

METODOLOGIA PARA O PROJETO DE UMA HORTA VERTICAL

METHODOLOGY FOR THE DESIGN OF A VERTICAL GARDEN

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN HUERTO VERTICAL

Mikael Alves Schneider¹; Humberto Dias Vianna²

¹Universidade Federal de Pelotas - mikael_ufpel@outlook.com

²Universidade Federal de Pelotas - hdvianna@ufpel.edu.br

Resumo: Com o crescimento populacional em constante expansão, as demandas por alimentos e a sustentabilidade tornaram-se questões prioritárias para a sociedade e o setor agrícola. Nesse contexto, a agricultura vertical, definida como um sistema de cultivo que utiliza o empilhamento de plantas em estruturas verticais para otimizar o uso de espaço, surge como uma alternativa promissora para a produção de plantas. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo específico de estrutura com baixo custo voltado para a agricultura vertical doméstica, como foco de uso em pequenos espaços. Para isso, aplicou-se uma metodologia de projeto para conceber uma estrutura vertical adaptada ao cultivo de plantas alimentícias em ambiente urbano. O estudo incluiu o levantamento das necessidades dos possíveis usuários por meio de questionários, cujas respostas subsidiaram as etapas de projeto informacional e conceitual da estrutura. A solução proposta utiliza tubos e conexões de PVC para sustentar as plantas e armazenar água, permitindo a irrigação localizada por meio de micro tubos. O projeto desenvolvido apresenta uma abordagem prática e acessível, contribuindo para o avanço de sistemas de agricultura urbana vertical sustentáveis e economicamente viáveis.

Palavras-chave: Agricultura urbana; Sustentabilidade; Tecnologias de cultivo

Abstract: With the constant expansion of the global population, the demand for food and sustainability has become a priority for society and the agricultural sector. In this context, vertical farming, defined as a cultivation system that uses the stacking of plants in vertical structures to optimize space utilization, emerges as a promising alternative for plant production. This study aimed to develop a specific low-cost structure model designed for domestic vertical farming, focusing on usage in small spaces. To achieve this, a design methodology was applied to create a vertical structure adapted for cultivating edible plants in urban environments. The study included identifying the needs of potential users through questionnaires, whose responses guided the informational and conceptual design phases of the structure. The proposed solution employs PVC pipes and fittings to support the plants and store water, enabling localized irrigation through microtubes. The developed project offers a practical and accessible approach, contributing to the advancement of sustainable and economically viable urban vertical farming systems.

Keywords: Urban Agriculture; Sustainability; Cultivation Technologies

Resumen: Con el constante crecimiento de la población global, la demanda de alimentos y la sostenibilidad se han convertido en prioridades para la sociedad y el sector agrícola. En este contexto, la agricultura vertical, definida como un sistema de cultivo que utiliza el apilamiento de plantas en estructuras verticales para optimizar el uso del espacio, surge como una alternativa prometedora para la producción de plantas. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar un modelo específico de estructura de bajo costo diseñado para la agricultura vertical doméstica, enfocándose en su uso en espacios pequeños. Para ello, se aplicó una metodología de diseño para concebir una estructura vertical adaptada al cultivo de plantas comestibles en entornos urbanos. El estudio incluyó la identificación de las necesidades de los posibles usuarios mediante cuestionarios, cuyas respuestas orientaron las etapas de diseño informativo y conceptual de la estructura. La solución propuesta utiliza tubos y conexiones de PVC para sostener las plantas y almacenar agua, permitiendo

la irrigación localizada mediante microtubos. El proyecto desarrollado presenta un enfoque práctico y accesible, contribuyendo al avance de sistemas de agricultura vertical urbana sostenibles y económicamente viables.

Palabras llave: Agricultura Urbana; Sostenibilidad; Tecnologías de Cultivo

INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, evidencia-se a expansão dos espaços urbanos e do número de habitantes que vivem dentro e no seu entorno, sendo que em 2022 as concentrações urbanas abrigavam cerca 61% da população (GOV, 2023). Este crescimento pode trazer consigo problemas que afetam principalmente as pessoas mais vulneráveis, que apesar do crescimento do capital nestas áreas continuam à mercê da desigualdade ocorrida nos meios urbanos (De Oliveira *et al.*, 2021).

Além dos problemas sociais, o crescimento populacional gera um aumento na demanda por alimentos que resulta em uma pressão no agronegócio e demais setores. Em consequência disso, exige-se a busca e emprego de diferentes tecnologias de cultivo que sejam capazes de gerar produtos com maior qualidade e ocupem menores áreas para a sua produção, além de causarem menos impactos ao meio ambiente (ONU, 2012).

A agricultura urbana pode ser uma alternativa ou suplemento para o fornecimento de alimentos em relação aos modelos de produção convencionais, a partir da participação da população geral na produção de alimentos utilizando como meio os espaços urbanos (Vieira *et al.*, 2023). Mesmo existindo espaços que possam ser cultivados, pode-se enfrentar algumas barreiras como a limitação de espaço, insolação insuficiente, frequente necessidade de manejo ou manutenção além de outros fatores que possam desincentivar a aplicação deste modelo (Despommier, 2010).

O método de agricultura urbana pode ser praticado de diversas maneiras, sendo assim, dividida em diferentes categorias de acordo com seus objetivos e métodos empregados, sendo elas a jardinagem residencial, jardinagem comunitária, produção comercial ou cultivo institucional (FAO, 2022).

A prática do sistema agrícola urbano, possibilita o uso de diferentes técnicas que permitem alcançar diferentes objetivos sejam eles com fins comerciais ou não. As técnicas mais comuns utilizadas podem envolver desde o uso de recipientes para o cultivo de plantas sobre superfícies quaisquer, assim como, superfícies de telhados e terraços de edificações cuja técnica geralmente é conhecida como “telhados verdes”. Além destas técnicas que geralmente possuem fins estéticos ou ambientais, é possível empregar métodos que possibilitem atingir níveis comerciais de produção onde normalmente fazem uso de sistemas verticais (Despommier, 2010).

Ao se pensar em sistemas de produção vertical é necessário definir quais serão os

objetivos do projeto, afim de determinar as principais características que viabilizem alcançar melhores resultados de produção (Barry, 2023). Os modelos de sistemas utilizados variam, sendo eles os de empilhamento, que apresentam estruturas que permitem o cultivo das espécies em camadas horizontais sobrepostas; sistemas de torres e além destes, os sistemas de paredes que consiste na utilização de painéis fixos em superfícies verticais das edificações (Martin, 2021).

O projeto de um sistema vertical deve considerar aspectos importantes, como o fornecimento de um suporte adequado para a acomodações das plantas, iluminação, irrigação, nutrientes e controle do clima. Sendo a estrutura e infraestrutura um dos primeiros aspectos que devem ser pensados, logo que suas características podem limitar e influenciar questões relacionadas ao manejo e eficiência da produção (Barry, 2023).

A iluminação é uma das características mais importantes na produção e necessita de atenção no projeto, de modo que possibilite fornecer a luz com qualidade, tempo, intensidade de maneira eficiente e uniforme visto que em sistemas verticais pode haver a sobreposição das plantas (De Oliveira; Rocha; Scivittaro, 2011).

