Universidade Estadual De Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola

Rodrigo Ratti Brolo

Maquinário misturador de substrato para o cultivo de Microverdes

Campinas
2022

Universidade Estadual De Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola

Rodrigo Ratti Brolo

Maquinário misturador de substrato para o cultivo de Microverdes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Orientador: Daniel Albiero

Campinas
2022

Maquinário misturador de substrato para o cultivo de Microverdes

Rodrigo Ratti Brolo

BANCA EXAMINADORA

.....

Orientador: Prof. Dr. Daniel Albiero

Universidade Estadual de Campinas

.....

Prof. Dr. Angel Pontin Garcia

Universidade Estadual de Campinas

.....

Profa. Dra. Thais Queiroz Zorzeto Cesar

Universidade Estadual de Campinas

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rogério e Ana Brolo e familiares por todo suporte, carinho e motivação para alcançar meus sonhos.

Ao meu irmão, Bruno Brolo por ser meu maior exemplo de profissional e empreendedor.

Ao Prof. Dr. Daniel Albiero pela oportunidade, orientação e motivação durante a elaboração deste documento.

A Maria Luiza de Toledo Scarponi por todo companheirismo e parceria ao longo da minha trajetória acadêmica.

A Abaré Microverdes por disponibilizar sua estrutura para realizar este estudo.

A Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas e aos seus funcionários que possibilitaram toda infraestrutura e ferramentas necessárias para o desenvolvimento interpessoal.

RESUMO

Diante de cenários de mudanças climáticas, associadas com a crescente populacional, novas tecnologias e técnicas de cultivo estão sendo desenvolvidas visando o aumento da produtividade em menores espaços de produção. Assim o cultivo de microverdes ganha importância no âmbito mundial devido ao seu valor nutricional e suas reduções de uso de recursos naturais em seu cultivo. Porém, o cultivo dessas hortaliças ainda é predominantemente manual e lento. Tendo em vista acelerar e facilitar este processo, o objetivo do presente estudo foi desenvolver um maquinário misturador de substratos para o cultivo de microverdes. No entanto, elaborou-se o desenho técnico do protótipo e suas peças, para o desenvolvimento e aquisição dos materiais até a junção das partes para a confecção do produto final. A partir da confecção e instalação de todas as peças, foi testada a funcionalidade do maquinário e elaboradas regras e boas práticas de utilização buscando homogeneidade da mistura e aumento da vida útil do produto. A utilização do maquinário agilizou e facilitou o processo de mistura dos produtos, conforme demonstrado na experimentação do tempo do procedimento, resultando na diminuição do tempo necessário para realizar a operação.

Palavras chaves: Cultivo de microverdes; Máquina agrícola; Mistura de substrato.

ABSTRACT

Due to climate change scenarios associated with the increasing population, new technologies and management techniques have been developed in order to increase productivity in smaller spaces. Thus, the cultivation of microgreens becomes more important worldwide due to its nutritional value and its reduction in the use of natural resources in its management. However, the management of the microgreens is still predominantly manual and slow. In order to accelerate and facilitate this process, the aim of the present study was to develop a substrate mixing machine for the management of microgreens. However, the technical design of the prototype and its parts was elaborated, for the development and acquisition of materials until the assembly of the parts for the manufacture of the final product. From the manufacture and installation of all parts, the functionality of the machinery was tested and rules and good practices of use were elaborated, seeking homogeneity of the mixture and increasing the useful life of the product. The use of machinery streamlined and facilitated the product mixing process, as demonstrated in the procedure time trial, resulting in a decrease in the time required to perform the operation.

Keywords: Cultivation of microgreens; Agricultural machine; Substrate mixture.

SUMÁRIO

1. Introdução 7

2. Revisão Bibliográfica 8

2.1 Microverdes 8

2.2 Cultivo 9

2.3 Misturadores 11

3. Metodologia 17

3.1 Análise de viabilidade do projeto 17

3.2 Cálculo de dimensionamento dos materiais 18

3.3 Aquisição dos materiais 22

3.4 Tempo de execução do processo 30

3.5 Capacidade de retenção de água 30

4. Resultados e Discussão 32

4.1 Confecção do protótipo 32

4.2 Funcionamento do maquinário 36

4.3 Experimentação 37

5. Conclusão 38

6. Referências Bibliográficas 39

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos, ocasionada pelo aumento populacional, somada a fatores como mudanças climáticas, econômicas e políticas faz com que novas abordagens sejam adotadas para o aumento da produtividade e da eficiência da produção agrícola sem a necessidade da conversão de novas áreas para a agricultura (DUARTE *et al*., 2018).

Os Microverdes são hortaliças jovens, ricas em nutrientes, apresentando maiores valores nutricionais em comparação com hortaliças convencionais podendo ser colhidos entre 7 a 21 dias após sua semeadura e diferem dos brotos por sua textura, coloração e tamanho, com suas folhas cotiledonares totalmente expandidas (Treadwell *et al*., 2020).

Há a possibilidade de serem produzidos de forma convencional, utilizando-se da luz solar ou em ambientes internos controlados, através do auxílio de lâmpadas de LED apropriadas.

Podem ser utilizados de diferentes maneiras na culinária, desde o seu consumo in natura, bem como na decoração de pratos finos na alta gastronomia. Seu consumo auxilia pessoas com dificuldades em implementar hortaliças em suas dietas por necessitarem de pequenas quantidades para suprir nutrientes diários.

O cultivo de Microverdes, principalmente em ambiente *indoor*, têm como principais vantagens a alta produtividade por metro quadrado, necessitando de menores consumos de água para a produção, além de poderem ser produzidos em grandes centros urbanos, reduzindo custos de transporte, armazenamento e consequentemente, perdas do produto nessas etapas.

Por se tratar de uma técnica de cultivo recente, se comparada com o cultivo convencional, a realização das etapas de semeadura e colheita ainda são muito manuais, necessitando de mais tempo para a realização desses processos e dificultando a escalabilidade da produção. Diante desta problemática, o estudo atual visou a elaboração de um protótipo de maquinário para misturar o substrato e umedecê-lo, tornando viável a semeadura das sementes nas bandejas, reduzindo o tempo de cultivo e facilitando o trabalho da pessoa que irá exercê-la.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MICROVERDES

A crescente demanda global por alimentos, ocasionada pelo aumento populacional, somada a fatores como mudanças climáticas, econômicas e políticas faz com que novas abordagens sejam adotadas para o aumento da produtividade e da eficiência da produção agrícola sem a necessidade da conversão de novas áreas para a agricultura (DUARTE *et al*., 2018).

Buscando o desenvolvimento de novas tecnologias de cultivo e produtos que agreguem valor nutricional para a saúde humana, os microverdes ganham notoriedade, sendo classificados como superalimentos por oferecerem maiores quantidades de micro nutrientes e compostos fito-químicos (ZANZINI, 2020).

Os microverdes são plântulas jovens e imaturas, que são germinadas através de sementes de vegetais, ervas ou grãos, podendo ser colhidos entre o sétimo ao vigésimo primeiro dia após sua germinação. Possuem tamanho reduzido, se comparados com hortaliças convencionais e apresentam folhas cotiledonares totalmente expandidas. Seu sabor é marcante e intenso, além de seu aroma e textura característico, agregando valor visual e nutricional aos pratos (SANTOS; COSTA; LIMA, 2020).

Os microverdes são colhidos com cerca de 8 centímetros, quando já apresentam cotilédones desenvolvidos. Mesmo apresentando tamanhos reduzidos em comparação com hortaliças convencionais, estudos indicam sua contribuição em alcançar valores nutricionais diários recomendados por órgãos mundiais de saúde, atuando como agente profilático a diversas doenças crônicas (DODE, 2021).

Segundo Xiao *et al*. (2012), o consumo de 41 gramas de microverdes de repolho roxo, ou 15 gramas de microverdes de rabanete, são responsáveis por atingirem níveis de nutrientes condizentes com os valores necessários de ingestão de vitaminas C e E, respectivamente. Xiao *et al*. (2012) citam também que os dados obtidos neste estudo podem ajudar no desenvolvimento de um banco de dados a serem utilizados como valores nutricionais para estes alimentos, visto que ainda são inexistentes ou incompletos.

2.2 CULTIVO

Para Zanzini (2020) é possível cultivar diversas variedades de microverdes, com diferentes aspectos de textura, coloração e pigmentos. Os mais tradicionais são pertencentes a família *Brassicaceae* (como repolho, couve, rabanete e rúcula), *Asteraceae* (alface e escarola), *Apiaceae* (cenoura e aipo), *Amaranthaceae* (beterraba e espinafre) e *Cucurbitaceae* (melão e pepino).

São considerados hortaliças de rápido crescimento e cultivo menos trabalhoso, podendo ser produzido em ambientes externos ou internos, sendo urbanos ou domésticos, necessitando de menos área de produção por conta da sua expansão verticalizada com o uso de iluminação artificial (ZANZINI, 2020).

Sua produção se dá em diferentes meios, os mais comuns são em substratos onde as raízes conseguem se fixar para dar início ao seu crescimento. Podem ser cultivados em ambientes com controle de temperatura e umidade ou em estufas ao ar livre, com iluminação natural ou artificial, abrangendo diversos sistemas de plantio (DI GIOIA e SANTAMARIA, 2015).

A produção em ambientes controlados e em perímetros urbanos vem se desenvolvendo, principalmente em grandes cidades, onde o desafio de desenvolver agricultura em pequenos espaços para alimentar grandes populações é algo desafiador e inovador, repleto de técnicas de cultivos e tecnologias. Essa é uma cultura denominada de urban farm (PURQUERIO *et al*., 2018).

Tais produtores têm como objetivo a verticalização da produção, criando fazendas verticais (RAJAN *et al*., 2019). Sendo essa a maior caracterização desse tipo de cultivo, em estantes, com lâmpadas artificiais e todo um controle de microclima.

A semeadura de microverdes se dá ao depositar as sementes em um meio, geralmente o substrato, variando conforme o cultivar, densidade populacional, peso médio e proporção de germinação, podendo variar o número de sementes por cm^2 (KYRIACOU, *et al*., 2016). Caso não sejam respeitadas as densidades de semeadura, o aparecimento de fungos pode interferir na germinação.

