

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar



Tese

**Projeto preliminar de uma máquina para capina térmica movida por tração
humana**

Douglas Silva da Rosa

Pelotas, 2023

Douglas Silva da Rosa

Projeto preliminar de uma máquina para capina térmica movida por tração humana

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado (DER-FAEM-UFPEL)

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Lilles Tavares Machado (DER-FAEM-UFPEL)

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

R788p Rosa, Douglas Silva da

Projeto preliminar de uma máquina para capina térmica movida por tração humana / Douglas Silva da Rosa ; Antônio Lilles Tavares Machado, orientador ; Roberto Lilles Tavares Machado, coorientador. — Pelotas, 2023.

106 f.

Tese (Doutorado) — Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Projeto de máquinas. 2. Capina térmica. 3. Produção orgânica. I. Machado, Antônio Lilles Tavares, orient. II. Machado, Roberto Lilles Tavares, coorient. III. Título.

CDD : 631.315

Douglas Silva da Rosa

Projeto preliminar de uma máquina para capina térmica movida por tração humana

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 14/09/2023

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado (Orientador)
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. André Oldoni
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Carlos Ricardo Trein
Doutor em Engenharia Agrícola pela University of Cranfield

.....
Prof. Dr. Roger Toscan Spagnolo
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Dedicatória

Dedico a minha mãe Sra. Deniz Silva da Rosa e ao meu pai Sr. Claudio Meireles da Rosa pelo amor, paciência, companheirismo, amizade, acolhimento e por me apoiarem em tudo aquilo que eu me proponho a fazer.

Agradecimentos

Agradeço inicialmente a minha família, especialmente aos meus irmãos Raquel Silva da Rosa e Cristian Silva da Rosa e a minha prima Claudia Andrades Pereira pela amizade, ajuda e disposição.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado pela orientação, paciência, disponibilidade, seriedade e amizade. Também agradeço ao coorientador Prof. Dr. Roberto Lilles Tavares Machado pela atenção e amizade.

Agradeço aos demais professores integrantes do NIMEq, Prof. Dr. Mauro Fernando Ferreira, Prof. Dr. Ângelo Reis e Prof. Dr. Fabricio Ardaís Medeiros, pela parceria adquirida nesse período.

Agradeço ao colega Marlon Sigales pela ajuda no trabalho e aos demais discentes do NIMEq pelo convívio e parceria desde o início dos trabalhos.

Também, agradeço aos agricultores entrevistados que dedicaram parte de seu tempo para contribuir com o trabalho, sendo eles a razão para o desenvolvimento do mesmo.

Agradeço ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro com concessão da minha bolsa de doutorado.

Agradeço aos meus amigos e irmãos do coração André Oldoni, Henrique Carlos Hadler Troger e aos seus familiares, pela amizade, atenção, companheirismo e ajuda concedida durante todo o trabalho, os quais foram importantes para essa conquista.

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigado a todos...

Resumo

ROSA, Douglas. **Projeto preliminar de uma máquina para capina térmica movida por tração humana**. 2023. 106f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

A agricultura familiar caracteriza-se por produzir diversos alimentos que compõem a nutrição da população brasileira. Dentre as principais culturas produzidas tem-se a mandioca, feijão, milho, batata, café e arroz. Uma parcela dos agricultores familiares produz alimentos sem adição de produtos químicos, sendo considerados produtores de alimentos orgânicos. Esses produtores encontram dificuldades no manejo cultural das plantas espontâneas por realizarem o controle de forma manual, associado a falta de tecnificação e de mão de obra disponível. O objetivo do presente trabalho consiste em desenvolver o protótipo funcional de uma máquina para capina térmica de plantas espontâneas movida por tração humana, voltada a atender as necessidades dos agricultores familiares, com base no conceito obtido por Rosa (2018). Foi utilizada a metodologia de projeto denominada Modelo de Fases, empregada com êxito no projeto de máquinas agrícolas, que se divide em quatro etapas: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. As fases de projeto informacional e conceitual foram utilizadas em trabalho anterior (ROSA, 2018) e serviram de base para a sequência deste. Apenas as etapas do projeto preliminar foram aplicadas e geraram o desenvolvido do primeiro protótipo para determinação e especificação técnica de alguns componentes que auxiliaram no desenvolvimento do segundo protótipo funcional. O protótipo funcional foi testado quanto a sua funcionalidade na aplicação de calor, nos aspectos ergonômicos relacionados a interação homem-máquina e nas simulações para obtenção dos ângulos de tombamento. Por meio dos testes foram evidenciadas algumas melhorias necessárias para o protótipo. Contudo, verificou-se que o mesmo apresenta condições para realizar o tratamento térmico, gerando danos significativos às plantas espontâneas em terrenos planos e com superfície do solo irregular, verificou-se também que um sistema gerador de centelhas é indispensável para manutenção das chamas, tornando o equipamento seguro e eficaz quanto ao tratamento térmico.

Palavras-chaves: Projeto de máquinas; Capina térmica; Produção orgânica.

Abstract

ROSA, Douglas. **Preliminary design of a thermal weeding machine powered by human traction**. 2023. 106f. Thesis (Doctorate in Agronomy) - Graduate Program in Family Agricultural Production Systems, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

Family farming is characterized by producing various foods that make up the nutrition of the Brazilian population. Among the main crops produced are cassava, beans, corn, potatoes, coffee and rice. A portion of family farmers produce food without the addition of chemical products, being considered organic food producers. These producers encounter difficulties in the cultural management of weed because they carry out the control manually, associated with the lack of technology and available labor. The objective of this work is to develop the functional prototype of a machine for thermal weeding of weed powered by human traction, aimed at meeting the needs of family farmers, based on the concept obtained by Rosa (2018). The design methodology called Model of Phases was used, successfully employed in the design of agricultural machinery, which is divided into four stages: informational design, conceptual design, preliminary design and detailed design. The informational and conceptual design phases were used in previous work (ROSA, 2018) and served as the basis for the sequel to this one. Only the preliminary design steps were applied and generated the development of the first prototype for the determination and technical specification of some components that helped in the development of the second functional prototype. The functional prototype was tested regarding its functionality in the application of heat, in the ergonomic aspects related to the human-machine interaction and in the simulations to obtain the tipping angles. Through the tests, some necessary improvements for the prototype were evidenced. However, it was verified that it presents conditions to carry out the thermal treatment, causing significant damage to weed in flat land and with irregular soil surface, it was also verified that a spark generator system is indispensable for maintaining the flames, making the equipment safe and effective in terms of heat treatment.

Keywords: Machine desing; Thermal weeding; Organic production.

Lista de Figuras

Figura 1 - Desenho esquemático do mecanismo aplicador de calor, patenteado por Johnstone e Smith, 2001.....	20
Figura 2 - Desenho esquemático do mecanismo aplicador de calor patenteado por Ramires et al., 2006.	20
Figura 3 - Equipamento manual para aplicação de calor localizada.	21
Figura 4 - Mecanismo de tração humana utilizado para aplicação de calor.....	21
Figura 5 - Equipamento manual para aplicação de calor.	22
Figura 6 - Capinadeira a fogo para controle de plantas espontâneas.	22
Figura 7 - Carrinho de queimar penas em aviários agrícolas.....	23
Figura 8 - Equipamento de aplicação de calor manual costal.	24
Figura 9 - Equipamento de aplicação de calor com GLP transportado por carrinho manual.....	24
Figura 10 - Equipamento de aplicação de calor com GLP transportado por carro motorizado.....	25
Figura 11 - Equipamento de tração humana para aplicação de calor com GLP.	25
Figura 12 - Equipamento de tração humana para manejo cultural.....	26
Figura 13 - Modelo do processo de projeto de fases.	29
Figura 14 - Fluxograma das etapas da metodologia do projeto preliminar, adaptado de Oldoni (2016).....	32
Figura 15 - Quadro de especificações dos SSCs, do protótipo.....	35
Figura 16 - Características dos operadores que realizaram o teste ergonômico.	38
Figura 17 - Valores das tensões de pré-adensamento (Tp) para três tipos de solo em função das consistências do solo (MACHADO et al., 2003).....	41
Figura 18 - Concepção final da máquina de aplicação de calor estabelecida através da combinação dos princípios de solução.....	41
Figura 19 - Classificação dos sistemas hierarquizadas a partir do trabalho de Rosa (2018).	42
Figura 20 - Especificações do sistema de aplicar calor nas plantas espontâneas, do protótipo 2.	47
Figura 21 - Perspectiva isométrica do sistema Aplicar calor, do protótipo 2.	48
Figura 22 - Especificações do sistema de dosar gás, desenvolvido para o protótipo2.	52