Além das características físicas faz parte do projeto pensar nas necessidades das plantas em que parte deste princípio pode ser alcançado considerando o nível de qualidade que será fornecida a água e os nutrientes necessários para o crescimento das plantas (Resh, 2022).

Levando em consideração o crescimento populacional e a busca por produtos e técnicas de cultivo que aproveitem o espaço de maneira eficiente, este trabalho objetivou desenvolver os projetos informacionais e conceituais de uma estrutura vertical que seja capaz de proporcionar um ambiente adequado para o cultivo de plantas alimentícias.

Os projetos são etapas das fases de projeção do modelo PRODIP desenvolvido pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP) da Universidade Federal de Santa Catarina.

O projeto informacional busca estabelecer as especificações de projeto que orientam o desenvolvimento técnico do produto, por meio de métodos que visam suportar, organizar e priorizar os requisitos de projeto (Fonseca, 2000).

O projeto conceitual visa encontrar soluções conceituais para os problemas propostos, por meio de processos criativos que devem ser avaliados considerando atributos técnicos e econômicos com objetivo de selecionar as alternativas mais promissoras para o projeto (Back, et al. 2008).

1 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada teve como principais referências as dissertações desenvolvidas por Porciúncula (2002) e Steffanelo (2013) e a tese de Spagnolo (2014) que

adotaram em seus trabalhos o uso dos projetos informacionais e conceituais para o desenvolvimento de produtos e a literatura escrita por Back *et al.* (2008) que apresenta com maiores detalhes, os processos que fazem parte do projeto integrado de produto.

1.1 Projeto Informacional

A fase inicial consistiu na análise do problema de projeto caracterizando-o de forma objetiva com base em informações que foram obtidas por meio de questionário aplicado aos membros do projeto extensionista “Hortas Urbanas” e discentes do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, ambos grupos envolvidos com a prática de agricultura urbana, por meio de redes sociais. Com base no problema de projeto, as necessidades dos usuários foram convertidas em requisitos de usuários de modo a facilitar a concepção do projeto por meio do uso de frases curtas, compostas por verbos do tipo “ter”, “ser” ou “estar” associados a substantivos.

Por meio dos requisitos dos usuários, estes foram convertidos em requisitos de projeto que puderam ser mensurados, apresentando atributos como: grandezas, restrições, funções, parâmetros etc.

Os requisitos de projeto foram hierarquizados por meio da técnica *Quality Function Development* (QFD) cuja técnica auxiliou na classificação dos requisitos de projeto por ordem de importância de acordo com a valoração dos requisitos de usuários obtidos através do diagrama de Mudge.

O diagrama de Mudge foi construído em formato de matriz triangular que possibilitou comparar cada elemento da diagonal com o elemento de cada coluna, onde foi decidido o requisito de usuário mais importante e seu nível de importância, onde foram atribuídos pesos 1, 3 e 5 para pouco importante (A), mediamente importante (B) e altamente importante (C) respectivamente. Desta forma, os requisitos de projeto foram classificados por meio do QFD e listados com as especificações de projeto em ordem de importância com os objetivos e suas saídas indesejadas.

1.2 Projeto Conceitual

O projeto conceitual foi utilizado para desenvolver a estrutura funcional e a concepção final para o produto, partindo de uma função global que foi desdobrada em funções parciais e estas em funções elementares por meio da representação por diagramas de blocos, que combinadas deveriam satisfazer a função global.

Com base nas funções globais, parciais e elementares estabelecidas, foi gerado diferentes estruturas funcionais que foram avaliadas através de uma matriz de decisão que confrontou os requisitos de projeto com as estruturas funcionais alternativas levando em conta os seus pesos relativos de especificação dado pelo QFD.

O desenvolvimento da estrutura concepcional do produto foi elaborado por meio de uma matriz morfológica que apresentou princípios de solução que atendessem as funções elementares da estrutura funcional selecionada. A partir dos princípios de solução selecionados, estes foram listados e organizados em uma matriz morfológica, aonde foram geradas diferentes concepções que foram avaliadas através de uma matriz de decisão que comparou os requisitos de projeto com as concepções alternativas propostas.

Com base nos resultados fornecidos pela matriz de decisão, a alternativa de concepção com o melhor desempenho técnico foi reproduzida por meio do *software* de modelagem *Computer Aided Design* (CAD) 3D.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Projeto informacional

Atualmente o mercado dispõe de diferentes estruturas para a produção doméstica de hortaliças, no entanto, muitas delas não preveem sistemas que visam automatizar ou facilitar os processos compreendidos durante a produção destes alimentos. As, disponíveis no mercado geralmente possuem um custo elevado e fora da realidade de aquisição para públicos carentes de recursos, onde a produção própria de alimentos pode representar um papel importante na redução da insegurança alimentar.

Além dos custos, é possível identificar alguns outros desafios relacionados a estas estruturas disponíveis, como a complexidade de construção ou montagem, durabilidade, acessibilidade, transporte, manutenção, entre outros fatores. Sendo assim, estes problemas destacam a necessidade de uma abordagem que leve em consideração as necessidades e preferencias dos usuários finais.

As necessidades dos usuários foram levantadas por meio de formulário eletrônico com questões relativas ao tempo de uso, custo de produção e funções necessárias para o cultivo verticalizado. O formulário (Apêndice A) foi disponibilizado em diferentes redes sociais para grupos e comunidades envolvidas com agricultura urbana e convencional, onde foi possível, através dos resultados adquiridos de um total de 55 respostas de participantes com idades entre 20 e 70 anos, obter informações relevantes sobre as preferências dos potenciais usuários da horta vertical.

A Figura 1 apresenta o resultado referente ao objetivo de uso da estrutura e a Figura 2, os resultados relativos à preferência das classes de plantas dos usuários.

Se fosse implementar uma horta vertical em sua residência, qual seria o principal objetivo?
55 respostas

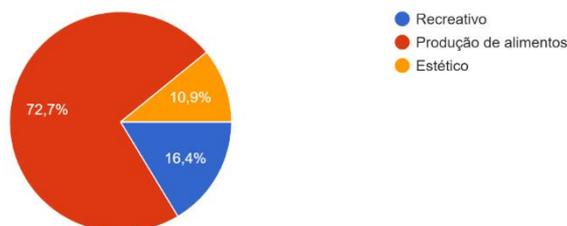


Figura 1 - Objetivo de uso da estrutura

Fonte: Elaborado pelo Autor

Qual destas plantas você considera de maior relevância para cultivar em uma horta vertical?
55 respostas

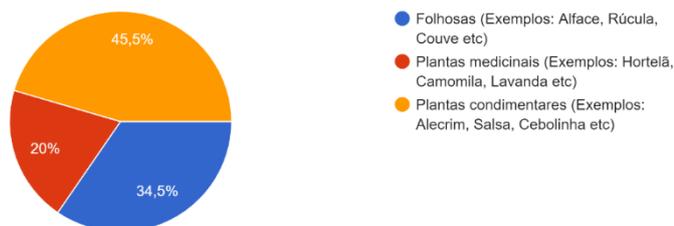


Figura 2 – Preferencia de cultivo

Fonte: Elaborado pelo Autor

É possível observar que 72,7% buscam fazer uso da estrutura de cultivo para a produção de alimentos, principalmente de plantas condimentares (45,5%) e plantas folhosas (34,5%). Estes resultados implicam a necessidade de considerar características relativas à estrutura, como as dimensões que devem ser adotadas, capacidade estrutural ou tipos de materiais que serão utilizados de modo que não interfiram sobre as condições necessárias para o cultivo destas classes de plantas.

