

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO ROBERTO PAES PINTO

**APLICAÇÃO DE DIRETRIZES DO *DESIGN FOR ENVIRONMENT* PARA O
DESENVOLVIMENTO DE HORTAS INTELIGENTES**

CURITIBA

2024

JOÃO ROBERTO PAES PINTO

**APLICAÇÃO DE DIRETRIZES DO *DESIGN FOR ENVIRONMENT* PARA O
DESENVOLVIMENTO DE HORTAS INTELIGENTES**

Application of Design for Environment guidelines for the development of smart gardens

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Profa. Dra. Cassia Maria Lie Ugaya
Co-orientadora: MSc. Thaisa Lana Pilz

CURITIBA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JOÃO ROBERTO PAES PINTO

**APLICAÇÃO DE DIRETRIZES DO *DESIGN FOR ENVIRONMENT* PARA O
DESENVOLVIMENTO DE HORTAS INTELIGENTES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como
requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

20 de junho de 2024.

Cassia Maria Lie Ugaya
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Nilton Luiz Cararo
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

José Paulo Pereira das Dores Savioli
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

CURITIBA
2024

A todas as pessoas que choraram em minha partida,
dedico este trabalho com amor e gratidão,
especialmente à minha mãe, cuja força e
apoio incondicional me guiaram sempre.

AGRADECIMENTOS

Queridos pais, irmãos, amigos, namorada, professores e orientador, gostaria de expressar a minha mais sincera gratidão por todo o apoio e amor que me proporcionaram ao longo deste período de trabalho de conclusão de curso.

Primeiramente, agradeço aos meus pais por todos os desafios superados e por me proporcionarem a oportunidade de alcançar este momento significativo em minha vida. À minha irmã, Julia, minha fonte de motivação nos momentos mais difíceis da vida acadêmica.

À minha namorada, Leticia Yoshie, por seu apoio incondicional e por estar ao meu lado, ajudando-me em inúmeras noites para que eu pudesse concluir este trabalho. Jamais encontrarei palavras suficientes para expressar minha gratidão.

Agradeço também à minha coorientadora, por me convidar inicialmente para este projeto, pelo auxílio constante e por mostrar que era possível concluir este trabalho.

Por fim, à minha orientadora, por sua dedicação, paciência e orientação ao longo de todo o meu TCC. Sua orientação foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e profissional.

A todos vocês, o meu mais profundo agradecimento. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e incentivo de cada um de vocês. Estou eternamente grato por todo o amor e suporte que recebi. Muito obrigado!

“Uma lição sem dor não tem sentido. Isso é porque você não pode ganhar alguma coisa sem sacrificar algo em troca. No entanto, uma vez que você supera as dificuldades e consegue o que almeja, você ganha um coração que é mais forte do que todo o resto. Isto é certo, um coração forte como o aço.”

Edward Elric

RESUMO

No Brasil, a preocupação com uma alimentação saudável, devido ao uso excessivo de agrotóxicos, levou à produção própria de alimentos. Em áreas urbanas, onde o espaço é limitado, as hortas verticais têm se destacado por ocuparem pouco espaço, requererem baixa manutenção e terem preços acessíveis. O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de dois projetos de horta inteligente, guiadas pelas diretrizes do DfE e com a finalidade reduzir o impacto ambiental do produto ao longo do seu ciclo de vida, e em paralelo, superar as limitações encontradas no projeto de horta automatizada *Indoor Planting*. Por meio de análise de *benchmarking* foram levantadas funções importantes para o produto, enquanto a realização da pesquisa de mercado trouxe problemas de cultivo e manutenção dentro de casa, esses problemas foram solucionados com a concepção de dois projetos de hortas inteligentes alinhadas com as diretrizes do DfE. A pesquisa de mercado revelou poucos modelos de hortas automatizadas disponíveis, sendo que os existentes são de pequeno porte. Residentes de apartamentos valorizam durabilidade, facilidade de montagem e limpeza, e espaço disponível ao escolher uma horta automatizada, indicando uma demanda por tais produtos. Este estudo desenvolveu dois projetos de hortas verticais, uma convencional e outra hidropônica, ambas com baixa interferência humana, controle automatizado de irrigação e iluminação. Utilizando diretrizes do DfE, os projetos focaram na redução do impacto ambiental, durabilidade e facilidade de atualização. O modelo convencional tem três andares, sistema de gavetas e estufa, enquanto o hidropônico é compacto e produtivo, com 27 compartimentos de plantio. Ambos utilizam alumínio verde e PEAD reciclado, com validação estrutural robusta. Futuras etapas incluem uma Análise de Ciclo de Vida e estudos de viabilidade econômica.

Palavras-chave: horta inteligente; horta vertical; *Design for Environment*;

ABSTRACT

In Brazil, concerns about healthy eating due to the excessive use of pesticides have led to the production of home-grown food. In urban areas where space is limited, vertical gardens have stood out for occupying little space, requiring low maintenance, and being affordable. This work aimed to develop two smart garden projects guided by DfE (Design for Environment) guidelines, with the purpose of reducing the environmental impact of the product throughout its life cycle and, in parallel, overcoming the limitations found in the Indoor Planting automated garden project. Through benchmarking analysis, important functions for the product were identified, while market research highlighted issues with indoor cultivation and maintenance. These issues were addressed with the conception of two smart garden projects aligned with DfE guidelines. Market research revealed few available models of automated gardens, with existing ones being small. Apartment residents value durability, ease of assembly and cleaning, and available space when choosing an automated garden, indicating a demand for such products. This study developed two vertical garden projects, one conventional and the other hydroponic, both with low human interference and automated irrigation and lighting control. Using DfE guidelines, the projects focused on reducing environmental impact, durability, and ease of updates. The conventional model has three levels, a drawer system, and a greenhouse, while the hydroponic model is compact and productive, with 27 planting compartments. Both use green aluminum and recycled HDPE, with robust structural validation. Future steps include a Life Cycle Analysis and economic feasibility studies.

Keywords: smart garden; vertical garden; Design for Environment.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1.	Contextualização do tema.....	11
1.2.	Caracterização da oportunidade.....	14
1.3.	Objetivos.....	14
1.4.	Justificativa.....	14
1.5.	Estrutura do projeto.....	18
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1.	Hortas verticais.....	19
2.2.	Metodologia de Baxter.....	19
2.3.	<i>Design for Environment</i> – DfE.....	21
3.	METODOLOGIA.....	25
3.1.	Metodologia de pesquisa	25
3.1.1.	Primeira Fase	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.2.	Pesquisa por patentes nacionais	31
4.3.	Pesquisa de mercado	31
4.4.	Definição dos projetos	34
4.4.1.	Matriz Morfológica	36
4.4.1.1.	<u>Tamanho</u>	36
4.4.1.2.	<u>Material</u>	36
4.4.1.3.	<u>Iluminação</u>	38
4.4.1.4.	<u>Irrigação</u>	39
4.4.1.5.	<u>Automação</u>	39
4.4.1.6.	<u>Formas de Canteiro</u>	40
4.4.1.7.	<u>Estratégia Ecológica</u>	40
4.4.1.8.	<u>Mobilidade</u>	40
4.5.	Desenvolvimento dos projetos	40
4.5.1.	Primeiro projeto – horta inteligente convencional	41

4.5.1.1.	<u>Canteiros</u>	42
4.5.1.2.	<u>Estrutura metálica</u>	42
4.5.1.3.	<u>Proteções laterais</u>	44
4.5.1.4.	<u>Guias corredeiras</u>	45
4.5.1.5.	<u>Sistema elétrico</u>	46
4.5.1.6.	<u>Sistema hidráulico</u>	46
4.5.1.7.	<u>Massa dos materiais</u>	47
4.5.1.8.	<u>Cálculo estrutural</u>	47
4.5.1.9.	<u>Dimensionamento dos canteiros</u>	48
4.5.1.10.	<u>Estrutura metálica</u>	50
4.5.1.11.	<u>Viga da canaleta</u>	51
4.5.1.12.	<u>Colunas de sustentação</u>	55
4.5.1.13.	<u>Base da estrutura metálica</u>	56
4.5.2.	Segundo projeto – horta automatizada hidropônica	62
4.5.2.1.	<u>Canteiros, tampo, compartimento para mudas e reservatório</u>	63
4.5.2.2.	<u>Estrutura metálica</u>	64
4.5.2.3.	<u>Sistema hidráulico</u>	64
4.5.2.4.	<u>Sistema de movimentação</u>	64
4.5.2.5.	<u>Massa dos materiais</u>	64
4.5.2.6.	<u>Cálculo estrutural</u>	65
4.5.2.7.	<u>Canteiro</u>	65
4.5.2.8.	<u>Estrutura metálica</u>	70
5.	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	73
	ANEXO A - Diretrizes do Design for Environment.	77
	ANEXO B - Resultado do <i>benchmarking</i>	81
	ANEXO C - Questionário elaborado para pesquisa de mercado.	83

1. INTRODUÇÃO

Nesta seção, é apresentada uma introdução ao conceito de hortas verticais, fornecendo informações sobre o panorama atual da agricultura, questões de sustentabilidade e detalhes sobre o projeto de extensão (Gyro) por meio do qual foi estabelecida a parceria para esta iniciativa. Além disso, são delineados os objetivos que nortearam a execução deste trabalho.

1.1. Contextualização do tema

A década de 1980 foi marcada pelo crescimento das preocupações relacionadas à qualidade de vida e ao desenvolvimento sustentável (EHLERS, 1994). Tópicos como desmatamento, poluição, destruição da camada de ozônio e aquecimento global são pautas importantes nas discussões da sociedade. Em 1987 foi realizada a primeira Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a qual resultou na publicação do *Relatório Brundtland*, que formalizou o que já se praticava sobre o conceito de sustentabilidade (EHLERS, 1994). O desenvolvimento sustentável está vinculado a três pilares: economia, desenvolvimento social e qualidade ambiental, que quando equilibrados proporcionam formas de ter a tecnologia, o crescimento econômico e ambientes saudáveis, o que leva qualidade de vida para os indivíduos (TONIAL, 2009).

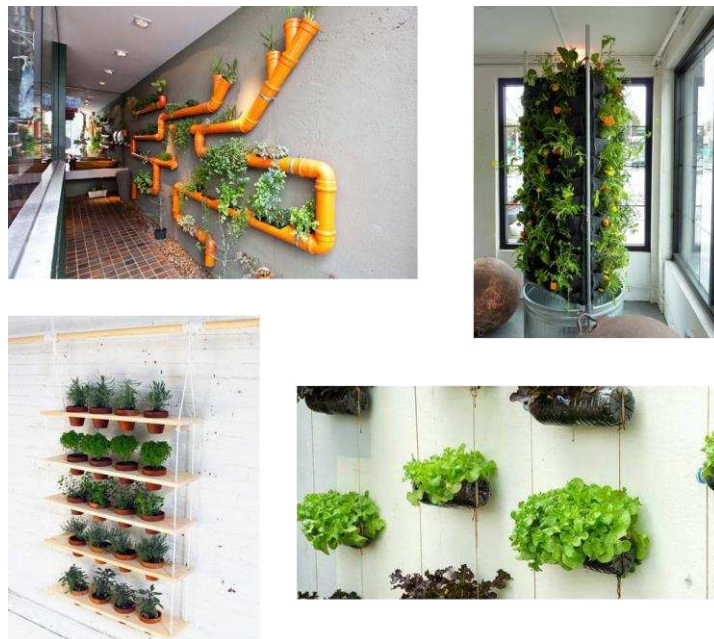
Desta forma, as questões de sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável têm direcionado as pesquisas para o desenvolvimento de produtos e processos que minimizem os impactos ambientais, como a poluição de efluentes, a degradação do solo, os problemas de saúde humana relacionados ao uso de agroquímicos, entre outros (HABITABILITY, 2022; GOVONI *et al.*, 2019).

O uso de agrotóxicos para maximizar a efetividade e qualidade da produção é amplamente aplicado mundialmente. No Brasil, o consumo aumentou em 190% em comparação com a média mundial de 93% na década de 2000 (RIGOTTO *et al.*, 2014). A aplicação de agrotóxicos é um tema controverso devido aos seus potenciais efeitos negativos sobre o meio ambiente e a saúde humana. Uma das consequências desse uso é o desenvolvimento de doenças degenerativas do sistema nervoso central, incluindo sequelas sensitivas, motoras e déficits cognitivos transitórios ou permanente (WAISSMANN, 2007).

Uma alternativa para uma alimentação saudável é produzir o próprio alimento, o que tem se tornado uma opção. Contudo, no contexto urbano, as residências, especialmente os apartamentos, têm tido redução de sua área. Um apartamento médio na década de 1970 tinha por volta de 100m², e em 2010 esse valor caiu 59%. (CARNEIRO *et al* 2015).

Essa redução de espaço nos apartamentos dificulta o cultivo de alimentos em hortas convencionais. Nesse contexto, as hortas verticais vêm ganhando destaque no mercado por ocuparem uma pequena área dentro das residências, apresentarem baixa manutenção e preços acessíveis. Os jardins verticais ou hortas verticais são exemplos de construções inspiradas nos famosos jardins suspensos da Babilônia, adaptadas ao mundo moderno (NOGUEIRA, 2018) (Figura 1).

Figura 1: Exemplos de Hortas Verticais



Fonte: Adaptado de Vida Decora (2019).

Logo, a busca por alternativas sustentáveis de cultivo e de consumo de produtos naturais, é uma forma de avançar nas ideias de desenvolvimento sustentável e de qualidade de vida.

Dito isto, o presente trabalho desenvolveu duas propostas de horta vertical para uso domiciliar, visando oferecer ao consumidor a oportunidade de cultivar o próprio alimento, isento de agrotóxicos e com possível diminuição do impacto ambiental. Uma das hortas utiliza um método convencional com o uso de substrato, enquanto a outra emprega o método de plantio hidropônico. A escolha por desenvolver essas duas hortas distintas permite uma avaliação futura sobre qual delas proporciona maior redução de impacto ambiental em comparação com outras hortas disponíveis no mercado. O estudo foi realizado em parceria com o projeto *Indoor Planting* do grupo Gyro, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) (GYRO,

2020). O projeto *Indoor Planting* surgiu com o objetivo de desenvolver hortas verticais com controles de automatização de irrigação e iluminação (Figura 2).

Figura 2: Protótipo *Indoor Planting*



Fonte: *Indoor Planting* (2020).

Atualmente o modelo possui algumas limitações:

- Design limitado: As dimensões do projeto o tornam grande e pesado, dificultando seu deslocamento e transporte no recinto;
- Reservatório de água: A reposição de água é realizada manualmente. No entanto, as dimensões do projeto não tornam essa ação ergonômica, sendo necessária uma solução que facilite essa reposição;
- Automatização: Apesar do controle de irrigação ser funcional, o controle de iluminação ainda é realizado manualmente.

Para guiar a proposta de redução de impacto ambiental em relação ao projeto do *indoor planting*, foi utilizada como ferramenta as diretrizes do *Design for Environment* (DfE), que tem como objetivo central de gerar menor impacto ambiental na produção dos produtos, avaliando desde escolha de materiais, métodos de fabricação, utilização e descarte. (RAMANI *et al.*,

2010). Deste modo, para corrigir as limitações listadas, foram utilizadas as diretrizes do DfE como base para o desenvolvimento de dois projetos de hortas verticais, com o propósito de minimizar o impacto ambiental relacionado ao processo de produção da estrutura da horta e incentivar o cultivo do próprio alimento.

1.2. Caracterização da oportunidade

Visando a construção de um produto com redução do potencial de impacto ambiental em relação ao projeto *indoor planting*, foram propostos dois modelos de hortas verticais domiciliares desenvolvidos com base nas diretrizes de Projeto para o Meio Ambiente (PMA, ou do inglês *Design for Environment*).

1.3. Objetivos

Esta sessão apresenta os objetivos gerais e específicos deste trabalho e apresenta justificativas para a realização deste trabalho.

1.3.1. Objetivo geral

A proposta deste trabalho foi desenvolver dois projetos de horta inteligente, que possam reduzir o impacto ambiental da sua concepção ao seu descarte, aplicando as diretrizes do DfE para atingir este objetivo.

1.3.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do projeto foram:

- Realizar revisão da literatura para a realização de uma análise de produto de concorrente (*benchmarking*);
- Realizar pesquisa de mercado para verificação da aceitação do consumidor sobre as hortas inteligentes;
- Desenvolver os projetos de horta de modo a superar as limitações apresentadas no protótipo desenvolvido pelo projeto *Indoor Planting*.

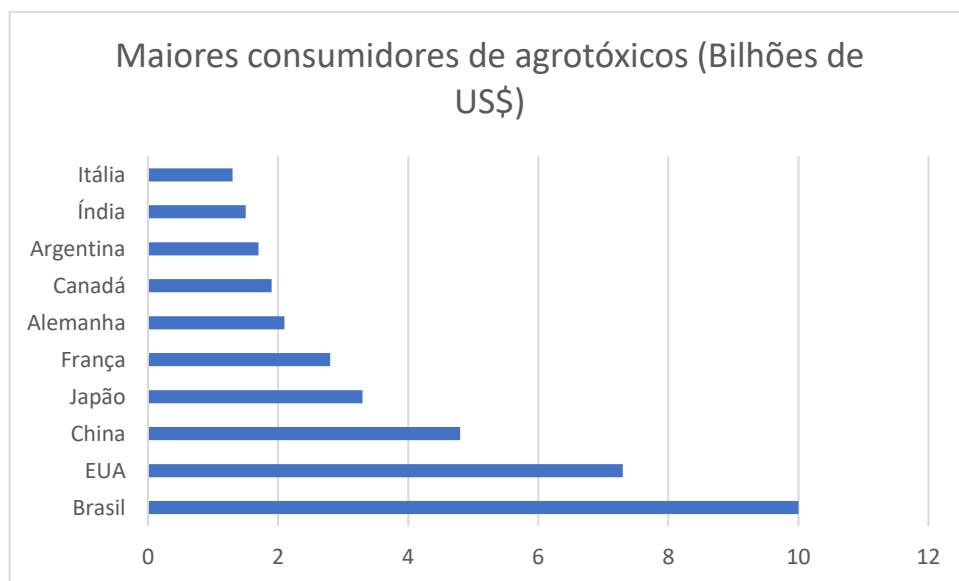
1.4. Justificativa

O crescimento populacional global continua em avanço. Recentemente a população mundial alcançou 8 bilhões de habitantes, levantando questões e incertezas sobre a gestão dos recursos naturais, a desigualdade social, os conflitos migratórios e geopolíticos, a intensificação da crise climática e hídrica e o cenário de fome no mundo (Agência Brasil, 2022).

Um dos problemas associados ao crescimento populacional é o aproveitamento de terras para o setor agrícola, que precisa gerar cada vez mais alimento para suprir o aumento da demanda. Contudo, a produção de alimentos não deve se limitar apenas para o crescimento tradicional de expansão de terras, visto que atualmente há tecnologias suficientes para a maximização da produção. Portanto, é preciso produzir mais por área, ou até mesmo em espaços reduzidos, e priorizando a produção sustentável (EMBRAPA, 2022).

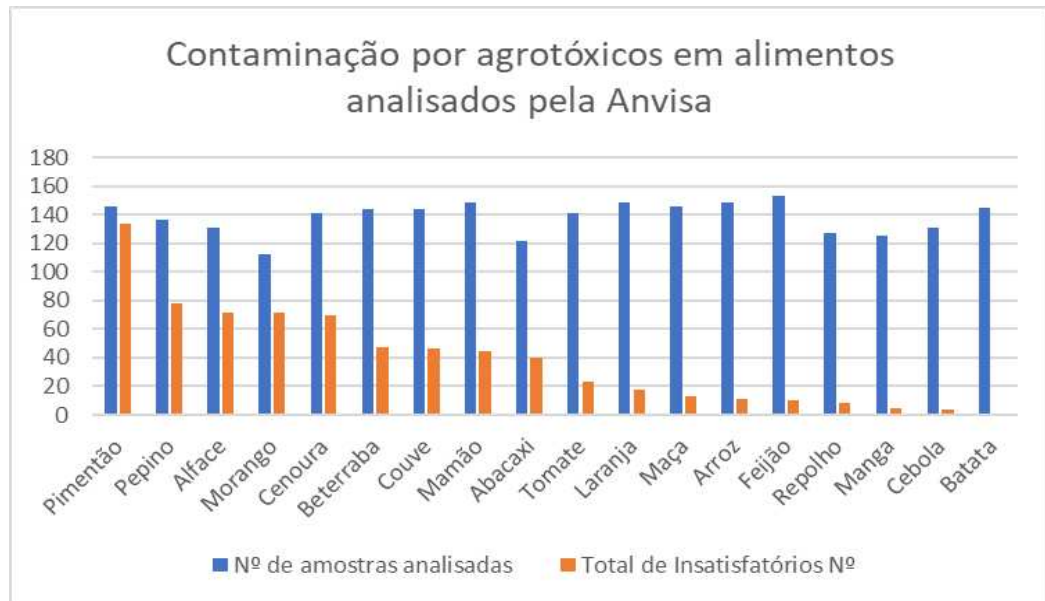
A aplicação de agrotóxicos para maximizar a efetividade e a qualidade da produção é um assunto controverso devido aos efeitos negativos gerados no meio ambiente e na saúde humana. Muitos agrotóxicos são proibidos em países da União Europeia, Japão e EUA, mas são liberados para uso no Brasil, resultando na posição do país como um dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo (FAO, 2013) (Figura 3).

Figura 3: Maiores consumidores de agrotóxicos em 2013



Fonte: Adaptado de McDougall (2015).