Figura 23 - Perspectiva isométrica do sistema dosar gás, do protótipo 2	53
Figura 24 - Perspectiva isométrica do sistema Dosar gás e sistema Aplicar calor, do protótipo 2	53
Figura 25 - Especificações do sistema de gerar centelhas, desenvolvido para o protótipo2.	57
Figura 26 - Perspectiva isométrica do sistema de gerar centelhas, do protótipo 2. ..	58
Figura 27 - Perspectiva isométrica dos sistemas Aplicar calor, Dosar gás e Gerar centelhas, do protótipo 2.	58
Figura 28 - Determinação da altura da campânula com relação ao solo, para ultrapassar um obstáculo.	60
Figura 29 - Aspectos dimensionais do protótipo e seus componentes.....	61
Figura 30 - Especificações do sistema suportar mecanismos, desenvolvido para o protótipo2	73
Figura 31 - Perspectiva isométrica do sistema de suportar mecanismos, do protótipo 2.	75
Figura 32 - Perspectiva isométrica dos sistemas Suportar mecanismos, Aplicar calor, Dosar gás e Gerar centelhas do protótipo 2.	76
Figura 33 - Especificações do sistema Aplicar calor manualmente, desenvolvido para o protótipo2.	78
Figura 34 - Perspectiva isométrica do sistema Aplicar calor manualmente, do protótipo 2.	79
Figura 35 - Vista detalhada do sistema Aplicar calor manualmente fixada ao sistema Suportar mecanismos.....	80
Figura 36 - Perspectiva isométrica dos sistemas Aplicar calor manualmente, Aplicar calor, Dosar gás, Gerar centelhas e Suportar mecanismos, do protótipo 2.	80
Figura 37 - Esforço no deslocamento e altura do mecanismo de transmissão de potência.....	82
Figura 38 - Especificações do sistema suportar mecanismos, desenvolvido para o protótipo2.	84
Figura 39 - Perspectiva. Isométrica do protótipo 2 com todos seus sistemas montados.	85
Figura 40 - Protótipo 2 fabricado e montado com seus SSCs.....	86

Figura 41 - Imagem da área antes do tratamento térmico das plantas espontâneas.	87
Figura 42 - Imagem da área 0 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.	87
Figura 43 - Imagem aproximada da área, 0 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.	88
Figura 44 - Imagem da área 3 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.	89
Figura 45 - Imagem aproximada da área, 3 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.	89
Figura 46 - Imagem da área 7 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.	90
Figura 47 - Imagem aproximada da área, 7 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.	91
Figura 48 - Imagem da área 12 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.	92
Figura 49 - Imagem aproximada da área, 12 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.	92
Figura 50 - Deslocamento realizado pelo protótipo no sentido do aclave.	94
Figura 51 - Deslocamento realizado pelo protótipo no sentido do declive.	94
Figura 52 - Deslocamento realizado pelo protótipo no sentido oblíquo.	95
Figura 53 - Teste realizado para determinação do tombamento longitudinal para trás do protótipo 2.	96
Figura 54 - Teste realizado para determinação do tombamento lateral do protótipo 2.	96
Figura 55 - Teste realizado para determinação do tombamento oblíquo do protótipo 2.	97
Figura 56 - Largura média de controle das plantas espontâneas, após o teste.	98

Lista de Abreviaturas e Siglas

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CHS	Classificação Hierárquica de Subfunções
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
Ha	Hectare
Kg	Quilograma
kPa	Quilopascal
NIMEq	Núcleo de Inovação em Máquinas e Equipamentos Agrícolas
UFPeI	Universidade Federal de Pelotas
°C	Grau Celsius
m	Metro
mm	Milímetro
m.s ⁻¹	Metro por segundo

Sumário

1.	Introdução.....	13
2.	Objetivos.....	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos	14
3.	Revisão de literatura	14
3.1	Produção de alimentos orgânicos.....	14
3.2	Importância do manejo das plantas espontâneas.....	16
3.3	Métodos de controle físico através da aplicação de calor	17
3.4	Equipamentos manuais para o controle térmico de plantas espontâneas	19
3.5	Parâmetros técnicos para o projeto de um mecanismo aplicador de calor.....	26
3.6	Metodologia de projetos de máquinas agrícolas.....	28
3.7	Protótipos.....	30
4.	Metodologia	31
4.1	Teste do sistema suportar mecanismos do protótipo 1	36
4.2	Teste do sistema acoplar fonte de potência do protótipo 1.....	37
4.3	Testes do protótipo 2	37
5.	Resultados e Discussão	41
5.1	Especificações do sistema do protótipo 2.....	42
5.1.1	Sistema Aplicar calor	42
5.1.2	Sistema Dosar gás, protótipo 2.....	49
5.1.3	Sistema de Gerar Centelhas, protótipo 2.....	54
5.1.4	Sistema Suportar mecanismos, protótipo 2	59
5.1.5	Sistema Aplicar calor manualmente, protótipo 2.....	76
5.1.6	Sistema Acoplar fonte de potência, protótipo 2	81
5.2	Resultados dos testes funcionais do protótipo 2.....	86
6.	Conclusões	100
	Referências	101

1. Introdução

A agricultura familiar é responsável por garantir boa parte dos alimentos e produtos que são consumidos no Brasil. Culturas como mandioca, feijão, milho, batata, café e arroz recebem destaque em termos de produtividade neste segmento. Associado a isto, outras atividades como pecuária e criações de outros animais também apresentam importância significativa para os agricultores familiares.

A produção de alimentos orgânicos é uma excelente alternativa para o agricultor familiar, permitindo a diversificação de cultivos e gerando renda para a família. Um dos principais entraves enfrentados pelos produtores é o manejo cultural das plantas espontâneas.

O controle das plantas espontâneas ocorre em sua maioria de forma manual, proporcionando atividades mais árduas e danosas para os agricultores orgânicos. Associado a isto, a falta de mão de obra gera diversas dificuldades na produção das culturas. Também a utilização indiscriminada de agrotóxicos, na produção agrícola, tem chamado à atenção da população quanto aos danos causados à saúde e para a importância do consumo de alimentos orgânicos.

O controle térmico é considerado uma tecnologia limpa que não gera resíduos ao meio ambiente. A instrução normativa nº 17, de 18 de junho de 2014 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), regulamenta as técnicas para uso nos sistemas orgânicos de produção animal e vegetal, definindo os procedimentos básicos para produção orgânica vegetal. Esse documento recomenda a prática do controle térmico como uma forma de manejo das plantas espontâneas a serem realizadas pelos agricultores orgânicos.

O mercado brasileiro caminha lentamente no desenvolvimento de máquinas e equipamentos destinados a atender às necessidades da agricultura familiar, principalmente no caso dos produtores orgânicos, que carecem de equipamentos e tecnologia para controlarem o desenvolvimento das plantas espontâneas.

Desta forma o desenvolvimento de um dispositivo aplicador de calor, eficaz no controle das plantas espontâneas e economicamente viável, será um grande benefício para os agricultores, oferecendo a manutenção da produtividade aliada à qualidade de vida e menor tempo e penosidade de execução desta atividade.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Desenvolver o protótipo funcional de uma máquina para capina térmica de plantas espontâneas movida por tração humana, voltada a atender as necessidades dos agricultores familiares, com base no conceito obtido por Rosa (2018).

2.2 Objetivos específicos

- a) Representar através de ferramenta CAD (*Computer Aided Design*) o protótipo de uma máquina aplicadora de calor para o controle térmico de plantas espontâneas movida por tração humana para o controle de plantas espontâneas por meio da aplicação de calor;
- b) Elaborar o quadro de especificações dos sistemas, subsistemas e componentes do protótipo;
- c) Fabricar o protótipo funcional a partir do quadro de especificações;
- d) Realizar testes de desempenho funcional do protótipo.