Outra informação constatada, está relacionada ao local de implantação da estrutura (Figura 3).

Em qual dessas áreas de sua casa você optaria por colocar uma horta vertical?
55 respostas

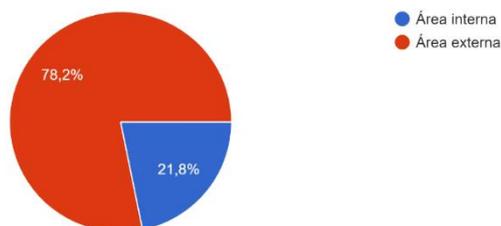


Figura 3 – Preferência da área de implantação da estrutura

Fonte: Elaborado pelo Autor

É possível observar que 78,2% dos usuários preferem utilizar a estrutura em uma área interna. Com base neste resultado, é possível dispensar o fornecimento de iluminação artificial, logo que, esta é uma característica que pode elevar os custos de construção da estrutura.

De acordo com os resultados obtidos por meio do formulário, 90,9% do total de participantes afirmam que não possuem deficiência ou problemas relacionados à mobilidade reduzida, no entanto, é importante incluir características no projeto soluções que visem facilitar o uso da estrutura para parte deste público, como a adoção de rodas que permitam o transporte da estrutura, limitar o peso da estrutura, dentre outras características que possam ser benéficas para todos os usuários.

As necessidades dos usuários levantadas, foram utilizadas para gerar os requisitos de usuários e posteriormente os requisitos de projeto e, suas unidades de medida passíveis de mensuração, onde foram separados em categorias de transporte, uso, construção e custo (Quadro 1).

Quadro 1 - Requisitos de usuário e projeto.

Categoria	Requisitos de usuários	Requisitos de projeto	Unidades
Construção	Ser uma estrutura estável	Resistir aos esforços físicos	kN
	Ser durável	Possuir materiais resistentes	Anos
	Ter sistema de irrigação	Possuir reservatório para líquidos	Litros
	Ser de fácil construção	Tempo de construção	Horas
	Possibilitar o uso de diferentes materiais	Capacidade de adaptação	%
Custo	Ser de baixo custo	Valor de aquisição	R\$
Transporte	Ser leve	Possuir baixo peso	kgf
	Ser transportável	Possuir dispositivos de	%

		transporte	
Uso	Ser de fácil uso	Possuir componentes simples	%
	Ser de rápido uso	Tempo de operação	Min

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do diagrama de Mudge, onde as células foram preenchidas com pares compostos por um número e uma letra que correspondem respectivamente ao requisito mais importante e seu grau de importância escolhido. A porcentagem de cada requisito foi obtida a partir do somatório das linhas e colunas em relação ao total de pontos.

Requisitos de usuario	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	ΣL	ΣLC	%	
Ser leve	1 1B	3B	4C	5B	6B	7C	8C	9C	10B	11C	3	3	1,734	
Ser transportável	2	2B	4B	5B	6B	7B	8B	9C	10B	11B	3	3	1,734	
Ser de fácil uso	3		4B	5B	6C	7B	3A	9B	10B	11B	1	4	2,312	
Ser de rápido uso	4			4B	6B	7B	4B	9B	4B	11A	9	20	11,56	
Ser uma estrutura estável	5				5B	5B	5C	9B	5A	5B	15	24	13,87	
Suportar o acoplamento de recipientes	6					6C	6C	9B	6C	6B	18	22	12,72	
Ser durável	7						7B	9B	7C	11B	8	22	12,72	
Ter sistema de irrigação	8							9B	8A	11C	1	9	5,202	
Ser de fácil construção	9								9C	9A	6	34	19,65	
Possibilitar o uso de diferentes materiais	10									11B	0	9	5,202	
Ser de baixo custo	11										0	23	13,29	
ΣColuna		0	3	11	9	14	14	8	28	9	23	Total	173	100

Figura 4 - Valoração dos requisitos dos usuários através do Diagrama de Mudge

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos resultados alcançados, os requisitos de usuários foram listados e enumerados de forma ordenada por categorias, sendo a categoria 1 para o menos importante e 10 para o mais importante. As categorias foram obtidas a partir da divisão do intervalo entre a maior e menor porcentagem por dez intervalos iguais. Ficou evidente, a importância por parte dos usuários, requisitos relacionados a construção da estrutura e complexidade de construção (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação dos requisitos dos clientes de acordo com as categorias

Ordem	Pontuação	%	Requisito	Categoria
1°	34	19,65	Ser de fácil construção	10
2	24	13,87	Ser uma estrutura estável	7
3	23	13,29	Ser de baixo custo	7
4	22	12,72	Suportar o acoplamento de recipientes	7
5	22	12,72	Ser durável	7
6	20	11,56	Ser de rápido uso	6
7	9	5,2	Ter sistema de irrigação	2
8	9	5,2	Possibilitar o uso de diferentes materiais	2
9	4	2,31	Ser de fácil uso	1
10	3	1,73	Ser leve	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 5 apresenta o desdobramento da função qualidade, onde é observável a relação entre os requisitos dos usuários com os requisitos de projeto. As células foram preenchidas com grau de relacionamento entre requisito de projeto e de usuário, onde foi atribuído o valor 0 quando considerado que não houve relação entre ambos os requisitos, 1 para fraco relacionamento, 3 para médio relacionamento e 5 para forte relacionamento. O resultado da importância dos requisitos foi obtido a partir da soma do produto entre a categoria de importância e o valor de relacionamento atribuído.

Requisito de usuário		Requisito de projeto		Unidade									
		kgf	%	%	min	kN	%	anos	litros	horas	%	R\$	
Ser leve		5	3	1	0	3	1	3	5		1	1	
Ser transportável		3	5	1	1	3	1	1	1	3	3	3	
Ser de fácil uso		1	1	3	5	1	3	1	1	1	1	1	
Ser de rápido uso		1	1	3	5	1	1	1	3	1	1	1	
Ser uma estrutura estável		3	5	5	1	5	3	5	3	1	3	3	
Suportar o acoplamento de recipientes		3	1	3	5	5	5	3	3	3	3	3	
Ser durável		1	1	1	0	5	1	5	3	3	5	5	
Ter sistema de irrigação		5	1	3	5	1	3	1	5	3	3	5	
Possibilitar o uso de diferentes materiais		5	3	3	0	5	3	3	1	3	5	5	
Ser de baixo custo		3	3	5	0	3	3	3	3		3	5	
Importância do requisito		105	93	133	88	151	107	131	121	71	125	143	
Classificação		8	9	3	10	1	7	4	6	11	5	2	

Figura 5 - Aplicação da matriz da casa da qualidade

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Através dos requisitos de projeto classificados por meio do QFD, estes foram listados em ordem de importância e detalhados, formando as especificações de projeto (Tabela 2). Os objetivos estabelecidos foram atribuídos com base nas respostas do questionário aplicado e perfil de usuários.