Após a semeadura, é recomendado irrigar o substrato, deixando-o úmido e colocá-lo em um ambiente com baixa ou sem iluminação até que as sementes germinem. É indicado colocar um objeto como peso em cima das sementes para que o processo de germinação seja homogêneo, e assim as plântulas consigam se desenvolver em conjunto sem que haja competição entre elas. Após este período, o

peso pode ser retirado e direcionado ao ambiente com iluminação e com rega diária até que a plântula desenvolva seu primeiro par de folhas e atinjam tamanhos determinados para sua colheita (TURNER *et al.*, 2020).

Devido a sua fragilidade, essas hortaliças requerem cuidado especial no período da colheita, podendo ser utilizado instrumentos manuais ou mecânicos, realizando o corte rente à superfície em que está fixado (KYRIACOU, *et al*., 2016).

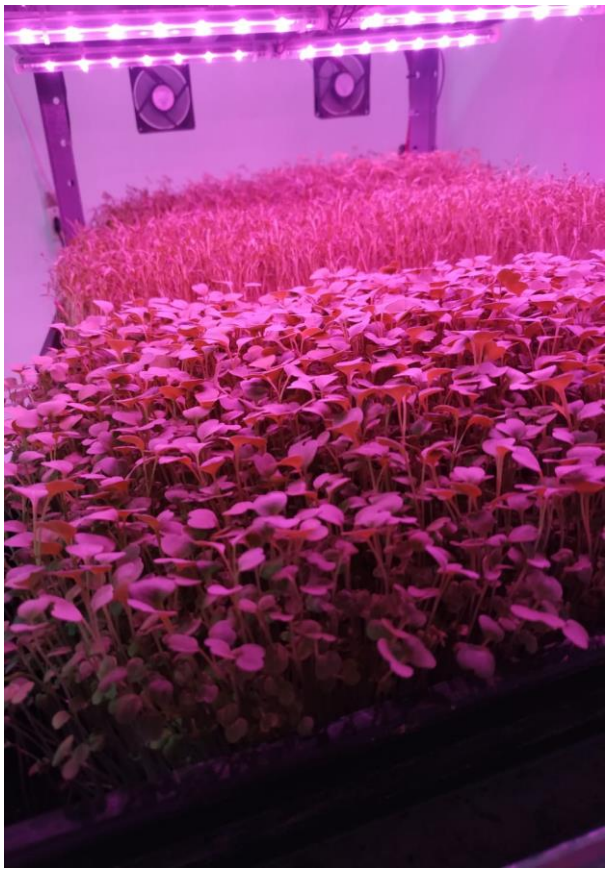
Visando a escalabilidade do meio de produção, seguindo os modelos de fazendas verticais em ambientes controlados, a aplicação de luzes emissoras de diodos - LEDs são as mais indicadas no processo de crescimento da hortaliça, contribuindo de forma positiva com o sabor, pigmentação e concentração de compostos bioativos, pela influência da capacidade fotossintética dos vegetais (LOBIUC, *et al*., 2017).

Segundo Samuolienè et al. (2019), ao estudar o comportamento do crescimento e desenvolvimento foliar dos microverdes sob efeito da iluminação de LED, com a combinação dos espectros de luz azul e vermelha, verificou-se o aumento dos conteúdos metabólicos dessas hortaliças, tendo maiores valores de β-caroteno, ácido ascórbico e minerais.

O controle de temperatura e umidade é de suma importância para a produção de microverdes, visto que elevadas temperaturas, aliadas com um ambiente úmido favorecem o aparecimento e desenvolvimento de fungos e bactérias maléficas e que prejudicam a produção.

A figura 1 a seguir ilustra um exemplo prático de produção de microverdes em ambiente controlado, utilizando-se iluminação artificial com LED, nos espectros de coloração azul e vermelho, contribuindo para melhor qualidade nutricional do produto.

Figura 1. Produção de microverdes em ambiente controlado utilizando iluminação artificial com lâmpadas de LED.



Fonte: Abaré Microverdes, 2022

O processo de senescência após a colheita dos microverdes é bastante acentuado, ocasionado pela injúria mecânica após o corte de seu caule. É importante após a etapa de colheita, acondicionar o produto em embalagens apropriadas e manter a hortaliça refrigerada. O manuseio incorreto e o abuso de temperatura de armazenamento podem danificar o produto (TURNER *et al*., 2020).

Segundo Mir *et al*., (2017), a elevada perecibilidade dos microverdes limitam o tempo de prateleira do produto, tendo duração constatada entre 3 a 5 dias em temperatura ambiente ou câmaras frias.

A lavagem de hortaliças com água gelada, durante a etapa de pós-colheita contribuem para a redução da população microbiana, contribuindo positivamente com o prolongamento da vida útil do produto (CENCI, 2006). Porém, devida a indisponibilidade de equipamentos adequados para a secagem de microverdes, a etapa de lavagem não é indicada (KYRIACOU *et al*., 2016).

2.3 MISTURADORES

Misturadores são equipamentos indicados para executar a função de agitar, misturar, dissolver ou homogeneizar qualquer tipo de solução, com ou sem a presença de sólidos. São dimensionados especificamente para cada caso, podendo atuar em

diferentes faixas de potência, rotações, comprimentos e tipos de hélices (CREMASCO, 2010).

A mistura de ingredientes é uma operação amplamente utilizada na indústria (LACEY, 1943). O objetivo dessas operações é tornar o produto homogêneo em menos tempo e com a mínima aplicação de energia possível.

Segundo Labaste (1995), classificam-se os tipos de misturas em Ideal, Randomizada, Estruturada e Total. O tipo de mistura ideal distribuído de maneira homogênea e aleatória, que raramente é reproduzido na prática porque as partículas deveriam ter propriedades iguais.

A mistura randomizada é, na prática, o que melhor pode-se obter de homogeneização das partículas. Segundo Lacey (1954) a probabilidade teórica pode ser representada pela seguinte equação:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{a.b}{n}}$$

Equação 1. Desvio padrão das amostras misturadas.

Sendo **σ** o desvio-padrão teórico, **a** e **b** as proporções relativas dos dois componentes de mistura e n o número total de partículas do sistema.

Hersey (1979) introduziu o conceito de mistura estruturada, sendo definida como uma unidade de mistura que apresenta a mesma composição que todas as outras unidades seja a menor possível. Ainda segundo Hersey (1979), na maioria dos casos uma mistura não é totalmente randomizada e nem totalmente estruturada, situando-se no meio termo entre os dois tipos de mistura, como por exemplo a forma farmacêutica de se produzir comprimidos.

A mistura total é o conceito mais recente dentre os mencionados, introduzido segundo Staniforth (1981), onde seu modelo leva em consideração o fenômeno de aderência de finas partículas de excipiente em relação ao princípio ativo de partículas mais grossas.

Os principais mecanismos de mistura, segundo Lacey (1954) são Difusão, Convecção e Cisalhamento. No processo de difusão, a mistura promove o movimento individual das partículas, de forma aleatória. O processo de convecção se dá pelo movimento em conjunto das partículas, em consequência de uma agitação externa. Por fim, o processo de cisalhamento, segundo Train (1970) é o processo mais eficaz para mudança de configuração do sistema, ocorrendo quando um material está se

movendo sobre outra camada com diferenças de velocidades entre as camadas das partículas.

Alguns fatores como o tempo de mistura, formato e tamanho das partículas, a massa específica, manutenção, limpeza e a carga aplicada ao processo de mistura podem alterar o desempenho de um misturador (BIAGI, 1998).

Segundo Lima e Nones (1997), todo misturador deve ter determinado seu tempo de mistura para que o equipamento resulte no produto final mais homogêneo possível, aliado com a avaliação da eficiência do equipamento e os ingredientes a serem utilizados, buscando reduzir gastos com mão de obra e eletricidade.

Existem vários tipos de misturadores que diferem em formatos, dimensões e aplicações, mas os mais comuns são o vertical e o horizontal (LIMA; NONES, 1997).

De acordo com Lima e Nones (1997) os misturadores horizontais permitem uma mistura mais homogênea e menores tempos de misturas em comparação com misturadores verticais, sendo o tempo de descarga do produto final próximo para ambos os tipos de maquinários. Por outro lado, os misturadores verticais possuem menores custos em comparação com os maquinários horizontais, sendo amplamente utilizados em pequenas fábricas ou indústrias, além de maior facilidade em realizar manutenção e limpeza das peças.

Por estarem realizando a mistura em um recipiente acoplado, os misturadores verticais não necessitam de outros equipamentos como silos anexos para armazenagem de ingredientes ou para descarregar a mistura pronta (LIMA; NONES, 1997).

Segundo Tadini (2016) a indução do movimento do fluido em uma direção específica, usualmente ocorrido na parte inferior do recipiente, por meio de impulsores giratórios, denomina-se agitação, produzindo um perfil de circulação no recipiente por outro lado, a mistura produz a distribuição aleatória de uma ou mais fases e também de uma ou mais substâncias, unindo-as e homogeneizando-as. Segundo a autora, um exemplo seria um tanque com água sendo agitado, enquanto um material em pó seria misturado à água.

Desse modo, a figura 2 ilustra exemplos de misturadores horizontais estacionários.

Figura 2. Exemplos de misturadores.

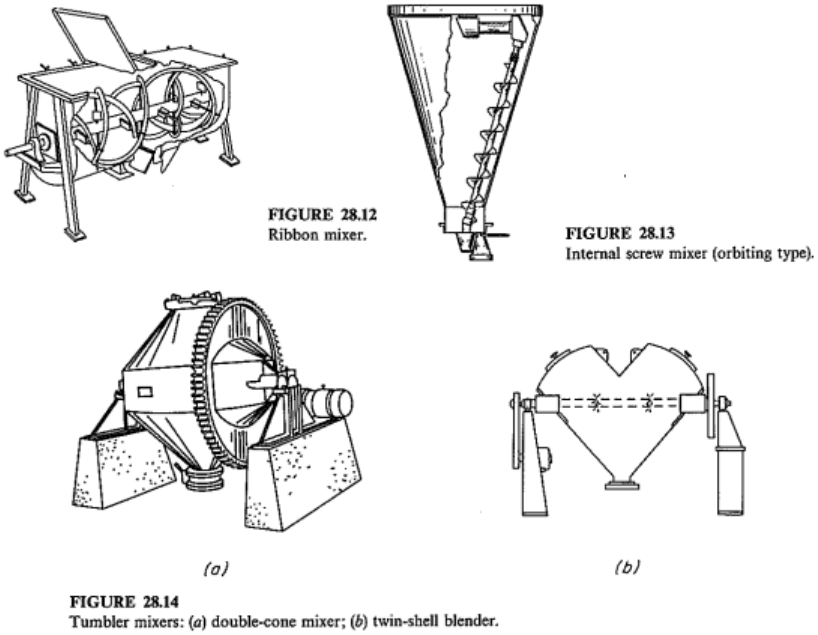


FIGURE 28.12
Ribbon mixer.