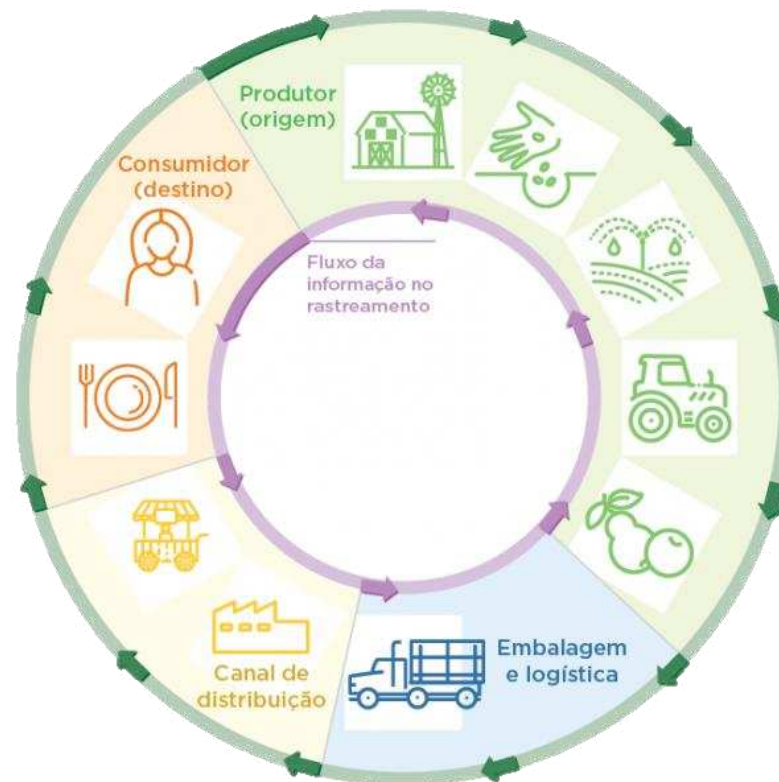
A aplicação de agrotóxicos sem o devido cuidado pode causar doenças e intoxicações graves. Entre 2007 e 2015, houve 84 mil casos de intoxicações diretas devido ao uso inadequado desses produtos (BRASIL, 2018). Dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) mostram que o consumidor final está frequentemente exposto a altas concentrações de agrotóxicos nos alimentos. Apesar de existir uma concentração permitida, muitas vezes esses limites são excedidos, podendo causar problemas de saúde (ANVISA, 2010) (Figura 4).

Figura 4: Contaminação por agrotóxicos em alimentos analisados pela Anvisa

Fonte: Adaptado de Anvisa (2010).

O aumento da produção e a promoção de maior resistência dos alimentos cultivados são algumas das justificativas para o uso intensivo dos agrotóxicos no Brasil. No entanto, observou-se que, globalmente, ocorre um desperdício de 14% dos alimentos durante as fases de colheita, armazenamento, transporte e exposição em prateleiras de mercados até chegar na mesa do consumidor (PNUA, 2021) (Figura 5). Além disso, dentro das casas, há um desperdício médio de 17% do que chega no consumidor final (FAO, 2021). Por fim, esses alimentos ocupam cerca de 30% do espaço destinado à agricultura, o que resulta em um aproveitamento inadequado (PNUA, 2021)

Figura 5: Ciclo de desperdício de alimento



Fonte: CropLife Brasil (2020).

Desta forma, o cultivo do próprio alimento surge como uma alternativa eficaz para evitar o contato com resíduos de agrotóxicos nos alimentos e diminuir seu desperdício (ANVISA, 2023). Assim, a prática possibilita a produção de produtos orgânicos, livres de agrotóxicos, e a consumir apenas o necessário (SESISP, 2022).

Pensando na produção de produtos orgânicos no cenário urbano, realizar a verticalização de hortas é uma maneira eficaz de otimizar o espaço disponível assim, vários modelos de hortas verticais se apresentam no mercado para suprir essa demanda (Cunha, 2021). No entanto, poucos contam com um sistema de automação para atividades como irrigação e iluminação, representando uma lacuna no mercado. Desta forma, desenvolver um novo produto com base nas preferências dos usuários se apresenta como uma alternativa para melhorar a divulgação do produto e atrair novos consumidores.

Como projeto de engenharia, os desafios são integrar conceitos de gestão ambiental, diretrizes do DfE, dimensionamentos de estruturas, ciência dos materiais para a fabricação do produto e automação.

1.5. Estrutura do projeto

A seção 1 apresenta a contextualização e objetivos para o desenvolvimento dos projetos de horta inteligente.

A seção 2 abordou o referencial teórico da metodologia de desenvolvimento de produto, DfE e hortas verticais.

A seção 3 apresentou a metodologia de pesquisa utilizada para realizar a coleta de dados para o desenvolvimento do projeto.

Na seção 4 foram apresentados os resultados obtidos da pesquisa de *benchmarking*, da pesquisa de mercado, a proposição dos projetos de hortas verticais (seleção de materiais, dimensionamento e validação estrutural) em conjunto com as diretrizes do DfE.

Por fim, a seção 5 apresentou as principais conclusões e perspectivas futuras do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os temas de hortas verticais, metodologia de desenvolvimento de produto e *Design for Environment*.

2.1. Hortas verticais

As hortas verticais apresentam estruturas verticais que podem ser colocadas em paredes, penduradas ou mesmo dispostas no chão e apresentam vantagem na maximização da área de plantio em comparação a um canteiro de horta convencional. Podem ser utilizadas para realizar o plantio de hortaliças e alguns tipos de legumes de médio porte, a depender do tamanho da horta (MASCHIETTO et al., 2012). O tipo de estrutura é ideal para espaços limitados, o que torna ideal para moradores que desejam realizar a sua própria plantação domiciliar, mas que não tem espaço para uma horta convencional (MASCHIETTO et al., 2012).

Além do modelo convencional de hortas, que utiliza substratos e adubos, também existe o modelo de horta hidropônica, onde as mudas são irrigadas diretamente nas raízes com uma solução de água com nutrientes para o seu desenvolvimento. Esse modelo apresenta vantagem no desenvolvimento das plantas, que acaba por ser acelerado, como também maximiza o espaço disponível para produção e tem redução na geração de resíduos (GOZZI; PAIXÃO, 2017).

2.2. Metodologia de Baxter

A metodologia de Mike Baxter é utilizada para o desenvolvimento de novos produtos com base na opinião dos consumidores, sendo assim, utilizando de frequentes pesquisas de mercado para obter informações para criar ideias para novos produtos. A metodologia apresenta o desenvolvimento do projeto de produto sob aspectos visuais, projeto de fabricação, as necessidades do mercado, redução de custos, confiança e preocupações ecológicas (BAXTER, 2000)

A metodologia possui um planejamento com os seguintes aspectos:

1. Identificação das oportunidades

1.1. Pesquisa e análise da oportunidade

Nesta etapa crucial, é importante conduzir uma pesquisa minuciosa sobre os ambientes nos quais o produto será aplicado, identificando nichos promissores nos quais potenciais clientes podem ser encontrados. É essencial também identificar áreas passíveis de melhorias, a fim de orientar o desenvolvimento do produto.

2. Análise de concorrentes e produtos concorrentes

2.1. *Benchmarking*

O *benchmarking* consiste em realizar uma pesquisa sobre produtos já existentes, visando descobrir novas tecnologias, inovações, produtos e métodos utilizados por outras empresas concorrentes (BAXTER, 2000). As características identificadas são reunidas em um quadro comparativo. O quadro reúne aspectos como custo, consumo energético, tamanho, entre outros itens relevantes dos produtos pesquisados, organizando-os de forma a facilitar a comparação entre os produtos. Após a análise, os dados são integrados à pesquisa de mercado como parte fundamental do processo.

2.2. Avaliação dos consumidores dos produtos concorrentes

Nesta etapa conduz-se uma pesquisa para captar as opiniões dos consumidores sobre os produtos disponíveis do mercado, com o intuito de compreender suas perspectivas em relação aos produtos.

2.3. Pesquisa bibliográfica

Realiza-se uma investigação em patentes, livros, artigos e outras referências pertinentes ao projeto. Isso possibilita adquirir conhecimento acadêmico sobre o que já foi desenvolvido e as últimas tendências.

2.4. Identificação ou avaliação das oportunidades de inovação

Com base nas informações obtidas do *benchmarking* e das avaliações dos consumidores, busca-se identificar lacunas e nichos no mercado onde o produto a ser desenvolvido possa atender demandas não atendidas.

2.5. Levantamentos qualitativos do mercado

Através de pesquisas de mercado, utilizando formulários, entrevistas e demais formas de coleta de informações, busca-se compreender as opiniões dos consumidores e suas necessidades, bem como avalia-se como tais necessidades estão sendo atendidas. Esses dados são analisados estatisticamente para fornecer resultados importantes no processo.

3. Desenvolvimento do Projeto

3.1. *Brainstorming*

O *brainstorming* é a etapa na qual a equipe se reúne para gerar ideias para o produto, independentemente de suas limitações físicas ou de sua natureza. O objetivo principal é gerar o maior número possível de ideias para que possam ser posteriormente analisadas (BAXTER, 2000).

3.2. Análise de função

A análise de função compila as características e funcionalidades mais destacadas de cada um dos produtos analisados, de forma visual e comparativa, facilitando a seleção dos pontos relevantes. Essas informações são então integradas à pesquisa de mercado para obter o feedback do público-alvo.

3.3. Estabelecimento de metas do novo produto;

Com base nas análises prévias, são definidas as metas do produto, as quais orientarão todo o desenvolvimento do projeto. Nesse processo, a análise de função é utilizada para extrair requisitos do projeto, aliada às opiniões obtidas na pesquisa de mercado.

Quando se pensa em questões ambientais, diversos critérios podem ser considerados para tornar-se um produto mais ecológico, sustentável e ambientalmente correto. Estabelecer esses critérios pode representar um desafio, dada a variedade de opções disponíveis. Uma estratégia comum para isso é a utilização do DfE.

2.3. *Design for Environment – DfE*

Com o objetivo de gerar menor impacto ambiental, existem ferramentas capazes de conduzir o desenvolvimento do projeto do produto e de quantificar o quanto o produto pode trazer danos ao meio ambiente. Assim são conhecidas como *Design for Environment* (DfE) e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), respectivamente (RAMANI *et al.*, 2010).

O DfE estabelece diretrizes para o produto desde a etapa de fabricação, utilização e descarte. Essas diretrizes trabalham formas de reduzir o impacto ambiental do produto no seu ciclo de vida, o que implica em produtos sustentáveis, de baixo impacto ambiental e com processos de fabricação com baixas emissões de poluentes. Isso torna a empresa eco eficiente, ou seja, economicamente rentável e ambientalmente compatível (ALVES-PINTO JR; VEIGA MENDES, 2016).

Para a validação de um projeto em que foram aplicadas as diretrizes do DfE, um método muito utilizado é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Assim, os resultados da ACV podem dizer se as diretrizes foram bem-sucedidas e forneceram o resultado esperado para o produto. Portanto, definir corretamente e aplicar as diretrizes do DfE de maneira assertiva torna-se essencial para bons resultados da ACV, sendo um processo de melhoria contínua (FIKSEL, 2009)

Existe uma dificuldade de selecionar as diretrizes corretas para determinada ação, para isso foram criadas as estratégias de DfE, que une algumas diretrizes disponíveis focando em um objetivo em comum. (TELENKO *et al.*, 2016).

As estratégias podem ser listadas em (TELENKO *et al.*, 2016):

- **Estratégia A:** Maximizar a disponibilidade de recursos;

Visa a reutilização de materiais, facilidade de separação e reciclagem e a renovação de recursos, com o objetivo final de evitar o esgotamento de recursos naturais. Está ligada ao conhecimento de novos materiais e processos de fabricação e cadeia de suprimentos atuais para as tomadas de decisões.

- **Estratégia B:** Maximizar entradas e saídas saudáveis;

Tem como objetivo a eliminação de substâncias perigosas e poluentes para o meio ambiente e a destinação correta de resíduos de produtos. As entradas e saídas mencionadas devem minimizar os danos ao meio ambiente e a saúde humana ou até mesmo eliminar esses riscos, quando possível.

- **Estratégia C:** Minimizar o uso de recursos nas fases de Produção e Transporte;

Visa a forma mais eficaz de dimensionar o produto evitando desperdícios de produção e estratégias de transporte do produto de forma a reduzir a carga e o número de remessas, implicando na redução de consumo de combustível e na taxa de emissão de poluentes. Encoraja o pensamento sobre aspectos que em primeiro instante não parecem conectados com o projeto.

- **Estratégia D:** Minimizar o consumo de recursos durante a operação;

Essa estratégia busca a aplicação de materiais e recursos que melhorem a eficiência energética, reduzindo o desperdício de energia que não agrega valor ao

produto. Também está atrelada a economia de recursos tanto na etapa de fabricação, quanto na utilização e manutenção do produto.

- **Estratégia E:** Maximizar a vida técnica e estética do produto e componentes;

Essa estratégia destina-se a prolongar a vida útil do produto, sendo pela qualidade de fabricação, meios de manutenção e atualizações. Prolongar a vida útil evita diretamente os impactos do ciclo de vida do produto que seria descartado e do novo produto que viria a substituir. Enquanto permitir facilidade de atualização para novas tecnologias torna a vida do produto no mercado prolongada por atender as práticas mais atuais.

- **Estratégia F:** Facilitar a atualização e reutilização de componentes.

Essa estratégia visa a facilidade de reutilização, separação, reciclagem, atualização e reparo de componentes e do próprio produto, sendo utilizadas estratégias de separação, purificação e desmontagem.

As 76 diretrizes de DfE foram agrupadas dentro das seis estratégias delineadas no Quadro 1 do Anexo A. Para facilitar a seleção das estratégias e, conseqüentemente, das diretrizes, foram estabelecidas quatro abordagens para a utilização das diretrizes DfE. A importância de aplicar tais abordagens reside nas situações de conflitos entre diretrizes, quando uma diretriz inviabiliza a implementação de outra, tornando necessário priorizar um método (TELENKO *et al.*, 2016).

- Abordagem 1: Aplicação de uma estratégia de DfE e implementação de diretrizes relevantes:

A implementação simultânea de diretrizes pode ser desafiadora, por exemplo, o material com menor impacto ambiental pode não ter a resistência mecânica necessária para o projeto, exigindo adaptações. Conciliar todas as características das diretrizes é um grande desafio. Para enfrentar isso, uma abordagem pode ser solucionar primeiro o principal impacto ambiental esperado do produto e, a partir disso, selecionar as diretrizes mais pertinentes em cada estratégia. Por exemplo, se o objetivo principal for a reciclagem do produto e seus componentes, priorizar inicialmente as diretrizes relacionadas à reciclagem em cada estratégia.

Portanto, a seleção de um subconjunto de diretrizes contribui para alcançar os objetivos da empresa de forma mais eficiente, reduzindo o tempo gasto em aspectos do projeto que não afetam significativamente o impacto ambiental e direcionando-o para as metas ambientais.

- Abordagem 2: Utilização de diretrizes como gerador de ideias:

Usar as estratégias e diretrizes do DfE como base para a geração de conceitos pode ser vantajoso devido ao nível de detalhamento das diretrizes. Um mapa mental pode ser empregado para desenvolver estratégias para cada diretriz selecionada, servindo como um gerador de ideias para novos conceitos que considerem todo o ciclo de vida e o impacto ambiental.

- Abordagem 3: Utilização de um banco de dados de conhecimento especializado para selecionar diretrizes relevantes com base em estratégia DfE desejada e estágio de *design*.

Esta abordagem utiliza um sistema automático para selecionar as diretrizes de interesse para o projeto com base nas entradas do design. Ela torna a escolha de diretrizes mais rápida e evita a necessidade de contribuições de especialistas. Um exemplo de ferramenta é o Synergico, desenvolvido pela Universidade de Grenoble, França, que oferece 59 diretrizes voltadas para a eficiência energética. O usuário responde às perguntas relacionadas aos filtros da ferramenta e recebe um conjunto de orientações relevantes. No entanto, a perspectiva holística do ciclo de vida pode ser perdida, e o projeto pode ficar restrito ao primeiro *design* sugerido, sem uma análise mais ampla de outras diretrizes que podem não ser óbvias inicialmente.

- Abordagem 4: Utilização do conjunto de diretrizes para avaliar conceitos:

Utilizando tabelas e matrizes de perguntas para analisar produtos e gerar uma avaliação. As vantagens incluem a amplitude de detalhes obtida de maneira mais fácil e qualitativa, abrangendo todas as fases do ciclo de vida do produto com um nível de detalhamento que permite nuances. No entanto, a desvantagem é a análise puramente qualitativa, sem dados quantitativos do impacto ambiental do produto analisado.

Embora o DfE estabeleça estratégias e diretrizes para desenvolver produtos com o mínimo impacto ambiental, é crucial também considerar o consumidor final. Combinar dados de uma análise de função com as diretrizes do DfE pode estabelecer opções a serem exploradas

em uma pesquisa de mercado direcionada ao público-alvo. Essas opiniões orientam o desenvolvimento de novos produtos que atendam aos desejos do cliente, integrem inovações tecnológicas e sigam as diretrizes do DfE.

3. METODOLOGIA

Nesta seção são descritas as etapas metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa e desenvolvimento do produto (Figura 6).

Figura 6: Fluxograma do desenvolvimento do projeto.



Fonte: Autoria própria.

3.1. Metodologia de pesquisa

3.1.1. Primeira Fase

Para o desenvolvimento do projeto foi adotada uma adaptação da metodologia de Baxter (2000), escolhida por sua abordagem completa focada no consumidor final. Nesse cenário, a primeira fase envolveu uma pesquisa bibliográfica, de benchmarking e de mercado sobre hortas verticais automáticas e inteligentes.

A pesquisa bibliográfica buscou artigos relacionados à temática, com foco na aplicação do DfE. Tal busca contemplou a procura por patentes nacionais na plataforma online do sistema do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), como palavra-chave da pesquisa foram utilizadas: “Horta vertical”; “Hortas verticais”; “Horta inteligente”; “Hortas inteligentes”. Esse ponto foi importante para entender quais são as funções utilizadas pelos fabricantes e encontrar oportunidades de inovação. Já a pesquisa *benchmarking* foi conduzida para identificar produtos similares, com as mais diversas características como precificação, grau de automação, consumo de energia, tempo de autonomia, dispositivos de automação, entre outros.

Por fim, a pesquisa de mercado foi direcionada para a comunidade acadêmica do curso de engenharia mecânica da UTFPR, campus Ecoville localizado em Curitiba-PR, que reside em apartamento, representando uma amostra de 10% do total de 968 (UTFPR, 2017) (Anexo C). A pesquisa de mercado buscou identificar os pontos de melhoria para os cultivadores domésticos existentes, bem como as principais dificuldades enfrentadas por aqueles interessados, mas que ainda não cultivam em casa.

O questionário foi desenvolvido para abordar as estratégias do DfE, considerando a Abordagem 1 (Aplicação de uma estratégia do DfE e implementação de diretrizes relevantes). No questionário, cada pergunta abordava uma Estratégia: "A", "B", "C", "D", "E" e "F" (Quadro 2). No caso da Estratégia "A", foi considerada independentemente do resultado obtido no questionário, já que os projetos se concentram em reduzir o impacto ambiental potencial.

Quadro 2: Abordagem das estratégias DfE no questionário da pesquisa de mercado.

Perguntas	Estratégia DfE relacionada
“Acho importante uma horta muito durável e que não precise de reposição (troca de peças).”	Estratégia E - Maximizar a vida técnica e estética do produto e componentes
“Acho importante uma horta de fácil montagem.”	Estratégia F - Facilitar a atualização e reutilização de componentes
“Acho importante que a horta seja fácil de limpar e que eu possa trocar as peças de forma fácil se necessário.”	Estratégia F - Facilitar a atualização e reutilização de componentes.
“Acho importante que a horta não ocupe muito espaço, mas possa produzir vários alimentos”	Estratégia B - Maximizar entradas e saídas saudáveis.
“Acho importante a utilização de materiais renováveis e recicláveis nos produtos que eu consumo.”	Estratégia A - Maximizar a disponibilidade de recursos
“Acho importante formas alternativas de cultivo (hidroponia, aeroponia).”	Estratégia D - Minimizar o consumo de recursos durante a operação
“Acho importante hortas menores que possam ser levadas facilmente para outras partes da casa.”	Estratégia C: Minimizar o uso de recursos nas fases de Produção e Transporte.
“Acho importante um sistema de irrigação automático e programável, inclusive pelo celular.”	Estratégia D - Minimizar o consumo de recursos durante a operação.
“Acho importante um sistema de iluminação artificial programável, inclusive pelo celular.”	Estratégia D - Minimizar o consumo de recursos durante a operação.
“Acho importante hortas maiores, para poder cultivos de alimentos maiores, mesmo que atrapalhe a mobilidade”	Estratégia E - Maximizar a vida técnica e estética do produto e componentes.

Fonte: Autoria própria.

Para mensurar a importância de cada estratégia, as perguntas foram elaboradas com a escala Likert, que mede o grau de satisfação dos entrevistados em uma escala de 1 a 5 (SILVA JUNIOR; COSTA, 2014). Assim, cada pergunta obteve-se um valor médio que reflete a importância da estratégia DfE para a produção de hortas inteligentes. Para os resultados obtidos da pesquisa de mercado, a média dos valores obtidos para cada pergunta na escala Likert foi extraída, resultando em um valor médio entre 1 e 5. Este valor foi usado para ranquear e estabelecer quais estratégias estão mais relacionadas com as características que uma horta inteligente deve ter para os entrevistados.