3. Revisão de literatura

3.1 Produção de alimentos orgânicos

Os agricultores que produzem alimentos orgânicos caracterizam-se por fazê-lo de maneira não convencional, ou seja, sem o uso de produtos químicos. Uma das principais dificuldades encontradas por estes vem a ser o controle das plantas espontâneas que competem por nutrientes, água e luz e que se mal controladas, podem prejudicar o desenvolvimento das culturas e consequentemente afetar a produtividade (ROSA, 2018).

Em 2021 o número de produtores de alimentos orgânicos no mundo era de 3,7 milhões e a venda de bebidas e alimentos orgânicos geraram aproximadamente 125 bilhões de euros (WILLER et al., 2023).

A área disponível para a produção de alimentos orgânicos apresentou um importante crescimento no período entre 2000 e 2021, superando os 15 milhões de

hectares de terras e atingindo 76,4 milhões de hectares, no qual se destacam a Oceania com 47% da área destinada à produção orgânica, seguida pela Europa (23%), América Latina (13%), Ásia (8,5%), América do Norte (4,6%) e África (3,5%) (WILLER et al., 2023). No entanto, este acréscimo de área corresponde a 1,7% da área agricultável do mundo destinada ao cultivo de alimentos orgânicos (WILLER et al., 2023).

Na América do Sul, mais de 227 mil agricultores administram aproximadamente 10 milhões de hectares de terras que produzem alimentos orgânicos. A Argentina apresenta a maior área disponível para a produção de alimentos orgânicos (4,1 milhões de hectares), sendo acompanhada por Uruguai (2,7 milhões de hectares) e Brasil (1,5 milhões de hectares), (WILLER et al., 2023).

No Brasil segundo dados do MAPA, obtidos em 2023, existem mais de 25 mil produtores orgânicos certificados. Os principais estados com relação ao número de unidades de produção orgânica certificadas são Paraná, Rio Grande do Sul, Pará, São Paulo, Bahia e Santa Catarina, sendo a região sul predominantemente ocupada por pequenas propriedades familiares que se destacam na produção de hortaliças, frutas, erva mate e cereais.

Já o Rio Grande do Sul apresenta um total de 3.667 propriedades certificadas segundo o MAPA (2023), sendo as principais cidades Morrinhos do Sul, Três Cachoeiras, Nova Santa Rita, Ipê, Canguçu, Antônio Prado. O município de Pelotas apresenta um total de 56 propriedades certificadas como produtoras de alimentos orgânicos.

Em trabalho realizado por Rosa (2018), com agricultores familiares que produzem alimentos orgânicos, localizados em alguns municípios da zona sul do Rio Grande do Sul, verificou-se que 95,65% possuem áreas compreendidas entre 0 a 10ha. As áreas empregadas para produção de alimentos orgânicos, por parte dos produtores entrevistados, em sua maioria, se devem a pouca disponibilidade de mão de obra e a baixa oferta de novas tecnologias e equipamentos agrícolas, principalmente para a etapa de manejo das plantas espontâneas (ROSA, 2018).

Darolt e Skora Neto (2002) comentam que em sistemas de produção orgânica, a capina manual em conjunto com outras práticas de manejo são largamente utilizados em contraposição ao uso de produtos químicos.

Quanto à produção constatou-se que as hortaliças vêm a ser a cultura mais produzida (hortaliças folhosas 69,57%, beterraba 65,22%, cebola e abóbora ambas

com 39,13%, mandioca 26,09%, batata doce 17,39% e batata 8,70%), cuja diversificação e grande necessidade de mão de obra para sua implementação, implicam no cultivo de áreas menores, visto que a produção em grande escala é praticamente inviável, dado à falta de equipamentos (ROSA, 2018).

No entanto, a sucessão das culturas, apresenta-se como excelente ferramenta para a comercialização nas feiras e auxilia no consumo dos próprios produtores. Já com relação à produção de milho (52,17%) e feijão (39,13%), além de possuírem grandes percentuais produtivos nas propriedades, estas culturas, também ocupam as maiores áreas de produção, 2,53ha e 1,50ha respectivamente, nas unidades familiares estudadas (ROSA, 2018).

3.2 Importância do manejo das plantas espontâneas

As plantas espontâneas causam interferências nas culturas introduzidas em áreas agrícolas, ocasionando danos na produtividade e na qualidade dos grãos e sementes. Segundo Pitelli (1987) a competição é a principal interferência direta que as plantas espontâneas podem causar nas culturas agrícolas, pois disputam nutrientes minerais essenciais, luz, água e espaço. Existem também, segundo o autor, interferências consideradas indiretas às culturas, que são realizadas pelas plantas espontâneas quando estas atuam como plantas hospedeiras de pragas, de moléstias, de nematoides e quando são plantas parasitas.

O grau de interferência das plantas espontâneas pode produzir a redução percentual do crescimento ou produtividade de uma cultura segundo (OLIVEIRA et al., 2011).

Lorenzi (2000) comenta que as plantas espontâneas ao gerarem interferências na cultura da soja provocam perdas na produção de aproximadamente 30 a 40%. Na cultura do milho a competição entre as plantas daninhas e a cultura podem gerar perdas de aproximadamente 87% se não houver nenhum manejo cultural no período crítico (KOZLOWSKI, 2002).

Segundo Oliveira et al. (2011) existem períodos de controle e períodos de convivência entre as plantas daninhas e as culturas agrícolas, onde não há prejuízos produtivos para os agricultores.

Os agricultores iniciam o controle das plantas espontâneas no período compreendido entre os dez e vinte dias após a emergência de algumas culturas,

principalmente para as hortaliças, onde ocorrem de 2 a 4 intervenções no período de cultivo (ROSA, 2018).

O período crítico de prevenção da interferência das plantas espontâneas em relação à cultura do milho, segundo Kozlowski (2002), corresponde aquele compreendido entre os estádios fenológicos de 2 a 7 folhas totalmente expandidas, sendo necessário, que a cultura fique na ausência das plantas espontâneas durante esse período de tempo. Isto ocorre entre 15 e aproximadamente 50 dias após a emergência da cultura. Ainda segundo o autor a competição antes e após o período, não afeta significativamente o rendimento dos grãos da cultura.

Segundo Skóra Neto (2003) a competição entre as plantas espontâneas e a cultura do milho geram perdas de rendimento e produtividade, que no período crítico da cultura podem ser irreversíveis mesmo com o manejo das plantas espontâneas.

Já para a cultura do feijão o período crítico de prevenção à interferência ou de competição com as plantas espontâneas, ocorre entre 11 e 35 dias após a emergência da cultura, não havendo prejuízos consideráveis à produtividade após esse período. A interferência das plantas espontâneas pode reduzir o rendimento de grãos do feijão em até 90% (FREITAS et al., 2009).

Nesse período de manejo das plantas espontâneas, que ocorre em média duas vezes por safra, as culturas do feijão e do milho possuem em média 0,25 a 0,40m de altura (ROSA, 2018).

3.3 Métodos de controle físico através da aplicação de calor

Entre os anos de 1930 e 1960 nos Estados Unidos da América o controle térmico ou a chamada capina térmica tinha grande uso na agricultura, principalmente nas culturas do algodão e sorgo, porém esta técnica perdeu espaço para os herbicidas que surgiram neste período com atrativos econômicos. O controle térmico voltou a ganhar espaço especialmente entre os agricultores orgânicos em meados dos anos 80 e 90 (DIVER, 2002). Corroborando com Sullivan (2001) que comenta que o controle térmico tornou-se novamente uma alternativa interessante para substituição do controle com produtos químicos no final dos anos 90 nos Estados Unidos da América.

De acordo com Nagumo et al. (2011) o método térmico é pouco utilizado entre os produtores e pesquisadores para o controle de plantas espontâneas no Brasil. Alguns produtores utilizam equipamentos improvisados para aplicação de calor com

uso de botijões GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) sem nenhum mecanismo de segurança e a chama é produzida por um lança-chamas. Silva (2006) utilizou a aplicação de calor, através do uso de um lança-chamas para a dessecação de ramas e folhas de batata e obteve resultados satisfatórios em comparação com o uso de desseccantes químicos.

No controle de plantas espontâneas a aplicação de lança-chamas e radiação infravermelha, podem ser consideradas técnicas térmicas importantes. Essa tecnologia por não deixar resíduos no solo ou nos alimentos pode ser entendida como uma técnica limpa (MARCHI et al., 2008).