Tabela 2 – Especificações de projeto

Classificação	Requisito de projeto	Objetivo	Saída indesejável / Observações
1	Resistir aos esforços físicos	0,3 kN	Se tornar frágil
2	Valor de aquisição	Até 250R\$	Inviabilidade de aquisição por parte dos usuários
3	Possuir componentes simples	75%	Tornar inviável a construção da estrutura
4	Possuir materiais resistentes	5 anos	O uso de materiais frágeis pode gerar a necessidade da construção de novas estruturas ou aumento da frequência de manutenção.
5	Capacidade de adaptação	30%	A estrutura necessita a capacidade de ser produzida com diferentes materiais, além do padrão
6	Possuir reservatório para líquidos	10 litros	Pouca capacidade de armazenamento pode exigir maior tempo de operação
7	Possuir capacidade de fixações	70%	Menor capacidade de fixação pode tornar a estrutura pouco produtiva
8	Possuir baixo peso	< 20 kgf	Uma estrutura pesada pode dificultar o transporte e manutenção
9	Possuir dispositivos de transporte	40%	A existência de dispositivos de transporte ajuda no deslocamento e manutenção da estrutura
10	Tempo de operação	< 30min	Longo tempo de operação pode desestimular o uso da estrutura
11	Tempo de construção	6 horas	Longo tempo de construção pode desestimular o usuário

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos por meio do projeto informacional refletem a relação dos requisitos expressos pelos usuários com os requisitos atribuídos para o projeto, sendo possível observar o nível de importância obtida para cada um deles por meio das classificações geradas, onde servem como parâmetros para o projeto conceitual.

2.2 Projeto conceitual

A elaboração da estrutura funcional do sistema de cultivo vertical de plantas exigiu a determinação de sua função global. A partir da análise do problema e da definição dos estados iniciais e finais em termos de material, energia e sinal, foi possível identificar a função global como: proporcionar um ambiente ideal para o crescimento de plantas em uma estrutura vertical. De acordo com a Figura 6, é possível verificar as principais entradas e saídas do sistema em termos de material, energia e sinal.

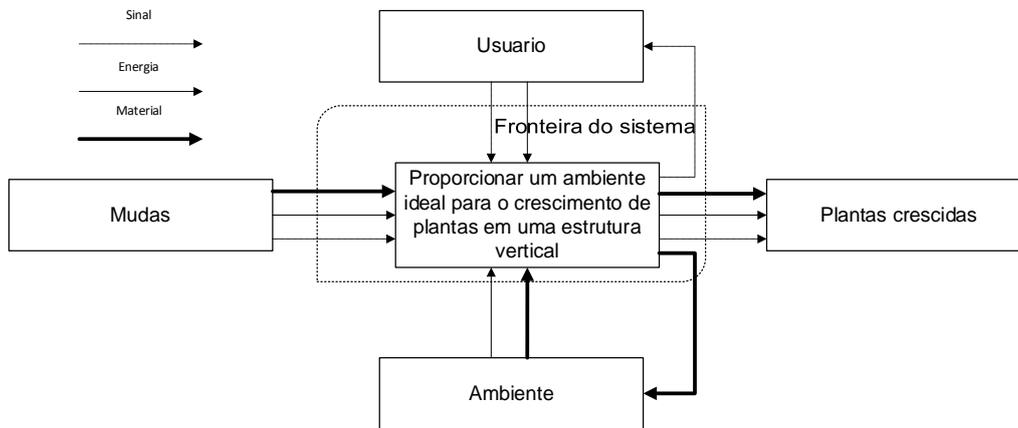


Figura 6 - Esquema da função global do sistema

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base na função global, foram geradas funções parciais (F.P) e funções elementares (F.E) para simplificar a busca por soluções específicas para cada uma delas. As funções parciais e elementares foram determinadas com base nas necessidades do cliente, nos requisitos de projeto e nos atributos do produto. Para encontrar a estrutura funcional mais adequada para o dispositivo, foram criadas três alternativas, cada uma delas projetada para cumprir a função global.

A Figura 7 apresenta a primeira alternativa de estrutura funcional do sistema, aonde a função global foi decomposta em quatro funções parciais, apresentando como principal diferença a existência da F.P 1 – Acoplar em superfícies verticais, sendo uma função que prevê a utilização da estrutura fixada em paredes.

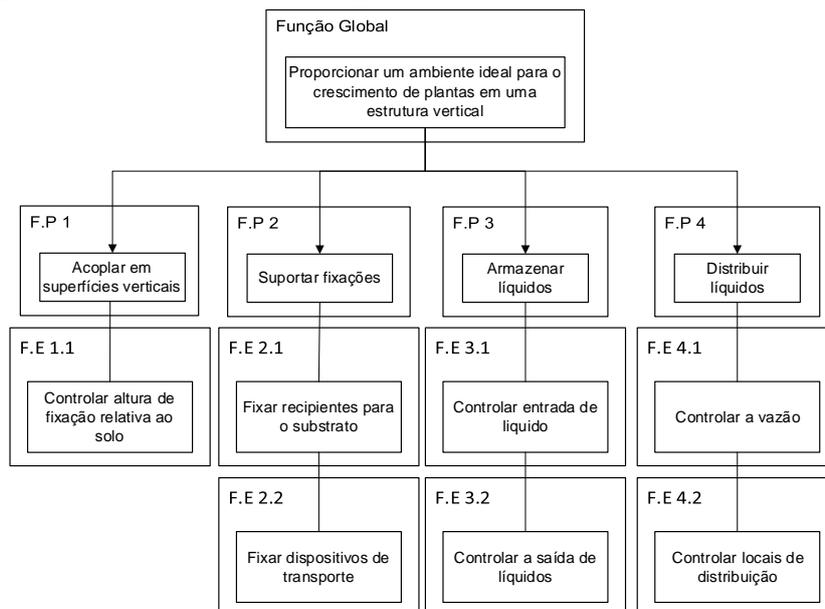


Figura 7 - Primeira alternativa de estrutura funcional

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na segunda estrutura funcional foi substituído a F.P 1 – Acoplar-se a superfícies verticais pela função F.P 1 - Ancorar no solo, prevendo o uso da estrutura ancorada no chão (Figura 8).