3.1.2. Segunda Fase

Após a conclusão da primeira fase, a segunda fase envolveu a definição da especificação da qualidade, do funil de decisões e da matriz morfológica para ambos os projetos (Quadro 2).

A especificação da qualidade considerou as necessidades dos consumidores para determinar as metas e objetivos do produto. O funil de decisões foi elaborado com base nos

dados do *benchmarking* e resultados de entrevistas, destacando os problemas e oportunidades de melhoria. Tal instrumento auxilia na tomada de decisões do projeto, identificando áreas de melhoria e estabelecendo possíveis riscos com base nos resultados obtidos além de contribuir para a geração de conceitos de projeto, questionando quais ideias podem ser desenvolvidas a partir das informações obtidas.

A matriz morfológica considerou as seguintes funções na definição dos produtos: Tamanho; Material; Iluminação; Irrigação; Automação; Formas de canteiro; Estratégia Ecológica e Mobilidade. Cada função escolhida considerou as necessidades dos consumidores, oportunidades de inovação e, principalmente, a aplicação da diretriz do DfE dos projetos. Com os resultados da matriz morfológica, foram definidos os dois projetos: A horta inteligente convencional e a horta automatizada hidropônica.

3.1.3. Terceira Fase

A Terceira fase focou no desenvolvimento, dimensionamento e cálculo estrutural dos projetos e elaboração da modelagem 3D e desenho estrutural.

Após a definição da geometria dos dois projetos, foi realizada a seleção dos materiais a partir dos materiais pré-estabelecidos na matriz morfológica. Em seguida, o cálculo estrutural confirmou a viabilidade do projeto com o intuito de reduzir possíveis desperdícios. A validação contemplou os métodos de falhas do material: falha por cisalhamento, flexão, flambagem e compressão. Durante o cálculo estrutural, também ocorreu o dimensionamento dos componentes considerando o manuseio e ergonomia durante a montagem, uso e manutenção. Por fim, foram desenvolvidos os modelos 3D e desenhos de fabricação dos respectivos projetos de hortas inteligentes no software Crio Parametric ®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados do *benchmarking* e da pesquisa de mercado foram apresentados, levando à criação da matriz morfológica e ao desenvolvimento de dois projetos em conformidade com as diretrizes do DfE.

4.1. Pesquisa de *benchmarking*

A pesquisa de *benchmarking* resultou em sete modelos de hortas verticais comercializadas no mercado nacional e internacional, do modelo mais básico ao mais complexo, variando também em nível de automatização (Figura 7).

Figura 7: Hortas analisadas no benchmarking. (A) Horta EVA Baby®. (B) Horta b.Box – Brota Company®. (C) Jardineira, Hortinha, Horta Vertical. (D) Horta vertical com rodízio – Toca verde®, (E) Horta vertical auto irrigável - Verde vida. (F) Natufia Smart Garden®. (G) Horta Sensh®.



Fonte: (A) “EVA AU” (2022). (B) “b.Box Clássica - Horta Inteligente - Brota Company” (2022). (C) “Horta De Apartamento, Jardineira, Hortinha, Horta Vertical” (2022). (D) “Horta Vertical 11 com Rodízio e 6 Jardineiras” (2022). (E) Agromania (2022). (F) “Natufia Smart Garden” (2022). (G) “Sensh” (2024).

Os diferentes modelos de hortas apresentam características distintas que se alinham às diferentes necessidades e preferências dos consumidores.

A horta Eva Baby (R\$ 447,99) (Figura 7A) e a horta b.Box (R\$ 225,00) (Figura 7B) são classificadas como hortas inteligentes, oferecendo automação de iluminação, irrigação por capilaridade e autonomia aproximada de 25 dias. Apesar disso, b.Box destaca-se pelo seu melhor custo-benefício. Por outro lado, a horta Jardineira (Figura 7C), classificada como horta vertical, oferece o menor custo entre os modelos analisados, embora careça de soluções de automação. Apesar disso, sua fabricação em materiais recicláveis e seu design simples e minimalista tornam-na uma opção de fácil manutenção.

A Horta da Toca Verde (R\$ 1250,00) (Figura 7D), classificada como horta vertical por não possuir dispositivo de automação, apresenta robustez na construção e preço mais elevado.

Esse modelo possui facilidade de movimentação por conta dos rodízios e maior espaço para plantio, no entanto perde para os demais modelos no quesito automação e pela ausência de materiais recicláveis em sua fabricação. Já a horta da Verde Vida (R\$ 340,00) (Figura 7E), também horta vertical, destaca-se pelo sistema de irrigação por capilaridade mais robusto quando comparado com os outros modelos. Possui capacidade de plantio de plantas de pequeno e médio porte, sendo esse seu diferencial em relação aos outros modelos. Ademais, seu tempo de autonomia é de 14 dias e o reservatório precisa ser abastecido manualmente.

A horta *Natufia Smart Garden* (\$7.995,00) (Figura 7F) destaca-se como horta inteligente mais avançada em termos de automação. O modelo internacional possui automação para controle de luminosidade, irrigação, temperatura e ventilação. A autonomia do sistema de irrigação depende de uma fonte de água conectada diretamente ao reservatório da horta, no entanto o custo de venda e origem estrangeira podem ser considerados limitações. Por fim, o modelo chinês de horta da marca *Sensh* (\$ 504,09) (Figura 7G) adota o cultivo por hidroponia, exigindo um sistema de irrigação mais elaborado para manter o fluxo de água constante. Além disso, conta com um sistema de iluminação artificial e suporte para o substrato com as sementes a serem cultivadas. Devido à ausência de solo durante o cultivo, oferece vantagens em termos de facilidade de limpeza, redução no peso da estrutura e apresenta possibilidade de montagem intercambiável, proporcionando personalização ao usuário.

Com base nos dados coletados, foi elaborado um quadro comparativo com as características das hortas (ANEXO B - Quadro 3). Como resultado desta análise, quatro modelos se destacaram: *Eva Baby*, *B.Box*, *Natufia Smart Garden* e *Sensh*, devido ao seu alto nível de automação, que inclui sistema de irrigação, iluminação artificial, além de possuírem orientações para o plantio.

Especificamente, a *Natufia Smart Garden* ainda oferece um sistema de estufa e uma área destinada ao plantio de mudas chamada de “*Nursey*”. Além disso, esse modelo apresenta uma solução para o abastecimento de água nos tanques para irrigação, que são pontos fracos nos outros modelos. O modelo *B.Box* destaca-se por sua solução sustentável, com materiais de fabricação recicláveis e baixo consumo de energia elétrica, alinhando-se com as diretrizes do DfE. Por sua vez, o modelo *Sensh* propõe o cultivo hidropônico, sendo o único a adotar essa abordagem, mas destaca-se por sua facilidade de limpeza e manutenção.

Tanto os modelos *Eva Baby* quanto *Natufia Smart Garden* oferecem conectividade *Wi-Fi*. No caso da *Eva Baby*, isso está associado ao controle do sistema de iluminação da horta. Já no caso da *Natufia Smart Garden*, além do controle remoto dos sistemas de irrigação e

iluminação, também fornece dados de status ao usuário. Enquanto isso, o modelo *Sensh* oferece controle remoto como opção para gerenciar a horta.

Tais características destacadas foram importantes para a construção dos dois projetos neste trabalho.

4.2. Pesquisa por patentes nacionais

A busca por patentes nacionais que abordassem hortas verticais ou hortas inteligentes resultou em dois resultados (Figuras 8 e 9). No entanto, observou-se que ambas estão desativadas e não incluem nenhum tipo de dispositivo de automação. Portanto, a pesquisa por patentes nacionais, juntamente com a investigação das empresas que operam no mercado, revelou que esse é um nicho ainda em desenvolvimento, o que abre caminho para inovações tecnológicas relacionadas ao tema.

Figura 8: Busca por patente 1

RESULTADO DA PESQUISA (24/09/2022 às 16:26:56)

Pesquisa por:
Todas as palavras: 'HORTA VERTICAL no Título' \

Foram encontrados 2 processos que satisfazem à pesquisa. Mostrando página 1 de 1.

Pedido	Depósito	Título	IPC
BR 20 2014 002443 9	31/01/2014	DIPOSIÇÃO APLICADA EM HORTA HÍBRIDA VERTICAL	A01G 31/02
BR 20 2013 014690 6	12/06/2013	DIPOSIÇÃO INTRODUZIDA EM HORTA VERTICAL	A01G 9/02

Páginas de Resultados:
1

Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Busca por patente 2

RESULTADO DA PESQUISA(24/09/2022 às 16:38:27)

Pesquisa por:
Todas as palavras: 'HORTA INTELIGENTE no Título' \

- Nenhum resultado foi encontrado para a sua pesquisa. Para efetuar outra pesquisa, pressione o botão de VOLTAR.

AVISO: Depois de fazer uma busca no banco de dados do INPI, ainda que os resultados possam parecer satisfatórios, não se deve concluir que a Patente poderá ser concedida. O INPI no momento do exame do pedido de Patente realizará nova busca que será submetida ao exame técnico que decidirá a respeito da concessão da Patente.

Dados atualizados até 20/09/2022 - Nº da Revista: 2698

Fonte: Autoria própria.

4.3. Pesquisa de mercado

O questionário elaborado para a pesquisa de mercado sobre o cultivo domiciliar abordou perguntas sobre o tipo e a variedade de cultivos e aos aspectos da horta, incluindo limpeza, facilidade de montagem, durabilidade, uso de materiais recicláveis, aproveitamento de espaço, formas alternativas de cultivo, tamanho das hortas, automação de irrigação e automação

de iluminação (Anexo C). O público-alvo das pesquisas foi composto por pessoas que moram em apartamentos e que já cultivam ou têm interesse em cultivar seu próprio alimento.

A pesquisa resultou no total de 105 entrevistados. Do total de entrevistados, 79 (correspondendo a 75%) demonstraram interesse ou já têm o hábito de cultivo doméstico. Dentro desse grupo, 21 entrevistados moram em apartamento (representando 20% do total).

Os resultados parciais para o público residentes de apartamento estão disponíveis no Quadro 4. Para o público que reside em apartamentos, os requisitos mais importantes para as hortas foram os seguintes: em primeiro lugar, a durabilidade (4,76); em segundo lugar, empatados, a facilidade de montagem e a facilidade de limpeza (4,67); e em terceiro lugar, a disponibilidade de espaço (4,19) (Quadro 4).

Quadro 4: Resultados da pesquisa de mercado sobre hortas inteligentes de entrevistados que moram em apartamento.

Posição	Perguntas	Estratégia envolvida	Pontuação 1-5
1°	“Acho importante uma horta muito durável e que não precise de reposição (troca de peças).”	Estratégia E	4,76
2°	“Acho importante uma horta de fácil montagem.”	Estratégia F	4,67
2°	“Acho importante que a horta seja fácil de limpar e que eu possa trocar as peças de forma fácil se necessário.”	Estratégia F	4,67
3°	“Acho importante que a horta não ocupe muito espaço, mas possa produzir vários alimentos”	Estratégia B	4,19
4°	“Acho importante a utilização de materiais renováveis e recicláveis nos produtos que eu consumo.”	Estratégia A	4,05
5°	“Acho importante formas alternativas de cultivo (hidroponia, aeroponia).”	Estratégia D	3,9
6°	“Acho importante hortas menores que possam ser levadas facilmente para outras partes da casa.”	Estratégia C	3,71
7°	“Acho importante um sistema de irrigação automático e programável, inclusive pelo celular.”	Estratégia D	3,48
8°	“Acho importante um sistema de iluminação artificial programável, inclusive pelo celular.”	Estratégia D	3,33
9°	“Acho importante hortas maiores, para poder cultivar alimentos maiores, mesmo que atrapalhe a mobilidade”	Estratégia E	3,1

Fonte: Autoria própria.

O requisito de durabilidade está vinculado à estratégia “E” do DfE. Esse resultado está alinhado com as expectativas durante a seleção das estratégias. Também observou que a estratégia “F” foi relevante entre os entrevistados, ocupando a segunda posição.

O Quadro 5 apresenta as principais estratégias utilizadas com base nos resultados da pesquisa, e a classificação de cada estratégia foi determinada pelo resultado da pontuação.

Quadro 5: Estratégias utilizadas

Estratégia	Descrição	Classificação
Estratégia E	Maximizar a vida técnica e estética do produto e componentes	1°
Estratégia F	Facilitar a atualização e reutilização de componentes	2°
Estratégia B	Maximizar entradas e saídas saudáveis.	3°
Estratégia A	Maximizar a disponibilidade de recursos	4°
Estratégia D	Minimizar o consumo de recursos durante a operação	5°

Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, é possível estabelecer o objetivo para os novos produtos englobando principalmente as estratégias mencionadas, sendo as estratégias “E” e “F” as mais críticas a serem seguidas, com base nos resultados obtidos. Contudo, a estratégia “A” é particularmente importante para alcançar os objetivos e possui relevância no desenvolvimento do projeto.

Entre o grupo de entrevistados que não tem interesse em cultivo domiciliar, foram realizadas duas sessões de perguntas. Na primeira seção, procurou-se entender os motivos que levaram essas pessoas a desistirem do cultivo. Dentro do cenário de pessoas que moram em apartamentos, foram entrevistados 12 participantes, e os três principais problemas identificados foram:

1. Problemas com rotina de irrigação;
2. Falta de orientações iniciais;
3. Falta de acesso a materiais e equipamentos.

O fato do principal problema ser relacionado à rotina de irrigação sugere que ao resolver esse problema durante o projeto, esse grupo pode vir a utilizar o produto. No entanto, problemas relacionados à falta de orientações ocuparam o segundo lugar, indicando que, apesar

do interesse no cultivo doméstico, existe uma carência de informações sobre a temática. Esse aspecto pode ser abordado em trabalhos futuros por meio de elaboração de cartilhas e manuais de utilização que incluam informações sobre o cultivo de espécies de plantas de interesse comum.

4.4. Definição dos projetos

Para integrar os resultados da pesquisa de *benchmarking* e da pesquisa de mercado com os objetivos do projeto, foi utilizado o quadro de especificações de qualidade (Quadro 6). Nesse quadro foi observado que hortas de fácil limpeza, alta longevidade, fácil montagem e o uso de materiais recicláveis são pontos que se conectam com o DfE, cumprindo com o objetivo do questionário de relacionar as estratégias do DfE com as perguntas e assim, gerando as necessidades do consumidor atreladas ao DfE.

Quadro 6: Especificações da qualidade

Especificações de qualidade	
Direcionar o processo de desenvolvimento do novo produto	
Necessidades do Consumidor	Horta de fácil limpeza;
	Alta longevidade;
	Fácil montagem;
	Verticalização (Diversidade de produtos);
	Uso de materiais recicláveis e renováveis;
	Fonte de informações de plantio urbano e manutenção.
Filtrar o desenvolvimento do novo produto	
Metas	Concepção do produto dentro das diretrizes do DfE;
	Automatização de tarefas de rotina;
	Uso de materiais de baixo impacto ambiental;
	Contenção contra animais domésticos;
Objetivos	Criar uma horta inteligente capaz de suprir as principais necessidades apontadas;
	Incentivar o cultivo em casa para o público que não tem interesse nessa proposta atualmente.

Fonte: Autoria própria.

O quadro 7 apresenta o funil de decisões, esse quadro apresenta oportunidades de inovação e possíveis conceitos, essas decisões foram baseadas na pesquisa de mercado, pesquisa de *benchmarking* e no objetivo de realizar as melhorias de projeto do *indoor planting*.

Quadro 7: Funil de decisões

Aplicação do Funil de Decisões	
Decisão / Ação	Riscos
Inovar ou não?	
Sim, desenvolver dois projetos de horta inteligente utilizando o cultivo convencional (substrato) e hidropônico (água).	Os produtos podem não ser bem aceito devido à introdução de um modelo inovador no mercado, como a horta vertical inteligente.
Possíveis oportunidades de inovação	
<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver um produto alinhado com as diretrizes do DfE com vistas a reduzir o potencial impacto ambiental gerado ao longo do ciclo de vida do produto. • Produto com capacidade maior que os dos concorrentes e com maior autonomia. • Utilizar conceito de horta hidropônica, por não ter essa categoria de produto no mercado nacional. 	O modelo de pesquisa de mercado levou em consideração apenas o público acadêmico de engenharia mecânica da UTFPR, campus Curitiba-PR, residente em apartamento. Desta forma, os resultados podem divergir do cenário nacional.
Possíveis produtos	
Horta vertical inteligente para ambientes com espaço reduzido.	Baixa aceitação pela população idosa.
Possíveis conceitos	
<ul style="list-style-type: none"> • O novo produto deverá ser uma horta vertical de altura média (0,6m a 1,2m); • Estrutura utilizando materiais de fontes renováveis e recicláveis; • Reservatório de água acoplado a horta para maior autonomia; • Um sistema de bomba e tubulações para irrigação; • Rede elétrica para utilização de lâmpadas e funcionamento da bomba hidráulica; • Sistema de portinholas para proteção contra animais domésticos; • Uso de rodízios para melhor mobilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo dos produtos utilizados; • Custo dos processos de manufatura; • O peso total do produto pode ser maior do que o consumidor espera.
Possíveis configurações	
<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura com caixas em material de alta durabilidade e baixo impacto ambiental; • Utilizar conceito de escadas para a verticalização 	<ul style="list-style-type: none"> • O tipo de material pode sofrer com deterioração pelo contato de terra e água; • O material também deve suportar cargas prolongadas sem deformação.
Possíveis detalhes	
Protótipo para testes	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamentos incorretos; • Problemas de montagem; • Substituição de materiais por materiais não conformes;

Fonte: Autoria própria.

4.4.1. Matriz Morfológica

Com os resultados anteriores, realizou-se a matriz morfológica, que uniu os interesses do DfE, as oportunidades de inovação do *benchmarking* e as necessidades do consumidor obtidas na pesquisa de mercado (Quadro 8).

Quadro 8: Matriz morfológica da horta inteligente.

Função	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4	Opção 5
Tamanho	Compacto	Pequeno	Médio	Grande	Extra Grande
Material	PET	PEAD	PP	Alumínio	Madeira
Iluminação	LED	Fluorescente	Solar	Halógena	Incandescente
Irrigação	Manual	Gotejamento	Automática	Subterrânea	Hidropônica
Automação	Manual	Arduino	Lâmpadas inteligentes	Interruptor inteligente	Temporizador
Formas de canteiro	Caixa	Horizontal	Vertical	Modular	Suspensa
Estratégia Ecológica	Reciclável	Certificação ambiental	Reutilizável	Ecoeficiente	Biodegradável
Mobilidade	Manual	Rodas	Com Trilhos	Dobrável	Fixo

Fonte: Autoria própria.

4.4.1.1. Tamanho

O tamanho médio foi definido de acordo com as oportunidades de inovação encontradas no *benchmarking*, visto que não foram encontradas hortas de tamanho médio no mercado nacional.

4.4.1.2. Material

O material foi definido com ênfase nas estratégias de DfE. Assim, foram selecionadas estratégias que estão relacionadas aos materiais e suas diretrizes mais relevantes: Estratégia “A” com foco na diretriz “Especificar recursos recicláveis ou reciclados”; “B” com ênfase na diretriz “Especificar materiais ambientalmente benignos” e “C” com foco na diretriz “Especificar materiais e componentes leves”.

Foram escolhidos materiais recicláveis com o potencial de reduzir a necessidade de produção de materiais virgens e mitigar os impactos ambientais associados. Ao mesmo tempo, esses materiais devem possuir baixa densidade para evitar aumentos significativos na massa do produto. Para atender a essas diretrizes, optou-se por materiais reciclados com propriedades mecânicas semelhantes às de suas contrapartes virgens, selecionando o Polietileno de Alta

Densidade (PEAD) reciclado, o alumínio verde (alumínio reciclado) e o Polipropileno (PP) - um material 100% reciclável.

Ao optar pela versão reciclada do PEAD, busca-se reduzir os impactos ambientais associados à fabricação do PEAD virgem. Foi necessário compreender as diferenças nas propriedades mecânicas ao usar o PEAD reciclado em comparação com o PEAD virgem. O estudo realizado por Costa e colaboradores (2014) comparou o PEAD comercial com o PEAD reciclável em uma série de ensaios. O teste de resistência à tração foi o de maior relevância para este estudo, demonstrando que o PEAD reciclável possui propriedades mecânicas semelhantes às do PEAD virgem, com uma ligeira diminuição do limite de ruptura e do módulo de elasticidade (Tabela 1).

Tabela 1: Propriedades mecânicas do PEAD Virgem X Propriedades mecânicas do PEAD Reciclável.

Propriedades Mecânicas	PEAD Virgem	PEAD Reciclável
Módulo de elasticidade E, MPa	826 ± 18	793 ± 17
Limite de escoamento σ_e , MPa	21,4 ± 0,2	21,2 ± 0,3
Limite de resistência à tração σ_u , (MPa)	25,8 ± 0,2	25,3 ± 0,4
Limite de ruptura σ_f , MPa	11,4 ± 0,3	7,6 ± 0,3
Deformação na ruptura ϵ_f , (%)	24,5 ± 2,2	21,3 ± 1,3
Módulo de tenacidade U_t , (J)	30,8 ± 1,6	27,5 ± 1,6

Fonte: Adaptado de Costa (et al, 2014).

Outro ponto do uso do PEAD em relação a outros polímeros é a sua característica de baixa reatividade, o que é particularmente importante na produção de alimentos. Também se ressalta a baixa densidade do material de 0,95 g/cm³.

