e Pennygillam Way. | Sustainable Food Production Using High Density Vertical Growing                    |
| 2014 | Chirantan Banerjee.                    | Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming                                 |

|      |                                                              |                                                                                                                                                     |
|------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2014 | MAŁGORZATA DROŹDŹ-SZCZYBURA.                                 | Vertical Farms in the Cities of the Future                                                                                                          |
| 2014 | Eva Chance, et al.                                           | The Plant - Vertical Farms, Urban Restructuring and The Rise of Capitalist Urban Agriculture                                                        |
| 2014 | Giuseppe Losco e Angelo Figliola.                            | LONDON FARM TOWER 2050: NEW WAY OF LIVING BEETWEN INNOVATIONS AND TRASFORMATIONS                                                                    |
| 2014 | J. Matzenberger e F. Schipfer.                               | Assessment for Microalgae Production in Photo-Bioreactors for Vertical Farming in Urban Areas                                                       |
| 2014 | M. Cicekli e N. T. Barlas.                                   | Transformation of today greenhouses into high technology vertical farming systems for metropolitan regions                                          |
| 2014 | Podmirseg Daniel.                                            | Contribution of Vertical Farms to Increase the Overall Energy Efficiency of Urban Agglomerations                                                    |
| 2015 | Ibrahim Game e Richaela Primus.                              | Urban Agriculture                                                                                                                                   |
| 2015 | James Bambara e Andreas Athienitis.                          | Experimental evaluation and energy modeling of a greenhouse concept with semi-transparent photovoltaics                                             |
| 2015 | Lucia Ceccherini Nelli e Marco Sala.                         | Vertical Farms: Innovative Teaching Strategy                                                                                                        |
| 2015 | Malek Al-Chalabi.                                            | Vertical farming: Skyscraper sustainability?                                                                                                        |
| 2015 | Nadiyah Yola Putri, Nesia Putri Sharfina, Traviata Prakarti. | Sky Farming: The Alternative Concept of Green Building Using Vertical Landscape Model in Urban Area as an Effort to Achieve Sustainable Development |
| 2016 | C.C.S. Nicole, et al.                                        | Lettuce growth and quality optimization in a plant factory                                                                                          |
| 2016 | K. Harbicka e L.D. Albright.                                 | Comparison of energy consumption: Greenhouses and plant factories                                                                                   |
| 2016 | Ioannis Tsitsimpelis, Ian Wolfenden e C. James Taylor.       | Development of a grow-cell test facility for research into sustainable controlled-environment agriculture                                           |
| 2017 | Khadija Benis, Christoph Reinhart e Paulo Ferrão.            | Development of a simulation-based decision support workflow for the implementation of Building-Integrated Agriculture (BIA) in urban contexts       |

|      |                                                                                |                                                                         |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 2017 | Luuk Graamans, Andy van den Dobbelsteen, Esther Meinen e Cecilia Stanghellini. | Plant factories; crop transpiration and energy balance                  |
| 2017 | M. Ryyan Khan, Amir Hannaa, Xingshu Sunb e Muhammad A. Alam.                   | Vertical bifacial solar farms: Physics, design, and global optimization |
| 2017 | Xiao Ping Songa, Hugh T.W. Tan e Puay Yok Tan.                                 | Assessment of light adequacy for vertical farming in a tropical city    |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3. Trabalhos excluídos.

| Ano  | Título                                                                                                     | Razão da exclusão                                                                                                                                              |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2010 | Agriculture: Greenhouses in the sky                                                                        | Trata apenas de conceitos, não descreve o uso ou consumo energético em Fazendas Verticais.                                                                     |
| 2010 | Eco-iconic skyscrapers: review of new design approaches                                                    | Não se aprofunda em Fazendas Verticais.                                                                                                                        |
| 2014 | Vertical Farms in the Cities of the Future                                                                 | Aborda sobre algumas Fazendas Verticais, porém não entra em detalhes sobre o uso, consumo ou solução energética.                                               |
| 2014 | LONDON FARM TOWER 2050: NEW WAY OF LIVING BETWEEN INNOVATIONS AND TRANSFORMATIONS                          | Trata apenas de conceitos.                                                                                                                                     |
| 2014 | Transformation of today greenhouses into high technology vertical farming systems for metropolitan regions | Trata apenas de conceitos.                                                                                                                                     |
| 2015 | Urban Agriculture                                                                                          | Fala sobre agricultura urbana de forma geral, porém pouco centraliza o tema Fazendas Verticais. Não quantifica o consumo energético, nem se aprofunda no tema. |
| 2015 | Vertical Farms: Innovative Teaching Strategy                                                               | Trata de projetos acadêmicos inconclusivos (atividade de sala de aula).                                                                                        |
| 2016 | Lettuce growth and quality optimization in a plant factory                                                 | Trata sobre o efeito de LEDs na produtividade e na qualidade dos cultivos, não trata de energia.                                                               |