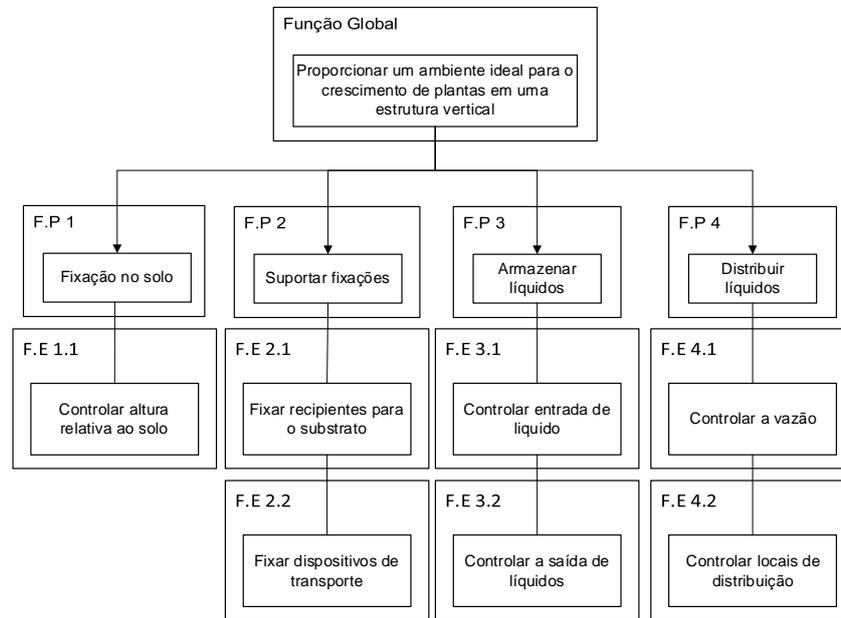


Figura 8 - Segunda alternativa de estrutura funcional

Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira alternativa de estrutura funcional foi desenvolvida com base na segunda estrutura, mas excluindo as funções: F.E 1.1 – Controlar a altura de fixação relativa ao solo, F.E 2.2 - Fixar dispositivos de transporte, F.E 3.1 – Controlar a entrada de líquidos e a F.E 4.1 – Controlar a vazão, com objetivo de reduzir possíveis componentes da estrutura a fim de reduzir custos (Figura 9).

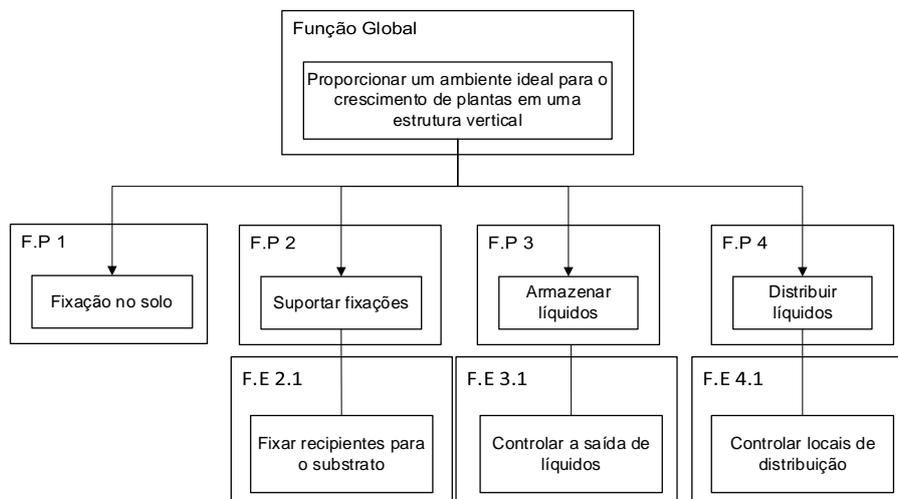


Figura 9 - Segunda alternativa de estrutura funcional

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para selecionar a estrutura funcional que melhor se adapte aos requisitos do projeto e demandas dos clientes, ou seja, aquela que ofereça a melhor viabilidade técnica, foi empregada uma matriz de decisão (Tabela 3). Por meio desta abordagem, os requisitos de projeto foram confrontados com as estruturas funcionais alternativas propostas, onde foram atribuídos os valores de desempenho 1 (Muito fraco), 3,5 (Fraco), 5 (Satisfatório), 7,5 (Bom) e 10 (Muito bom).

Tabela 3 - Matriz de decisão aplicada as estruturas funcionais

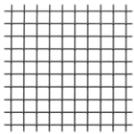
Requisitos de projeto	PR (%)	Estruturas funcionais		
		1°	2°	3°
Resistir aos esforços físicos	11,91	5	5	5
Valor de aquisição	11,28	5	5	7,5
Possuir componentes simples	10,49	5	5	5
Possuir materiais resistentes	10,33	5	7,5	5
Capacidade de adaptação	9,86	5	7,5	5
Possuir reservatório para líquidos	9,54	3,5	5	3,5
Possuir capacidade de fixações	8,44	3,5	7,5	3,5
Possuir baixo peso	8,28	5	3,5	7,5
Possuir dispositivos de transporte	7,33	1	10	5
Tempo de operação	6,94	5	7,5	5
Tempo de construção	5,60	5	3,5	5
Índice de desempenho técnico	100,00	887,62	897,36	959,94

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na primeira coluna foi inserido os requisitos de projeto listados de acordo com o resultado obtido pela casa de qualidade, a segunda coluna foi inserida o peso relativo (PR), sendo este obtido por meio do valor percentual de cada requisito de projeto em relação ao somatório de pontos de todos os requisitos de projeto fornecidos pela casa de qualidade.

De acordo com os resultados da matriz de decisão, a estrutura funcional número três apresentou o melhor desempenho técnico, portanto, foi adotada para o desenvolvimento do projeto. Para atender as funções elementares que compõem a estrutura funcional, foram escolhidos alguns princípios de solução disponíveis no mercado, sendo atribuídos quatro diferentes princípios de solução para cada função (Tabela 4).

Tabela 4 - Matriz morfológica com os princípios de solução

Funções Elementares	Princípios de solução			
	1	2	3	4
Controlar altura relativa ao solo	 Fixadores metálicos	 Trilhos	 Roldana	 Abraçadeiras
Fixar recipientes para o substrato	 Bandejas	 Prateleiras	 Cordoes	 Tela
Fixar dispositivos de transporte	 Fixadores metálicos	 Eixo e rolamento	 Colagem	 Abraçadeira
Controlar a entrada de líquido	 Sensor de nível	 Temporizador	 Registros	 Boias
Controlar a saída de líquidos				
Controlar a vazão	 Registros	 Orifícios de restrição	 Restrições	 Fitas de vedação
Controlar locais de distribuição	 Mangueiras	 Conexões	 Recipientes	 Tubos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos princípios estabelecidos foi desenvolvido três concepções alternativas que incluem o uso destes dispositivos mostrados na tabela 4. A primeira concepção consiste no uso de tubos de PVC como estrutura de suporte, estabelece o uso de fixadores metálicos (para controlar a altura relativa ao solo de modo que possa restringir o movimento vertical da estrutura); uso de tela (como meio de fixação para os recipientes), uso de fixadores metálicos (para fixar o dispositivo de transporte); utilização de válvulas (para controlar a

entrada, saída e vazão dos líquidos); utilização de mangueiras (para a distribuição dos líquidos) (Figura 10).