Já o alumínio verde foi escolhido por ser um material reciclado com excelentes propriedades mecânicas, iguais às do alumínio virgem, sobretudo a resistência à corrosão, baixa densidade e alta resistência mecânica, essenciais para as aplicações desse projeto. O alumínio verde é composto por todo alumínio produzido pelo processo de reciclagem desse metal de diversas fontes. O Brasil possui uma das maiores taxas de reciclagem do mundo, além de uma forte indústria de reciclagem de alumínio, que produz o alumínio verde, chamado também de alumínio sustentável. (Revista Ferramental, 2022).

As justificativas para essa escolha e classificação se devem ao fato de o alumínio ser um material com altas taxas de reciclagem. Por exemplo, as latas de alumínio têm reciclabilidade de 30% a 100% (Raabe et al.,2022). Outro ponto a favor da utilização do alumínio reciclável é a redução das emissões de gases de efeito estufa, em comparação aos 3%

de emissões globais provenientes do processo de extração da bauxita e redução no consumo de energia durante a produção do alumínio primário (Raabe et al.,2022).

O Polipropileno (PP) também foi cotado como uma possível escolha, uma vez que apresenta boas características mecânicas e a possibilidade de reciclagem (Karina et al. 2017). Para esse projeto foi principalmente interessante em situações em que foi necessária redução de peso, uma vez que a densidade de 0,91 g/cm³ colabora para menores valores de massa.

As características do PP são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Propriedades do Polipropileno (PP)

Propriedades Mecânicas	Valores
Tensão de escoamento à tração	35 MPa
Tensão de ruptura à compressão	60 MPa
Tensão de ruptura à flexão	40 MPa
Módulo de elasticidade à tração	1100 MPa
Módulo de elasticidade à compressão	1030 MPa
Módulo de elasticidade à flexão	1300 MPa
Alongamento até a ruptura	600%
Dureza Rockwell	R64
Resistência à penetração de esfera	75 MPa
Tensão de fluência c/ 1% defor. em 1000H	4 MPa

Fonte: Adaptado de INCOMPLAST®

4.4.1.3. Iluminação

A seleção do tipo de iluminação foi guiada pela estratégia “D”, em especial as diretrizes “Minimizar a perda de energia e material” e “Especificar os melhores componentes de eficiência da categoria” e Estratégia “A” com foco na diretriz “Especificar recursos recicláveis ou reciclados”, com considerações para o descarte do produto.

Dessa forma, as lâmpadas LED tomaram o foco para as pesquisas iniciais, destacando-se pela sua eficiência energética que pode atingir até 82% de economia comparado às lâmpadas incandescentes (SANTOS ET AL., 2015). Já em comparação com as lâmpadas fluorescentes, o destaque reside no impacto ambiental, pois as lâmpadas LED são compostas por até 98% de materiais recicláveis (ECYCLE, 2023), enquanto apenas 20% de uma lâmpada fluorescente pode ser reciclado (AMAN ET AL., 2013).

Quanto ao uso de painéis solares para utilizar a energia solar na iluminação, embora seja uma alternativa limpa, não seria eficaz em locais de baixa incidência luminosa, como um

apartamento, e, por isso, foi descartada. Assim sendo, optou-se por utilizar lâmpadas LED como a melhor escolha para a iluminação, de acordo com as diretrizes estabelecidas.

4.4.1.4. Irrigação

A escolha para a irrigação foi guiada pela estratégia “D” com foco em “Minimizar a perda de energia e material”, de acordo com o resultado obtido na pesquisa de mercado sobre a questão de métodos alternativos de cultivo. Para os projetos, foram escolhidos a irrigação automática e a irrigação por hidroponia.

A irrigação automática foi integrada ao escopo do projeto, que inclui um sistema automatizado para garantir a eficiência da irrigação. Para atender às diretrizes estabelecidas, optou-se por um sistema de bomba hidráulica com baixo consumo de energia, adequado ao tamanho da horta selecionada (entre 1m e 1,6m). Foi escolhido um modelo de bomba submersa com capacidade variável entre 200L/h e 2000L/h e potência de 25W. A escolha de uma bomba com capacidade ajustável foi essencial para minimizar o consumo desnecessário de água. As estratégias de automação para controlar a bomba foram discutidas detalhadamente no tópico 4.4.1.5, dedicado à automação do sistema.

A escolha pelo método da hidroponia foi influenciada pela tendência observada no mercado internacional, que revelou diversos modelos de hortas hidropônicas durante o *benchmarking*. Além disso, a pesquisa de mercado indicou interesse dos entrevistados por novos métodos de cultivo, obtendo o 5º lugar na classificação (Quadro 4).

4.4.1.5. Automação

As escolhas por automação se deram pelo escopo inicial do projeto, que prevê uma horta com controles automáticos de iluminação e irrigação. A Estratégia “D” com as diretrizes “Otimizar a taxa e a duração do uso de recursos para a tarefa”; “Fornecer recursos de ajuste automático ou manual” e “Permitir que os usuários desliguem os sistemas em parte ou totalmente”. Outra estratégia adotada foi a “E” com a diretriz “Minimizar a manutenção necessária”.

Para atender às diretrizes, foi selecionado um interruptor inteligente, que permite o controle programável e remoto da horta via aplicativo de *smartphone*.

A capacidade de programação do interruptor possibilitou o controle automático de iluminação e irrigação, atuando como uma central de controle da horta. Dessa forma, o interruptor inteligente gerencia o tempo de irrigação e iluminação das plantas, oferece autonomia ao usuário para ajustes necessários e permite desligar total ou parcialmente a horta.

Essas funções de automação reduzem a manutenção diária, atendendo às diretrizes mencionadas.

4.4.1.6. Formas de canteiro

Os formatos de canteiro foram definidos com base na pesquisa de mercado, para os entrevistados a otimização do espaço para produção de alimento foi um fator importante. A verticalização da horta foi escolhida como a melhor forma de aproveitar eficientemente o espaço disponível, especialmente em apartamentos. Optou-se também pelo formato modular, proporcionando maior liberdade ao usuário para posicionar os canteiros de maneira mais adequada.

4.4.1.7. Estratégia Ecológica

A estratégia ecológica adotada no projeto concentrou-se principalmente nas estratégias “A” e “B”, priorizando o uso de materiais renováveis, recicláveis e ambientalmente benignos. Durante o desenvolvimento, houve uma preferência clara por materiais recicláveis, reutilizáveis ou que possuíssem certificações ambientais reconhecidas. Essa abordagem visou reduzir o impacto ambiental do projeto ao longo de toda a sua execução.

4.4.1.8. Mobilidade

Para a escolha dessa característica, foi considerada a necessidade de melhorar a característica do projeto *Indoor Planting* devido ao seu peso excessivo, o que dificultava sua movimentação. Para solucionar esse problema, a melhor opção no contexto da mobilidade em apartamentos foi o uso de rodas para movimentação, garantindo que mesmo com cargas mais pesadas, a mobilidade não seria significativamente afetada.

Seguindo as definições da matriz morfológica, foram propostos dois modelos de jardim vertical com conceitos distintos. O primeiro modelo segue conceitos de hortas convencionais, mas com *design* e funcionalidade aprimorados, enquanto o segundo modelo emprega técnicas de horta hidropônica. Ambos os modelos são apresentados e detalhados na seção seguinte.

4.5. Desenvolvimento dos projetos

Para o desenvolvimento dos projetos foi considerado a aceitação do público consumidor, desta forma o primeiro modelo adotou o conceito de canteiros convencionais com substrato que incluiu um maior número de componentes eletrônicos para controle, permitindo

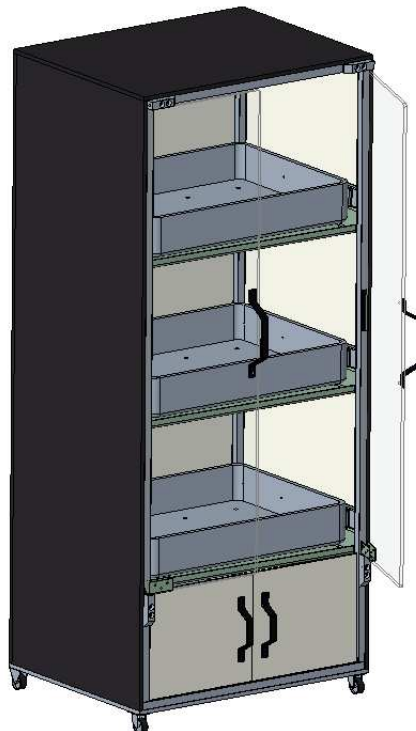
a irrigação e a iluminação controladas remotamente e de forma programável. Enquanto isso, o segundo modelo utilizou a técnica de hidroponia, o que proporciona maior facilidade de manutenção e redução de componentes estruturais e eletrônicos durante sua fabricação.

4.5.1. Primeiro projeto – horta inteligente convencional

O primeiro projeto desenvolvido focou em funções que abordariam os problemas identificados na pesquisa de mercado, ao mesmo tempo em que apresenta um *design* único não encontrado no mercado nacional, visando inovação nesse nicho. Todos os aspectos foram alinhados com as estratégias DfE apresentadas, com destaque especial para as estratégias “E” e “B”, que propõem um conceito de longa vida útil do produto e utilização máxima de entradas e saídas saudáveis.

Essa proposta foi direcionada para o público preocupado com automatização de irrigação e iluminação para hortas convencionais (Figura 10). Além disso, é voltada para aqueles que se preocupam com o controle de pragas, visto que se trata de um sistema fechado, bem como oferece proteção para animais de estimação, sendo seguro para instalação em qualquer parte da residência. Outra vantagem é o baixo ruído, uma vez que a bomba pode ser ativada em momentos específicos do dia definidos pelo usuário.

Figura 10: Primeiro projeto de horta inteligente.



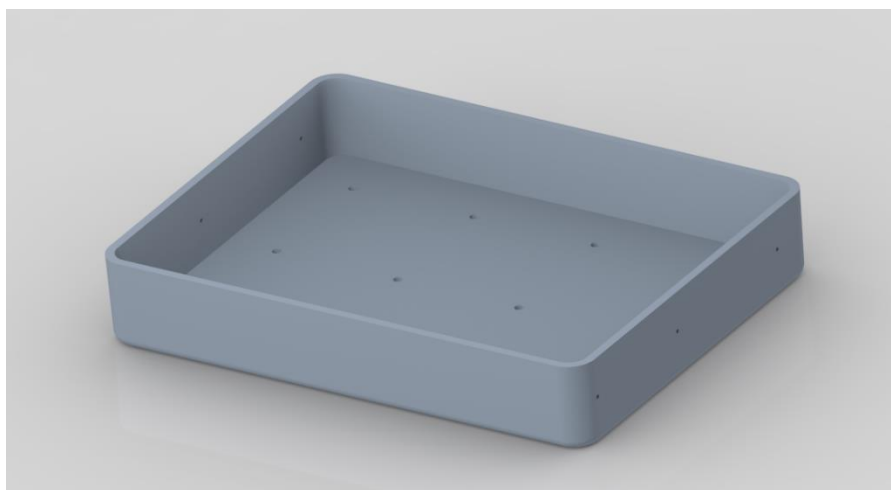
Fonte: Autoria própria.

4.5.1.1. Canteiros

Para os canteiros, optou-se por utilizar o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) reciclável. Assim, utilizando de um formato retangular, com espaço para 8 plantas simultaneamente, foi desenvolvido o canteiro de PEAD (Figura 10).

Um ponto importante da escolha do PEAD para esse canteiro foi a necessidade de ter uma estrutura com espessura o suficiente para que pudesse ser utilizado parafusos para a fixação de mais componentes, como as guias corredeiras que serão comentadas a frente.

Figura 10: Canteiro da proposta 1



Fonte: Autoria própria.

4.5.1.2. Estrutura metálica

Para a seleção da estrutura metálica é importante selecionar um material com resistência à corrosão, baixa densidade e alta resistência mecânica, logo, das opções selecionadas da matriz morfológica, foi utilizado o alumínio verde.

Desta forma, projetar a estrutura (Figura 11), em alumínio verde também alinhou o desenvolvimento com mais duas diretrizes do DfE:

- Melhorar a estética e a funcionalidade para garantir que a vida estética seja igual à vida técnica; Minimizar a manutenção necessária (Estratégia E): O alumínio garante melhor resistência à corrosão dado o ambiente úmido que ele será submetido para o desenvolvimento dos projetos, e possui componentes de alta qualidade estrutural, que necessita de baixa manutenção.

Outro ponto importante a ser discutido sobre a estrutura metálica é o seu processo de fabricação. Para este projeto, majoritariamente, foi escolhido o processo de soldagem. Optou-

se por utilizar o processo de soldagem na estrutura, pois assim o cliente final receberá o produto pré-montado, sendo necessário apenas a instalação de alguns componentes. Realizar a montagem ainda no fornecedor também garante maior conformidade durante o processo, permitindo, por exemplo, a realização precisa dos furos de montagem dos componentes.

Optar por um conjunto soldado em um projeto que utiliza o DfE pode parecer uma proposta contraditória. No entanto, ao realizar a análise com as diretrizes concluiu-se que os benefícios de utilizar o conjunto soldado superam os ônus. A exemplo disso, observa-se dentro da estratégia “C” a diretriz de “Minimizar o número de componentes”, considerando que, para o cliente final, a estrutura metálica será um único componente. A estratégia “E” também possui alguns pontos que sustentam essa escolha:

- Melhorar a estética e a funcionalidade para garantir que a vida estética seja igual à vida técnica (Estratégia E): A conformidade e qualidade de montagem podem ser melhor controladas dentro do ambiente de fabricação, conferindo melhor qualidade do produto e assim, maior longevidade;
- Minimizar a manutenção necessária (Estratégia E): A estrutura não sofrerá com o problema de folga de componentes, que pode ocorrer ao utilizar parafusos;
- Minimizar o número de ferramentas de serviço e inspeção: Com a utilização da solda, seria necessário a tocha de solda, para o caso de alumínio teria que ser uma solda do tipo *Tungsten Inert Gas* (TIG), além disso, utilizar um método de ensaio não destrutivo como o método de líquido penetrante, seria indicado. A alternativa à solda seriam os parafusos, que necessitariam de um conjunto de porcas e arruelas, chaves de boca e *Allen*, além de um torquímetro para ajustar a força de aperto.

Figura 11: Estrutura metálica da proposta 1



Fonte: Autoria própria.

4.5.1.3. Proteções laterais

As proteções laterais foram adicionadas com quatro objetivos:

- Prevenir que resíduos caiam da horta;
- Oferecer proteção física para animais de estimação e pragas (insetos);
- Promover um efeito estufa na horta;
- Adicionar atratividade estética ao produto.

Esses aspectos foram principalmente derivados dos resultados da pesquisa de mercado sobre facilidade de limpeza. Foram considerados dois materiais para essas proteções o PEAD e PP, pois ambos apresentam baixa densidade e características mecânicas similares, contudo, a quantidade de material que foi empregada para a construção das proteções foi alta em relação a outros materiais (11,7kg), optou-se por usar aquele que apresenta a menor densidade, portanto o PP foi o escolhido.

A estratégia de DfE que justifica o desenvolvimento das proteções laterais foi a estratégia E com a diretriz de “Melhorar a estética e a funcionalidade para garantir que a vida estética seja igual à vida técnica” e “Minimizar a manutenção necessária.

4.5.1.4. Guias corredeiras

As guias do tipo corredeira telescópicas foram definidas como solução para os problemas de manutenção e limpeza. Esse componente possibilita ao usuário o deslocamento do canteiro para cultivo, manutenção, limpeza ou coleta, trazendo maior facilidade de uso. A corredeira selecionada suporta 50 Kg por par (Figura 12), são construídas em aço laminado, o que confere maior durabilidade do componente.

A escolha desse componente atende as diretrizes:

- Garantir que as peças reutilizáveis possam ser limpas facilmente e sem danos (Estratégia F): A corredeira possui facilidade na desmontagem do canteiro, o que proporciona a observação dos componentes internos da horta e facilidade na limpeza e manutenção;
- Minimizar a desmontagem destrutiva e seus efeitos (Estratégia F): Ao utilizar esses componentes, foi possível evitar que o canteiro tivesse que se manter em uma posição estática, o que geraria a necessidade de utilizar mais ferramentas para manutenção e/ou limpeza;
- Minimizar o número de ferramentas necessárias para desmontagem e montagem (Estratégia F): Não há necessidades de ferramentas para desmontagem para limpeza.
- Implementar plataformas, módulos, componentes e sistemas reutilizáveis/trocáveis (Estratégia F): Em caso de necessidade de troca de componentes, esse modelo de corredeira pode ser facilmente comprado e trocado com ferramentas simples.

Figura 12: Corredeira telescópica



Fonte: Catálogo FGVTN acesso em 08/04/2024 as 09:13:30.

4.5.1.5. Sistema elétrico

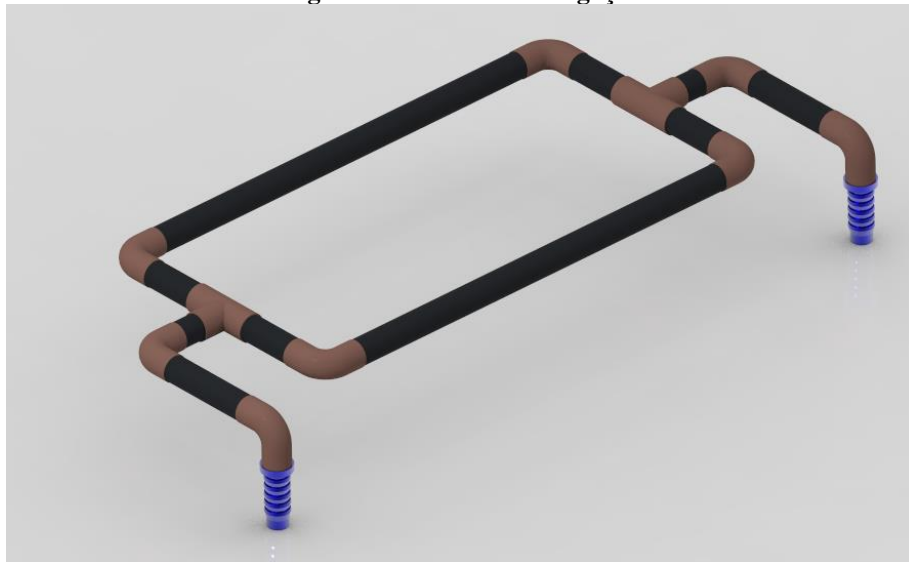
O projeto adotou um sistema elétrico de fios de cobre revestido em PP flexível. Para o controle inteligente, foi utilizado um interruptor inteligente de 4 (quatro) entradas, permitindo o controle e acionamento da bomba para o sistema de irrigação e de iluminação. O uso do interruptor inteligente possibilita o controle manual ao toque e o controle remoto via *smartphone* conectado à internet por meio de aplicativo disponibilizado pela marca.

Junto a isso, foi utilizado fitas Led para melhor preencher a área de iluminação da horta. Para melhor condição de iluminação, foram utilizadas fitas Led de 1500Lumens/m e foram utilizados 2,5m de fita para cada andar.

4.5.1.6. Sistema hidráulico

Para o sistema hidráulico optou-se por uma bomba submersa com capacidade de 200L/h a 2000L/h. O sistema de irrigação foi desenvolvido com tubos de PVC de Ø20mm, conexões do tipo joelho 90° soldável, joelho 90° soldável com rosca e Tê soldável, todos com medidas compatíveis com a tubulação (Figura 13).

Figura 13: Sistema de irrigação



Fonte: Autoria própria.

A ligação da bomba ao sistema de irrigação usou mangueiras flexíveis de PEAD de Ø5/8” com a união de redução roscada de Ø20×5/8”. Já o controle de irrigação pode ser definido pelo usuário por meio de um aplicativo de gerenciamento de dispositivos inteligentes, o qual a bomba estará conectada para realizar a irrigação a cada intervalo de tempo definido pelo usuário.

4.5.1.7. Massa dos materiais

Nessa seção, é apresentada a massa correspondente dos materiais utilizados no primeiro projeto de horta convencional automatizada (Tabela 5).

Tabela 5: Massas dos componentes do primeiro projeto de horta convencional automatizada.

Item	Massa (Kg)						
	PEAD	Alumínio	PVC	Aço	Nylon	Acrílico	PP
Estrutura metálica	0,000	24,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rodízios	0,000	0,000	0,000	0,280	0,120	0,000	0,000
Reservatório	5,880	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Proteção contra resíduos	0,000	9,570	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Guia telescópica	0,000	0,000	0,000	8,400	0,000	0,000	0,000
Canteiros	14,280	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Porta grande	0,060	0,100	0,000	0,000	0,000	7,400	0,000
Porta pequena	0,834	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Abraçadeiras	0,000	0,180	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Proteções laterais	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,740
Sistema de irrigação	0,147	0,000	0,510	0,000	0,000	0,000	0,000
Suportes para porta	0,000	0,264	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	21,201	34,614	0,510	8,680	0,120	7,400	11,740
Massa total	84,265						

Fonte: Autoria própria.

O projeto da horta inteligente convencional apresentou um total de 84,265 Kg, sendo que parte do peso ocorre na estrutura metálica de alumínio (24,400 Kg) e nos canteiros de PEAD (14,280 Kg). A aplicação de PVC, aço, nylon e acrílico no projeto representaram massa total inferior a 10 Kg.