FIGURE 28.13
Internal screw mixer (orbiting type).

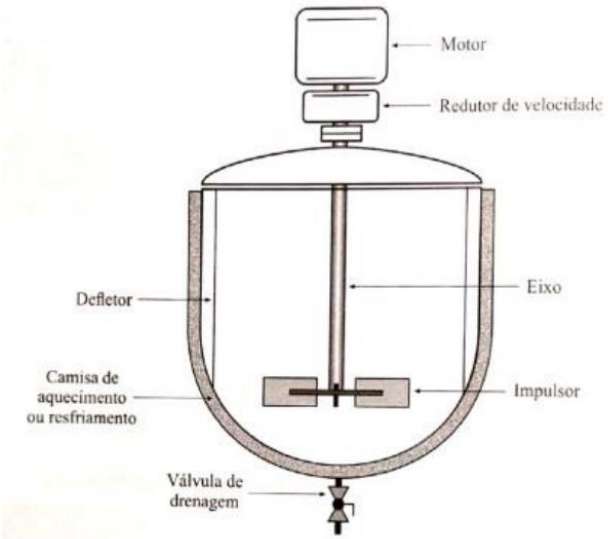
(a) (b)

FIGURE 28.14
Tumbler mixers: (*a*) double-cone mixer; (*b*) twin-shell blender.

Fonte: Adaptado de McCabe W.L., Smith J.C., Harriott P.- Unit Operations in Chemical Engineering - 5th edition, McGraw Hill, 2004 p. 952 - 955.

De acordo com Tadini *et al.* (2016) é comumente utilizado em processos industriais a agitação e a mistura para realizar os procedimentos químicos, bioquímicos ou alimentícios. O processo de mistura pode ser realizado em tanques cilíndricos com um agitador acoplado, de acordo com a Figura 3.

Figura 3. Tanque agitador utilizado na produção de álcool em gel.



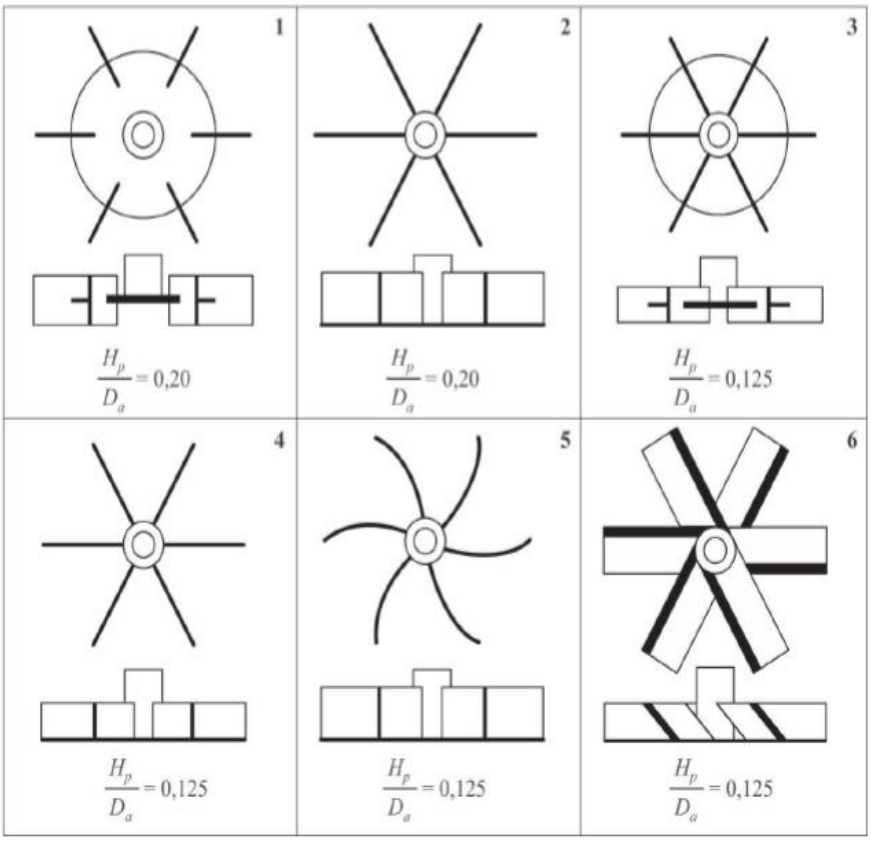
Fonte: Tadine *et al*., 2016.

Segundo Tadine (2016), o impulsor é instalado sobre um eixo que é acionado por um motor e um redutor de velocidade. O motor gera energia que faz com que o impulsor rotacione, movimentando o conteúdo do recipiente e direcionando as substâncias para a mistura. Neste sistema, também podem ser acoplados defletores, sistemas de segurança, resfriamento ou aquecimento e itens sob a necessidade da demanda.

Para Skelland (1967) o dimensionamento de um sistema de mistura consiste em quatro etapas: (i) Seleção do tipo de impulsor; (ii) Cálculo das dimensões geométricas; (iii) Cálculo da frequência rotacional do impulsor; (iv) Cálculo da potência requerida.

Alguns modelos de impulsores podem ser observados na figura 4.

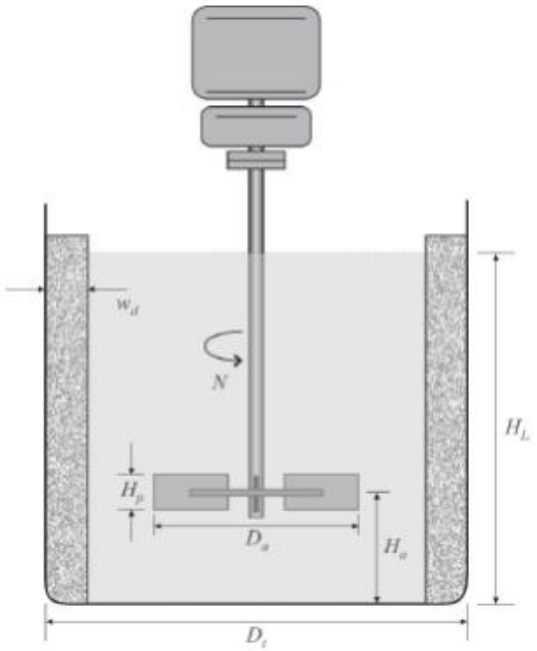
Figura 4. Modelos de impulsores.



Fonte: Operações Unitárias na Indústria de Alimentos, Tadini.

As características geométricas do recipiente com um agitador acoplado podem ser descritas na figura 5.

Figura 5. Modelos de impulsores.



Fonte: Adaptado de Operações Unitárias na Indústria de Alimentos, Tadini.

Segundo Tadini, a potência fornecida pelo motor (Po) será função da densidade (ρ) e da viscosidade (μ) do material, frequência rotacional do impulsor (N) e das variáveis geométricas do sistema: diâmetro do agitador (Da), diâmetro do tanque (Dt), altura do agitador desde a base do tanque (Ha), altura do líquido (HL), largura dos defletores (wd), além do tipo de agitador, com a sua característica altura das pás (Hp).

A expressão matemática para cálculo do número de Reynolds pode ser observada na equação 2 abaixo:

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

Equação 2: Número de Reynolds para determinação do cálculo de potência.

Assim, pode-se definir o cálculo da potência de agitação do protótipo conforme descrito na equação 3.

$$P_o = N_{Po} N^3 D_a^5 \rho$$

Equação 3: Equação para o cálculo de potência.

Baseando-se no sistema de dissipação de energia, as configurações geométricas padrões usuais utilizadas podem ser descritas na equação 4 (TADINI, 2016).

$$\frac{D_t}{D_a} = 3,\ \frac{H_a}{D_a} = 1,\ \frac{H_L}{D_a} = 3 \text{ e } \frac{w_d}{D_t} = 0,1.$$

Equação 4. Configurações geométricas padrões.

3. METODOLOGIA

3.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE DO PROJETO

Em parceria com a empresa Abaré Microverdes, que disponibilizou uma estrutura de 40 m² para a produção de microverdes em ambiente protegido, além das ferramentas e suporte para a elaboração e execução do protótipo, tornando possível a realização do projeto.

A empresa está localizada com sua estrutura física experimental dentro do Sítio Buscapé, no município de Indaiatuba, interior do estado de São Paulo.

A propriedade é certificada orgânica e conta com o cultivo de frutas, microverdes e flores orgânicas, além da produção de defumados suínos e salames.

Cercada por área de Preservação Permanente, seu cultivo é totalmente integrado no sistema Agroflorestal, diversificando plantas nativas e frutíferas ao longo da propriedade.

O estudo de viabilidade do projeto foi realizado em harmonia com as referências bibliográficas do presente documento, iniciando-se com o entendimento de toda a cadeia produtiva e cultivo de microverdes para que fosse possível elaborar uma solução para os diversos gargalos produtivos desse tipo de cultivo.

O procedimento realizado para umedecer o substrato inicia-se abrindo o saco contendo o material, que vem compactado e embalado em embalagem de 107 litros. Realiza-se a descompactação do substrato utilizando as mãos e pressionando os torrões até que se soltem e fiquem no formato de pó, sendo direcionado para o recipiente contendo água, para que o material absorva a água através da utilização de uma força externa (manual) até que o resultado final seja uma mistura homogênea, tornando o processo mais trabalhoso e demorado, em comparação com plantio direto em espumas fenólicas.

Misturadores horizontais e estacionários já se encontram em uso em diferentes cultivos industriais, visando maior homogeneidade para os produtos. A adaptação desse tipo de maquinário voltado para o cultivo de microverdes se mostrou viável e executável, alterando pequenos processos e componentes para a execução da tarefa.

3.2 CALCULO DE DIMENSIONAMENTO DOS MATERIAIS

3.2.1 Motor

A tensão da rede é de 220 Volts, com frequência de 60 Hertz. O motor deve possuir 4 polos, atuando em baixa rotação.

Com os valores da frequência da rede e o número de polos, calculou-se a velocidade síncrona do motor descrita abaixo:

$$Ns = \frac{(120 * F)}{p}$$

Sendo **Ns** a velocidade síncrona em RPM, **F** a frequência em Hz e **p** o número de polos do motor. Assim, o valor calculado de Ns é de 1800 rpm.