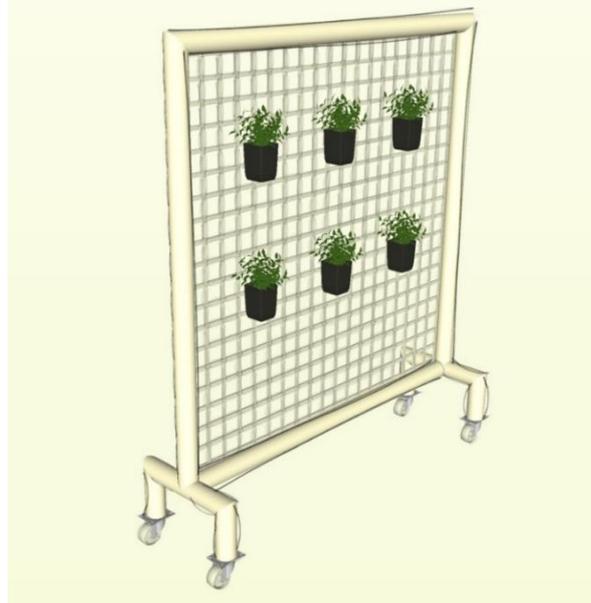


Figura 10 - Croqui da concepção alternativa 1

Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda concepção adota o uso de trilhos para o controle da altura relativa, fixadores metálicos para os dispositivos de transporte, uso de prateleiras como meio de fixação para os recipientes, uso de válvulas para o controle de entrada, saída e vazão dos líquidos, uso de tubos para a distribuição de líquidos e uso de madeira de madeira como estrutura de suporte (Figura 11).



Figura 11 - Croqui da concepção alternativa 2

Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira concepção alternativa consiste no uso de roldanas para controle de altura, cordões para a fixação dos recipientes, eixo e rolamento para a fixação dos dispositivos de transporte, uso de válvulas para controle de líquidos, uso de recipientes para distribuição e utilização de estrutura metálica como suporte principal (Figura 12).



Figura 12 - Croqui da concepção alternativa 3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para determinar a concepção mais adequada para atender aos requisitos de projeto e às necessidades dos usuários, foi utilizado novamente a matriz de decisão. Neste caso, comparou-se os requisitos de projeto com as diferentes concepções alternativas propostas (Tabela 5).

Tabela 5 – Matriz de decisão aplicada as concepções alternativas

Requisitos de projeto	Pr (%)	Concepções alternativas		
		1°	2°	3°
Resistir aos esforços físicos	11,91	5	10	3,5
Valor de aquisição	11,28	7,5	3,5	5
Possuir componentes simples	10,49	7,5	5	5
Possuir materiais resistentes	10,33	3,5	5	3,5
Capacidade de adaptação	9,86	3,5	5	3,5
Possuir reservatório para líquidos	9,54	10	5	5
Possuir capacidade de fixações	8,44	5	5	3,5
Possuir baixo peso	8,28	10	3,5	10
Possuir dispositivos de transporte	7,33	7,5	7,5	7,5
Tempo de operação	6,94	7,5	7,5	7,5
Tempo de construção	5,60	7,5	5	5
Índice de desempenho técnico	100,00	646,61	480,52	507,69

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme os resultados gerados pela matriz de decisão, com base no índice de desempenho técnico, a concepção número um foi adotada como principal, sendo esta utilizada para o desenvolvimento da concepção final do produto.

2.3 Concepção final

A Figura 13 apresenta a concepção final desenvolvida, cuja as dimensões, foram adotadas com a intenção de permitir a construção, uso e manejo da estrutura sem a necessidade de equipamentos de elevação, além de permitir a passagem da estrutura por entre aberturas residenciais.

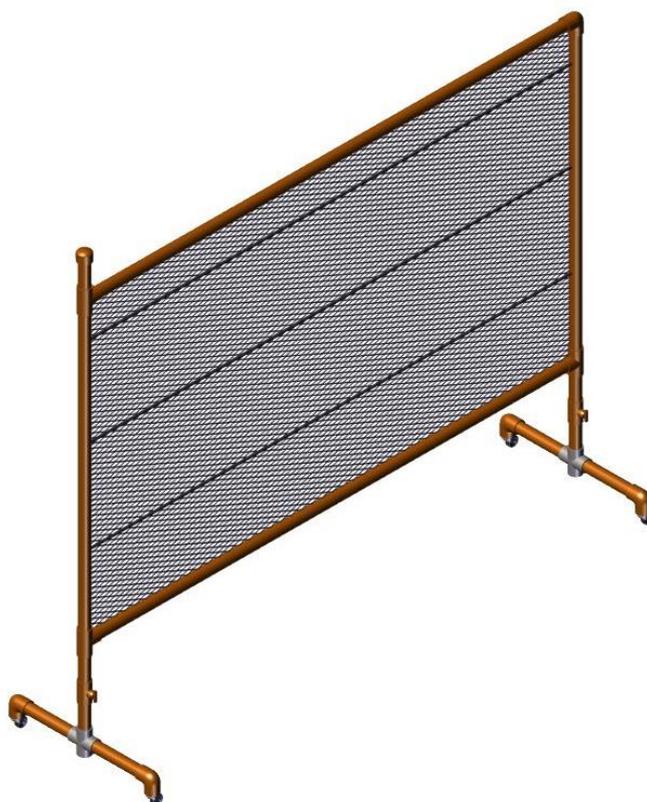


Figura 13 – Vista isométrica da concepção final da estrutura

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os componentes da estrutura apresentados na Figura 14 e descritos na Tabela 6, foram estabelecidos com objetivo de facilitar a construção da estrutura, visto que, são comercialmente populares e apresentam baixo nível de complexidade para montagem.

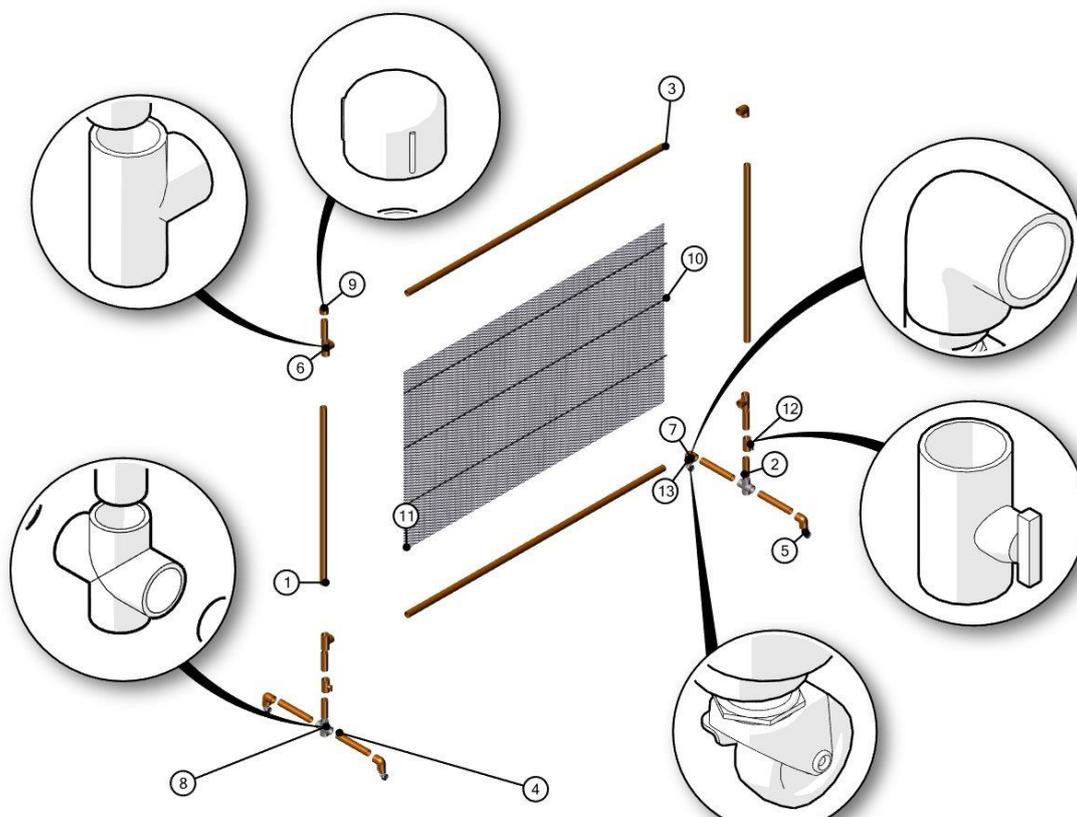


Figura 14 – Detalhamento dos componentes da estrutura

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Descrição e estimativa de custo dos componentes da estrutura