4.5.1.8. Cálculo estrutural

Após a seleção dos materiais para o projeto, é fundamental validar a estrutura do produto ao longo da sua vida útil. Realizar o dimensionamento correto dos componentes é crucial para garantir a durabilidade e confiabilidade do produto (Estratégia “E”), um requisito importante identificado na pesquisa de mercado.

Ademais, existem outras estratégias do DfE relacionadas com a integridade estrutural e aproveitamento de recursos, conforme apresentado a seguir:

- Minimizar a manutenção necessária (Estratégia E): O correto dimensionamento garante que o número de manutenções corretivas seja mínimo;

- Melhorar a estética e a funcionalidade para garantir que a vida estética seja igual à vida técnica (Estratégia E): A durabilidade do produto está diretamente ligada aos materiais selecionados e à qualidade de construção;
- Estruturar o produto para evitar rejeições e minimizar o desperdício de material na produção (Estratégia C): O correto dimensionamento dos componentes resulta no uso eficiente dos materiais durante a fabricação.

4.5.1.9. Dimensionamento dos canteiros

A massa do canteiro para o cálculo foi estimada considerando a preparação recomendada para o plantio. A massa total estimada considerou a massa do produto, solo e substrato. Para o canteiro foram consideradas as dimensões obrigatórias de 597,5 mm de largura, 90 mm de altura, 450 mm de comprimento e 12 mm de espessura, obtido ao final do dimensionamento (Tabela 6).

Tabela 6: Dados dimensionais do canteiro.

Canteiro externo								
Altura (H)		Largura (W)		Comprimento (L)		Espessura (t)		Area (A)
[mm]	[m]	[mm]	[m]	[mm]	[m]	[mm]	[m]	[m ²]
100	0,1	597,500	0,5975	450	0,45	12	0,012	0,27

Fonte: Autoria própria.

Para garantir a qualidade estrutural do projeto, foi considerado o canteiro como uma caixa retangular engastada em duas vigas, onde a carga pode ser distribuída uniformemente sobre a base. O objetivo foi determinar a espessura ideal da caixa para que a tensão de flexão, com um fator de segurança de 5, não exceda o limite de escoamento do material.

Desta forma, o peso estimado do canteiro resultou em 4,77Kg, valor obtido através da análise de massa. Para compreender a relação de massa com a espessura do canteiro, foram plotados os valores de massa para outras espessuras a partir dos valores obtidos pelo software, obtendo uma função polinomial (Função 1) para o peso do canteiro que se aproxime dos resultados obtidos, sendo uma boa aproximação ao valor real calculado pelo software até 20mm.

$$f_{(x)} = - 0,000282 \times t^3 + 0,00345 \times t^2 + 0,396832 \times t \quad (1)$$

Os resultados dos cálculos estimados para a massa total do canteiro em uso são apresentados na tabela 7. Esses cálculos levaram em consideração o valor da massa obtido pela Função 1 e as dimensões estabelecidas para o projeto.

Tabela 7: Massa estimada para o canteiro em uso.
Fonte: Autoria própria.

Massa canteiro (Kg)	Canteiros interno						
	Altura [m]	Largura [m]	Comprimento [m]	Area [m ²]	Volume [L]	Densidade [Kg/L]	Massa [Kg]
4,77							
Brita 1	0,010	0,574	0,426	0,244	2,443	1,360	3,300
Latossolo	0,040	0,574	0,426	0,244	9,772	1,030	10,100
Substrato	0,050	0,574	0,426	0,244	12,216	0,300	3,700
Total terra	0,090	0,574	0,426	0,244	21,988	1,170	25,900
Massa Final (Kg)	30,700						

Para a montagem das camadas de plantio do canteiro, foram escolhidos o latossolo, substrato, brita 1 e terra (Tabela 7). De acordo com a literatura, o latossolo tem uma densidade de 1,03Kg/L (CAMARGO et al. 1986), enquanto a brita 1 possui uma densidade de 1,36Kg/L (GRUPO ESTRUTURAL, 2019) sendo recomendada para preservar a umidade. O substrato foi estimado em 0,3 Kg/L por Schafer et al (2015). O dimensionamento será realizado somando o cálculo das três massas à massa do canteiro.

As propriedades de Força, Pressão, Carga distribuída, Distância da linha neutra e Tensão admissível foram calculados, sendo que a carga distribuída pela área da caixa e a tensão admissível consideraram um fator de segurança de 5 (Tabela 8).

Tabela 8: Dados iniciais para dimensionamento do canteiro da proposta 1.

Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Força (F)	[N]	$F = m \times g$	300,920
Pressão (P)	[Pa]	$P = \frac{F}{A}$	1119,200
Carga distribuída (Q)	[N/m]	$Q = P \times W$	668,720
Distância da linha neutra (c)	[m]	$c = \frac{t}{2}$	0,006
Fator de segurança (Fs)	-	-	5
Tensão de escoamento PEAD reciclado (Sy)	[MPa]	-	21,200
Tensão admissível (σ_{adm})	[MPa]	$\sigma_{adm} = \frac{Sy}{Fs}$	4,240

Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo da tensão de flexão do canteiro, foram realizadas avaliações ao longo da largura e do comprimento para determinar o caso de maior solicitação, visando o dimensionamento adequado. Como resultado, a tensão de flexão foi de 0,002 MPa considerando a largura e o comprimento (Tabela 9).

Tabela 9: Avaliação da tensão de flexão do canteiro.

Propriedade	Unidade	Fórmula	Avaliação em Largura (W)	Avaliação em Comprimento (L)
Momento fletor máximo	[N.m]	$M_{máx} = \frac{Q \times W^2}{8}$	29,840	16,930
Momento de inércia	[mm ⁴]	$I = \frac{W \times t^3}{12}$	86040,00	64800,00
Tensão de flexão	[MPa]	$\sigma_f = \frac{Mc}{I}$	0,002	0,002

Fonte: Autoria própria.

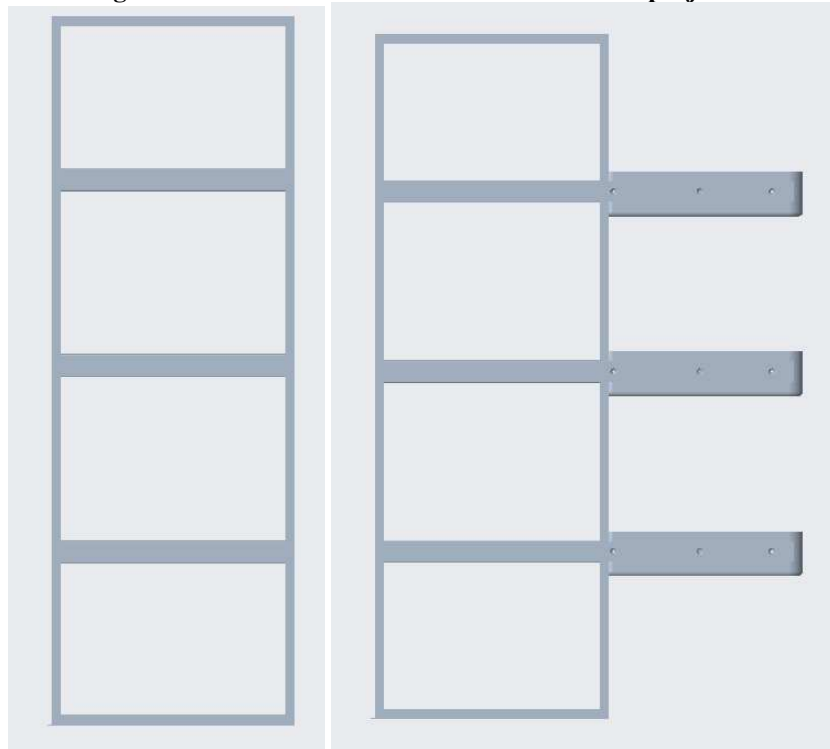
Como a tensão de flexão real foi de 0,002MPa para a largura (W), que foi abaixo da tensão admissível para esse material, conclui-se que o canteiro suporte a massa total de 30,700 Kg do canteiro (Tabela 7), considerando uma espessura de 12mm. Além disso, optar por uma parede de 12mm, mesmo que o CS sugira o uso de espessuras menores, é importante para diminuir as tensões ao fixar os parafusos.

O processo de fabricação utilizado para os canteiros considera a injeção plástica, para replicar o nível de qualidade e principalmente as propriedades mecânicas. Os seguintes parâmetros foram estabelecidos para a máquina de moldagem por injeção: temperatura de injeção 150°C a 180°C, temperatura do molde de 60°C e velocidade de injeção de 30cm³/s (COSTA et al, 2016)

4.5.1.10. Estrutura metálica

A estrutura montada para o projeto 1 foi composta por três andares, considerando a sustentação para o reservatório de água e os três canteiros (Figura 14). Foram utilizados tubos de alumínio verde 20mm×20mm×2mm, 20mm×30mm×2mm e 20mm×50mm×2mm o que totalizou uma massa de 9,400 Kg. Para o cálculo, foi utilizado o alumínio SAE 6061 chapa recozida com resistência ao escoamento de 55MPa e resistência a ruptura de 124MPa (Norton, 2013, p.988).

Figura 14: Vista lateral da estrutura metálica do projeto 1.

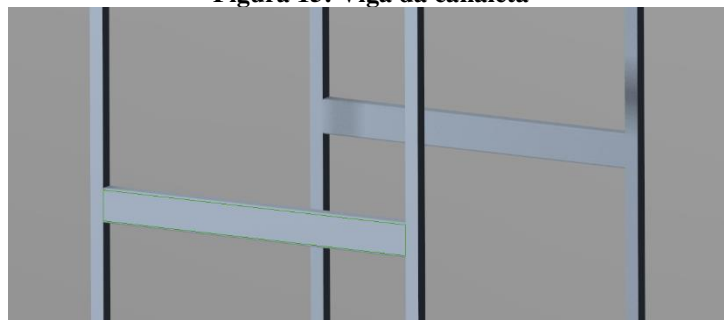


Fonte: Autoria própria.

4.5.1.11. Viga da canaleta

O dimensionamento dos tubos que atuaram como as vigas foi realizado considerando a largura (B) máxima de 20mm e altura (H) mínima de 50mm (Figura 15).

Figura 15: Viga da canaleta



Fonte: Autoria própria.

A altura foi limitante para o comprimento da canaleta utilizada devido aos espaços de furos pré-definidos. Valores inferiores a 50mm não permitiriam a realização dos furos para fixação da canaleta das guias corredeiras. Enquanto a largura máxima de 20mm segue um padrão adotado para esse projeto, pensando no processo de soldagem, essa medida deve ser compatível com a largura das colunas.

Como se trata de um sistema de gaveta, espera-se que o caso mais crítico seja a gaveta aberta, devido ao esforço mais concentrado em um dos pontos de apoio com a aplicação de uma

força deslocada, o que resulta também em um torque. Esse caso foi avaliado para o dimensionamento como condição crítica.

O diagrama de corpo livre pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16: Diagrama de corpo livre para viga da canaleta.



Fonte: Viga online (2024) Link: <https://www.aprenderengenharia.com.br/>.

Ao resolver por meio do equilíbrio de forças, foi possível encontrar as reações de apoio, que foram utilizadas para gerar as funções para o diagrama de força cortante (Função 2 - Figura 17) e momento fletor (Função 3 - Figura 18) da viga, os cálculos são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Dados iniciais para dimensionamento da viga da canaleta.

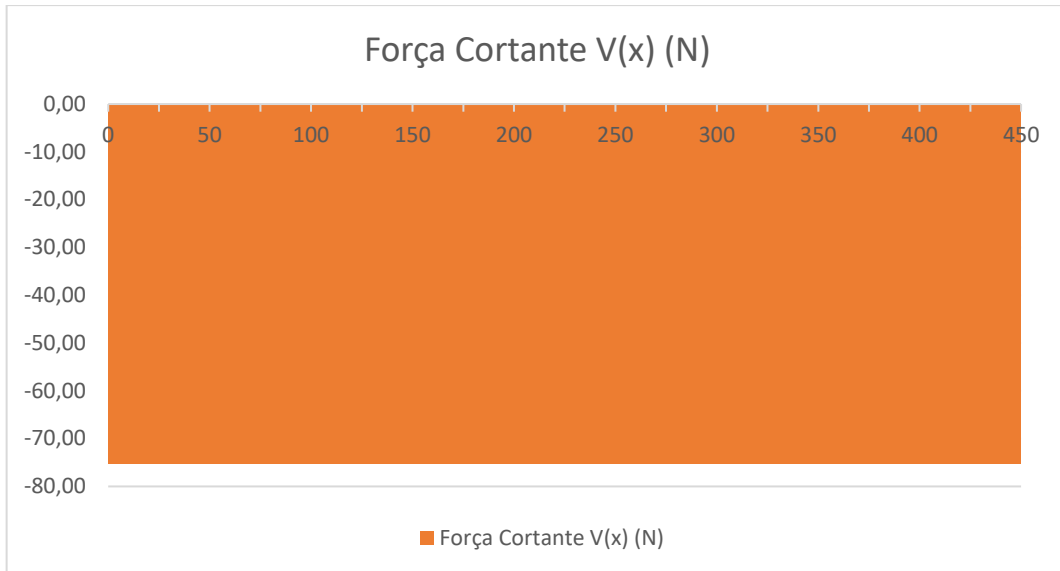
Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Massa (m)	[Kg]	-	15,340
Comprimento da viga (L)	[m]	-	0,450
Força (F)	[N]	$F = m \times g$	150,462
Carga distribuída (Q)	[N/m]	$Q = \frac{F}{L}$	334,360
Força resultante (F _r)	[N]	$F_r = Q \times L$	150,460
Mo (N.m)	[N.m]	$M_o = F_r \times \frac{L}{2}$	-33,854
Reação A (R _a)	[N]	$R_a = \frac{(F_r \times L) - M_o}{L}$	225,690
Reação B (R _b)	[N]	$R_b = F_r - R_a$	-75,230

Fonte: Autoria própria.

$$V(L) = R_b \quad (2)$$

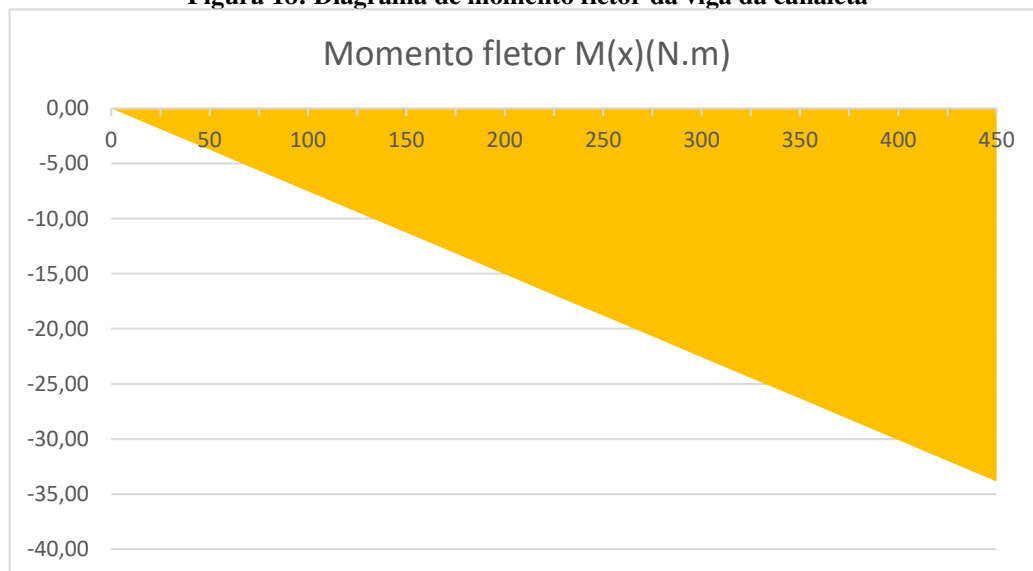
$$M(L) = R_b \times L \quad (3)$$

Figura 17: Diagrama de esforço cortante da viga da canaleta.



Fonte: Autoria própria.

Figura 18: Diagrama de momento fletor da viga da canaleta



Fonte: Autoria própria.

Com os dados obtidos com os diagramas, os cálculos de dimensionamento para a viga foram realizados levando em consideração os critérios de falha por cisalhamento e falha por flexão. Os resultados obtidos estão dispostos na tabela 11.

Tabela 11: Cálculo de tensões para viga da canaleta.

Tubo Retangular			
Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Altura (H)	[mm]	-	50,000
Largura (B)	[mm]	-	20,000
Espessura (e)	[mm]	-	1,500
Area de seção transversal (A)	[mm]	$A = (H \times B) - [(H - 2 \times e) \times (B - 2 \times e)]$	201,000
Limite de escoamento (S_y)	[MPa]	-	70,00
Modulo de elasticidade (E)	[Gpa]	-	55
Distância da linha neutra (c)	[mm]	$c = \frac{H}{2}$	25,000
Momento estático (Q)	[mm ³]	$Q = (A_1 \times d) + (A_2 \times d) + (A_3 \times d)$	1555,875
Momento de inércia (I_x)	[mm ⁴]	$I = \frac{BH^3}{12} - \frac{B_{int}H_{int}^3}{12}$	61250,750
Largura da seção transversal (t)	[mm]	$t = 2 \times e$	3,000
Força cortante máxima (V(L))	[N]	-	75,231
Momento fletor máximo (M(L))	[N.m]	-	33,854
Fator de segurança (Fs)	-	-	5,000
Tensão admissível (σ_{adm})	[MPa]	$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{F_s}$	11,000
Tensão Cisalhante (τ)	[MPa]	$\tau = \frac{V(L) \times Q}{I t}$	0,637
Tensão de Flexão (σ_f)	[MPa]	$\sigma_f = \frac{M(L) \times c}{I}$	0,014

Fonte: Autoria própria.

O valor da tensão de cisalhante de 0,637MPa se manteve abaixo da tensão admissível, portanto é seguro utilizar esse material com os carregamentos solicitados. A deflexão na viga também foi avaliada, no entanto, será desprezada no projeto devido ao baixo valor apresentado. Inicialmente havia a preocupação com a resistência às tensões na condição de gaveta aberta do canteiro, mas os cálculos mostraram que as vigas possuem rigidez o suficiente para suportar os carregamentos.

Portanto, o tubo de alumínio de 20mm×50mm×1,5mm é suficiente para resistir aos esforços requisitados. Menores espessuras poderiam ser utilizadas, mas paredes finas seriam um desafio para fixação dos parafusos, sendo necessário o uso de buchas para casos mais críticos.

4.5.1.12. Colunas de sustentação

Nesta análise, foram examinados os tubos que funcionam como colunas, tendo a falha por flambagem como critério de falha. O comprimento de flambagem foi considerado como coluna intermediária (Norton 2013).

Os dados iniciais são mostrados na tabela 12. O tubo deve cumprir a restrição de geometria, com dimensões de 20mm×20mm. O material deve ser de alumínio, semelhante aos tubos anteriores.

Tabela 12: Dados iniciais para dimensionamento da coluna.

Tubo quadrado			
Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Comprimento (L)	[m]	-	1,480
Altura (H)	[m]	-	0,020
Largura (B)	[m]	-	0,020
Espessura (e)	[m]	-	0,002
Area de seção transversal (A)	[m ²]	$A = (H \times B) - [(H - 2 \times e) \times (B - 2 \times e)]$	1,44E-04
Modulo de elasticidade (E)	[MPa]	-	70,000
Limite de escoamento (S_y)	[GPa]	-	110,000
Distância da linha neutra (c)	[m]	$c = \frac{H}{2}$	0,001
Momento de inércia (I_x)	[m ⁴]	$I = \frac{BH^3}{12} - \frac{B_{int}H_{int}^3}{12}$	7,87E-09
Força normal (F)	[KN]	-	0,226
Fator de segurança	-	-	5

Fonte: Autoria própria.

A força normal (F) considerada para o cálculo leva em conta o cenário somado ao momento em que os canteiros estão projetados para frente (gaveta aberta), assim a força normal é a reação em R_a, calculada na seção 4.2.1.2.2.1, com o valor de 225,69N.

A análise de flambagem foi realizada andar a andar, dividindo a estrutura em 4 seções e somando, de forma que a primeira seção sofreu efeito da carga total, enquanto a seção 4 é a que tem a menor influência de carga. A primeira e a quarta seção foram consideradas na condição de engastado articulado, enquanto as segunda e terceira seções foram consideradas biarticuladas. A partir dessas seleções, foram utilizados os coeficientes de tipo de apoio de acordo com as condições de contorno estabelecidos pelo AISC (Instituto Americano de

Construção de Aço) (Norton, 2013, p.196). Os cálculos realizados são apresentados na tabela 13.

Tabela 13: Cálculo da carga crítica de flambagem.

Propriedade	Unidade	Fórmula	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
Comprimento (L)	[m]	-	0,325	0,400	0,440	0,355
Tipo de apoio (Y)	-	-	0,8	1	1	0,8
Comprimento efetivo [L_{ef}]	[m]	$L_{ef} = Y \times L$	0,260	0,400	0,440	0,284
Raio de giração (K)	[m]	$K = \sqrt{\frac{A}{I_x}}$	0,007	0,007	0,007	0,007
Índice de esbeltez (S_r)	-	$S_r = \frac{L_{ef}}{K}$	35,165	54,100	59,510	38,411
(S_r) _D	-	$\pi \times \sqrt{\frac{2 \times E \times 10^9}{S_y \times 10^6}}$	112,077	112,077	112,077	112,077
Carga crítica de flambagem (P_{cr})	[KN]	$P_{cr} = A \times \left[S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_y \times S_r}{2 \times \pi} \right)^2 \right]$	7,725	7,459	7,362	7,687
P_{adm}	[KN]	$P_{adm} = \frac{P_{cr}}{CS}$	1,545	1,492	1,472	1,537
Força normal (P)	[KN]	-	0,69	0,46	0,24	0,01
Coefficiente de segurança	-	$CS = \frac{P_{cr}}{P}$	2,249	3,234	6,252	156,727
Tensão normal (σ_n)	[MPa]	$\sigma_n = \frac{P}{A} \times 10^{-3}$	4,77	3,20	1,64	0,07

Fonte: Autoria própria.