A potência do motor pode ser calculada através da seguinte equação:

$$P = Ef * V * I$$

Onde **P** é a potência do motor em Watts, **Ef** a eficiência do motor, **V** a tensão em Voltz e **I** a corrente em Ampére. Sendo a eficiência ideal para o motor em 85% o valor de potência pode ser calculado:

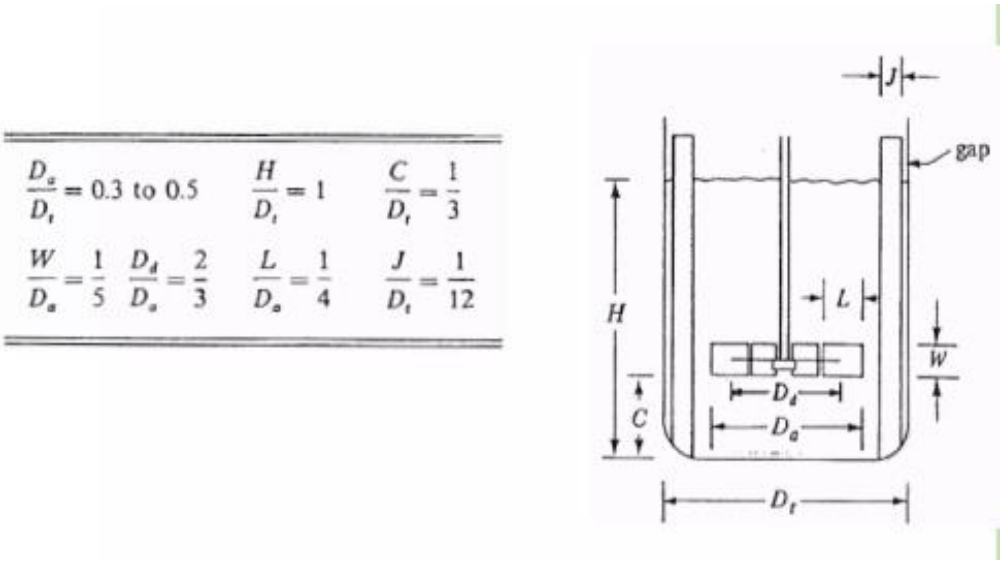
$$P = 0{,}85 * 220 * 4 = \mathbf{748\ W}$$

O valor pode ser convertido para CV, dividindo o valor da Potência em Watts por 735,5, resultando em um motor com potência de 1 CV.

3.2.2 Recipiente

Para o dimensionamento do recipiente onde ocorrerá o processo de mistura, deve-se levar em conta as informações da figura 6 a seguir.

Figura 6. Dados de dimensionamento de um recipiente.



$\frac{D_a}{D_t} = 0.3$ to 0.5	$\frac{H}{D_t} = 1$	$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$
$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$\frac{D_d}{D_a} = \frac{2}{3}$	$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$

Fonte: Adaptado de Operações Unitárias na Indústria de Alimentos, Tadini.

Para um recipiente padrão cilíndrico, a seguinte relação é calculada:

$$V_1 = \left(\frac{\pi D_{T1}^2}{4}\right)(H_1) = \left(\frac{\pi D_{T1}^3}{4}\right) \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{\pi D_{T2}^3 / 4}{\pi D_{T1}^3 / 4} = \frac{D_{T2}^3}{D_{T1}^3}$$

Encontrando a seguinte relação:

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1/3} = \frac{D_{T2}}{D_{T1}}$$

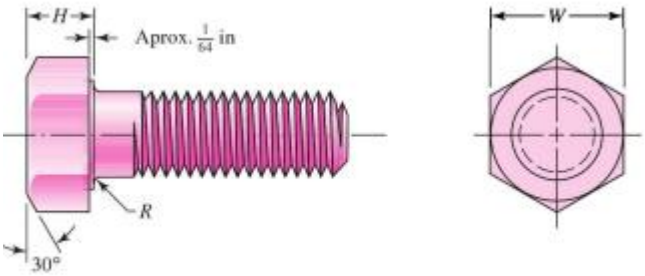
Sendo possível obter as relações com o valor de R. Assim as equações padrões para dimensionamento do recipiente podem ser descritas a seguir:

$$\frac{Da}{Dt} = 1; \frac{C}{Da} = 1; \frac{H}{Dt} = 1$$

3.2.3 Parafusos

A figura 7 representa um parafuso de porca de cabeça hexagonal, indicado para a fixação das partes do projeto.

Figura 7. Representação de um parafuso de porca de cabeça hexagonal.



Fonte: Adaptado de Shigley, Elementos de máquinas.

Através da seleção do parafuso, pode-se calcular a tensão que o material deve suportar para atuação no conjunto do projeto através da seguinte equação:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Onde **σ** é a tensão exercida sobre o parafuso, **F** a força e **A** a área, podendo ser calculada através da equação:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Sendo **d** o diâmetro menor da rosca, encontrado no centro do parafuso. Para calcular o seu diâmetro interno, é necessário aplicar a fórmula:

$$dr = d - (1{,}23 * P)$$

Assim, ***dr*** é o valor do diâmetro interno, **d** o valor do diâmetro e **P** o passo do parafuso. Dimensionando um parafuso sextavado M10 x 1,5 – 8,8 como referência, onde o valor de 1,5 é o valor do passo e 8,8 o valor do seu limite de escoamento e resistência a tração, de acordo com o catálogo disponibilizado pelo fabricante. Aplicando os valores na equação do diâmetro interno, obtemos dr = 8,16 mm.

Com o valor do diâmetro interno (dr), é possível ter o valor da área através da equação desenvolvida, sendo então A = 52,30 mm.

A resistência a tração de acordo com o fabricante é de 800 $\frac{N}{mm^2}$ e seu limite de escoamento sendo 80% do valor da resistência a tração, 640 $\frac{N}{mm^2}$.

Assim é possível aplicar os valores na equação abaixo para determinação da força suportada pelo parafuso.

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow 640 = \frac{F}{52{,}30} \rightarrow F = 33472\ N$$

3.2.4 Impulsor

Para a escolha do impulsor ideal para a realização do protótipo, foram seguidos critérios baseados no tipo da mistura, dimensões e velocidade de rotação.

A figura 8 ilustra os diversos tipos de rotores existentes no mercado.

Figura 8. Diferentes tipos de rotores.

Fonte: Adaptado de Foust et al., 1980.

A figura 9 ilustra as principais relações geométricas por impelidor, sendo necessário para a construção do protótipo a confecção de um impelidor, obedecendo as relações dimensionais para atender a escolha.

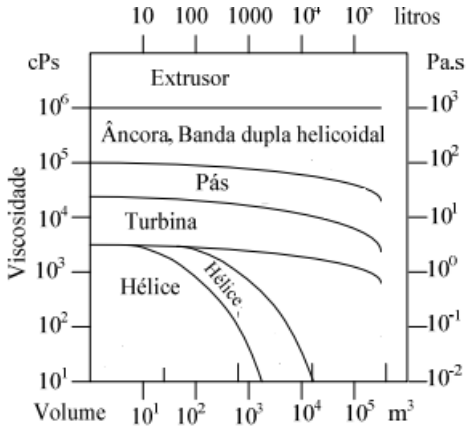
Figura 9. Principais relações geométricas por impelidor

N° impelidores	Folga entre impelidor e fundo do tanque		Z/T máx.	Defletores		Diâmetro do impelidor		
						Tanque de fundo plano	Tanque de fundo abaulado	Tanque esférico
1	H1=Z/4	-	1,2	Bc=T/72	B=T/12	D=0,3T	D=0,4T	D=0,35T
2	H1=T/4	H2=2/3Z	1,8					

Fonte: Adaptado de Engendrar, 2021.

A figura 10 demonstra as aplicações dos impulsores em decorrência da viscosidade e quantidade em litros da amostra a ser misturada. Sendo utilizado os impulsores do tipo pás para o projeto.

Figura 10. Relação de volume e viscosidade para cada tipo de impulsor.



Tipo de impulsor	Intervalo de viscosidade	
	Viscosidade em centipoises	Viscosidade em kg/m.s
Âncora	$10^2 - 2\times10^3$	$10^{-1} - 2$
Hélice	$10^0 - 10^4$	$10^{-3} - 10^1$
Turbina	$10^0 - 3\times10^4$	$10^{-3} - 3\times10^1$
Pás	$10^2 - 3\times10^4$	$10^{-1} - 3\times10^1$
Parafuso helicoidal	$3\times10^3 - 3\times10^5$	$3 - 3\times10^2$
Banda dupla helicoidal	$10^4 - 2\times10^6$	$10^1 - 2\times10^3$
Extrusor	$>10^6$	$>10^3$

Fonte: Adaptado de Skelland, 1967.

3.3 AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS

Visando o desenvolvimento de um protótipo funcional e econômico, em comparação com máquinas que possuem processos de funcionamento similares no mercado, foi realizada uma pesquisa de mercado, comparando preços e buscando adquirir os produtos em melhores condições e preços, além do desenvolvimento de novas estruturas adaptadas para o estudo, atendendo às funções e barateando o valor do protótipo.

Foi levantada a lista de materiais necessários para a confecção do protótipo descritos na tabela 1 a seguir.

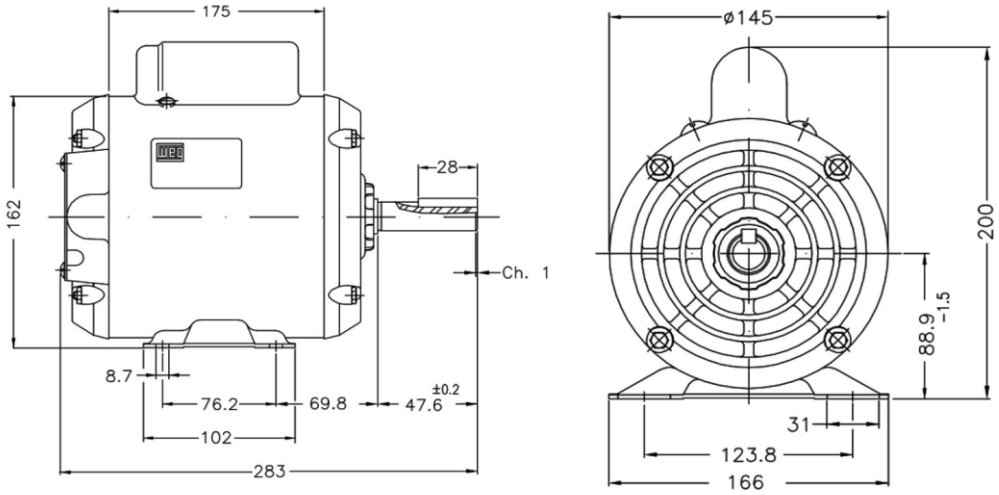
Tabela 1. Levantamento dos materiais necessários para a elaboração do maquinário.