Identificação	Descrição	Materiais	Observações
1	Tubo cilíndrico	PVC	Os tubos ficarão preenchidos com água
2			
3			
4		PVC e Argamassa	Os tubos devem ser preenchidos com argamassa cimentícia
5	Roda	Metal e Borracha	As rodas devem conter pinos para fixação na parte superior e possuir travas de movimentação
6	Tê soldável	PVC	-
7	Joelho 90° soldável		
8	Cruzeta soldável	Metal	Componente que permite a remoção da água
9	Tampa soldável	PVC	Este componente deve possuir uma abertura

			para passagem da mangueira para o abastecimento de água
10	Micro tubo	PVC	-
11	Chapa expandida	Aço galvanizado	A chapa pode ser substituída por telas plásticas
12	Registro de esfera	PVC	Componente que permite o armazenamento de água da estrutura
13	Preenchimento cimentício	Argamassa cimentícia	O preenchimento deve estar presente nos componentes 4 e 7

Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo de fixação da tela foi previsto através do uso de abraçadeiras que devem ser fixadas nos tubos, de modo que a tela permita o encaixe direto de recipientes com diferentes materiais e formatos. Além disso, a conexão dos tubos deve ser realizada com uso de cola poli cloreto de vinila (PVC), com o objetivo de facilitar a construção, logo que, a dificuldade de construção da estrutura foi um dos principais motivos expressos pelos usuários para não possuírem um sistema de produção vertical de alimentos.

A estrutura adota como componentes estruturais e funcionais canos de PVC, sendo estes utilizados também para o armazenamento de água para o sistema de irrigação, onde a água poderá ser fornecida na extremidade superior do tubo e distribuída para os vasos por meio do uso de micro tubos flexíveis de PVC que percorrem a estrutura horizontalmente e estarão conectados diretamente nos tubos laterais do sistema. Além disso, a água contida dentro dos tubos poderá ser removida através da abertura de registros, facilitando o eventual transporte do sistema.

A junção dos componentes da estrutura previu o uso de conexões plásticas, exceto na ligação dos tubos verticais com os tubos horizontais da extremidade inferior da estrutura sendo adotado conexões metálicas com o objetivo de fornecer maior resistência aos momentos fletores. Além disso, os tubos inferiores devem ser preenchidos com argamassa cimentícia para gerar maior estabilidade e possibilitar a fixação das rodas de transporte (Figura 15).

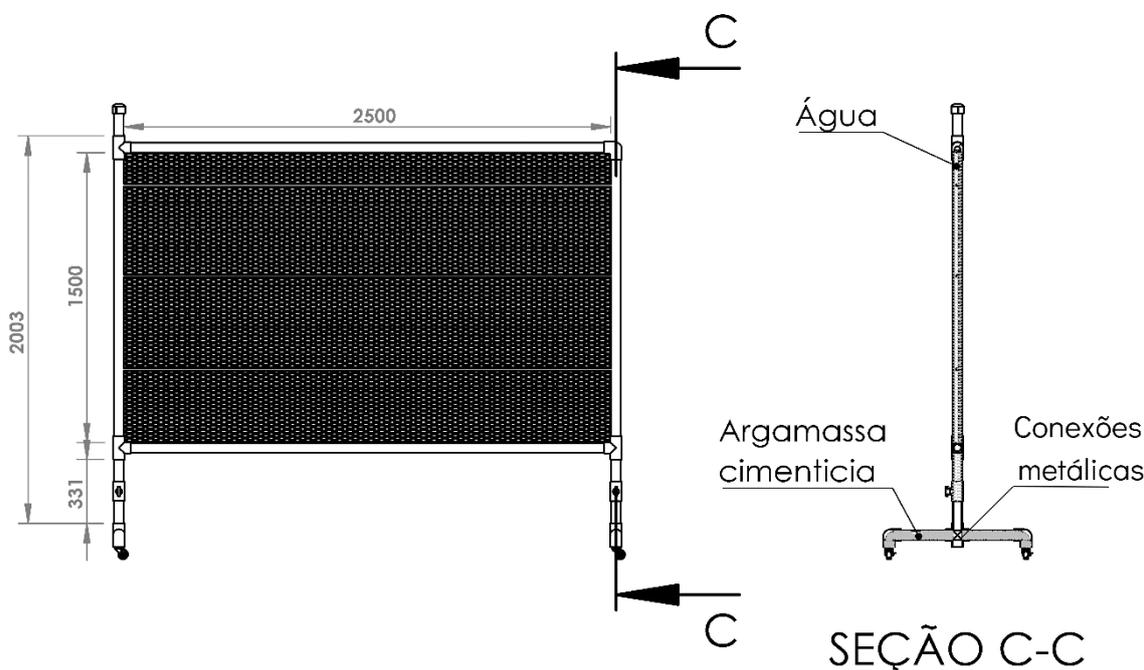


Figura 15 – Vista frontal e seccionada da estrutura com dimensões em milímetros

Fonte: Elaborado pelo autor.

O custo de reprodução da estrutura pode variar de acordo com a região, marcas, características e condições de aquisição dos materiais, a Tabela 7 apresenta os valores dos materiais com melhor custo-benefício, obtidos por meio dos preços praticados pelas principais lojas virtuais do mercado brasileiro durante o segundo semestre do ano de 2024.

Tabela 7 - Estimativa de custos dos materiais

Material	Quantidade necessária	Preço aproximado
Tubo cilíndrico	10 m	R\$ 120,00
Roda	4 und.	R\$ 49,00
Tê soldável	3 und.	R\$ 18,00
Joelho 90° soldável	5 und.	R\$ 15,00
Cruzeta soldável	2 und.	R\$ 83,00
Tampa soldável	1 und.	R\$ 7,00
Micro tubo	8 m	R\$ 12,00
Chapa expandida	4 m ²	R\$ 71,00
Registro de esfera	1 und.	R\$ 40,00
Materiais complementares	-	R\$ 50,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Foi adotado para estimativa de custos, materiais que buscam reproduzir uma estrutura vertical prevendo o uso de tubos cilíndricos de PVC para água fria com 50mm de diâmetro representando o maior custo único (R\$ 120) associado a estrutura. As conexões (Tê, Joelho, Cruzeta, Tampa e Registro) e materiais complementares como cola e

abraçadeiras utilizados para a junção dos componentes representam um total de R\$ 213.