|      |                                                                      |                                                       |
|------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 2016 | Comparison of energy consumption: Greenhouses and plant factories    | Dados incompletos. Não se trata de produção vertical. |
| 2017 | Assessment of light adequacy for vertical farming in a tropical city | Não se aprofunda em energia.                          |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, restaram 14 artigos que direcionaram a criação da hipótese conclusiva. Para melhor entendimento, fez-se necessário dividir esses trabalhos em grupos de assunto, como ilustra a tabela 4.

Tabela 4. Trabalhos inclusos separados por grupos de assunto.

| Grupo                                         | Autor(es)                            | Título                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lixo orgânico para geração de energia         | Dickson Despommier e Eric Ellingsen. | The Vertical Farm: The sky-scraper as vehicle for a sustainable urban agriculture.                                                                   |
|                                               | J. Matzenberger e F. Schipfer.       | Assessment for Microalgae Production in Photo-Bioreactors for Vertical Farming in Urban Areas                                                        |
|                                               | Podmirseg Daniel.                    | Contribution of Vertical Farms to Increase the Overall Energy Efficiency of Urban Agglomerations                                                     |
| Tratamento arquitetônico                      | Tiffany D. Broyles.                  | Defining the architectural Typology of the Urban Farm                                                                                                |
|                                               | Nadiyah Yola Putri, et al.           | Sky Farming : The Alternative Concept of Green Building Using Vertical Landscape Model in Urban Area as an Effort to Achieve Sustainable Development |
|                                               | Luuk Graamans, et al.                | Plant factories ; crop transpiration and energy balance                                                                                              |
| Avaliação energética por medição ou simulação | J. E. Bayley, et al.                 | Sustainable Food Production Using High Density Vertical Growing                                                                                      |
|                                               | Chirantan Banerjee.                  | Up , Up and Away ! The Economics of Vertical Farming                                                                                                 |
|                                               | Eva Chance, et al.                   | The Plant - Vertical Farms, Urban Restructuring and The Rise of Capitalist Urban Agriculture                                                         |
|                                               | Malek Al-Chalabi.                    | Vertical farming: Skyscraper sustainability?                                                                                                         |

|                      |                                                        |                                                                                                                                               |
|----------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | Ioannis Tsitsimpelis, Ian Wolfenden e C. James Taylor. | Development of a grow-cell test facility for research into sustainable controlled-environment agriculture                                     |
|                      | Khadija Benis, et al.                                  | Development of a simulation-based decision support workflow for the implementation of Building-Integrated Agriculture (BIA) in urban contexts |
| Energia fotovoltaica | James Bambara e Andreas Athienitis.                    | Experimental evaluation and energy modeling of a greenhouse concept with semi-transparent photovoltaics                                       |
|                      | Malek Al-Chalabi.                                      | Vertical farming: Skyscraper sustainability?                                                                                                  |
|                      | M. Ryyan Khan, et al.                                  | Vertical bifacial solar farms: Physics , design , and global optimization                                                                     |

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1 LIXO ORGÂNICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

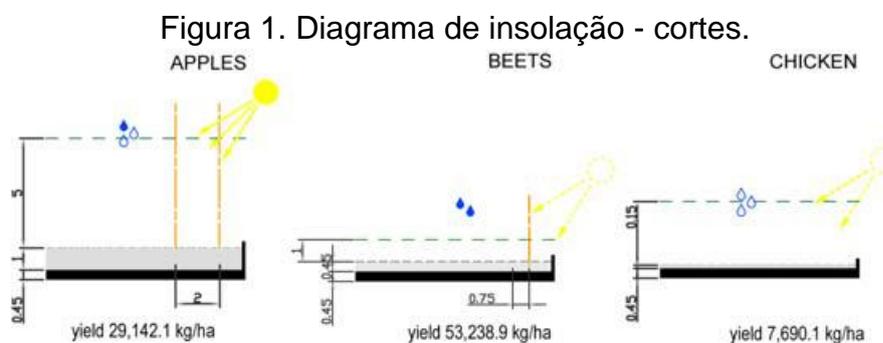
As Fazendas Verticais podem gerar eletricidade através do seu próprio lixo. Pode-se fazer uso das matérias orgânicas através de um tanque de fermentação anaeróbia, que resulta na queima do biogás para geração de energia. Com a sobra do material é possível gerar eletricidade pela queima da biomassa (DESPOMMIER; ELLINGSEN, 2008; MATZENBERGER; SCHIPFER, 2014). O lixo pode também ser coletado pela vizinhança, aumentando o poder de geração de energia, além de contribuir para a sustentabilidade local.