Lista de materiais			
Item	Quantidade	Descrição	Fabricante
1	1	Motor Monofásico 4 polos 1 CV	WEG
2	1	Bombona plástica de 100 Litros	Elastobor
3	3	Barra de aço inox 10mm 1/2 Polegada 1 metro	JR Laminação
4	4	Barra roscada 1/2 polegada zincada	JR Laminação
5	8	Porca Sextavada de 1/2 polegada aço inox	CCP Parafusos
6	4	Arruela lisa 1/2 polegada aço inox	CCP Parafusos
7	2	Ripas de madeira pinus 200 x 80 x 40 mm	Madelasca
8	4	Parafuso sextavado M8 polegada aço inox	Welt
9	4	Porca Sextavada de M8 aço inox	Welt
10	4	Parafuso sextavado M12 polegada aço inox	Welt
11	4	Porca Sextavada de M12 aço inox	Welt
12	4	Parafuso sextavado M42 polegada aço inox	Welt
13	4	Porca Sextavada de M42 aço inox	Welt
14	1	Variador de Potência Loti 25 vr	Loti
15	1	Plug tomada Macho-Fêmea 10A	Margirius
16	1	Cabo flexível 10mm - 20 metros	Eletrocon
17	1	Caixa de passagem 100 x 100 x 60 mm	Steck
18	1	Botão de emergência com trava M20 - 1B	Metaltex
19	1	Chave liga/desliga monofásico 30A e 250V	Margirius

O motor utilizado no estudo foi de 1 CV, sendo um motor de baixa rotação, monofásico de quatro polos, da marca WEG, visando alto torque de partida para conseguir mexer a pá de forma a triturar e misturar o substrato com a água. O motor deve suportar possíveis quedas de tensão da rede elétrica, visto que a propriedade se encontra no meio rural em área de instabilidade elétrica em dias chuvosos ou de ventos intensos.

Pode-se rotacionar o motor no sentido horário ou anti-horário, facilitando o processo de mistura, buscando maior homogeneidade. As dimensões do motor podem ser observadas na figura 11 abaixo.

Figura 11. Dimensionamento do motor de baixa rotação utilizado.



Fonte: WEG motores.

Como redutor de potência do motor, foi utilizado um relé variador de potência Dimmer com potenciômetro 10A (Amperes) da marca Loti conforme ilustrado na figura 12 abaixo, com suas respectivas características técnicas.

Figura 12. Dimensionamento do motor de baixa rotação utilizado.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

DESCRIÇÃO	Símbolo	25VR10	25VR25	Unidade
Sinal de Controle Potenciometrico		220	220	K ohms
Corrente Nominal de Chaveamento	I_{Nout}	10	25	A
I Mínima de acionamento na Carga	I_{MinOut}	50	50	mA
Corrente Máxima de Trabalho (¹)	I_{MaxT}	6	15	A_{RMS}
Pico de Corrente / 1 ciclo (²)	I_{SUEGE}	100	350	A
I^2 t (8,3ms - temp ambiente 25°C)		126	500	A^2s
Faixa de Tensão de Chaveamento	V_{AC}	200~260		V_{AC}
Tensão de Isolação (in / out)	V_{ISO}	2000		V_{RMS}
Temperatura de Operação	T_{Opr}	-10 ~ 50		°C

(¹) Recomendada utilizando Dissipador de Calor — Queda de Tensão com Imax = 1,1 ~ 1,3 Vac
(²) Não Repetitivo (temp ambiente 25°C) — Tempo Máx para Acionamento = 8,3ms

Fonte: Loti - Tecnologia Industrial Ltda.

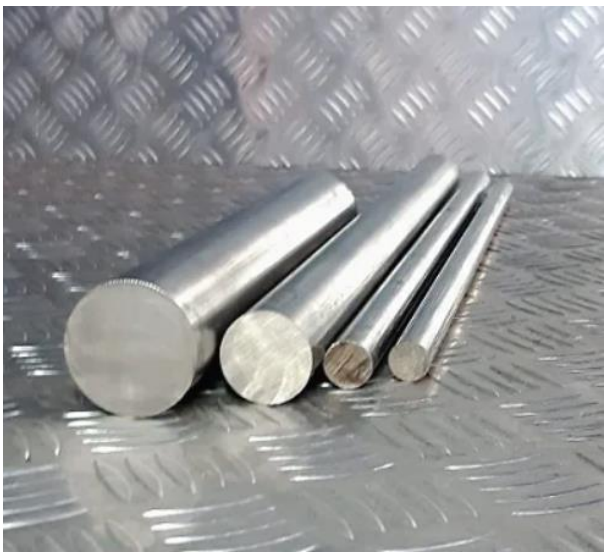
O recipiente utilizado como reservatório do maquinário foi uma bombona plástica de 100 litros como protótipo inicial do projeto para as condições de cultivo do produtor, podendo ser facilmente ajustada conforme a produtividade demandada, cortada ao meio, atendendo o comprimento da barra fixa no motor com marcação de centro para rotação das pás, inicialmente adquirida conforme imagem 13 a seguir.

Figura 13. Recipiente reservatório utilizado no protótipo.

Fonte: Elastobor.

As pás e eixos foram fabricados a partir de aço inox maciço, comprados em loja de sucatas como material de reaproveitamento vendido por peso, reduzindo o custo do projeto conforme ilustrado na figura 14.

Figura 14. Imagem ilustrativa de barras de aço inox utilizadas no estudo.



Fonte: Loja do aço inox, 2022.

A centralização do motor em conjunto com o centro da bombona plástica, foi projetada a utilização de madeira de pínus, cortada sob medida, nas dimensões 200 mm de comprimento por 80 mm de largura, para acoplamento dos parafusos do motor a serem fixados na parede, observados na figura 15.

Figura 15. Fixação dos parafusos no bloco de madeira de pinus.

Para a parte elétrica do estudo, foi adquirido uma unidade de chave elétrica monofásica de 250 Volts e capacidade de 30 Ampéres, atuando como botão de liga e desliga da máquina.

Também foi necessário adquirir um botão de emergência com trava, visando a interrupção da máquina com o intuito de minimizar ou evitar acidentes mecânicos. Assim os botões e cabos elétricos ficaram alocados na caixa de passagem, com dimensões de 100x100x60mm, facilitando o processo de manutenções futuras.

A figura 16 a seguir representa a funcionalidade dos botões de acionamento e segurança do maquinário.

Figura 16. Representação do quadro elétrico do maquinário.

Fonte: Sibratec materiais elétricos Ltda.

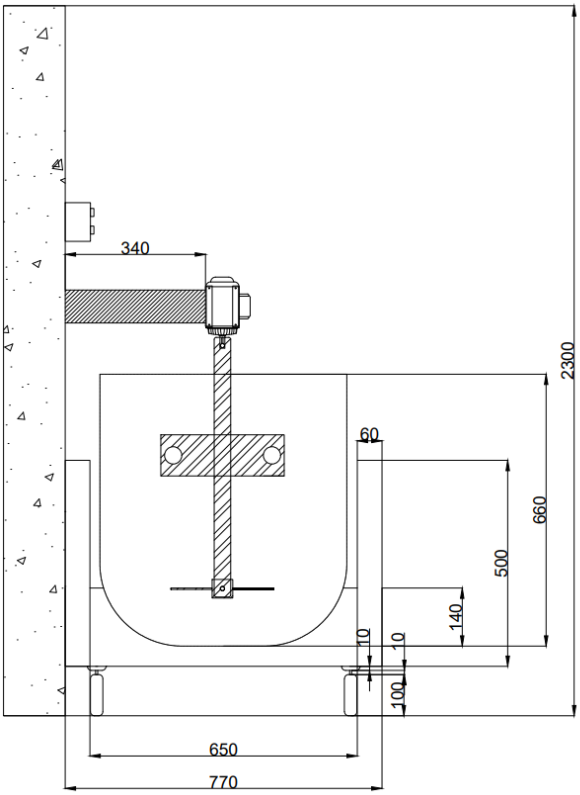
Para fixação das estruturas foram utilizados parafusos sextavados de aço inox nas dimensões de M8 (figura 17) para conexões entre a barra e a pá trituradora, M12 para fixação do motor na estrutura de madeira e acoplamento da pá misturadora e M42 mm para fixação entre as pás misturadoras.

Figura 17. Parafuso sextavado M8 para conexões no maquinário.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Foi realizado um esboço de um desenho para o protótipo e suas respectivas peças, utilizando o software AutoCAD 2023 na versão estudante disponibilizada para fins acadêmicos, como observado na figura 18.

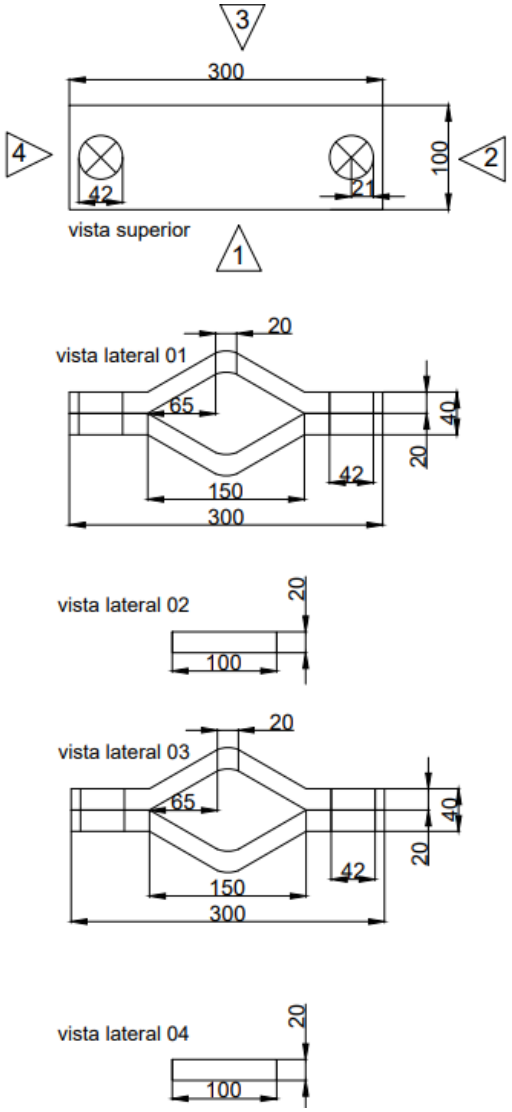
Figura 18. Desenho técnico do protótipo com todas as peças interligadas (medidas em mm).