O uso da radiação infravermelha como método físico de controle das plantas espontâneas, ocorre através do aquecimento de uma chapa ou componente cerâmico submetido a chamas com altas temperaturas que fazem com que a temperatura de contato com as plantas fique próxima a 1000°C e realize o tratamento térmico (DIVER, 2002).

Segundo Silva (2008) a literatura brasileira aborda o controle físico com altas temperaturas para queima de pastagens e restos culturais, no entanto, no tratamento térmico, a planta é submetida a chamas oriundas de um equipamento para que ocorram danos fisiológicos, sem que haja a necessidade da queima da mesma.

No controle através da aplicação de calor o ponto letal térmico para muitas células vegetais situa-se entre 45 e 55°C. Nas plantas submetidas à aplicação de calor, através da chama, ocorre à morte da parte superior do sistema radicular, devido ao transporte de produtos tóxicos oriundos da termo degradação de componentes da parte aérea (OLIVEIRA et al., 2011). Taiz e Zeiger (2004) também descreve que a maior parte dos tecidos superiores das plantas não resiste à exposição prolongada de temperaturas acima de 45°C.

O controle de plantas espontâneas com temperaturas superiores a 58°C pode ser considerado letal para plantas de pequeno porte com uma variação de tempo de 0,5 a 2 segundos. No entanto, para plantas espontâneas mais desenvolvidas o mesmo tempo pode gerar danos satisfatórios (VIRBICKAITE et al., 2006).

O tratamento térmico segundo Ascard (1995 apud SILVA, 2008) é influenciado por alguns fatores. Um destes refere-se à aplicação de temperaturas a partir de 55°C e próximas a 100°C, as quais são letais nas folhas e caules das plantas daninhas. Outro fator é o tempo de exposição das plantas a elevadas temperaturas dentro de uma amplitude de variação de 0,065 a 0,13 segundos, sendo suficientes para matá-

las. Já o tratamento térmico pode ser realizado através de queimadores abertos (ação direta das chamas), queimadores cobertos (ação direta das chamas associada com radiação infravermelha) e queimadores infravermelhos (ação somente da radiação infravermelha).

Em um experimento realizado, constatou-se que o tratamento térmico aplicado em plantas espontâneas, com folhas que apresentavam baixos teores de umidades, foi considerado mais eficiente, devido ao longo período de exposição solar que as mesmas ficaram expostas durante o dia (ULLOA et al., 2012).

Diver (2002) comenta que a aplicação de calor quando atinge uma planta, provoca à murcha e como consequência a morte, devido ao calor gerar o rompimento da membrana de suas células.

Na comparação realizada entre os métodos de controle mecânico e o controle térmico de plantas espontâneas Virbickaite et al. (2006) comenta que para plantas espontâneas anuais o controle térmico é 22,5% mais eficiente que o controle mecânico, no entanto para plantas espontâneas perenes o método mecânico é 32% mais eficiente.

Com relação ao método de controle térmico, Spagnolo (2014) desenvolveu o projeto de um equipamento de 4 linhas tracionado por um trator para o controle das plantas espontâneas nas entre linhas das culturas de milho e feijão, através da aplicação de calor por chama direta.

O controle térmico realizado em plantas espontâneas apresenta a vantagem de eliminar a planta tratada, não permitindo uma nova brotação. Fato que não ocorre no uso do tratamento mecânico realizados por roçadoras (VIRBICKAITE et al., 2006).

3.4 Equipamentos manuais para o controle térmico de plantas espontâneas

O equipamento desenvolvido por Johnstone e Smith (2001) (Figura 1) é transportado manualmente pelo operador e utilizado para áreas pequenas. Para realizar o controle das plantas espontâneas através do controle térmico, executa-se a aplicação de calor através de um bico fixado em uma das extremidades de uma barra, que é conectada através de uma tubulação a um botijão de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e o acionamento do sistema ocorre através de um gatilho.

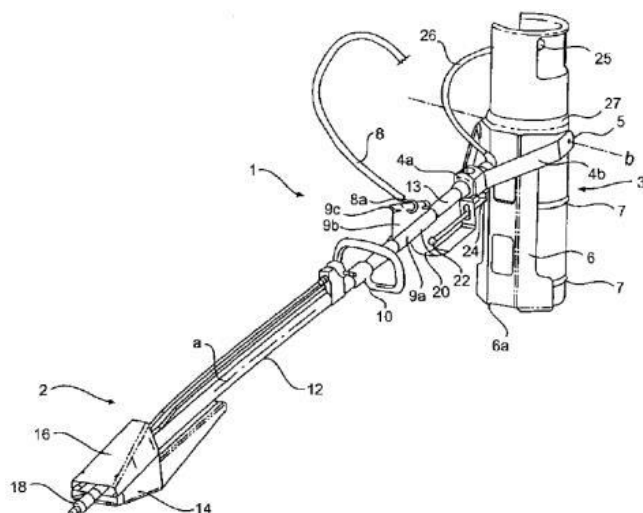


Figura 1 - Desenho esquemático do mecanismo aplicador de calor, patenteado por Johnstone e Smith, 2001.

A máquina desenvolvida para combater pragas de solo como formigas, cupins e outros artrópodes através do controle térmico, patenteado por Ramires et. al (2006) (Figura 2). O equipamento consiste em um tubo direcionador de chama com perfurações na extremidade oposta a saída da chama para entrada de oxigênio, que é conectada a uma haste com uma válvula de controle de fluxo interligado ao cabo de manipulação, que por sua vez, é conectada ao tubo de condução de gás de material flexível e anti-chamas. O tubo de condução de gás possui em sua extremidade oposta uma válvula de controle de fluxo de gás ligado a um botijão de GLP. Este equipamento permite à aplicação de calor na entrada das cavidades feitas no solo através de uma haste perfuradora de solo. O transporte é realizado manualmente pelo operador, podendo ser utilizado de forma localizada na área onde ocorrem as infestações.

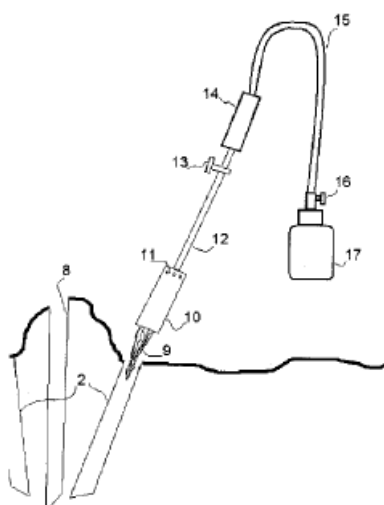


Figura 2 - Desenho esquemático do mecanismo aplicador de calor patenteado por Ramires et al., 2006.

O equipamento desenvolvido por Pomper e Crabtree (2006) (Figura 3) foi desenvolvido para ser utilizado em atividades ligadas a construção civil, porém os autores também empregaram no controle de plantas espontâneas na fruticultura em produção orgânica de frutas.



Figura 3 - Equipamento manual para aplicação de calor localizada.
Fonte: POMPER e CRABTREE, 2006.

O equipamento apresentado na Figura 4 é movido pelo esforço realizado pelo operador para promover o controle de plantas espontâneas. Comparado aos equipamentos manuais, essa máquina, por transportar o botijão sobre seu chassi, gera condições ergonômicas favoráveis ao operador. A regulagem na altura de aplicação dos bicos aplicadores de calor é uma excelente solução técnica que pode tornar o controle térmico mais fácil eficaz.



Figura 4 - Mecanismo de tração humana utilizado para aplicação de calor.
Fonte: GALLANDT, 2010.

O dispositivo aplicador de calor projetado por Diver (2002) (Figura 5) é movido por meio do esforço realizado por um dos membros superiores de quem o manipula. Este mecanismo possui uma roda guia posicionada a frente dos bicos aplicadores e a regulagem da altura de aplicação é realizada pelo operador, que pode suspender o conjunto aplicador de calor, ao mesmo tempo em que o movimenta e o direciona, carregando nas costas o botijão de gás.



Figura 5 - Equipamento manual para aplicação de calor.
Fonte: Diver, 2002.

A capinadora a fogo (Figura 6) patenteada por Leal et al. (2002) é um equipamento de tração humana. Seu chassi suporta um ou mais botijões de gás que são conectados a uma tubulação condutora, que permite o fluxo do mesmo até um sistema de bicos injetores, localizados na parte traseira do equipamento e arranjados para o tratamento de uma linha ou qualquer outra disposição admissível. O sistema de gás alimenta uma chama de temperatura elevada ejetada pelos bicos numa determinada altura do chão, realizando a queima das espécies vegetais indesejadas.