A importação de alimentos nas megacidades chega a atingir 80% de tudo o que é consumido. Essa importação, em parte, vem de grandes distâncias, isso causa a perda de alimentos e um imenso desperdício energético. A Fazenda Vertical, através da biodigestão e da queima da biomassa, pode fechar o ciclo de produção, evitando perdas e poluição (DANIEL, 2014).

#### 4.2 TRATAMENTO ARQUITETÔNICO

Na região bioclimática de Nova York, Estados Unidos, uma pesquisadora realizou um projeto arquitetônico energeticamente eficiente. Ela fez um estudo para identificar quais as posições corretas das fachadas para o adequado ganho de iluminação e

temperatura, para isso ela fez uso de um diagrama solar (figura 1). Além disso, as tipologias a serem cultivadas foram posicionadas de acordo com suas necessidades ambientais dentro do edifício, de forma a minimizar o consumo energético por iluminação ou climatização artificial (BROYLES, 2008).



Fonte: Broyles (2008).

Outra forma de produção agrícola vertical pode ser encontrada nas chamadas paredes verdes, podendo ser dispostas em edificações residenciais (PUTRI; SHARFINA; PRAKARTI, 2015). Essa tecnologia ajuda a suprir a demanda de certos vegetais e também são responsáveis por um acondicionamento térmico natural, evitando despesas com condicionadores elétricos.

Quando ainda na fase de projeto, todas as possibilidades de transmitância térmica, refletância e absorvância devem ser levadas em consideração (GRAAMANS et al., 2017). Caso isso não aconteça, a estimativa de temperatura de um determinado ambiente para as necessidades de uma dada cultura vegetal pode ser superdimensionada. Graamans et al. relatam que mesmo o ganho energético pela evapotranspiração das plantas pode prejudicar a qualidade da produção. O calor expelido pelas lâmpadas LED e pela transmitância da envoltória construída necessitam de maior atenção.

#### 4.3 AVALIAÇÃO ENERGÉTICA POR MEDIÇÃO OU SIMULAÇÃO

Este subitem merece destaque devido a objetividade das informações apresentadas pelos trabalhos pesquisados e por quantificar de fato a demanda energética necessária para o funcionamento de alguns modelos de Fazendas Verticais. Um desses trabalhos é de Benis et al. (2017), que fizeram simulações para quantificar o uso de energia em diferentes formas de produção indoor no contexto urbano de

Lisboa, em Portugal. Para isso, tomaram a produção rural convencional de tomate como linha de base e adotaram outras quatro situações, também com a produção de tomate, como mostra o quadro 1.

Quadro 1. Situações hipotéticas de produção agrícola em Lisboa, Portugal.