A confecção das peças em aço inox foi realizada por um torneiro mecânico, que utilizou os desenhos técnicos para o desenvolvimento das peças, como as pás e a barra maciça.

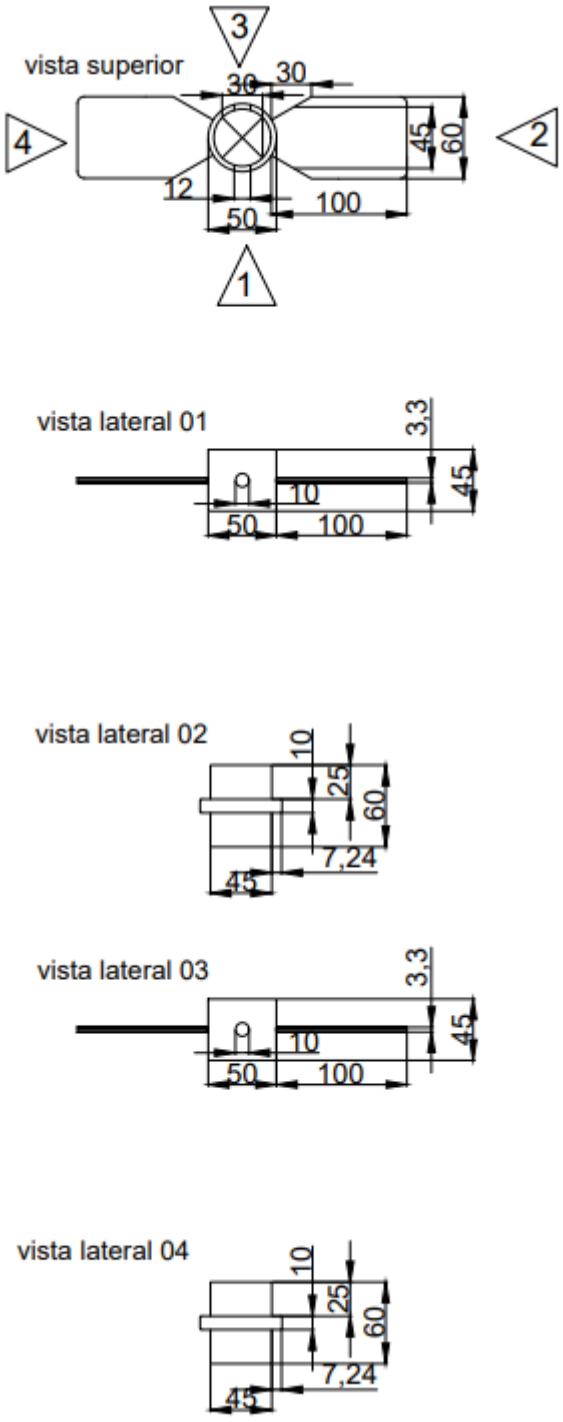
A figura 19 ilustra o projeto técnico da pá locomotora, com as medidas em tamanho real em milímetros em suas respectivas vistas.

Figura 19. Desenho técnico da pá locomotora.



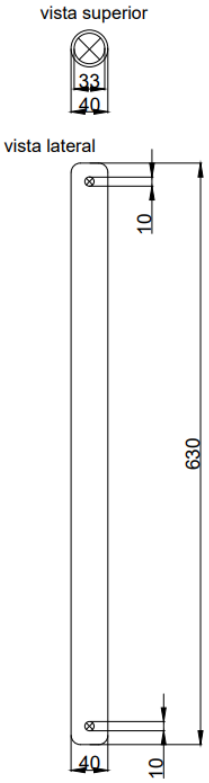
Outra peça a ser confeccionada, ilustrada na figura 20, foi a pá misturadora, com as medidas em tamanho real em milímetros em suas respectivas vistas.

Figura 20. Desenho técnico da pá misturadora.



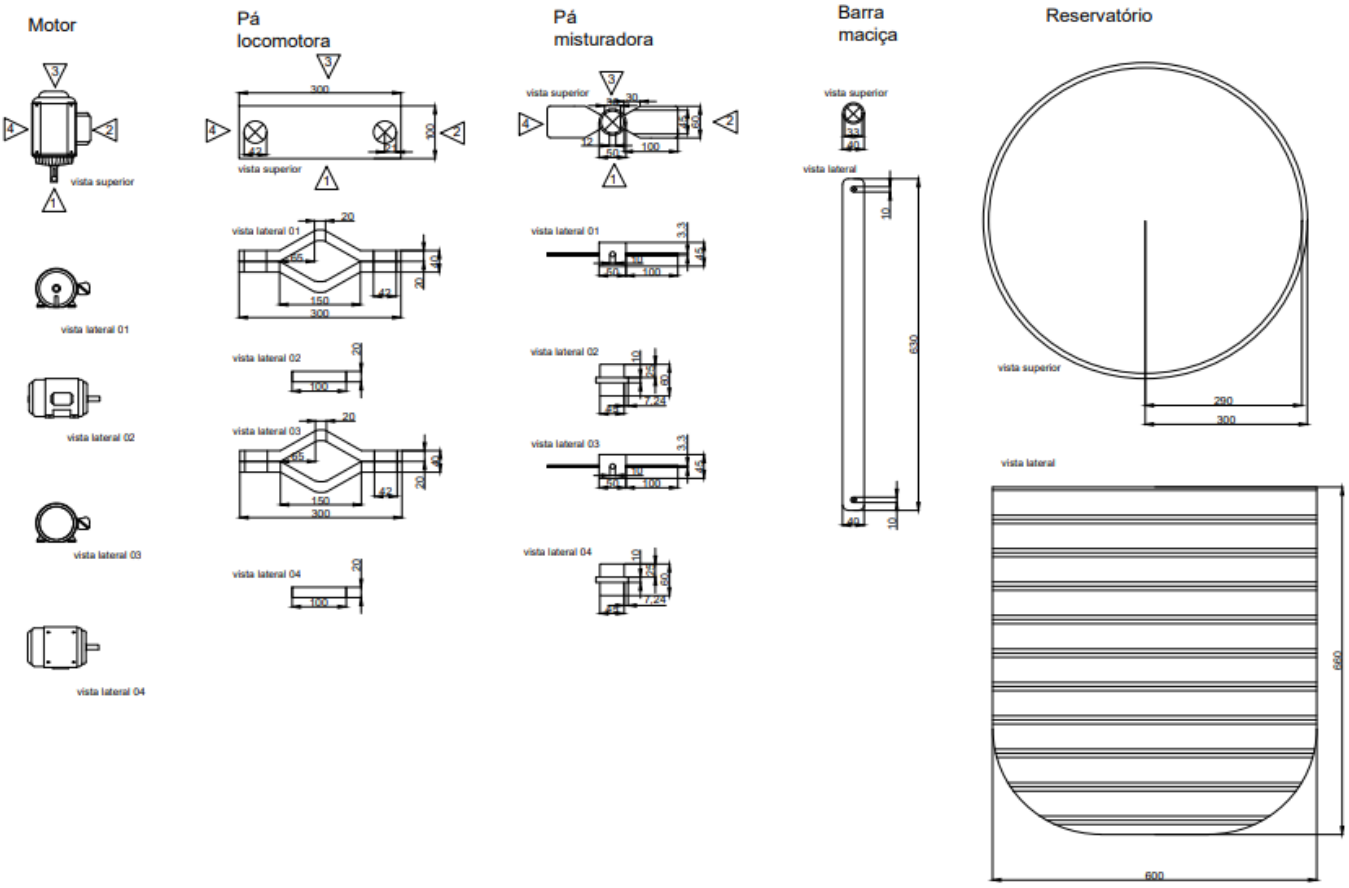
As pás, como mostrada no desenho do protótipo completo (figura 18) são fixadas em uma barra de aço maciça, presas por parafusos sextavados, que também foram confeccionados pelo torneiro mecânico baseado no desenho técnico da figura 21.

Figura 21. Desenho técnico da barra maciça.



Assim, a figura 22 identifica todos os itens utilizados no estudo em suas respectivas dimensões, em escala real.

Figura 22. Desenho técnico dos itens utilizados no maquinário.



Com a confecção das peças, seguindo os detalhamentos descritos nos desenhos técnicos elaborados, o passo seguinte foi unir todos os materiais, verificando os devidos encaixes e dimensões para a execução do maquinário no local de estudo.

3.4 TEMPO DE EXECUÇÃO DO PROCESSO

Visando verificar a redução do processo de mistura através da implementação do maquinário misturador, foram cronometradas seis amostras realizadas de forma manual, exercendo mão de obra humana e seis amostras utilizando o maquinário.

Para a realização da medição, foi utilizado um cronômetro digital da marca Incoterm, modelo T-TIM-0010.00 com resolução do cronógrafo de 1/100 segundos.

A quantidade de substrato e água foram as mesmas em todas as amostras, sendo 40 litros de substrato e 20 litros de água, pesados e medidos antes do início do cronômetro.

Os recipientes também foram os mesmos para todas as amostras, assim como o local em que o experimento foi realizado.

3.5 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Com o intuito de mensurar a proporção ideal para o umedecimento do substrato, realizou-se o estudo de valores que tornassem mensuráveis a quantidade ideal de umedecimento do substrato para a realização do cultivo de microverdes, através de valores de densidade volumétrica, capacidade de retenção de água, porosidade cheia de ar, água disponível, água tamponante e água remanescente.

A densidade volumétrica do substrato foi determinada pelo método da auto compactação, descrito por Zorzeto *et al.,* (2014), selecionado na figura 23 abaixo.

Figura 23. Densidade volumétrica de substratos.