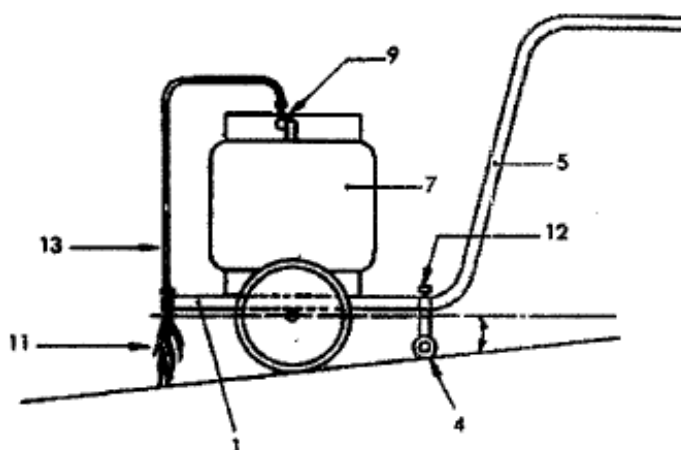


Figura 6 - Capinadeira a fogo para controle de plantas espontâneas.
Fonte: LEAL et al., 2002.

O carrinho de queimar penas em aviários agrícolas (Figura 7) é composto por um chassi suportado por um eixo com duas rodas. O mesmo permite a utilização de até dois botijões de 13kg de gás, além de dois registros reguladores de vazão acoplado aos botijões que são interligados por mangueiras que alimentam os 11 bicos lança chamas, fixados em uma barra com largura de 1,10m situada na parte frontal do equipamento. Este equipamento é de tração humana, no qual o operador executa o movimento por meio de uma estrutura tubular ligada ao chassi possibilitando a regulação da altura de aplicação de calor (MF RURAL, 2017).



Figura 7 - Carrinho de queimar penas em aviários agrícolas.
Fonte: MF RURAL, 2017.

A empresa italiana Migonzzi Group (2017) desenvolveu alguns equipamentos denominados *Piro de serbo* para o controle de plantas espontâneas através da aplicação localizada de calor. A chama gerada por meio de um queimador acoplado a uma haste metálica interligada a uma mangueira fixada na válvula reguladora de pressão conectada ao botijão. Os botijões utilizados nos equipamentos podem ter capacidades de armazenamento diferentes de GLP, conforme os modelos de equipamentos que podem ser de aplicação de calor manual costal (Figura 8), aplicação de calor manual com o GLP transportado pelo operador num carrinho manual (Figura 9) e aplicação de calor manual com o GLP transportado por um carro motorizado (Figura 10).



Figura 8 - Equipamento de aplicação de calor manual costal.
Fonte: MIGONZZI GROUP, 2017.



Figura 9 - Equipamento de aplicação de calor com GLP transportado por carrinho manual.
Fonte: MIGONZZI GROUP, 2017.



Figura 10 - Equipamento de aplicação de calor com GLP transportado por carro motorizado.
Fonte: MIGONZZI GROUP, 2017.

O equipamento da Figura 11 (GUO et al., 2019) foi projetado principalmente para utilização em pequenas áreas agrícolas, conduzido pelo esforço de tração realizado por um operador para realizar o tratamento térmico de plantas espontâneas. É composto por um chassi, suportado por duas rodas, que transporta um botijão de GLP com peso total de aproximadamente 30kg. Apresentada 5 queimadores fixos e dispostos na parte frontal do carrinho, os quais são interligados por mangueiras a um registro regulador de vazão que está conectado ao botijão de gás, permitindo uma largura de trabalho de 1,04m.



Figura 11 - Equipamento de tração humana para aplicação de calor com GLP.
Fonte: GUO et al., 2019.

Na Figura 12 (AGRONOMIA RUSTICA, 2019) tem-se um equipamento desenvolvido para realizar o manejo cultural de plantas espontâneas. O tratamento térmico ocorre a partir das chamas geradas por 6 queimadores, os quais estão localizados na frente do equipamento em conjunto com uma chapa para evitar acidentes e minimizar os efeitos do vento. Esses queimadores são conectados a dutos, interligados a um registro regulador de vazão sobre o botijão de GLP. A máquina possui um chassi, suportado por 4 rodas, para alojar todos os mecanismos, sendo deslocada pelo operador devido ao esforço de tração realizado pelo mesmo.



Figura 12 - Equipamento de tração humana para manejo cultural.
Fonte: AGRONOMIA RUSTICA, 2019.

3.5 Parâmetros técnicos para o projeto de um mecanismo aplicador de calor

Alguns fatores devem ser observados para o desenvolvimento de um projeto de um mecanismo aplicador de calor, tais como pressão do gás necessário para o controle de plantas espontâneas, velocidade na aplicação de calor, altura do aplicador de calor em relação ao alvo, bem como seu ângulo de aplicação, teor de água nas plantas e estágio de desenvolvimento (VANHALA et al., 2004; ULLOA et al., 2010; ULLOA et al., 2011; ULLOA et al., 2012).

Silva (2008) encontrou nos ensaios realizados temperaturas elevadas na parte central das chamas que variavam de 900 a 1100°C, para todas as pressões utilizadas, sendo estas temperaturas encontradas superiores a temperatura considerada letal para as plantas de aproximadamente 100°C. Spagnolo (2014) obteve resultados similares na utilização de três queimadores de dimensões diferentes, onde conforme aumentavam-se as pressões de 49 até 126,9kPa obtinha-se um aumento na temperatura das chamas.

A redução na altura de aplicação de calor proporciona uma elevação da temperatura em relação ao alvo (SPAGNOLO, 2014). Spagnolo et al. (2020) ao utilizar em seu experimento queimadores com altura de 0,3m e ângulo de 30° em relação ao solo obtiveram resultados satisfatórios no controle das plantas espontâneas. Fato também observado por Silva (2008), que utilizou em seu experimento ângulo de trabalho de 45°C para queimador de aplicação de chama direta e altura de 0,26m em relação à superfície de aplicação, que proporcionaram obtenção de resultados positivos nos tratamentos térmicos realizados.

Diver (2002) comenta que os ângulos de aplicação dos queimadores de chama direta, são recomendados conforme o fabricante, porém podem variar de 30° a 40° em relação ao ponto de aplicação de calor.

Na comparação realizada utilizando três velocidades 1,17m.s⁻¹, 0,78m.s⁻¹ e 0,56m.s⁻¹ e com pressões de 98, 196 e 245kPa, Spagnolo et al. (2020) observaram que para as duas menores velocidades, associadas as duas maiores pressões, as taxas de controle das plantas espontâneas foram satisfatórias, evidenciando que quanto menor a velocidade de aplicação de calor mais eficaz foi o tratamento térmico. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Silva (2008), que observou que quanto menor a velocidade de aplicação, 0,56m.s⁻¹, maior o tempo de exposição das plantas espontâneas ao calor e mais eficaz o tratamento térmico, no entanto, maior foi o consumo de gás em relação aos demais tratamentos com velocidades maiores.

Silva (2008) nos tratamentos realizados por radiação e por chama direta obteve respostas mais eficazes no controle térmico das plantas com folhas largas se comparadas às plantas com folhas estreitas. Corroborando com os resultados encontrados por Ulloa et al. (2010), onde as plantas com folhas largas foram mais suscetíveis ao controle térmico apresentando 90% de controle, enquanto as plantas com folhas estreitas tiveram 80% de controle, sendo utilizados as mesmas doses de

gás durante os tratamentos. Sullivan (2001) também relaciona o fato de plantas de folhas largas serem mais sensíveis ao tratamento térmico que folhas estreitas.

Segundo Sullivan (2001) o tratamento térmico através da aplicação de calor por chamas, controla de forma mais eficaz plantas jovens com alturas de aproximadamente 0,05m ou no estágio de 3 a 5 folhas de desenvolvimento.

Sniauka e Pocius (2008) constataram que plantas espontâneas controladas na fase inicial de tratamento geram menor consumo de gás, pois a fase de crescimento da planta possibilita maior sensibilidade térmica, visto que plantas com caule com espessura de 1mm podem aquecer 2,7 vezes mais rápido que plantas com caules com espessuras de 2,8mm. O autor descreve que o diâmetro e a espessura da folha influenciam na velocidade de aquecimento das plantas e o teor de umidade não é fator determinante neste quesito.