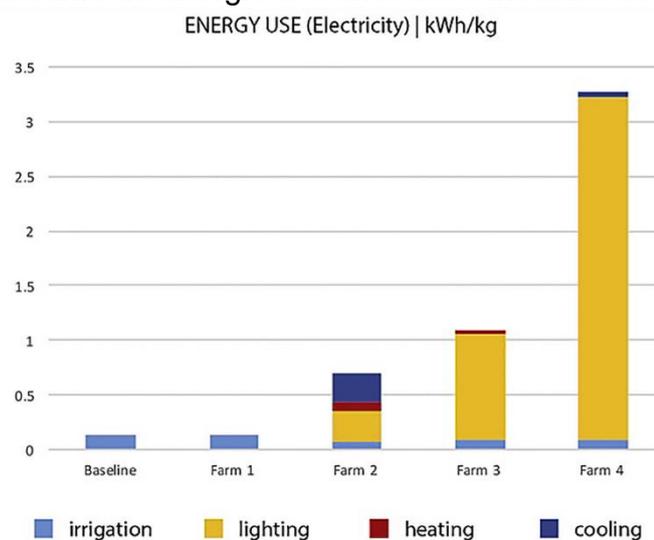
| <i>Farm 1</i>                                                                 | <i>Farm 2</i>                                                                                                      | <i>Farm 3</i>                                                                                                                                                         | <i>Farm 4</i>                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a) Cultivo durante nove meses no ano;                                         | a) Cultivo durante todo o ano;                                                                                     | a) Cultivo durante todo o ano;                                                                                                                                        | a) Cultivo durante todo o ano;                                                                                                                    |
| b) Uso de água: 40 litros/kg de tomate;                                       | b) Uso de sistema hidropônico com bombeamento mecânico;                                                            | b) Uso de sistema hidropônico com bombeamento mecânico;                                                                                                               | b) Uso de sistema hidropônico com bombeamento mecânico;                                                                                           |
| c) Produção em terraço de edifício com uso de terra (técnicas convencionais). | c) Suplementação com iluminação artificial;                                                                        | c) Suplementação com iluminação artificial;                                                                                                                           | c) Uso de iluminação apenas artificial;                                                                                                           |
|                                                                               | d) Sistema de ventilação híbrido (natural e mecânico);                                                             | d) Sistema de ventilação híbrido (natural e mecânico);                                                                                                                | d) Sistema de ventilação mecânico;                                                                                                                |
|                                                                               | e) Produção agrícola verticalizada implantada no terraço de um edifício com vedação transparente em policarbonato. | e) Produção agrícola verticalizada instalada no interior de um edifício abandonado, no último piso, com janelas nas fachadas norte e sul, além de iluminação zenital. | e) Produção agrícola verticalizada instalada no interior de um armazém sem penetração de luz nem ventilação natural (controle total do ambiente). |

Fonte: Adaptado de Benis et al (2017).

Observando o consumo de energia elétrica, quanto mais fechado é o sistema de produção, maior será a necessidade de iluminação artificial e de aquecer ou resfriar o ambiente. Por mais que o sistema de hidroponia seja mecanizado, os resultados apontaram para um menor consumo de energia do que a necessária para a irrigação convencional (figura 2).

Um grupo de pesquisadores fez uma avaliação da eficiência energética de um protótipo de Fazenda Vertical em um *container*, avaliando iluminação, irrigação, climatização e locomoção automática das bandejas (TSITSIMPELIS; WOLFENDEN; TAYLOR, 2016). Quanto à iluminação, chegaram à conclusão de que a produção em menor tempo compensa o custo energético do uso de LEDs. Eles relataram que na aplicação de um fotoperíodo (tempo em que as plantas recebem iluminação) diurno de 16h é possível economizar entre 29 e 139 kWh/dia. O movimento mecânico das bandejas auxilia a controlar as diferenças de temperatura e humidade entre prateleiras, já que o ar condicionado e o exaustor sozinhos não são capazes de fazer isso com eficiência. Os pesquisadores chamam a atenção para a necessidade de mais pesquisas com o fim de melhorar a eficiência energética em agricultura vertical em ambiente controlado e a qualidade dos cultivos.

Figura 2. Consumo de energia dos diferentes modelos de agricultura.



Fonte: Benis et al. (2017).

Outro grupo de pesquisadores fez uma análise comparativa entre a demanda energética de um projeto piloto de Fazenda Vertical europeu e a demanda de uma produção rural horizontal com ambiente controlado de mesma área. Como resultado, para a produção horizontal o consumo foi de 2 kWh/planta, já na produção vertical com 3 metros de altura o consumo foi de 0,5 kWh/planta. Para uma Fazenda Vertical com 6 metros de altura, o consumo energética diminuiu para 0,25 kWh/planta (BAYLEY; YU; WAY, 2011).

Em Chicago, Estados Unidos, foi desenvolvido um estudo com entrevistas a inquilinos do *The Plant*, um tipo de shopping de agricultura urbana com ambiente controlado. O

objetivo foi de coletar informações sobre o consumo energético em todo o processo do edifício – além da atividade agrícola existe padaria, processamento de bebidas e queijo, conta também com atividades educacionais – mas poucos inquilinos divulgaram informações. Os pesquisadores concluíram que culturas agrícolas de produção extensiva, como milho e trigo, dificilmente ganharão espaço em modelos de atividade agrícola com ambiente controlado. Mas, para plantas como hortaliças é altamente viável o cultivo dentro de Fazendas Verticais (CHANCE et al., 2014).