Substrato	Densidadevolumétrica			
	Substrato úmido		Substrato seco	
	IN n. 31	EN 13040	IN n. 31	EN 13041
	---------- kg m^{-3} ----------			
Fibra de coco granulada	173,94 a2A	154,50 b2B	92,16 a1A	95,50 b1A
Casca de pínus Lupa	726,85 a5A	594,33 b5B	336,36 a6A	352,31 b5B
Casca de pínus Vida Verde	602,11 a4A	484,41 b4B	270,97 a5A	295,85 b4B
Casca de arroz	141,32 a1A	126,23 b1B	124,85 a3A	115,03 b2B
Fibra de coco granulada + casca de arroz	163,30 a2A	146,36 b2B	117,85 a2A	113,53 b2A
Casca de pínus Lupa + casca de arroz	434,03 a3A	389,92 b3B	229,17 a4A	243,14 b3B

Fonte: Adaptado de Zorzeto *et al*., 2014

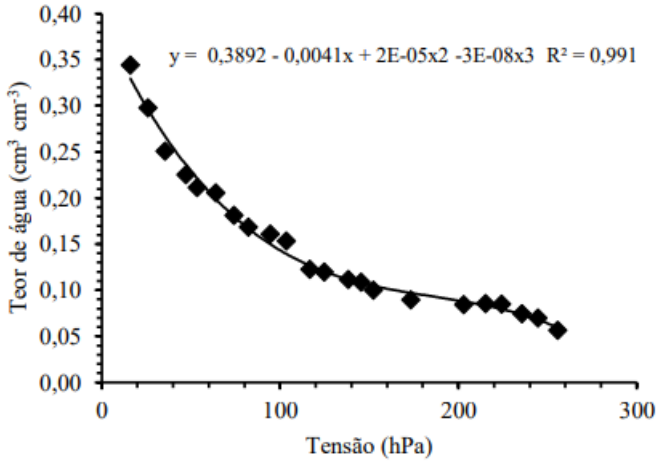
Através dos valores da densidade volumétrica do substrato seco e úmido, para o substrato de fibra de coco, segundo a IN n.º 31 e com a EN 13041 e da equação abaixo, foi possível determinar a umidade atual da amostra em porcentagem.

$$D_{seca} = D_{úmida} * \frac{(100 - U_{atual})}{100}$$

Sendo Dseca e Dúmida as densidades volumétricas das amostras secas e úmidas, respectivamente ($\frac{kg}{m^3}$) e Uatual a umidade atual da amostra (%).

A figura 24 indica o gráfico dos teores de água da fibra de coco em função da tensão de água na base volumétrica, descrito por Erlen et at,. (2021), tornando possível calcular os valores de porosidade cheia de ar (PCA), água disponível (AD), água tamponante (AT) e água remanescente (AR).

Figura 24. Teores de água da fibra de coco em função da tensão de água na base volumétrica.



Fonte: Adaptado de Erlen *et al*., 2021.

A porosidade cheia de ar (PCA) pode ser determinada através da equação:

$$PCA = 100\ x\ (Ta_{0\ hPa} - Ta_{10\ hPa})$$

Em que, PCA = porosidade cheia de ar (%); Ta0 hPa = teor de água a 0 hPa ($\frac{cm^3}{cm^3}$); Ta10 hPa = teor de água a 10 hPa ($\frac{cm^3}{cm^3}$).

A água disponível (AD) pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$AD = 100\ x\ (Ta_{10\ hPa} - Ta_{100\ hPa})$$

Onde, AD = água disponível (%); Ta10 hPa = teor de água a 100 hPa ($\frac{cm^3}{cm^3}$).

O cálculo da água tamponante (AT) pode ser descrito através da seguinte equação:

$$AT = 100\ x\ (Ta_{50\ hPa} - Ta_{100\ hPa})$$

Sendo AT = água tamponante (%); Ta50 hPa = teor de água a 50 hPa ($\frac{cm^3}{cm^3}$).

E a equação que descreve o calculo da água remanescente descrita a seguir:

$$AR = 100\ x\ (Ta_{100\ hPa})$$

Em que, AR = água remanescente (%).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO

Com a confecção dos materiais, o projeto foi montado no local de estudo, fixando a estrutura na viga de concreto, buscando centralizar o eixo do motor com o centro do reservatório, buscando maior homogeneidade na mistura.

O reservatório foi cortado seguindo os requisitos do desenho, deixando-o com 660 milímetros de altura e raio de 300 milímetros, centralizado com o eixo da barra. Ilustrado na figura 25 a seguir.

Figura 25. Recipiente reservatório cortado.

Fixou-se as pás locomotora e misturadora na barra maciça através de parafusos sextavados de fácil penetração nos furos dimensionados em desenho técnico descritos na metodologia deste documento. Assim visando baratear os custos de montagem e facilitar manutenções em caso de danos mecânicos nas peças, podendo ser confeccionadas novas peças específicas. A figura 26 ilustra as pás confeccionadas com o auxílio de um torneiro mecânico, sob medidas projetadas.

Figura 26. Pá misturadora à esquerda e Pás locomotoras à direita.

Para rosquear e desrosquear os parafusos sextavados, a utilização de chaves de fenda números 9, 13 e 43 são necessárias, sendo importante ter materiais ferramentais para cultivo do maquinário.

A figura 27 demonstra a conexão da barra maciça de aço inox no eixo do motor, também confeccionada sob dimensões projetadas visando encaixes rápidos entre peças.

Figura 27. Barra maciça encaixada no eixo do motor.

O motor foi fixado no bloco de madeira de pinus (figura 28), centralizado com o reservatório, com os encaixes das pás na barra maciça. Por ser um maquinário com poucas peças, sua montagem/desmontagem é facilitada.

Figura 28. Motor fixado no bloco de madeira de pinus, com a barra maciça acoplada em seu eixo.

A ligação da parte elétrica para acionamento manual do misturador foi aproveitada de tomadas e fios já existentes no local, acoplando o variador de potência, visando ajustar a rotação do motor para as devidas cargas a serem misturadas. Foi necessário realizar a ligação e energização dos interruptores na caixa de passagem que foi fixada na parede próxima ao maquinário e pode ser observado na figura 29.

Figura 29. Quadro elétrico do projeto com botões de acionamento.

Assim, ligando todas as peças e componentes do maquinário, pôde-se executar o protótipo e testar seu funcionamento. A figura 30 ilustra o equipamento em seu estágio final de desenvolvimento e pronto para executar a função de mistura.

Figura 30. Protótipo final montado e pronto para teste.

4.2 FUNCIONAMENTO DO MAQUINÁRIO

Com todas as peças devidamente encaixadas, foi realizado um teste de acionamento da máquina, visando sua mistura de substrato, colocando primeiramente o líquido e despejando em seguida o respectivo material sólido.

O motor deve sempre funcionar em baixas rotações, evitando que o material seja derramado. Altas rotações implicarão mau funcionamento do maquinário, podendo descentralizar o reservatório do eixo da barra maciça, despejando o conteúdo interno para fora do recipiente e danificando as peças ou causando danos mecânicos, diminuindo o tempo de vida útil dos materiais.

Quando o maquinário estiver em funcionamento, como medida de segurança, é importante manter distância segura do eixo maciço com as pás, a fim de evitar danos corporais que podem ser causados pelo movimento das pás no processo de mistura. Em caso de emergência o botão vermelho de emergência deve ser acionado para que o maquinário interrompa instantaneamente o seu funcionamento.

Após a utilização do maquinário, o parafuso sextavado da barra maciça deve ser removido para o deslocamento do reservatório até a área de compactação do substrato e despejo nas bandejas, seguindo os processos de semeadura.

Para a nova utilização do maquinário, basta fixar novamente o parafuso, conectando a barra maciça no motor e seguir os procedimentos acima descritos.

Para a higienização das peças do maquinário, basta a remoção dos parafusos sextavados acima do eixo, que ligam a barra com o eixo do motor, os parafusos que conectam as pás locomotoras no meio da barra e o parafuso inferior que conecta a pá misturadora.

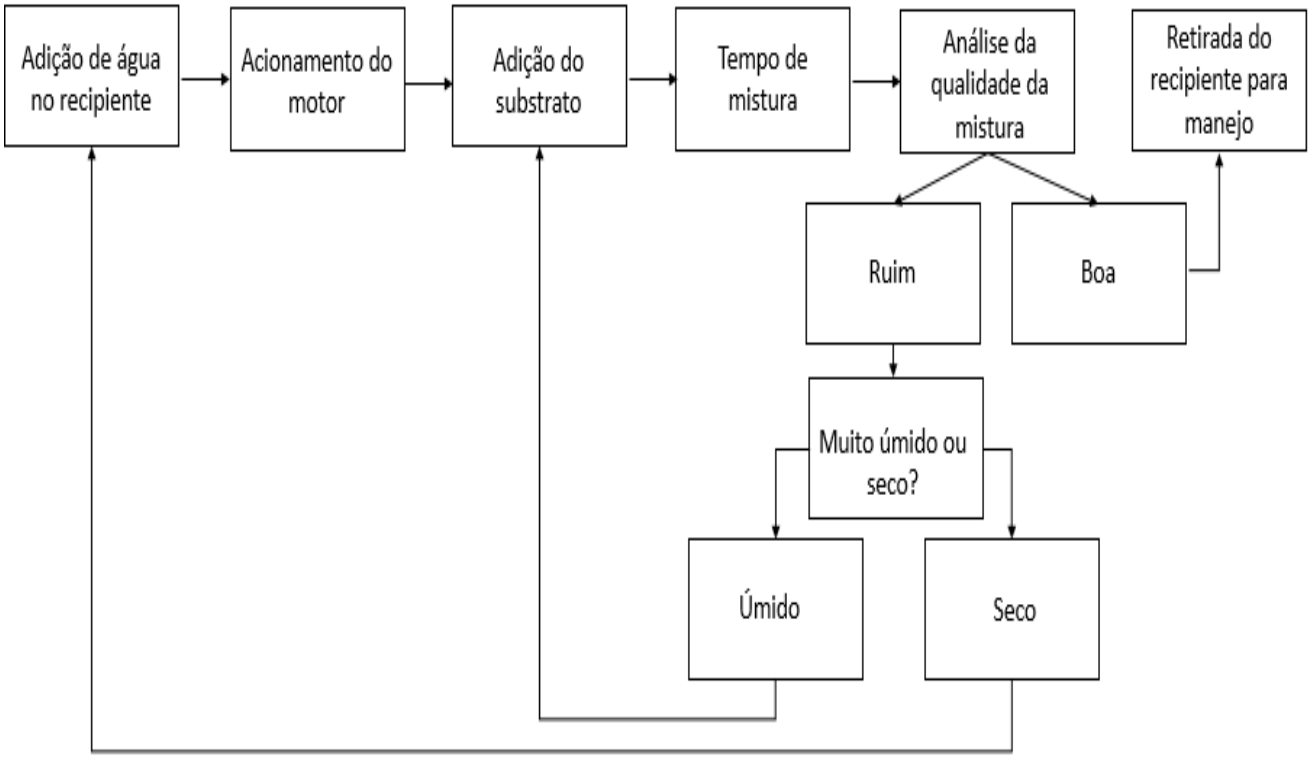
É importante realizar a higienização das peças para evitar a propagação de fungos e bactérias que podem acumular nas peças e passar para a produção, acarretando em danos e perdas na produtividade.