Como era esperado, a coluna da seção 1 está sujeita a maiores cargas e tem o menor coeficiente de segurança atingindo (2,249), mas atende aos esforços necessários, considerando que o fator de segurança global aplicado foi de 5.

4.5.1.13. Base da estrutura metálica

Para estimar a força atuante sob a base, foi utilizado o peso calculado para três canteiros aliado ao peso da estrutura, o peso do tanque de água quando cheio e adicionado mais 15Kg referente a outros componentes (portas, dobradiças, componentes eletrônicos).

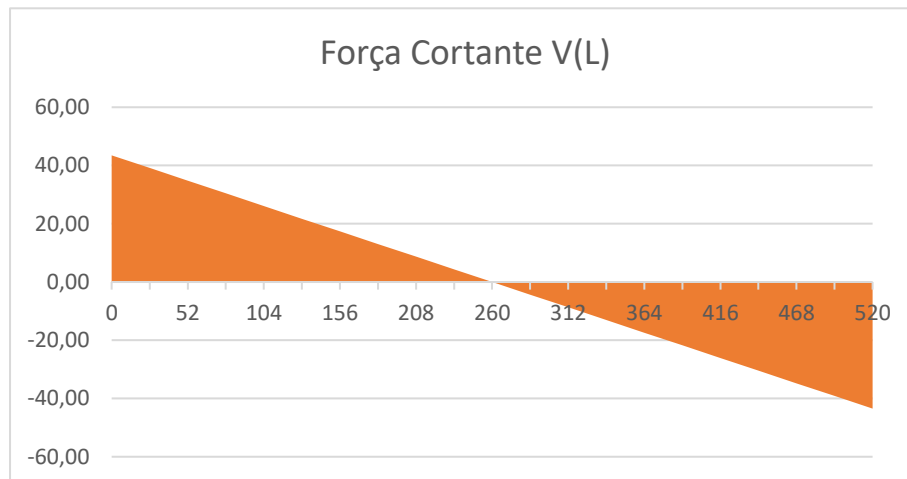
A tabela 14 mostra, de forma resumida, os dados utilizados para o cálculo. A área (A) considerou as dimensões de 520mmx660mm e a massa total do tanque de 30Kg, mais o adicional de 15Kg (componentes), esse valor distribuído em quatro vigas. O primeiro dimensionamento foi feito para o tubo de comprimento 520mm.

Tabela 14: Dados iniciais para tubo de 520mm

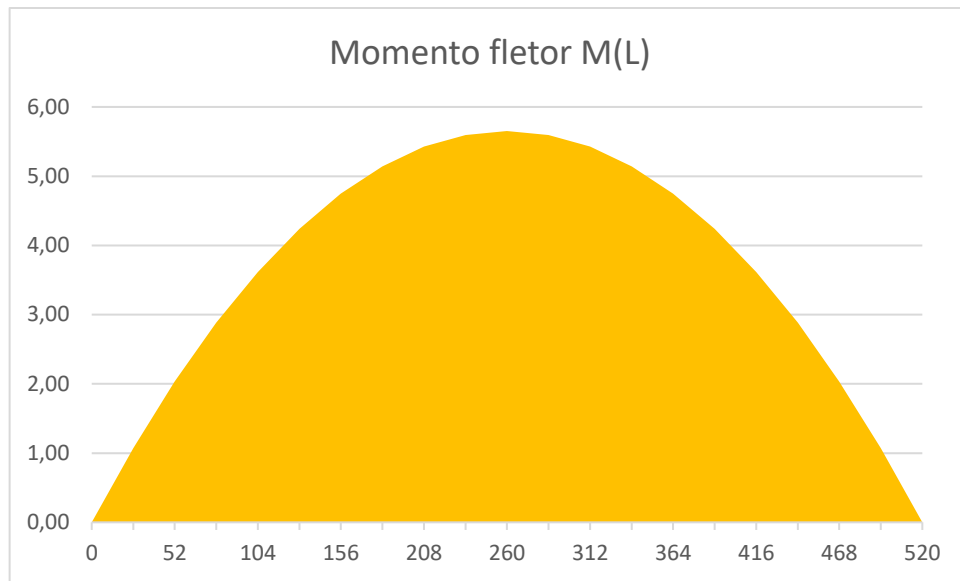
Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Massa pilares (m_p)	[Kg]	-	101,43
Massa tanque (m_t)	[Kg]	-	11,25
Comprimento da viga (L)	[m]	-	0,52
Força (F)	[N]	$F = \frac{m_p \times g}{4}$	248,75
Pressão (P)	[N/m ²]	$P = \frac{F}{A}$	321,57
Carga distribuída (Q)	(N/m)	$Q = P \times L$	167,22
Força resultante (N)	[N]	$F_r = Q \times L$	86,95
Força A (F_a)	[N]	$F_a = \frac{F}{2}$	124,37
Força B (F_b)	[N]	$F_b = \frac{F}{2}$	124,37
Ra(N)	[N]	$R_a = F_r + F_a + F_b - R_b$	167,85
Rb(N)	[N]	$R_b = \frac{(F_r \times \frac{L}{2}) + (F_b \times L)}{L}$	167,85
Fator de segurança (FS)	-	-	5
Tensão de escoamento (S_y)	[MPa]	-	55
Tensão admissível (σ_{adm})	[MPa]	$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS}$	22

Fonte: Autoria própria.

Com os esses dados foi possível construir os diagramas de força cortante V(L) e momento fletor M(L), apresentados na figura 19 e figura 20.

Figura 19: Diagrama de força cortante para tubo de 520mm

Fonte: Autoria própria.

Figura 20: Diagrama de momento fletor para tubo de 520mm

Fonte: Autoria própria.

Com o diagrama foi possível extrair os valores máximos para força cortante e momento fletor, assim dimensionamento o tubo em função da tensão cisalhante e tensão de flexão. A tabela 15 resume os passos dos cálculos efetuados para o dimensionamento.

Tabela 15: Dimensionamento do tubo de 520mm

Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Altura (H)	[mm]	-	20,000
Largura (B)	[mm]	-	20,000
Espessura (e)	[mm]	-	1,500
Área (A)	[mm ²]	$A = (H \times B) - [(H - 2 \times e) \times (B - 2 \times e)]$	111,000
Modulo de elasticidade (E)	[GPa]	-	70,000
Limite de escoamento (S _y)	[MPa]	-	55
Distância da linha neutra (c)	[mm]	$c = \frac{H}{2}$	10,000
Momento estático (Q)	[mm ³]	$Q = (A_1 \times d) + (A_2 \times d + (A_3 \times d))$	385,88
Momento de inércia (I _x)	[mm ⁴]	$I = \frac{BH^3}{12} - \frac{B_{int}H_{int}^3}{12}$	6373,250
Largura da seção transversal (t)	[mm]	$t = 2 \times e$	3,000
Força cortante máxima (V(L))	[N]	-	43,476
Momento fletor máximo (M(L))	[N.m]	-	5,652
Fator de segurança (Fs)	-	-	5,000
Tensão admissível	[MPa]	$F_s = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_f}$	11,000
Tensão Cisalhante (τ)	[MPa]	$\tau = \frac{V(L) \times Q}{It}$	0,877
Tensão de Flexão (σ _f)	[MPa]	$\sigma_f = \frac{M(L) \times c}{I}$	8,87E-03
Deflexão (v)	[MPa]	$v = \frac{M(L)}{E \times I_x}$	1,26688E-05

Fonte: Autoria própria.

Utilizar tubos de espessura (e) de 1,5mm é suficiente para suportar a carga solicitada no sentido do comprimento. A tensão de cisalhamento mais impactou a estrutura, contudo, o se manteve abaixo da tensão admissível, mostrando ser possível utilizar espessuras menores, contudo, foi utilizado 1,5mm para manter a padronização com os outros tubos.

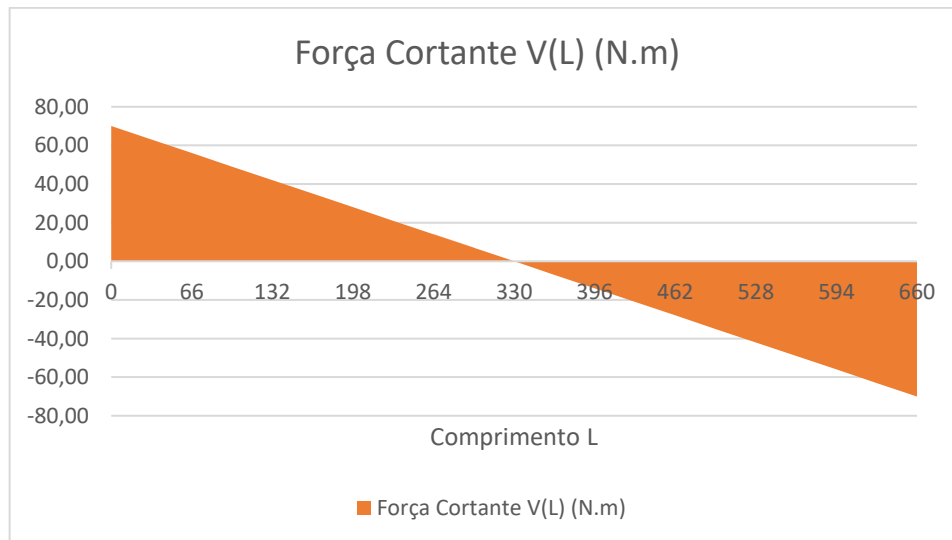
O próximo dimensionamento foi feito para o tubo da base atuando na largura da horta (tubo de 660mm). Os passos para os cálculos seguem os mesmos, obter as reações de apoio, encontrar a força cortante V(L) (figura 21) e o momento fletor M(L) (figura 22) máximos e calcular as tensões de cisalhamento e flexão. A tabela 15 conta com os dados iniciais e forças aplicadas e a tabela 16 conta com os resultados dos cálculos de tensão resumidos.

Tabela 16: Dados iniciais para tubo de 660mm

Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Massa pilares (m_p)	[Kg]	-	101,430
Massa tanque (m_t)	[Kg]	-	11,250
Comprimento da viga (L)	[m]	-	0,660
Força (F)	[N]	$F = \frac{m_p \times g}{4}$	248,750
Pressão (P)	[N/m ²]	$P = \frac{F}{A}$	321,570
Carga distribuída (Q)	(N/m)	$Q = P \times L$	212,240
Força resultante (N)	[N]	$F_r = Q \times L$	140,080
Força A (F_a)	[N]	$F_a = \frac{F}{2}$	124,370
Força B (F_b)	[N]	$F_b = \frac{F}{2}$	124,370
Ra(N)	[N]	$R_a = F_r + F_a + F_b - R_b$	194,410
Rb(N)	[N]	$R_b = \frac{(F_r \times \frac{L}{2}) + (F_b \times L)}{L}$	194,410
Fator de segurança (FS)	-	-	5
Tensão de escoamento (S_y)	[MPa]	-	110
Tensão admissível (σ_{adm})	[MPa]	$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS}$	22

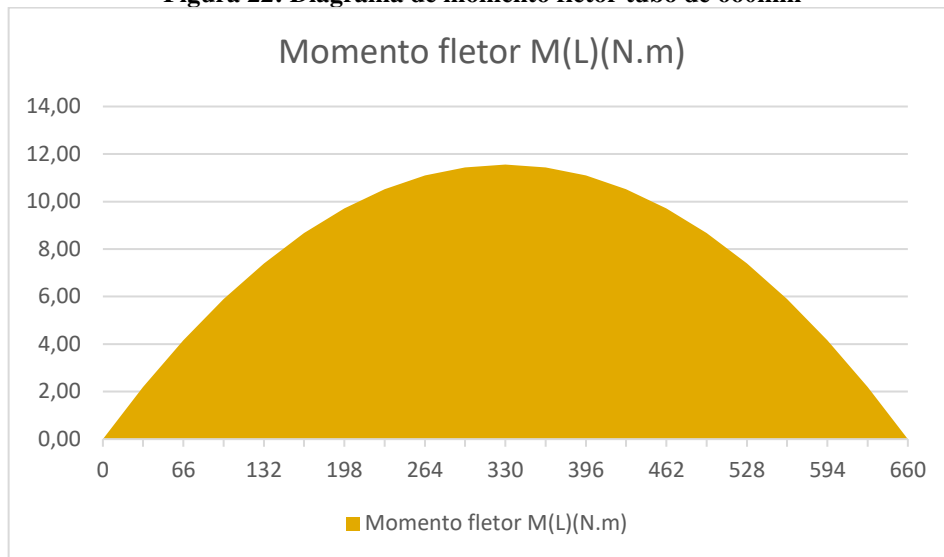
Fonte: Autoria própria.

Figura 21: Diagrama de força cortante tubo de 660mm.



Fonte: Autoria própria.

Figura 22: Diagrama de momento fletor tubo de 660mm



Fonte: Autoria própria.

Tabela 17: Dimensionamento do tubo de 520mm

Tubo Quadrado			
Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Altura (H)	[mm]	-	20,000
Largura (B)	[mm]	-	20,000
Espessura (e)	[mm]	-	1,500
Área (A)	[mm ²]	$A = (H \times B) - [(H - 2 \times e) \times (B - 2 \times e)]$	111,000
Modulo de elasticidade (E)	[GPa]	-	70
Limite de escoamento (S _y)	[MPa]	-	55
Distância da linha neutra (c)	[mm]	$c = \frac{H}{2}$	10,000
Momento estático (Q)	[mm ³]	$Q = (A_1 \times d) + (A_2 \times d) + (A_3 \times d)$	385,88
Momento de inércia (I _x)	[mm ⁴]	$I = \frac{BH^3}{12} - \frac{B_{int}H_{int}^3}{12}$	6373,250
Largura da seção transversal (t)	[mm]	$t = 2 \times e$	3,000
Força cortante máxima (V(L))	[N]	-	70,038
Momento fletor máximo (M(L))	[N.m]	-	11,556
Fator de segurança (F _s)	-	-	5,000
Tensão admissível (σ _{adm})	[MPa]	$F_s = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_f}$	11,000
Tensão Cisalhante (τ)	[MPa]	$\tau = \frac{V(L) \times Q}{It}$	1,414
Tensão de Flexão (σ _f)	[MPa]	$\sigma_f = \frac{M(L) \times c}{I}$	0,018
Deflexão (v)	[MPa]	$v = \frac{M(L)}{E \times I_x}$	2,59E-11

Fonte: Autoria própria.

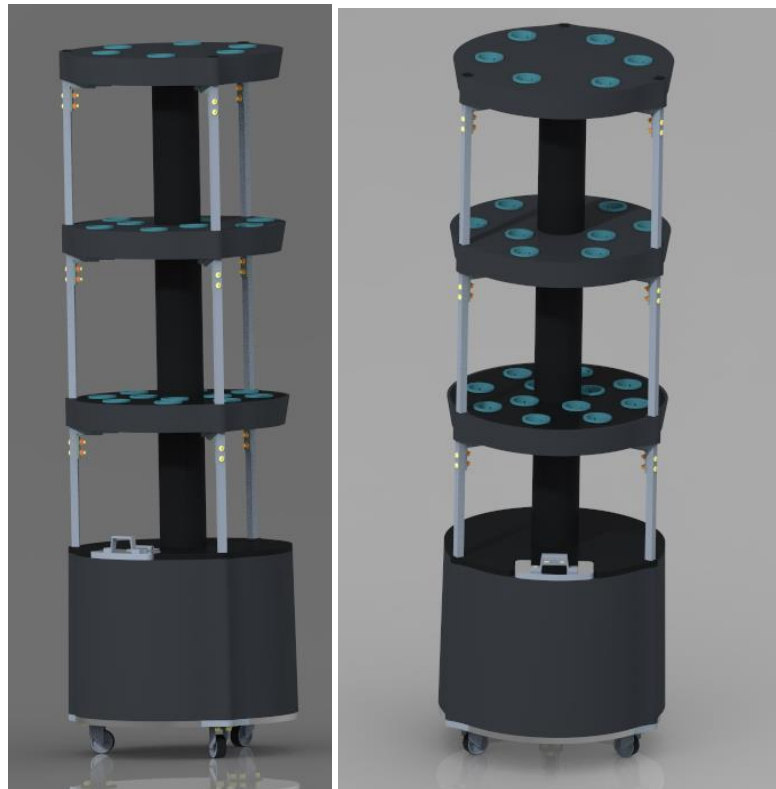
Como a tensão cisalhante se manteve abaixo da tensão admissível, o tubo irá suportar a carga requisita, também converge com o esperado de ser o componente que estará sob maior esforço, contudo, o tubo de alumínio de 20mm×20mm×1,5mm foi suficiente para suportar os esforços.

4.5.2. Segundo projeto – horta automatizada hidropônica

A segunda proposta consiste em uma horta hidropônica, onde as principais estratégias de DfE aplicadas foram a Estratégia “A” - Maximizar a disponibilidade de recursos - e a Estratégia “F” - Facilitar a atualização e reutilização de componentes. O modelo possui uma estrutura vertical de três andares conectados por tubulações para obter um sistema hidropônico circular (Figura 22). A estrutura foi sustentada por colunas metálicas em conjunto com os canteiros com função autoportante. Já o sistema de irrigação utilizou uma bomba hidráulica com capacidade de operação de 24h/dia de modo a obter fluxo d’água corrente contínuo.

O modelo propõe inovação no formato do cultivo hidropônico domiciliar de modo que problemas relacionados à manutenção e limpeza são drasticamente reduzidos em relação aos resíduos originados pelo cultivo no solo. Apesar disso, a proposta aplicou iluminação artificial ou proteção contra animais domésticos e pragas.

Figura 22: Horta hidropônica automatizada.



Fonte: Autoria própria.

4.5.2.1. Canteiros, tampo, compartimento para mudas e reservatório

O uso do PEAD reciclado foi escolhido para integrar os canteiros, tampos, compartimentos para mudas e reservatórios (Figura 23 A-D). A justificativa da escolha do material e aplicação das diretrizes ocorreu conforme apresentado na matriz morfológica.

Por outro lado, o Policloreto de Vinila (PVC) foi considerado devido à sua ampla utilização em tubulações para sistemas de hidroponia. Este material é 100% reciclável e apresenta uma resistência à tração de 17,3 MPa para PVC reciclado de revestimentos de condutores elétricos. Embora tenha sido cogitada sua utilização, deve-se observar que no processo de reciclagem do PVC não ocorre uma separação da origem do material, o que pode implicar o risco de ter sido previamente utilizado para armazenar substâncias tóxicas prejudiciais à saúde humana (LOFTI, 2005; NAVARRO, 2001, p.163). Levando em consideração a toxicidade e a procedência reciclável do material, tomou-se a decisão de evitar o uso do PVC não reciclado.

Diante disso, a escolha foi priorizar o PEAD reciclado para todos os componentes poliméricos, simplificando a variedade de materiais no projeto, em conformidade com a estratégia “A” de minimizar a diversidade de materiais no produto e em suas subestruturas.

Figura 23: Componentes produzidos em PEAD. (A) Reservatório. (B) Canteiro. (C) Suporte para mudas. (D) Tampo.



Fonte: Autoria própria.

Para o reservatório foi utilizado uma chapa metálica em alumínio para preservar a vida útil e possibilitar a utilização de rodízios (Figura 23 A). A chapa em alumínio aumenta a

resistência mecânica do reservatório de água, o qual suporta o peso total da horta, sendo essencial reforçar esse elemento.

4.5.2.2. Estrutura metálica

Para a estrutura metálica, foi utilizado o alumínio verde. A justificativa da escolha do material e aplicação das diretrizes (Estratégias “A”, “B”, “C” e “E”) ocorreu conforme indicado na matriz morfológica.

Neste caso, o alumínio verde foi escolhido principalmente devido à sua relação entre densidade e resistência mecânica, garantindo longevidade ao projeto. É considerado um material ambientalmente benéfico por ser reciclável e permitir múltiplos processos de reciclagem sem perda de propriedades mecânicas.

Materiais de origem orgânica, como a madeira, podem ser uma opção, apesar de terem menor durabilidade e maior peso, mas são considerados ambientalmente favoráveis. A aplicação de outro polímero foi descartada, pois, apesar de ser mais leve, sua resistência mecânica diminuiu significativamente, exigindo espessuras maiores e resultando em mais impactos ambientais durante a fabricação. Diante dessas circunstâncias, a escolha do alumínio verde foi a solução ideal para o projeto.

4.5.2.3. Sistema hidráulico

Para o sistema hidráulico, foi selecionada uma bomba com capacidade de 1000L/h de 20W. Apresenta alcance máximo de 1,7m para manter a circulação contínua de água na horta. Para fazer as ligações do sistema na estrutura foram utilizadas mangueiras de 3/8” em PEAD. As conexões para as mangueiras foram projetadas para aplicação em PVC, mais detalhes estão disponíveis no desenho do projeto no Anexo G.

4.5.2.4. Sistema de movimentação

Para facilitar a movimentação da horta, o projeto possui rodízios giratórios em nylon. Foram utilizados três rodízios e cada rodízio suporta 40Kg.