Banerjee (2014) propôs um estudo (simulação por computador) de implantação de Fazenda Vertical com produção agrícola e de peixes, analisando o potencial de mercado e identificando os custos mais relevantes do sistema. Ele teve como resultado que o custo anual com energia elétrica seria de aproximadamente 5,4 milhões de Euros, mais que o dobro que a despesa com mão-de-obra, uma demanda de 3,5 GWh/ano. O autor apela para o uso de energias renováveis, como a eólica.

Outro estudo faz uma análise da viabilidade de uma Fazenda Vertical no Reino Unido (AL-CHALABI, 2015). O autor examina, por simulação, a quantidade de energia necessária para operar tal edificação e o quanto um sistema de energia renovável pode diminuir no uso da eletricidade da rede pública. Como energia renovável foi adotada a fotovoltaica. A conclusão foi de que a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico para uma Fazenda Vertical está diretamente relacionada à área de cada piso, isso devido a possibilidade de entrada de iluminação e/ou ventilação natural. Para pisos com até 506 m<sup>2</sup>, a aplicação de 1.398 painéis fotovoltaicos ainda é viável. Para pisos com área próxima de 625 m<sup>2</sup> - e a partir disso - não há viabilidade para a instalação de um sistema fotovoltaico. O autor alega que o uso dos painéis fotovoltaicos para a agricultura urbana pode ser mais favorável em locais com alta incidência solar. Afirma ainda que existem poucas pesquisas relacionadas ao tema.

#### **4.4 ENERGA FOTOVOLTAICA**

O trabalho de Al-Chalabi (2015) já foi tratado no parágrafo anterior. Ele está elencado nos subitens 4.3 e 4.4 (tabela 4) pelo entendimento de que esse artigo pertence aos dois grupos de assunto.

O uso de painéis fotovoltaicos semitransparentes foi avaliado com relação a geração de energia e ao ganho térmico numa atividade agrícola horizontal e comparada à

mesma área produtiva, porém com produção vertical - as duas com ambiente controlado - diferenciando também quanto a vidro simples e vidro duplo (BAMBARA; ATHIENITIS, 2015). Os resultados indicaram que o modelo vertical gera 49% menos energia, porém consome 31% menos energia para aquecimento comparado ao modelo horizontal.

Outra pesquisa encontrada trata do uso de painéis fotovoltaicos bifaciais posicionados a 90° com relação a horizontal, orientados com as faces para leste e oeste (KHAN et al., 2017). A conclusão foi de que para a Fazenda Vertical o sistema é desvantajoso, uma vez que painéis fotovoltaicos monofaciais (modelo padrão) posicionados de forma corretamente inclinada produz mais energia que as bifaciais.

## 5 CONCLUSÃO

As estimativas de crescimento populacional e as questões bioclimáticas deixam claro que haverá, num futuro próximo, a necessidade de adicionar novos modelos de produção agrícola. Regiões impróprias ao plantio, como desertos e locais com taiga, já sentem essa necessidade. A Fazenda Vertical é uma das apostas da comunidade científica para a garantia da Segurança Alimentar. O que falta para chamar a atenção de investidores para esse mercado são dados concretos de que esse negócio pode ser lucrativo. As pesquisas encontradas não fornecem dados conclusivos para afirmar a viabilidade econômica das Fazendas Verticais no meio urbano, são raros os trabalhos que podem ser tomados para se criar uma hipótese conclusiva. Ademais, uma Fazenda Vertical pode ser viável economicamente em uma determinada zona bioclimática e não ser em outra. Como visto nos trabalhos pesquisados, há muita discrepância no consumo energético de uma região para outra, isso se deve às características ambientais de cada local ou cultivo. O que se pode concluir com essa revisão é que o número de pesquisas relacionadas às Fazendas Verticais cresceu muito a partir do ano de 2014, mas ainda não é suficiente. O uso de energias renováveis vem sendo um dos pontos focais desse tema, podendo se tornar, dentro de pouco tempo, o fator chave para a viabilização econômica desse modelo de agricultura.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. M. et al. Os limites da Pegada Ecológica. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Curitiba, v. 19, p. 73-87, 2009. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/made/article/viewFile/12847/10886>>. Acesso em: 04 de nov. 2017.
- AL-CHALABI, M. Vertical farming: Skyscraper sustainability? **Sustainable Cities and Society**, v. 18, p. 74–77, 2015.
- BAMBARA, J.; ATHIENITIS, A. Experimental evaluation and energy modeling of a greenhouse concept with semi-transparent photovoltaics. **Energy Procedia**, v. 78, p. 435–440, 2015.
- BANERJEE, C. Up , Up and Away! The Economics of Vertical Farming. **Journal of Agricultural Studies**, v. 2, n. 1, p. 40–60, 2014.
- BAYLEY, J. E.; YU, M.; WAY, P. Sustainable Food Production Using High Density Vertical Growing. p. 95–104, 2011.
- BENIS, K.; REINHART, C.; FERRÃO, P. Development of a simulation-based decision support workflow for the implementation of Building-Integrated Agriculture (BIA) in urban contexts. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 589–602, 2017.
- BROYLES, T. D. Defining the architectural Typology of the Urban Farm. n. October, 2008.
- CARLINI, M.; HONORATI, T.; CASTELLUCCI, S. Photovoltaic greenhouses: Comparison of optical and thermal behaviour for energy savings. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2012, 2012.
- CHANCE, E. et al. The Plant - Vertical Farms, Urban Restructuring and The Rise of Capitalist Urban Agriculture. **Environmental science & technology**, v. 33, n. 2, p. 482–489, 2014.
- CHEL, A.; KAUSHIK, G. Renewable energy for sustainable agriculture. **Agronomy and Sustainable Development**, v. 31, p. 91–118, 2011.