As peças podem ser higienizadas com produtos que eliminam fungos e bactérias, deixadas em imersão por tempos determinados pelos fabricantes dos produtos esterilizantes e posteriormente lavados com água corrente e secos para a fixação e utilização em novas aplicações.

4.3 EXPERIMENTAÇÃO

A figura 31 ilustra as etapas de utilização e cultivo do maquinário, para melhor identificação dos resultados experimentais.

Figura 31. Fluxograma de cultivo.



O fluxograma define as etapas do processo de manejo do maquinário até o seu resultado final, tornando o produto disponível para o cultivo dos microverdes, sendo depositado nas bandejas para germinação e período de fase escura.

As proporções foram definidas através dos valores da capacidade de retenção de água do substrato, definindo uma proporção de trabalho de 2L de substrato para 1L de água.

O resultado ideal para sequência no cultivo dos microverdes se dá por meio da boa homogeneização da mistura entre a água e o substrato, resultando em um produto com textura viscosa e levemente pegajosa. A falta ou o excesso de água implicará em problemas futuros na sequência do procedimento de germinação da hortaliça, por isso é muito importante atingir o equilíbrio entre o úmido e o seco.

Os pontos importantes para a quantificação do umedecimento do substrato são descritos através da densidade volumétrica, capacidade de retenção de água, porosidade cheia de ar, água disponível, água tamponante e água remanescente.

Através do espaço de aeração do substrato, é possível a determinação do tempo necessário para a irrigação, sendo valores altos de espaço de aeração (EA), podendo acarretar na deficiência hídrica no cultivo.

A quantidade de água facilmente disponível (AFD) é o valor mensurável da fração de água no solo que pode ser retirada e absorvida facilmente pelas raízes, sendo seu valor nulo, implicando na inibição do crescimento vegetal.

Os valores de água tamponante (AT) garantem a quantidade de água mesmo em condições limitantes.

A tabela 3 abaixo mostra os resultados obtidos através da medição do processo de mistura realizado de forma manual e com o maquinário.

Tabela 3. Medição do tempo de mistura através do processo manual e mecânico.

Mistura do substrato com a água			
Processo manual		Processo mecânico	
Amostra	Tempo	Amostra	Tempo
1	41 min e 31 seg	1	4 min e 31 seg
2	38 min e 18 seg	2	3 min e 53 seg
3	38 min e 49 seg	3	3 min e 41 seg
4	36 min e 12 seg	4	3 min e 15 seg
5	35 min e 39 seg	5	4 min e 02 seg
6	33 min e 30 seg	6	3 min e 43 seg
Tempo médio	37 min e 30 seg	Tempo médio	3 min e 31 seg

Através da observação da tabela é possível identificar redução do processo de mistura utilizando o maquinário misturador de substrato significativamente nas amostras cronometradas do experimento, indicando que o processo mecânico se mostrou em média 12 vezes mais rápido em comparação com o processo manual.

5. CONCLUSÃO

O maquinário misturador de substrato reduziu o tempo do processo de mistura em 12 vezes, comparado com o processo manual que era realizado, mostrando funcionalidade para pequenas quantidades de misturas e pode ser ajustadas as dimensões e escalas para atender maiores demandas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIAGI, J.D. Implicações da granulometria de ingredientes na qualidade de peletes e na economia da produção de rações. Simpósio sobre granulometria de ingredientes e rações para suínos e aves. Concórdia: **Embrapa- CNPSA**, 1998 p 57-70.

CENCI, S. A. Boas Práticas de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças na Agricultura Familiar. In: Fenelon do Nascimento Neto. (Org.). Recomendações Básicas para a Aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar. 1a ed. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2006, p. 67-80.

DI GOIA, Francesco; SANTAMARIA, Pietro. The nutritional proerties of microgreens. **Microgreens.** Itália, outubro, 2015. v. 1, p. 41 - 50.

DODE, Luciana B.; CHAVES, Ana Lucia S.; ZANUSSO, Jerri T.; TORSIAN, Walleska S. Microverdes: cultivo na promoção da saúde e bem-estar. **Expressa Extensão.** Rio Grande do Sul, janeiro, 2021. v. 26, n. 1, p. 172 – 181.

DUARTE, P. M.; SANTANA, V. T. P.; DALMAS, A. D.; FERRI, I. E. B. Sistemas de Integração: uma Revisão Literária. **Uniciências**, v. 22, n. 2, p. 106-109, 2018.

Hersey, J. A. Monitoring homogeneity. **Drug Dev. Ind. Pharm. 1**. v. 18, pg. 119-132 (1974-75).

_____ Ordered mixing: a new concept in powder mixing practice.**Powder Teehnol.** v. 24, pg. 251-256 (1979).

KYRIACOU, Marios C.; ROUPHAEL, Youssef; DI GOIA, Francesco, et al. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. **Trends in Food Science and Technology.** Novembro, 2016, v. 57, p. 103 - 115.

LACEY, P. M. C. Developments in the theory of particIe mixing. **J. Appl**. Chem. 4: 257-268 (1954).

LIMA, G.J.M.M.; COVALSKI, C. Mini misturador horizontal com capacidade para 1,3 kg. **Comunicado Técnico 308**. Embrapa Suínos e Aves, 2002.

LIMA, G.J.M.M.; NONES, K. Determinação do tempo ótimo de mistura de um misturador de rações. Concórdia: **EMBRAPA-CNPSA**, 1997. 2p. (EMBRAPA-CNPSA). Instrução técnica para o suinocultor - Área de comunicação empresarial. ISSN 1516-554X. Nov. 1997.

LIMA, G.J.M.M.; NONES, K. Os cuidados com a mistura de rações na propriedade. Concórdia: **EMBRAPA-CNPSA,** 1997. 20p. (EMBRAPA-CNPSA. Circular Técnica).

LOBIUC, Andrei; VASILACHE, Viorica; PINTILIE, Olga, et al. Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acyanic and Cyanic Ocimum basilicum L. Microgreens. **Molecules.** România, novembro, 2017, v. 22, p. 1 – 14.

McCabe W.L., Smith J.C., Harriott P.- Unit Operations in Chemical Engineering - 5th edition, McGraw Hill, 2004 p. 952 - 955.

MIR, Ahamad S.; MIR, Mohammad M.; SHAH, Manzoor A. Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components. **Crit Rev Food Sci Nutr.** ago., 2017, n. 57, v. 12, p. 2730 – 2736.

PURQUEIRO, Luis Felipe V.; MORAES, Carolina C.; FACTOR, Thiago; CALORI, Alex. Bioeconomics: Promoting urban horticulture in the 21st century (Bioeconomia: Promoção da horticultura urbana do século XXI). **O Agronômico.** Campinas, 2018, v. 70, p. 6 – 19.

RAJAN, Preethi; LADA, Rajasekaran R.; MACDONALD, Mason T. Advancement in vertical farming for microgreen production. **American Journal of Plant Sciences.** Canadá, agosto, 2019. v. 10, p. 1397 – 1408.

SAMUOLIENÈ, Giedre; BRAZAITYTÈ, Ausra; VIRSILÈ, Akvile, et. al. Nutrient Levels in Brassicaceae Microgreens Increase Under Tailored Light-Emitting Diode Spectra. **Plant. Sci**. Lituânia, novembro, 2019, v. 10, p. 1 – 9.

SANTOS, Fabio L.; COSTA, Edlaine S.; LIMA, Claúdia Simone. Diferentes substratos no desenvolvimento e na pós-colheita de microverdes de beterraba (Beta vulgaris L.). **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha.** México, dezembro, 2020, v. 21, n. 2.

SKELLAND, A. H. P. **Non-newtonian flow and heat transfer.** New York: John Wiley. 1967. 586 p. English Version.

STANIFORTH, J. N. Total mixing 1M. 1. **Pharm. Technol. & Prod. Mfr.** 2: 7-12 (1981).

TADINI, C.C., TELIS, V.R.N., MEIRELLES, A.J.A., PESSOA FILHO, P.A. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos.** 1 ed., Rio de Janeiro: LTC Editora, 2016

TURNER, Ellen R.; LUO, Yaguang; BUCHANAN, Robert L. Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: a review. **Journal of Food Science**. Março, 2020, v. 85, n. 4, p. 870 – 882.

XIAO, Zhenlei; LESTER, Gene E.; LUO, Yaguang; WANG, Qin. Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens. **J. Agric. Food Chem.** 2012, v. 60, n. 31, p. 7644 – 7651.

XIAO, Zhenlei; LESTER, Gene E.; LUO, Yaguang; XIE, Zhuohong; YU, Liangli; WANG, Qin. Effect of light exposure on sensorial quality, concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity of radish microgreens during low temperature storage. **Food Chemistry.** Maio, 2014, v. 151, n. 15, p. 472 – 479.

ZANZINI, Alice Pereira. **Composição química de couve (Brassica oleracea L.) em diferentes estádios de desenvolvimento e avaliação da aceitabilidade de microgreens.** 2020. 70f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2020.

ZANZINI, Alice Pereira; OLIVEIRA, João Paulo L.; OLIVEIRA, Júlia A. C.; CARVALHO, Elisângela E. Avaliação de percepção dos hóspedes sobre microgreens oferecidos nas refeições do Lapinha Spa, Lpa, PR, Brasil: um projeto de extensão piloto. **Recima21 – Revista Científica Multidisciplinar.** 2020, v. 2, n. 6, p. 1 – 13.

ZORZETO, Thais Queiroz et al. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia** [online]. 2014, v. 73, n. 3 [Acessado 30 Novembro 2022], pp. 300-311.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0086>. Epub 08 Ago 2014. ISSN 1678-4499. https://doi.org/10.1590/1678-4499.0086.