Para a fixação dos recipientes (Chapa expandida), foi adotado uma chapa de 1x5 metros pelo preço R\$ 71, no entanto, este material pode ser encontrado com diferentes características, variando consideravelmente o preço, assim como as rodas adotadas (R\$ 49)

O custo total de R\$ 465 da estrutura, excede o valor proposto (R\$ 250) pelos usuários, em contrapartida, é possível considerar um valor razoável comparado as estruturas que oferecem os recursos semelhantes disponíveis no mercado atual.

3 CONCLUSÕES

O presente trabalho aplicou parte das fases de projeção que compõem o modelo de desenvolvimento de produtos onde foi possível obter o conceito de uma estrutura vertical para a produção de alimentos, que visa atender desafios relacionados a sociedade e agricultura urbana, como a limitação de espaço e recursos financeiros.

Ao longo do trabalho, por meio da metodologia que levou em consideração as necessidades dos usuários levantadas através de questionário eletrônico, foi possível obter os dados para a geração dos requisitos de projeto, que foram hierarquizados, possibilitando observar a relevância de questões relacionadas a construção para a maior parte dos usuários.

Com base nos requisitos de projeto hierarquizados foi possível selecionar através de uma matriz de decisão, de acordo com um índice de desempenho técnico, uma estrutura funcional que cumprisse os objetivos estabelecidos. Baseado na estrutura funcional obtida, foi possível estabelecer princípios de solução, que integrados, formaram três diferentes concepções, onde foi desenvolvido o modelo tridimensional da estrutura que melhor atendeu os objetivos propostos.

Os resultados obtidos por meio da metodologia permitiram desenvolver um projeto que: fornece condições necessárias para o desenvolvimento de vegetais de maneira viável, otimiza espaços e contribui com a segurança alimentar.

O projeto apresentado neste trabalho demonstrou por meio da aplicação da metodologia, a obtenção de uma concepção de estrutura vertical de baixo custo que fornece as informações necessárias para viabilizar a construção da estrutura a fim de popularizar a agricultura vertical e urbana.

REFERÊNCIAS

BACK, N; OGLIARI, A; DIAS, A.; SILVA, J.C. da. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, concepção e modelagem.** Barueri: Manole, 2008. 601p.

BARRY, D.G. **Vertical Farming: How to Grow Food in the City - A Guide to Sustainable Urban Agriculture.** [S. l.: s. n.], 2023. 110 p. *E-book*.

DE OLIVEIRA, G.M; (org.). **Hortas Urbanas quando a sustentabilidade encontra a cidade.** Pelotas: UFPEL, 2021. 224 p. p. 14-40. Disponível em: <<https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/8034>>. Acesso em: 13 set. 2023.

DESPOMMIER, D. **The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century.** Nova York: Picador, 2011. 336 p.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Urban and peri-urban agriculture sourcebook: From production to food systems.** Roma: FAO, 2022. 156 p. Disponível em: <<https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB9722EN>>. Acesso em: 14 set. 2023.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional.** 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

GOVERNO FEDERAL DO BRASIL. **Censo 2022 indica que o Brasil totaliza 203 milhões de habitantes.** Gov.br, 2023. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2023/06/censo-2022-indica-que-o-brasil-totaliza-203-milhoes-de-habitantes> >. Acesso em: 3 de março de 2024.

MARTIN, F. J. **Guide to Urban Farming: Urban agriculture is often confused with community gardening, homesteading or subsistence farming.** 2021.

OLIVEIRA, R. P. de; ROCHA, P. S. G; SCIVITTARO, W. B. **Estruturação de sistema de LEDs em laboratório de cultura de tecidos.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 6 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 121). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/927510/estruturacao-de-sistema-de-leds-em-laboratorio-de-cultura-de-tecidos>>. Acesso em: 14 set. 2023.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Population Estimates and Projections Section, Volume I: Comprehensive Tables ST/ESA/SER.A/336,** 2012.

PORCIÚNCULA, G.S. **Estudo da viabilidade de um método de restauração de dutos utilizando materiais compostos**. 2002. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/83393>. Acesso em: 15 set. 2023.

RESH, H. M. **Hydroponic food production**: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. Boca Raton: Crc Press/Taylor & Francis Group, Cop, 2013. p. 13–27

STEFANELLO, G. **Human-powered planter**: Informational and conceptual design. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura familiar) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013. Disponível em: <<https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/123456789/2375>>. Acesso em: 15 set. 2023.

SPAGNOLO, R.T. **Máquina para o controle de plantas espontâneas pela aplicação de calor**. 2014. 172f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014. Disponível em: <<http://guaiaca.ufpel.edu.br/xmlui/handle/prefix/9799>>. Acesso em: 14 set. 2023.

VIEIRA, M.G.M (org.). **Agricultura Urbana**. Rio Grande: FURG, 2023. 197 p. v. 1. Disponível em: <<https://repositorio.furg.br/bitstream/handle/123456789/11144/AgriculturaUrbana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 set. 2023.

APÊNDICE A – Questionário aplicado aos grupos

Pesquisa sobre Hortas Verticais

Olá, este é um breve questionário relacionado a hortas verticais, onde será utilizado no trabalho de conclusão de curso intitulado "*Estrutura vertical de baixo custo para o cultivo de espécies vegetais em espaços urbanos*", produzido para curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas.

Conceito de hortas verticais e seu uso: Horta vertical é uma estrutura para o cultivo que visa produzir ocupando menor área fazendo uso de sistemas que permitam o crescimento das plantas umas sobre as outras.

Objetivo da pesquisa: Obter informações para o desenvolvimento de uma estrutura vertical para o cultivo de vegetais.

Confidencialidade: Os resultados deste estudo poderão ser publicados, sendo as informações obtidas apenas para fins científicos.

Você apresenta algum tipo de deficiência ou mobilidade reduzida? *

- Sim
- Não

Se fosse implementar uma horta vertical em sua residência, qual seria o principal objetivo? *

- Recreativo
- Produção de alimentos
- Estético

Qual destas plantas você considera de maior relevância para cultivar em uma horta vertical? *

- Folhosas (Exemplos: Alface, Rúcula, Couve etc)
- Plantas medicinais (Exemplos: Hortelã, Camomila, Lavanda etc)
- Plantas condimentares (Exemplos: Alecrim, Salsa, Cebolinha etc)

Em qual dessas áreas de sua casa você optaria por colocar uma horta vertical? *

- Área interna
- Área externa

Qual a disponibilidade de tempo diário você estaria disposto a empregar no cuidado de sua horta? *

- Até 15 min
- 30 min
- 60 min
- 1 hora ou mais

Qual destes processos você considera mais difícil ou que te desmotiva a não possuir uma horta vertical em sua casa? *

- Construção da horta
- Manutenção da horta (Poda, aplicação de produtos etc.)
- Plantar
- Irrigar

Quão necessário você considera uma horta possuir irrigação automatizada ou semi-automatizada? *

	1	2	3	4	5	
Pouco necessário	<input type="radio"/>	Muito necessário				

O quanto você considera importante o uso de materiais reutilizados na construção de uma horta vertical? *

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Quanto de capital você considera razoável para a construção de uma horta vertical? *

- 0 a 100 R\$
- 100 a 250 R\$
- 250 a 500 R\$
- 500 a 1000 R\$
- 1000 R\$ ou mais