DANIEL, P. Contribution of Vertical Farms to Increase the Overall Energy Efficiency of Urban Agglomerations. **Journal of Power and Energy Engineering**, v. 02, n. 04, p. 82–85, 2014.

DESPOMMIER, D. The vertical farm : controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations. **Journal of Consumer Protection and Food Safety**, p. 233–236, 2011.

DESPOMMIER, D. The Rise of Vertical Farms. **Resource**, n. April, p. 21, 2015.

DESPOMMIER, D.; ELLINGSEN, E. The Vertical Farm : The sky-scraper as vehicle for a sustainable urban agriculture. **New York**, n. January 2008, 2008.

ESEN, M.; YUKSEL, T. Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse. **Energy and Buildings**, v. 65, p. 340–351, 2013.

GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; FAGUNDES, M. A proposta da agricultura vertical no âmbito das perspectivas de produção sustentável. v. 37, n. Nº 22, 2016.

GRAAMANS, L. et al. Plant factories ; crop transpiration and energy balance. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 138–147, 2017.

HASSANIEN, R. et al. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 989–1001, 2016.

KHAN, M. R. et al. Vertical bifacial solar farms : Physics , design , and global optimization. **Applied Energy**, v. 206, n. August, p. 240–248, 2017.

LUCENA, L. P. DE. **MODELO URBANO DE PRODUÇÃO RURAL VERTICALIZADO COMO ALTERNATIVA DE SEGURANÇA ALIMENTAR ÀS GRANDES CIDADES: UM ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E ORGANIZACIONAL DO MODELO VERTICAL CANADENSE E DO MODELO HORIZONTAL BRASILEIRO**. [s.l.] UFRS, 2014.

MARTIN, B. A. J. et al. **An evaluation of thermal and lighting performance witin an ETFE structure.pdf**. Sustainable Ecological Engineering Design for Society. **Anais...**Leeds Beckett University UK: 2016

MATZENBERGER, J.; SCHIPFER, F. Assessment for Microalgae Production in Photo-

Bioreactors for Vertical Farming in Urban Areas. **Igarss 2014**, n. 1, p. 1–5, 2014.

PUTRI, N. Y.; SHARFINA, N. P.; PRAKARTI, T. Sky Farming : The Alternative Concept of Green Building Using Vertical Landscape Model in Urban Area as an Effort to Achieve Sustainable Development. v. 9, n. 7, p. 938–941, 2015.

SAMPAIO, R. .; MANCINI, M. . Estudos de revisão sistemática : um guia para síntese. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, p. 83–89, 2007.

TSITSIMPELIS, I.; WOLFENDEN, I.; TAYLOR, C. J. Development of a grow-cell test facility for research into sustainable controlled-environment agriculture. **Biosystems Engineering**, v. 150, p. 40–53, 2016.

SCHLUSSLER, Larry. Vertical vs. Horizontal. **Scientific American**, v. 302, n. 3, p. 10-10, 2010.