Com base nas informações acima citadas o controle térmico apresenta-se como uma solução viável para realizar o controle das plantas espontâneas na agricultura orgânica sem a necessidade de aplicar produtos químicos e sem propiciar outras formas de manejo que sejam mais danosas à saúde dos agricultores familiares. Aliado a isso, Santos e Monteiro (2004) comentam que a demanda e a produção de alimentos orgânicos tem aumentado constantemente, oriundos da preocupação da população quanto a possibilidade de contaminação dos alimentos e dos resíduos químicos dispostos na natureza.

3.6 Metodologia de projetos de máquinas agrícolas

As metodologias de projeto aplicadas no desenvolvimento de produtos têm a finalidade de delinear a direção do projeto, bem como esclarecer as tomadas de decisões, podendo ser adaptadas ao projeto conforme as necessidades que surgirem durante seu desenvolvimento, a fim de serem mais eficientes no desenvolvimento de produtos (NORTON, 2013).

O mercado de máquinas agrícolas não atende as necessidades da agricultura familiar, deixando uma carência tecnológica elevada. Com o intuito de preencher a lacuna tecnológica de máquinas destinadas a agricultura familiar o NIMEq/UFPel vem trabalhando no desenvolvimento de máquinas e equipamentos que atendam as carências e necessidades desse grupo de produtores (ROSA, 2018).

Dentre as diversas metodologias utilizadas para o desenvolvimento tecnológico de produtos por projetistas de máquinas, tem se destacado o modelo de fases, abordando o projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado, conforme demonstra a Figura 13. Ao término de cada fase citada obtêm-se, como ganhos, as especificações de projeto, a concepção do produto, o leiaute definitivo e a documentação do produto respectivamente (FORCELLINI, 2003).

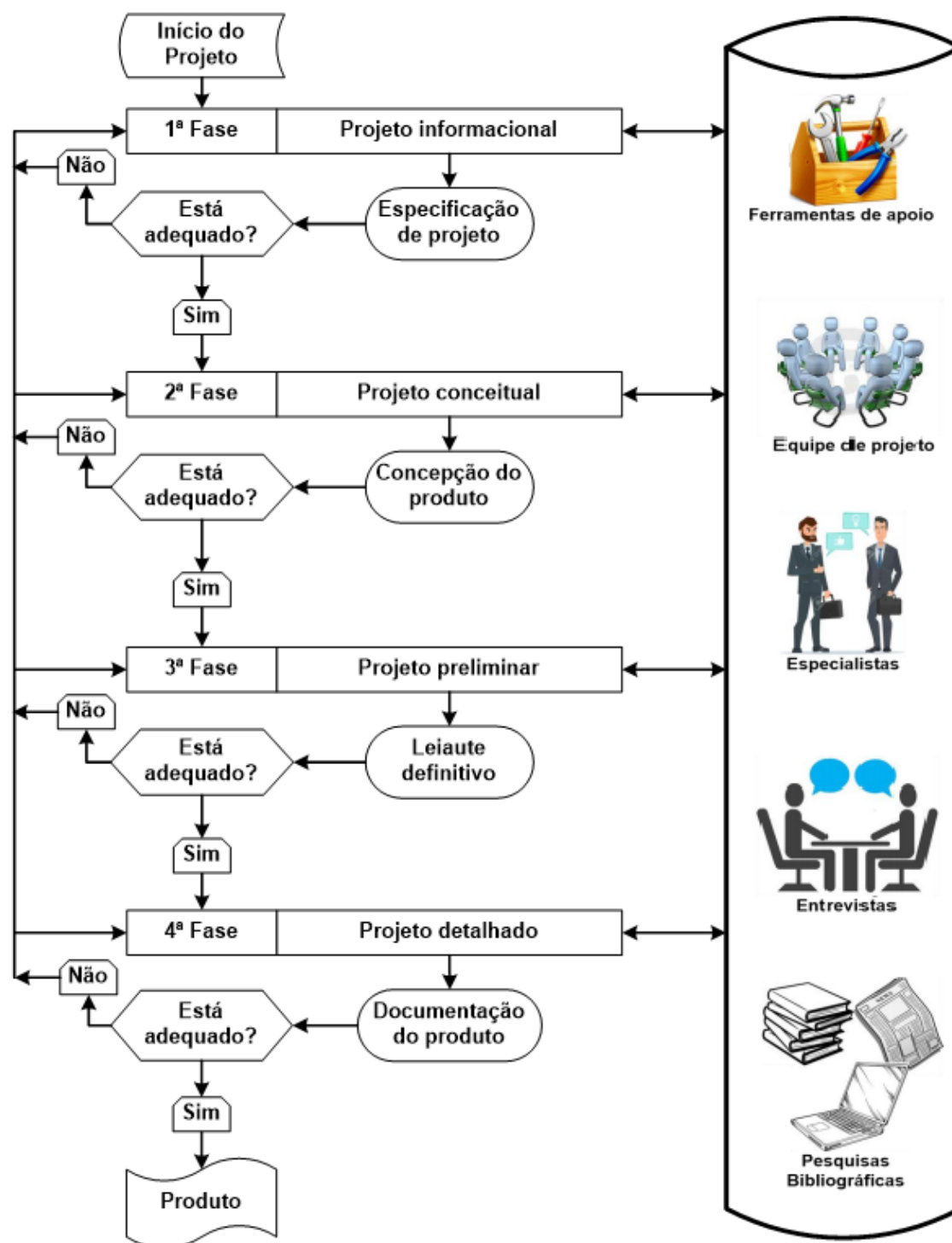


Figura 13 - Modelo do processo de projeto de fases.
Fonte: Oldoni (2012).

Através do modelo de fases da Figura 13 pode-se observar o fluxo de informação entre as fases, assim como o resultado obtido em cada uma delas e os momentos de tomada de decisão (OLDONI, 2012).

O projeto informacional inicia a partir da busca do máximo de informações que possam auxiliar na resolução de um problema de projeto que gerou a necessidade do desenvolvimento de um novo produto. Após é determinado o ciclo de vida do produto e identificados os clientes e suas necessidades que são transformadas em requisitos de cliente e estes convertidos em requisitos de projetos que são hierarquizados e dão origem as especificações de projeto (FORCELLINI, 2003; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

Na segunda fase, projeto conceitual, tem-se como resultado a concepção do produto desejado. As decisões tomadas nesta fase afetam diretamente as fases posteriores do projeto (FORCELLINI, 2003). A partir da formulação do problema de projeto é estabelecida a estrutura funcional, através do desenvolvimento da função global, parcial e elementar que propiciam a busca por princípios de solução para resolução do problema principal e determinação da concepção do produto PAHL et al., (2005).

A partir da concepção selecionada na fase anterior, inicia-se a definição do leiaute do produto, de acordo com critérios técnicos e econômicos da fase de projeto informacional. A configuração definitiva ocorre na fase de projeto preliminar com a lista de materiais, processos de fabricação e de montagem geral, assim como o projeto de componentes. Obtêm-se como resultados físicos dessa fase os desenhos técnicos, a construção de um protótipo e a execução de teste e análises (ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

Na última fase, projeto detalhado, são expressas toda a documentação técnica necessária à confecção do produto. Os procedimentos referentes à fabricação e montagem são detalhados, bem como especificadas as características dos materiais, de novos componentes e de componentes padronizados (ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

3.7 Protótipos

A confecção de um protótipo pode ocorrer nas fases de projeto conceitual e projeto preliminar, conforme a necessidade do projetista. Os protótipos têm

aplicabilidade para avaliação de produtos a partir de ensaios e simulações, dentro de um projeto que permitem gerar conhecimentos sobre os princípios de solução, corroborar no entendimento de aspectos abstratos e analisar a integração dos componentes. (PAHL et al., 2005; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

Segundo Rozenfeld et al. (2006) os modelos icônicos são a técnica de construção de protótipos mais antiga que se conhece, sendo muito utilizada na arquitetura, cujo objetivo é representar a geometria do produto em diferentes escalas, normalmente em escala menor, a do produto final. Sua representação pode ocorrer desde desenhos em CAD, maquetes e modelos reduzidos ou ampliados.