4.5.2.5. Massa dos materiais

Nessa seção é apresentada as massas dos materiais utilizados no projeto de horta hidropônica automatizada (Tabela 18).

Tabela 18: Materiais e massas utilizados projeto de horta hidropônica

Item	Massa (Kg)							
	PEAD	Alumínio	PVC	Aço	Nylon	Borracha nitrílica	PP	PEBD
Rodízios	0	0	0	0,18	0,06	0	0	0
Chapa de suporte	0	2,77	0		0	0	0	0
Reservatório	5,08	0	0	0	0	0	0	0
Suporte da tampa	0,84	0	0	0	0	0	0	0
Tampa	0,08	0	0	0	0	0	0	0
Puxador	0,004	0	0	0	0	0	0	0
Dobradiça	0	0,008	0	0	0	0	0	0
Tubos de proteção	0,07	0	0	0	0	0	0	0
Canteiros	2,19	0	0	0	0	0	0	0
Suporte do compartimento	1,17	0	0	0	0	0	0	0
Compartimento de mudas	0,188	0	0	0	0	0	0	0
Colunas	0	5,310	0	0,378	0	0	0	0
Mangueiras	0	0	0	0	0	0	0	0,019
Conexões	0	0	0,011	0	0	0	0	0
O'Ring	0	0	0	0	0	2,00E-04	0	0
Tampa para tubos	0	0	0	0	0	0	0,01	0
Total	9,640	8,090	0,010	0,560	0,060	2,00E-04	0,01	0
Massa total	18,6							

Fonte: Autoria própria.

4.5.2.6. Cálculo estrutural

Após a seleção dos materiais para o projeto, é fundamental validar a estrutura do produto ao longo da sua vida útil. Para essa estrutura existiu um desafio consideravelmente maior ao utilizar o próprio canteiro como parte da estrutura da horta, o dimensionamento foi mais crítico, pois se houvesse falha no componente poderia resultar no colapso em toda estrutura.

As estratégias de DfE aplicadas na abordagem do cálculo estrutural seguem as mesmas utilizada na seção 4.2.1.2, que são relacionadas com a integridade estrutural e aproveitamento de recursos (Estratégias “E” e “C”).

4.5.2.7. Canteiro

Inicialmente, foi necessário estimar as massas de cada canteiro individualmente. As massas consideradas foram:

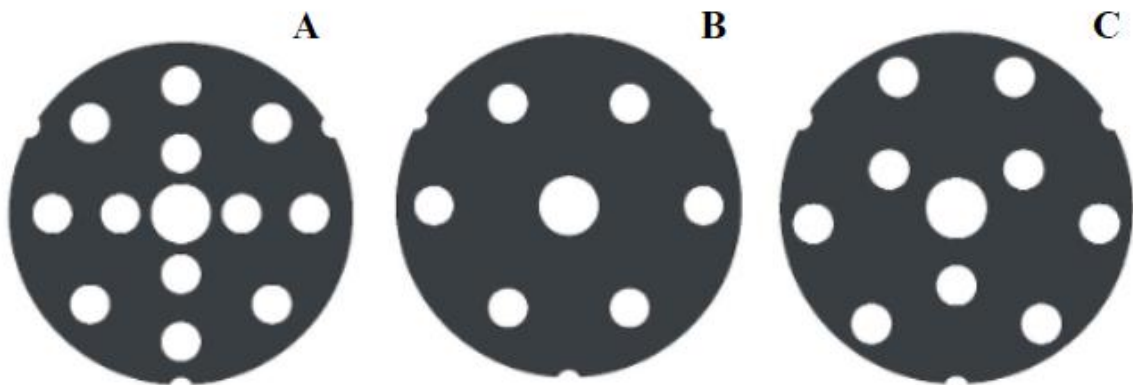
- Água: A massa da água foi estimada com base em sua densidade. Para fins práticos, foi utilizada uma solução com nutrientes, mas nos cálculos tal elemento foi desconsiderado e ajustado dentro do fator de segurança.

- Unidade de cultivo: Os elementos foram:
 - Tampo dos canteiros: A massa do tampo foi obtida através do software, com três variações do modelo (Figura 23).
 - Compartimento de mudas: A massa foi definida diretamente pelo software. Por ser um componente sem variação dimensional durante o dimensionamento, não foi gerada uma função para descrever a massa.

Além disso, no dimensionamento, foi considerado que o peso sobre o canteiro aumentará à medida que se aproxima da base. Portanto, para o cálculo do reservatório foi tratado com uma abordagem de força similar aos canteiros, por apresentar função estrutural.

Para o projeto, o tampo possui três tipos de configuração com diferente número de compartimentos (Figura 23 A-C). O tampo com maior número de compartimentos ($n^{\circ}= 13$), é mais leve e usado na fase inicial de desenvolvimento das plantas (germinação) (Figura 23A). O Tampo C, contendo 10 compartimentos, foi projetado para a fase de crescimento das plantas. Enquanto o tampo B, com número reduzido de compartimentos ($n^{\circ}= 7$), foi projetado para a fase final do desenvolvimento, pois exige mais espaço entre as plantas.

Figura 23: Tipos de tampo utilizados.



Fonte: Autoria própria.

Os pesos de cada tampo tiveram variação de apenas 0,02Kg, dessa forma, foi considerado para os cálculos o peso de 0,39Kg para todos os casos (Tabela 19).

Tabela 19: Peso dos tampos.

Quantidade de compartimentos	Peso [Kg]
6	0,390
9	0,370
12	0,350

Fonte: Autoria própria.

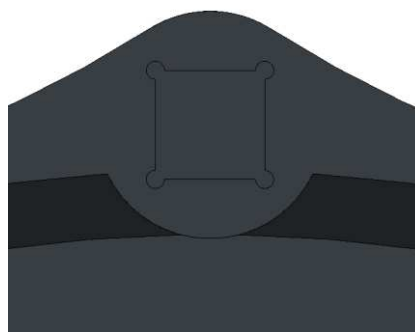
A abordagem para o dimensionamento constituiu em duas análises. A primeira foi a tensão de flexão (Figura 24), para evitar que o canteiro sofresse flexão pelas cargas submetidas pelo peso da água. A segunda foi o dimensionamento dos pontos de apoio do canteiro com as colunas de alumínio (Figura 25). Esses pontos foram considerados críticos por serem os dois locais nos quais as forças resultantes foram aplicadas.

Figura 24: Região da primeira análise.



Fonte: Autoria própria.

Figura 25: Região da segunda análise.



Fonte: Autoria própria.

As dimensões do canteiro resultaram em 41mm de altura, 350 de diâmetro e 5mm de espessura (Tabela 20). Enquanto a massa total estimada para o canteiro em uso resultou em 4,420Kg, considerando 3,200 Kg para a água; 0,400Kg para o tampo e 0,100Kg para o compartimento (Tabela 21).

Tabela 20: Dimensões do canteiro hidropônico.

Canteiro					
Altura (H)		Diâmetro (D)		Espessura (t)	
[mm]	[m]	[mm]	[m]	[mm]	[m]
41	0,041	350	0,35	5	0,005

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21: Cálculo da massa do canteiro hidropônico.

Massa canteiro (Kg)	Canteiros interno								
0,72	Altura		Diâmetro		Area	Volume	Densidade	Massa	[Kg]
	[mm]	[m]	[mm]	[m]	[m ²]	[m ³]	[L]	[Kg/L]	
Água	35	0,035	340	0,34	0,091	0,003	3,18	1	3,2
Tampo	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Compartimento	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Massa Final (Kg)	4,420								

Fonte: Autoria própria.

Os dados iniciais calculados a partir da geometria e massas obtidas são apresentados na tabela 22.

Tabela 22: Dados iniciais para dimensionamento do canteiro hidropônico.

Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultados
Força (F)	[N]	$F = m \times g$	42,130
Area (A)	[m ²]	$\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2$	0,093
Pressão (P)	[N/m ²]	$P = \frac{F}{A}$	451,160
Carga distribuída (Q)	(N/m)	$Q = P \times \left(\frac{D - 0,06}{2}\right)$	130,840
Distância da linha neutra (c)	[mm]	$c = \frac{t}{2}$	2,500
Fator de segurança	-	-	5
Tensão de escoamento (Sy)	[MPa]	-	21,200
Modulo de elasticidade (E)	[GPa]	-	0,793
Tensão admissível (σ_{adm})	[MPa]	$\sigma_{adm} = \frac{Sy}{Es}$	4,240

Fonte: Autoria própria.

No dimensionamento foi utilizado o fator de segurança de 5, resultando em uma tensão admissível de 4,24 MPa, calculado em cima da tensão de escoamento do PEAD reciclado, que é de 21,2 MPa (Tabela 22).

A partir do cálculo da tensão de flexão, considerando um modelo de viga engastada para a base do canteiro, foi obtido os resultados apresentados na tabela 2.

Tabela 23: Cálculo da tensão de flexão para o canteiro hidropônico.

Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Momento fletor (M)	[N.m]	$Q \times \left(\frac{D - 0,06}{2}\right)^2$	0,330
Momento de inércia (I)	[mm ⁴]	$\frac{(D - 60)}{2} \times \frac{t^3}{12}$	1510
Tensão de flexão (σ_f)	[MPa]	$\frac{M \times c}{I}$	5,50E-04
Coefficiente de segurança (Cs)	[MPa]	$F_s = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_f}$	7675,39

Fonte: Autoria própria.

Analisando os resultados, é notável que a tensão de flexão aplicada é baixa e permite o uso de espessuras menores. Para obter resultados mais precisos, a aplicação de métodos de elementos finitos pode ser crucial, especialmente ao considerar a complexidade geométrica do projeto que foi simplificado para fins de cálculo. Ao calcular os pontos de apoio do canteiro hidropônico, foi considerado que o peso está distribuído uniformemente para as três regiões. Considerou-se uma força normal atuando na região, proveniente dos suportes da coluna.

No dimensionamento, a área de atuação da força foi analisada isoladamente, sendo reduzida a um quadrado de 12mm×12mm. Dessa forma, a área ação da força normal irá limitar a tensão resultante. Posteriormente, foi calculado o valor aproximado da massa para cada nível da horta, dividido pelo número de suportes. Determinou-se a força normal, que por sua vez resultou na tensão normal aplicada à área. A área efetiva foi considerada como a espessura do tubo utilizado, sendo 6,30E-05m² para um tubo de 1,5mm de espessura e 12mm×12mm a área.

A tabela 24 apresenta os cálculos realizados para os três canteiros e o suporte do reservatório, que apresenta a condição similar aos canteiros.

Tabela 24: Dimensionamento dos apoios das colunas.

Andar	Peso por andar [Kg]	Peso por coluna [Kg]	Força Normal [N]	Area efetiva [m ²]	Tensão Normal [MPa]	Tensão adm [MPa]	Coefficiente de segurança
Reservatório	17,2	5,73	56,170		0,89		4,760
1	12,9	4,29	42,130	6,30E-05	0,67	4,24	6,340
2	8,6	2,86	28,090		0,45		9,510
3	4,3	1,43	14,040		0,22		19,020

Fonte: Autoria própria.

Os resultados mostraram que ao utilizar o tubo de 1,5mm, o menor coeficiente de segurança atingindo foi de 4,76 para a situação do carregamento no reservatório, sendo o

suficiente para a aplicação. Para os canteiros os coeficientes de segurança também, atingiram valores satisfatórios. Em ambos os casos suportariam eventuais sobrecargas.

4.5.2.8. Estrutura metálica

Assim como os canteiros, os andares mais próximos ao chão ficam com cargas maiores. Este princípio se aplica também às colunas e será usado análise por flambagem para verificar as dimensões. Os dados utilizados para realizar o cálculo da carga crítica de flambagem são apresentados na tabela 25.

Tabela 25: Dados iniciais para cálculo da coluna.

Tubo quadrado			
Propriedade	Unidade	Fórmula	Resultado
Comprimento (L)	[m]	-	0,250
Altura (H)	[m]	-	0,012
Largura (B)	[m]	-	0,012
Espessura (e)	[m]	-	0,0015
Area de seção transversal (A)	[m ²]	$A = (H \times B) - [(H - 2 \times e) \times (B - 2 \times e)]$	6,30E-05
Modulo de elasticidade (E)	[GPa]	-	70,000
Limite de escoamento (S_y)	[MPa]	-	55,000
Distância da linha neutra (c)	[m]	$c = \frac{H}{2}$	0,001
Momento de inércia (I_x)	[m ⁴]	$I = \frac{BH^3}{12} - \frac{B_{int}H_{int}^3}{12}$	1,18E-09
Força normal (F)	[KN]	-	0,226
Fator de segurança	-	-	5

Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo da carga crítica de flambagem, foi considerado o caso de coluna bi engastada. Desta forma, o cálculo do comprimento efetivo resultou em: $L_{ef} = 0,65 \times L$ para os três casos (Tabela 26).

Tabela 26: Análise de flambagem para horta hidropônica.

Propriedade	Unidade	Fórmula	Seção 1	Seção 2	Seção 3
Comprimento (L)	[m]	-	0,250	0,250	0,250
Tipo de apoio (Y)	-	-	0,650	0,650	0,650
Comprimento efetivo [L _{ef}]	[m]	$L_{ef} = Y \times L$	0,163	0,163	0,163
Raio de giração (K)	[m]	$K = \sqrt{\frac{A}{I_x}}$	0,004	0,004	0,004
Índice de esbeltez (S _r)	-	$S_r = \frac{L_{ef}}{K}$	37,528	37,528	37,528
(S _r) _D	-	$\pi \times \sqrt{\frac{2 \times E \times 10^9}{S_y \times 10^6}}$	112,077	112,077	112,077
Carga crítica de flambagem (P _{cr})	[KN]	$P_{cr} = A \times \left[S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_y \times S_r}{2 \times \pi} \right)^2 \right]$	3,368	3,368	3,368
P _{adm}	[KN]	$P_{adm} = \frac{P_{cr}}{CS}$	0,674	0,674	0,674
Força normal (P)	[KN]	-	0,060	0,040	0,030
Coefficiente de segurança	-	$CS = \frac{P_{cr}}{P}$	11,991	15,988	23,981
Tensão normal (σ _n)	[MPa]	$\sigma_n = \frac{P}{A} \times 10^{-3}$	0,89	0,67	0,45

Fonte: Autoria própria.

Os resultados mostraram que considerando a espessura de 1,5mm as colunas suportaram individualmente 3,4KN, excedendo o requisitado no projeto de horta hidropônica. Mesmo sendo viável empregar espessuras menores nessas circunstâncias, a redução pode afetar diretamente o leito e o tanque hidropônico, levando a um aumento da tensão normal devido à diminuição da área efetiva. Portanto, foi decidido manter a espessura de 1,5mm para os tubos.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados coletados no *benchmarking* e na pesquisa de mercado, foi possível constatar que atualmente há poucos modelos de hortas automatizadas disponíveis no mercado nacional. Além disso, os modelos disponíveis possuem pequeno porte e, conseqüentemente, baixo volume de produção. O questionário de pesquisa de mercado, focado para residentes de apartamentos, indicou que fatores como durabilidade, facilidade de montagem e limpeza e disponibilidade de espaço são de interesse e prioridade na escolha de uma horta automatizada. Com isso, observou-se que há uma demanda mercadológica e uma lacuna de produtos disponíveis que atendam a esse público-alvo. Tais respostas estavam atreladas com as estratégias do DfE, sendo as mais relevantes as estratégias E e F, de acordo com os interesses dos entrevistados.

As respostas obtidas na primeira fase foram fundamentais para a elaboração da matriz morfológica, que definiu funções e materiais importantes para o projeto, como o uso do PEAD e do alumínio verde como principais materiais e o uso de lâmpadas Led e interruptores inteligentes. Desta forma, foram desenvolvidos dois projetos de hortas verticais, um de cultivo convencional e outro hidropônico, capazes de manter condições apropriadas para cultivo com baixa interferência humana, permitindo o controle de irrigação, iluminação e fluxo de água contínuo.

O modelo de horta convencional automatizada trouxe a proposta de modernizar a forma clássica do plantio em solo. O produto gerado possui três andares com sistema de gavetas, sistema fechado tipo estufa, que confere proteção contra a invasão de potenciais pragas e distúrbio provocados por animais domésticos, além de irrigação e iluminação automatizadas e controladas remotamente. Já o modelo de horta hidropônica automatizada apresentou uma proposta inovadora, ao possibilitar o cultivo em ambiente interno domiciliar em formato vertical, otimizando o aproveitamento do espaço. A solução proposta conseguiu ser compacta, de fácil mobilidade, alta produtividade, contemplando 27 compartimentos para plantio e fluxo contínuo de água no sistema.

Em ambos os projetos, o alumínio verde e o PEAD reciclado foram majoritariamente utilizados na estrutura. A validação estrutural indicou a capacidade de resistir às cargas solicitadas, considerando um fator de segurança 5. Por fim, utilizar as diretrizes do DfE foi fundamental para direcionar o desenvolvimento de dois produtos com potencial de redução do impacto ambiental na sua concepção e funcionalidade para o consumidor.

Em comparação ao projeto *indoor planting*, o modelo de horta convencional inteligente se mostrou superior em questões ergonômicas e de automação, solucionando as dificuldades com o controle de iluminação e irrigação. Enquanto o modelo de horta hidropônica automatizada soluciona principalmente a questão de irrigação, trazendo facilidade na reposição de água no reservatório e sendo um modelo de baixo peso (19kg) o que facilita a mobilidade dentro da residência.

Como perspectivas para os próximos passos, sugere-se realizar uma Análise de Ciclo de Vida dos projetos para mensurar o nível de impacto gerado, juntamente com uma pesquisa de mercado e viabilidade econômica dos modelos propostos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. População mundial atingirá 8 bilhões em novembro. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2022-10/populacao-mundial-atingira-8-bilhoes-em-novembro>>. Acesso em: 13/11/2022.

AGROMANIA. Horta Vertical Auto Irrigável Verde Vida - NÃO ACOMPANHA RODÍZIO cor Marrom. Disponível em: <<https://www.agromania.com.br/horta-vertical-auto-irrigavel-verde-vida-marrom>>. Acesso em: 26/11/2022.

"ASSIS, R. L. DE; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências." ("SciELO - Brasil - Desempenho agrônomo de algodão orgânico e ...") **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 6, n. 0, 2002. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/22129>>. Acesso em: 14/9/2022.

b.Box Clássica - Horta Inteligente - Brota Company. Disponível em: <https://lp.brotacompany.com.br/classica/lp1?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=institucional&device=c&keyword=brotacompany&matchtype=p&creative=499031858382&adgroupid=118257449416&gclid=Cj0KCQiAj4ecBhD3ARIsAM4Q_jFzw82BYX_VYHvCIZVunUUj08GZLUMqTEcer6-1pnszF_79ZmrJf4aAmkPEALw_wcB>. Acesso em: 26/11/2022.

CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106)

CARNEIRO, L., VALENTE, G., & BATISTA, H. G. (2015). Exemplos de plantas de apartamentos de dois quartos ao longo das décadas. Infográficos | O GLOBO. Retrieved July 8, 2023, from <https://infograficos.oglobo.globo.com/economia/exemplos-de-plantas-de-apartamentos-dedois-quartos-ao-longo-das-decadas.html>

COSTA, F. J. Mensuração e desenvolvimento de escalas: aplicações em administração. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

DE CAMARGO, R.; DE CARVALHO, E. L. J. C.; GUNDIM, D. P.; MOREIRA, J. G.; MARQUES, M. G. Uso da Hortoterapia no Tratamento de Pacientes Portadores de Sofrimento Mental Grave. **Enciclopédia Biosfera**, p. 3634–3643, 2015.

EHLERS, E. M. **O QUE SE ENTENDE POR AGRICULTURA SUSTENTAVEL?**, 30. nov. 1994. Mestrado em Ciência Ambiental, São Paulo: Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-25112011-091132/>>. Acesso em: 11/9/2022.

EMBRAPA. Megatendência - Intensificação e sustentabilidade - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/intensificacao-e-sustentabilidade-dos-sistemas-de-producao-agricolas>>. Acesso em: 13/11/2022.

EVA AU. Disponível em: <<https://evagriculturaurbana.com.br/>>. Acesso em: 26/11/2022.

FIKSEL, J. Design for Environment: A Guide to Sustainable Product Development | McGraw-Hill Education - Access Engineering. Disponível em: <<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071605564>>. Acesso em: 26/11/2022.

GYRO. Projeto Indoor Planting. *In*: UGAYA, Cássia *et al.* **Projeto Indoor Planting**. Curitiba - PR, 2020. Disponível em: <https://utfpr.curitiba.br/gyro/projeto-indoor-planting/>. Acesso em: 12 dez. 2022.

GOVONI, B.; CONTE, A. M.; GODOY, B. R. B.; BOEIRA, J. M. Análise da exposição direta e indireta à compostos agroquímicos: biomonitoramento da saúde humana / Analysis of direct and indirect exposure to agricultural compounds: biomonitoring of human health. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 15668–15674, 2019.

HABITABILITY. ODS 11: Conheça o Objetivo da ONU para as cidades. Disponível em: <<https://habitability.com.br/ods-11-conheca-o-objetivo-da-onu-para-as-cidades/>>. Acesso em: 14/9/2022.

Horta Vertical 11 com Rodízio e 6 Jardineiras - na Toca! Disponível em: <<https://www.tocadoverde.com.br/mesa-horta-11-com-6-jardineiras-bege.html>>. Acesso em: 26/11/2022.