Os modelos analógicos, outra técnica de modelagem de produtos, representam o produto ou suas partes, obedecendo aos mesmos princípios e leis do produto original, sendo aplicados para avaliar a operação do produto. Como exemplos citam-se, os simuladores de voo, modelos de estruturas e modelos de embarcações para testes (ROZENFELD et al., 2006).

Já os protótipos funcionais são confeccionados com base em desenhos, para fabricação do produto, em seus estágios finais de elaboração. Possui os objetivos de avaliar o funcionamento do produto, seu desempenho, sua montabilidade, validar restrições, bem como, verificar a concordância com as especificações de projeto (ROZENFELD et al., 2006).

Uma alternativa promissora para o desenvolvimento de produtos é a prototipagem rápida que permite redução de custos e tempo nesses processos de construção. Essa técnica permite a realização de avaliações dimensionais do produto em etapas anteriores de seu processo de desenvolvimento. Como exemplo tem-se a fabricação de moldes e maquetes produzidas por meio de processos de sintetização ou deposição de materiais (ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

4. Metodologia

A fase de projeto preliminar foi desenvolvida no presente trabalho para obtenção do protótipo da máquina aplicadora de calor para o combate de plantas espontâneas. A metodologia foi adaptada de Oldoni (2016), o qual baseou-se em Pahl et al. (2005), Rozenfeld et al. (2006) e foi ajustada ao projeto no decorrer do seu desenvolvimento conforme a necessidade.

A Figura 14 apresenta o fluxograma das etapas da metodologia do projeto preliminar (OLDONI, 2016) que constitui a terceira fase de projeto do modelo de fases, o qual teve sua origem a partir da concepção do produto, advindo da segunda fase desenvolvida por Rosa (2018).

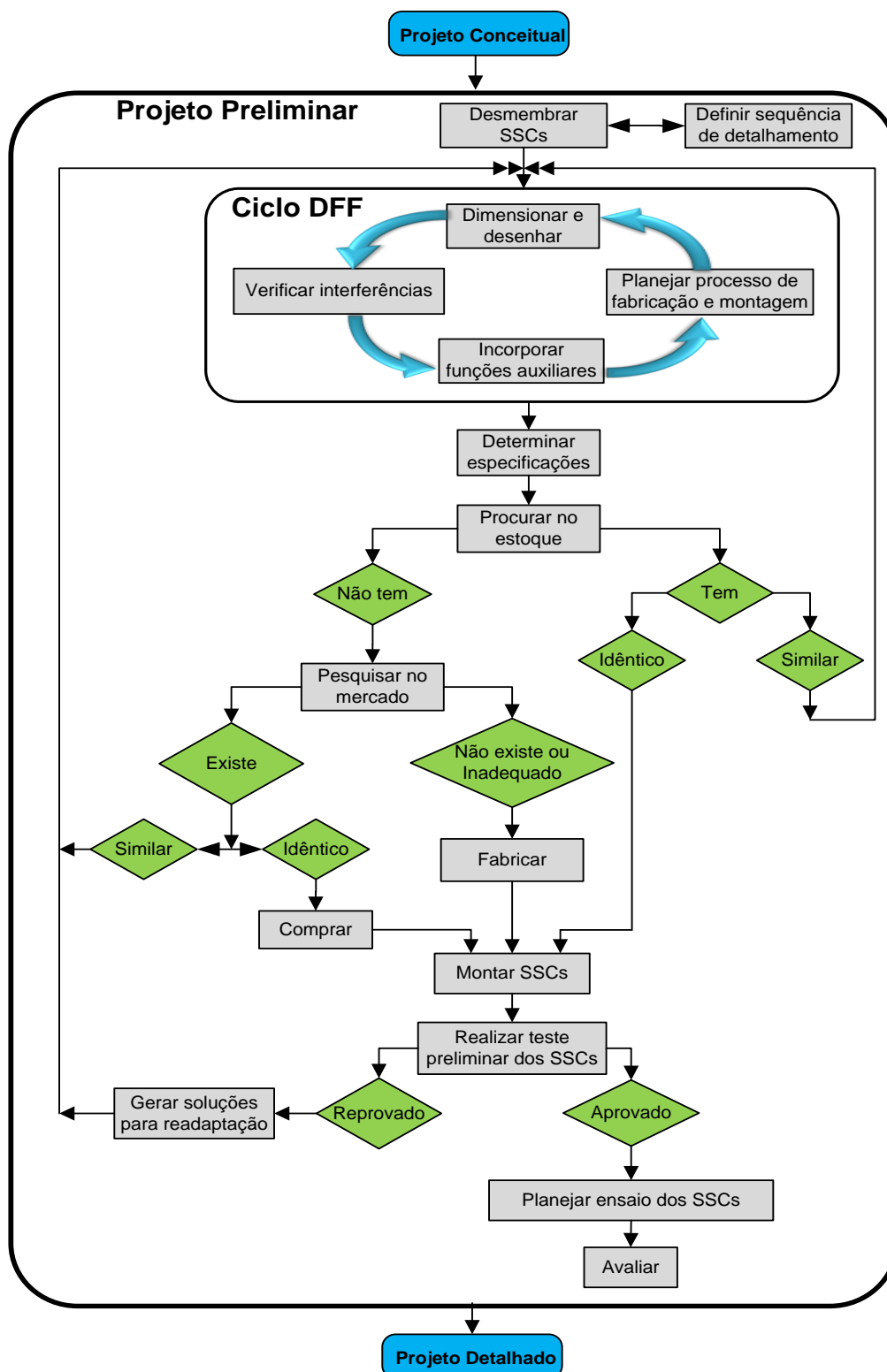


Figura 14 - Fluxograma das etapas da metodologia do projeto preliminar, adaptado de Oldoni (2016).
Fonte: Oldoni (2016).

Após a realização da fase de projeto conceitual, na qual obteve-se a concepção final, foi possível dar início à fase de projeto preliminar, por meio da realização da primeira tarefa dentro da metodologia, que consistiu em **desmembrar os SSCs**, que são os sistemas, subsistemas e componentes do leiaute da concepção.

O desmembramento dos SSCs consistiu primeiramente em particionar os sistemas da máquina de forma hierárquica. Esta etapa de hierarquização já foi realizada por meio da aplicação da ferramenta CHS, conforme trabalho publicado por Rosa et al. (2020), no qual, as funções então descritas F1, F2, F3... são agora denominadas como sistemas.

Num segundo momento, os sistemas já hierarquizados foram desmembrados em subsistemas, um após o outro, para então serem desmembrados em componentes, os quais executam funções com diferentes níveis de importância, sob a ótica da função principal do sistema.

Contudo, alguns sistemas não possuíam número significativo de componentes que exigissem a formação de subsistemas, e desta forma, os sistemas foram desmembrados diretamente em componentes.

Os subsistemas e componentes também foram hierarquizados conforme sua importância dentro do sistema que pertenciam. Esta hierarquização seguiu os seguintes critérios para **sequência de detalhamento**:

- Qual o subsistema possui o componente que desempenha a principal função do sistema?

- Qual componente desempenha a função principal dentre os demais componentes?

- O componente é encontrado comercialmente?

- Qual componente apresenta maior grau de influência sobre os demais?

A partir da aplicação destes critérios os componentes avaliados receberam uma ordem **sequencial de detalhamento** para especificação, com intuito de diminuir os problemas de interferência entre os mesmos, ocasionando retrabalho.

Após a obtenção da ordem de sequência de detalhamentos dos componentes, os mesmos foram submetidos ao ciclo de **Determinação da Forma Física (DFF)**.

O **Ciclo DFF** compreendeu as tarefas de **dimensionar e desenhar, verificar interferências, incorporar funções auxiliares e planejar os processos de fabricação e montagem**. Inicialmente cada um dos componentes hierarquizados passou pelas tarefas de **dimensionar e desenhar**, com auxílio de programa CAD, a

fim de determinar ao componente uma forma ou geometria, uma proporção dimensional, um ou mais materiais e elementos para a sua fixação.

Após isso, cada componente passou pela tarefa de **verificar interferências**, na qual foi realizada a análise da ocorrência de possíveis influências negativas de cada componente em relação aos componentes anteriormente especificados, como por exemplo, problemas de encaixe, alinhamento, posição e funcionamento.