Horta De Apartamento, Jardineira, Hortinha, Horta Vertical - R\$ 77. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2649646112-horta-de-apartamento-jardineira-hortinha-horta-vertical-_JM>. Acesso em: 26/11/2022.

INPI. Disponível em: <<https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController>>. Acesso em: 26/11/2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. "**Laboratório de Inovação: Incentivo à Produção, à Disponibilidade, ao Acesso e ao Consumo de Frutas, Legumes e Verduras.**" ("Laboratório de Inovação: Incentivo à Produção, à Disponibilidade, ao ...") OPAS, MS, INCA, FAO e WFP, 2022.

Natufia Smart Garden. Disponível em: <<https://natufia.com/>>. Acesso em: 26/11/2022.

NOGUEIRA, L. Jardim suspenso: 10 ideias para ter plantas em espaços pequenos. Disponível em: <<https://casavogue.globo.com/Arquitetura/Paisagismo/noticia/2018/04/jardim-suspenso-10-ideias-para-ter-plantas-dentro-e-fora-de-casa.html>>. Acesso em: 13/11/2022.

OLIVEIRA, B. P. D. Projeto Indoor-Planting – Gyro. Disponível em: <<https://utfpr.curitiba.br/gyro/projeto-indoor-planting/>>. Acesso em: 29/11/2022.

RIGOTTO, R. M.; VASCONCELOS, D. P. E; ROCHA, M. M. Uso de agrotóxicos no Brasil e problemas para a saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 30, p. 1360–1362, 2014. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz.

SENSH - China factory Supplier Indoor Garden with Hydroponic System kit for Home
Disponível em: < <https://senshcn.com/product/sensh-indoor-hydroponic-system/>>. Acesso em:
Acesso em: 26/11/2022.

TELENKO, C.; O'ROURKE, J.; SEEPERSAD, C.; WEBBER, M. A Compilation of Design for Environment Guidelines. , v. 138, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301796291_A_Compilation_of_Design_for_Environment_Guidelines?enrichId=rgreq-c371d86d0570f7f6b822b34fc866c695-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMTc5NjI5MTtBUzoZNTc2NjA5MzY0MjU0NzRAMTQ2MjI4NDQyMDgxNQ%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf>. Acesso em: 25/11/2022.

TONIAL, J. C. Falta de alimentos no mundo: problema de escassez ou de distribuição? **JURIS - Revista da Faculdade de Direito**, v. 14, p. 69–80, 2009.

WAISSMANN, W. Agrotóxicos e doenças não transmissíveis. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 20–21, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos. 2018. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_nacional_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf>. Acesso em: 22 de junho de 2024.

AMAN, M. M.; JASMON, G. B.; MOKHLIS, H.; BAKAR, A. H. A. Analysis of the performance of domestic lighting lamps. **Energy Policy**, Special Section: Transition Pathways to a Low Carbon Economy., v. 52, p. 482–500, 2013.

ANVISA. Anvisa divulga resultados do monitoramento de resíduos de agrotóxicos em alimentos. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2023/anvisa-divulga-resultados-do-monitoramento-de-residuos-de-agrotoxicos-em-alimentos>>. Acesso em: 23/6/2024.

BAXTER, M. R. **PROJETO DE PRODUTO: GUIA PRÁTICO PARA DESIGN DE NOVOS PRODUTOS**. 2ª ed. BLUCHER, 2000.

CUNHA, A. DA. Hortas comunitárias em altura: o futuro da agricultura urbana vertical, em Lisboa. Disponível em: <<http://amensagem.pt/2021/12/20/upfarming-cidade-hortas-comunitarias-altura-sustentabilidade-futuro-agricultura-urbana-vertical-lisboa/>>. Acesso em: 23/6/2024.

FAO. ÍNDICE DE DESPERDÍCIO ALIMENTAR RELATÓRIO 2021. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/149572-17-dos-alimentos-produzidos-v%C3%A3o-direto-para-o-lixo-alerta-pnuma>, <https://brasil.un.org/pt-br/149572-17-dos-alimentos-produzidos-v%C3%A3o-direto-para-o-lixo-alerta-pnuma>>. Acesso em: 22/6/2024.

GOZZI, E. M.; PAIXÃO, M. A. S. Viabilidade econômica de duas hortas hidropônicas na área urbana da cidade de São Paulo. **Revista IPecege**, v. 3, n. 4, p. 12–21, 2017.

Importância da reciclagem de lâmpadas de LED - eCycle. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/reciclagem-de-lampadas-de-led/>>. Acesso em: 24/6/2024.

KARINA, M.; SYAMPURWADI, A.; SATOTO, R.; IRMAWATI, Y.; PUSPITASARI, T. Physical and Mechanical Properties of Recycled Polypropylene Composites Reinforced with Rice Straw Lignin. **BioResources**, v. 12, n. 3, p. 5801–5811, 2017.

NORTON, R. **Projeto de máquinas uma abordagem integrada**. 4º ed. 2013.

PNUA. Índice de desperdício alimentar. Relatório 2021. , 2021. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/149572-17-dos-alimentos-produzidos-v%C3%A3o-direto-para-o-lixo-alerta-pnuma>>. .

SANTOS, T. S. DOS; BATISTA, M. C.; POZZA, S. A.; ROSSI, L. S. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, p. 595–602, 2015. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES.

SESI SP. Práticas de aproveitamento de alimentos, horta caseira e compostagem para... - Alimente-se Bem. Disponível em: <<https://alimentesebem.sesisp.org.br/arquivos/noticia/praticas-de-aproveitamento-de-alimentos-horta-caseira-e-compostagem-para-reduzir-o-desperdicio>>. Acesso em: 23/6/2024.

UTFPR. Curso de Engenharia Mecânica da UTFPR comemora 25 anos. Disponível em: <<https://www.utfpr.edu.br/noticias/curitiba/curso-de-engenharia-mecanica-da-utfpr-comemora-25-anos>>. Acesso em: 23/6/2024.

ANEXO A - Diretrizes do Design for Environment.

Quadro 1: Diretrizes do *Design for Environment*.

Estratégia A -Disponibilidade de recursos	
1	Especificar recursos renováveis e abundantes
2	Especificar recursos recicláveis ou reciclados
3	Camada de material reciclado e virgem onde material virgem é necessário
4	Empregar componentes comuns e remanufaturados no modelo
5	Especificar materiais e fixadores compatíveis para reciclagem
6	Minimizar a variedade de materiais no produto e seus subconjuntos
Estratégia B - Maximizar entradas e saídas saudáveis	
7	Conter poluentes e materiais perigosos para reutilização ou processamentos
8	Especificar materiais ambientalmente benignos
9	Criar saídas biodegradáveis
10	Especificar recursos com baixas emissões
11	Incluir rótulos e instruções para o manuseio seguro de materiais tóxicos
12	Concentrar poluentes e materiais perigosos para fácil remoção e tratamento
13	Recuperar emissões e resultados
Estratégia C - Minimizar o uso de recursos nas fases de produção e transporte	
14	Minimizar e substituir funções das embalagens por formas mais simples
15	Empregar dobragem, encaixe ou desmontagem para transportar e armazenar produtos em um estado compacto
16	Aplicar técnicas e materiais estruturais que minimizem o volume total de material
17	Especificar materiais e componentes leves
18	Estruturar o produto para evitar rejeições e minimizar desperdício de material na produção
19	Minimizar o número de componentes
20	Especificar materiais com produção e agricultura de baixa intensidade
21	Especificar materiais que não requerem tratamento de superfície adicional
22	Explorar as propriedades intrínsecas dos materiais
23	Especificar processos de produção limpos dentro do fornecimento
24	Empregar o mínimo possível de etapas de fabricação
25	Fonte de fornecedores com baixo impacto de transporte
Estratégia D - Minimizar o consumo de recursos durante a operação	
26	Implementar suprimentos reutilizáveis
27	Incorporar incentivos perceptíveis e cronometrados na operação

28	Minimizar a perda de energia e material
29	Minimizar o volume e o peso dos materiais para os quais a energia é transferida
30	Otimizar a taxa e a duração do uso de recursos para a tarefa
31	Fornecer quantidades discretas de recursos
32	Fornece recursos de ajuste automático ou manual
33	Indicar o estado atual dos processos
34	Criar módulos separados para tarefas com diferentes soluções ideais
35	Apoiar a tomada de decisão complexa pelo usuário
36	Especificar os melhores componentes de eficiência da categoria
37	Incorporar operação parcial para desengatar subsistemas que não estão em uso
38	Minimizar o tempo de inicialização e desligamento
39	Interconectar os fluxos de energia e materiais disponíveis
40	Maximizar a eficiência do sistema para uma variedade de condições do mundo real
41	Criar sistemas compartilhados ou de serviço que se desmaterializam
42	Harmonizar as operações com as atividades diárias dos usuários com o produto e seu ambiente
43	Permitir que os usuários desliguem os sistemas em parte ou totalmente
44	Revelar quanto recurso está sendo consumido
45	Incorporar controles intuitivos para recursos de economia de recursos
46	Incorporar recursos que evitem ou desencorajam o desperdício de materiais pelo usuário
47	Redefina automaticamente o produto para sua forma configuração mais eficiente
48	Empregar transformação ou multifuncionalidade
Estratégia E - Maximizar a vida técnica e estética do produto e componentes	
49	Reutilizar componentes com uso intensivo de recursos
50	Planejar melhorias contínuas de eficiência
51	Melhorar a estética e a funcionalidade para garantir que a vida estética seja igual à vida técnica
52	Minimizar a manutenção necessária
53	Proteger os produtos contra sujeira, corrosão e desgaste
54	Indicar através o produto como as peças são mantidas
55	Minimize o número de ferramentas de serviço e inspeção
56	Facilite o teste de componentes
57	Permita a desmontagem e remontagem repetitiva
58	Aumente o valor com a idade

59	Comunique durabilidade e confiabilidade por meio do formulário
Estratégia F - Facilitar a atualização e reutilização de componentes	
60	Torne o desgaste detectável para reparo e atualização
61	Indique através do produto como ele deve ser aberto
62	Certifique-se de que as juntas e fixadores sejam facilmente acessíveis
63	Facilitar a atualização e reutilização de componentes que sofrem mudanças rápidas
64	Manter a estabilidade e a colocação das peças durante montagem e desmontagem
65	Minimizar o número de ferramentas necessárias para desmontagem e montagem
66	Minimizar a desmontagem destrutiva e seus efeitos
67	Garantir que as peças reutilizáveis possam ser limpas facilmente e sem danos
68	Tornar os materiais incompatíveis facilmente separados
69	Tornar as interfaces dos componentes simples e reversivelmente separáveis
70	Organizar em módulos hierárquicos por estética, reparo e protocolo de fim de vida
71	Implementar plataformas, módulos, componentes e sistemas reutilizáveis/trocáveis
72	Especificar adesivos, rótulos, revestimentos de superfície, pigmentos que sejam compatíveis com a limpeza durante e após a vida útil
73	Empregar uma direção de desmontagem/montagem sem reorientação
74	Minimizar o número e a duração das operações de desprendimento
75	Marcar materiais em moldes com tipos e protocolo de reaproveitamento
76	Use uma estrutura rasa ou aberta para facilitar o acesso aos subconjuntos

Fonte: Adaptado de Telenko *et al.* (2016)

ANEXO B - Resultado do *benchmarking*

Quadro 3: Quadro comparativo das hortas em resultado do *benchmarking*

Função/Produto	EVA baby	b.Box	Jardineira	Horta vertical com rodízio	Horta vertical auto irrigável	Natufia Smart Garden	Sensh
Custo	R\$ 447,99	R\$ 225,00	R\$ 78,70	R\$ 1.450,00	R\$ 340,00	\$ 7.995,00	\$ 504,09
Tamanho	Compacto	Compacto	Compacto	Grande	Médio	Grade	Grande
Tecnologia	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Médio
Iluminação	Luminária Inteligente	Luminária Inteligente	Iluminação Natural	Iluminação Natural	Iluminação Natural	LEDs Smart	LEDs Smart
Irrigação	Auto irrigável - Capilaridade	Auto irrigável	Manual	Manual	Auto irrigável - Capilaridade	Automático	Automático - Hidropônico
Slots	3 Slots	6 Slots	9 Slots	24 Slots	18 Slots	32 Slots	16 (mínimo)
Manual	Aplicativo	Guia de instrução	Nada	Nada	Sugestão no site	Guia de Instrução	Manual de instrução
Venda de muda	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não
Material Reciclável	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim
Consumo de energia	Sem informação	12w	0W	0W	0W	25W - 325W	130w
Conectividade	WIFI -Aplicativo	Não	Não	Não	Não	WIFI	Controle remoto
Autonomia	25 dias	25 dias	0 dias	0 dias	14 dias	Desconhecido	Desconhecido
Material	Sem informação	Polipropileno Reciclado	Plástico e madeira reflorestada	Aço e Polipropileno	Polipropileno reciclado	Aço, Vidro, PP, PEAD e PS	PP e Fibra de vidro

Fonte: Autoria própria.

ANEXO C - Questionário elaborado para pesquisa de mercado.

Entrevista de Mercado - Hábitos de Consumo de Alimentos Orgânicos para Horta Inteligente

Curitiba, 31 de julho de 2023

Eu, João Roberto Paes Pinto, estudante do curso de engenharia mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, estou conduzindo uma entrevista de mercado para coletar informações relevantes sobre hábitos de consumo de alimentos orgânicos com o objetivo de desenvolver uma horta inteligente como parte do meu Trabalho de Conclusão de Curso. Gostaríamos de entender melhor suas preferências, necessidades e experiências relacionadas ao consumo de alimentos orgânicos e ao cultivo de uma horta em ambiente residencial.

O objetivo desta entrevista é entender suas preferências e experiências relacionadas ao consumo de alimentos orgânicos e ao cultivo de hortas residenciais. As informações coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins de pesquisa do projeto da horta inteligente.

A entrevista terá a duração aproximada de 05 (Cinco) minutos e será conduzida de maneira remota online por meio de formulário do *Google Forms*. Durante a entrevista, farei uma série de perguntas sobre seus hábitos alimentares e suas percepções em relação à horta inteligente.

Suas respostas serão tratadas com confidencialidade e os dados coletados serão usados apenas para fins de pesquisa do projeto da horta inteligente. Seus dados pessoais não serão divulgados a terceiros sem sua autorização prévia.

Sua participação é completamente voluntária e você pode interromper a entrevista ou recusar-se a participar a qualquer momento, sem que isso acarrete em penalidades ou consequências negativas.

Ao continuar com a entrevista, você indica que leu este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, compreendeu seu conteúdo e concorda em participar voluntariamente.

Nesses termos, agradecemos a sua colaboração.

Para esclarecimento de dúvidas e mais informações, segue o meu contato

João Roberto Paes Paes

Estudante de Engenharia Mecânica - UTFPR

Para baixar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, clique no link abaixo.

<https://docs.google.com/uc?export=download&id=1V0nPj6KTpGgPOFAITeSJUrLU6uuVYteb>

Concorda com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido? *

Sim

Não

Pesquisa socioeconômica

Nome

.....

Faixa etária *

18 a 24 anos

25 a 34 anos

35 a 44 anos

45 a 54 anos

55 anos ou mais

Prefiro não responder

Gênero *

- Masculino
- Feminino
- Não-Binário
- Prefiro não dizer
- Outro:

Estado civil *

- Solteiro(a)
- Casado(a)
- Viúvo(a)
- Divorciado(a)
- União Estável
- Prefiro não responder

Quantos filhos você tem?

- Nenhum
- 1 filho
- 2 filhos
- 3 filhos
- 4 ou mais filhos
- Prefiro não responder

Qual a sua profissão?

- Estudante
- Servidor público
- Outro:

Tipo de Residência *

- Casa
- Apartamento
- Kitnet
- Dividindo moradia (pensionato, república, morando com parentes)
- Prefiro não responder
- Outro:

Você tem interesse em cultivar plantas comestíveis dentro da sua residência? *

- Sim
- Não

HÁBITOS DE CULTIVO EM CASA:

Você atualmente cultiva algum tipo de planta comestível em casa? (Por exemplo, ervas aromáticas, vegetais, frutas pequenas) *

- Sim
- Não

Se sim, por favor, liste as plantas comestíveis *
que você cultiva em casa:

- Manjericão
- Salsa (Salsinha)
- Cebolinha
- Coentro
- Pimenta (por exemplo, pimenta-de-cheiro)
- Tomate-cereja
- Alface
- Rúcula
- Não se Aplica
- Outro: Nenhum

Qual é o tamanho aproximado do seu espaço de cultivo em casa? *

- Menos de 1 metro quadrado
- 1m² a 2m²
- 2m² a 3 m²
- 3m² a 4m² metros quadrados
- Mais de 4m²
- Não se Aplica

Você utiliza métodos de cultivo orgânico (sem o uso de pesticidas químicos ou fertilizantes sintéticos)? *

- Frequentemente
- Às vezes
- Raramente
- Nunca
- Não se Aplica
- Outro:

Com que frequência você realiza atividades de cuidado com as plantas, como regar, podar e adubar? *

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensalmente
- Raramente
- Não se Aplica
- Outro:

Quanto tempo você dedica para cuidar das plantas? *

- Menos de 15 minutos
- De 15 a 30 minutos
- De 30 a 45 minutos
- De 45 a 60 minutos
- Mais de 60 minutos
- Não se Aplica

Você enfrenta ou já enfrentou algum problema técnico *
específico relacionado ao seu cultivo em casa?

(Marque as que se aplicam)

- Quando vou regar as plantas, a água escorre dos vasos ou canteiros e suja muito a minha casa.
- Plantar em casa causa muita sujeira com as folhas mortas caindo para fora dos vasos e canteiros
- Às vezes esqueço de regar as plantas ou quando viajo, tenho que pedir para alguém as regar
- Preciso ficar levando as plantas para a sacada ou janela, para que possam tomar sol.
- Muitos matinhos ficam nascendo nos canteiros e acho muito chato ter que ficar tirando eles
- Não consigo manter uma rotina de adubação do solo, acaba ficando ressecado.
- Não se Aplica
- Outro:

MOTIVOS PARA NÃO CULTIVAR PLANTAS COMESTÍVEIS EM CASA:

Em que medida cada um dos seguintes motivos influencia sua decisão de não cultivar plantas comestíveis em casa? (Atribuindo a cada uma delas um nível de importância, variando de "Influência fortemente" a " Não Influencia de Forma Alguma").

*

	Influencia Fortemente	Influencia Moderadamente	Tem Alguma Influência	Tem Pouca Influência	Não Influencia de Forma Alguma
Falta de tempo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falta de espaço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falta de conhecimento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Preocupações com pragas ou doenças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Custos associados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Frustração com a manutenção das plantas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falta de interesse em atividades de plantio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Caso você já tentando realizar plantio dentro de casa, em que medida os seguintes desafios impediram você de começar um cultivo de plantas comestíveis em casa? (Atribuindo a cada uma delas um nível de importância, variando de 'Impediu totalmente' a 'Não impediu de forma alguma')

	Impediu Totalmente	Impediu Consideravelmente	Impediu Moderadamente	Impediu um Pouco	Não Impediu de Forma Alguma
Falta de orientação sobre como começar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Problemas para manter uma rotina de regagem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Problemas com iluminação natural para as plantas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Problemas com sujeira e limpeza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Preocupações ambientais (por exemplo, uso de pesticidas)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falta de acesso a materiais ou equipamentos necessários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

SOLUÇÕES DE DESIGN AMBIENTAL PARA CULTIVO EM CASA:

Por gentileza, avalie as seguintes opções *
 destinadas a abordar desafios no cultivo de
 alimentos em ambiente doméstico, atribuindo a
 cada uma delas um nível de importância,
 variando de 'Muito Importante' a 'Não é Importante'

	Muito Importante	Importante	Neutro	Pouco Importante	Não é importante
Acho importante uma horta de fácil montagem.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acho importante formas alternativas de cultivo (hidroponia, aeroponia).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acho importante a utilização de materiais renováveis e recicláveis nos produtos que eu consumo.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acho importante uma horta muito durável e que não precise de reposição (troca de peças).	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acho importante que a horta seja fácil de limpar e que eu possa	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

trocar as peças de forma fácil se necessário.

Acho importante um sistema de irrigação automático e programável, inclusive pelo celular.



Acho importante um sistema de iluminação artificial programável, inclusive pelo celular.



Acho importante hortas menores que possam ser levadas facilmente para outras partes da casa.



Acho importante hortas maiores, para poder cultivos de alimentos maiores, mesmo que atrapalhe a mobilidade



Acho importante que a horta não ocupe muito espaço, mas possa produzir



Qual valor você estaria disposto a pagar para as seguintes configurações de hortas: *

	Até R\$ 150,00	R\$ 150,00 - R\$ 300,00	R\$ 300,00 - R\$ 450,00	R\$ 450,00 - R\$ 600,00	R\$ 600,00 - R\$ 750,00	Mais de R\$ 750,00
Hortas vertical simples, sem automatização	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Horta vertical com irrigação automática	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Horta vertical com iluminação artificial	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Horta vertical com automação de irrigação e iluminação	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Horta vertical de pequeno porte automatizadas	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Horta vertical de médio porte automatizadas	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Horta de grande porte automatizadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Horta automatizada, tamanhos variados com fácil mobilidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Para finalizar, tem alguma sugestão ou outra solução que não foi mencionado que gostaria de compartilhar?

Finalização

Obrigado por participar!

Caso queira saber mais sobre hortas para dentro de casa e outros projetos voltados a meio ambiente e sustentabilidade, acesse a página do [Gyro](#).

Este formulário foi criado em Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Google Formulários