Após elaborar os desenhos e analisar as interferências a próxima tarefa consistiu em verificar a necessidade de **incorporar funções auxiliares** a cada processo de desenvolvimento de um novo componente, buscando soluções em materiais e processos consolidados no mercado, para que fossem compatíveis com os SSCs projetados anteriormente, a fim de gerar economia e atender aos critérios técnicos.

Na tarefa **planejar os processos de fabricação e montagem**, almejou-se empregar processos usuais no mercado. Quando o componente não apresentava o processo de fabricação ou montagem disponível no mercado, o mesmo era encaminhado novamente para a execução das tarefas do ciclo DFF, até a obtenção de sucesso em todas as tarefas.

A tarefa logo após o ciclo DFF, visou **determinar as especificações**, na qual foram descritas no quadro de especificações as características dos SSCs, como: tipo de material, dimensões, formato e acabamento, entre outros.

No quadro de especificações (Figura 15), os componentes em ordem de importância foram especificados da seguinte forma:

- Na primeira coluna foram denominados os sistemas e apresentados seus respectivos **desenhos esquemáticos**;
- Na segunda coluna, foram apresentados os subsistemas ordenados e seus respectivos desenhos esquemáticos e denominações;
- Na terceira os componentes ordenados foram especificados juntamente com seus desenhos esquemáticos;
- Na quarta coluna foi introduzida a quantidade de componentes existentes no sistema, ou no subsistema;
- Na quinta coluna foi descrito o material do componente;
- Na sexta coluna foi apresentado o planejamento da fabricação e da montagem dos mesmos, quando existentes.

Quando o componente foi adquirido no mercado a descrição do processo de fabricação não foi incluída, pois estes processos não são disponibilizados pelo fabricante.

O modelo do quadro de especificações foi elaborado conforme a Figura 15.

Sistema	Subsistema / Função auxiliar	Especificação do componente	Quant.	Material	Fabricação / Montagem
Denominação do sistema com desenhos esquemáticos	Denominação do subsistema com desenhos esquemáticos	Denominação do componente com desenhos esquemáticos	Nº de componentes	Especificação do(s) material(is)	Denominação do(s) processo(s) de fabricação
					Descrição do procedimento de montagem

Figura 15 – Quadro de especificações dos SSCs, do protótipo.

De posse das especificações, foi executada a tarefa de **procurar no estoque** os SSCs, a fim de se diminuir os custos para adquirir novas peças, aproveitando assim, componentes que poderiam ser intercambiáveis. Quando encontrado o componente, com as mesmas características, passou-se diretamente para o processo de montagem do mesmo com os demais. Quando o componente encontrado era similar ao especificado, o mesmo passava novamente pelas tarefas do ciclo DFF, para que fossem feitas atualizações de forma física, no sentido de adequar-se aos demais componentes ora determinados.

Quando os componentes não eram encontrados no estoque, era realizada a tarefa de **pesquisar no mercado**, levando-se em consideração as características físicas e econômicas. Ao constatar a existência do componente e que o mesmo era idêntico, era realizada a **compra** e posteriormente sua **montagem** com os demais componentes. No entanto, quando verificado que o componente era similar, este era novamente encaminhado para o ciclo DFF, a fim de realizar atualizações que atendessem as características de funcionalidade.

A próxima tarefa consistiu em **montar o sistema**, a fim de **realizar teste preliminar dos SSCs**, com a finalidade de realizar análises, sem preocupação com coleta de dados, para avaliação de fatores relacionados a funcionalidade, a resistência mecânica, a interação com o ambiente e com o usuário.

Os SSCs reprovados nos testes passaram pela tarefa de **gerar soluções para readaptação**. Nesta tarefa, foram identificadas soluções, as quais provocaram modificações e por isso, estes retornaram para o **ciclo DFF**.

A metodologia ainda prevê as tarefas de **planejar experimento** e **avaliar**, as quais foram realizadas somente após a aprovação dos SSCs pelos testes preliminares de funcionamento.

4.1 Teste do sistema suportar mecanismos do protótipo 1

O protótipo 1 foi obtido por meio da aplicação da metodologia de projeto preliminar, partindo da tarefa desmembrar SSCs até a tarefa montar, quando então surgiu a necessidade de realizar testes preliminares, para avaliar o comportamento entre os sistemas e destes com o usuário e o ambiente. Por ter sido um teste sem o objetivo de analisar seu funcionamento, quanto ao escopo do problema de projeto, não foi necessário o emprego dos materiais descritos nos quadros de especificação.

O primeiro teste consistiu em verificar a interação entre o usuário, o ambiente e o protótipo denominado físico e focado (ULRICH E EPPINGER, 1995), analisando fatores relativos à operacionalidade, estabilidade, manobrabilidade e características dimensionais. Este protótipo foi exclusivamente estabelecido com os sistemas aplicar calor e suportar mecanismos.

Para a construção do sistema de suportar mecanismo foi utilizado madeira como material e para fixação entre os componentes parafusos com arruelas e porcas e pregos. O sistema de aplicar calor foi construído por meio de chapas galvanizadas com formato semi piramidal e fixadas por rebites, além de possuir barra chata de aço SAE 1020 para servir como elemento de fixação ao sistema suportar mecanismos. No sistema de aplicar calor também foram montados os queimadores cilíndricos a fim de melhorar a visualização dimensional deste em relação as demais componentes.

Os pneus utilizados no protótipo apresentaram diâmetro total de 360mm, capacidade de carga de 125kgf.cm⁻², aros de aço e pneus de borracha com câmara e a roda dianteira com mecanismo que permitia o giro livre da mesma.

O teste realizado com o protótipo 1 baseou-se na simulação do uso da máquina para analisar as interações entre os sistemas, a fim de buscar as dimensões otimizadas para que a máquina fosse compacta, mas sem comprometer seu funcionamento. Além disso, o teste teve como objetivo analisar a operacionalidade dos sistemas, a manobrabilidade da máquina e a interação dos sistemas com o ambiente.

Os resultados deste teste foram utilizados para a especificação deste sistema, a fim de gerar melhorias para obtenção do protótipo 2.

4.2 Teste do sistema acoplar fonte de potência do protótipo 1

Foi realizado um segundo teste com o protótipo 1, no qual a partir da simulação do mecanismo acoplar fonte de potência, o mesmo foi incorporado ao protótipo utilizado no teste do sistema suportar mecanismos.

Neste teste os três integrantes da equipe de projeto, com características diferentes como, altura, massa e idade, deslocaram o equipamento, o qual apresentava guidom com posição fixa, a fim de verificar as necessidades de ajustes, como de altura, largura, inclinação, diâmetro do manete e demais interações, com intuito de adaptar o sistema às medidas antropométricas e assim diminuir o desconforto na operação.

Os resultados deste teste foram utilizados para a especificação deste sistema, a fim de gerar melhorias para obtenção do protótipo 2.

4.3 Testes do protótipo 2

A partir do segundo protótipo construído, foram realizados alguns testes funcionais, com intuito de validar o conjunto de sistemas que formaram o protótipo. O primeiro teste realizado teve o objetivo de verificar o funcionamento da máquina com relação ao desempenho do tratamento térmico das plantas espontâneas.

O segundo teste trata-se da avaliação dos aspectos, ergonômicos, relacionados a interação homem-máquina e no terceiro teste foram simulados quais os ângulos máximos de inclinação lateral, oblíqua e longitudinal admitidos pelo protótipo para evitar seu tombamento.

Os testes foram conduzidos na propriedade localizada distrito do Povo Novo, no município do Rio Grande, RS, com localização geográfica aproximada 31°55'18"S, 52°17'36"W e altitude de 14m.

No momento dos testes, período da tarde, a temperatura ambiente estava entorno de 14°C, ventos de aproximadamente 19 Km.h⁻¹, com direção sudoeste, e umidade de 82%.

Para realização do primeiro teste foi utilizada uma área de aproximadamente 60m², a fim de, simular os espaçamentos da cultura de milho e de feijão. Na área foram delimitadas 10 linhas de cultivo simulado a partir de do uso de fitas presas a estacas de madeira, introduzidas no solo. O espaçamento utilizado foi de 0,60m e o comprimento das linhas foi de 5m, ambos determinados com uso de trena métrica.

Para estabilização da velocidade e alinhamento da máquina, a cada extremidade das linhas foi deixado um vão de 3m de comprimento para realização da manobra do equipamento.

Os tratamentos térmicos foram realizados nas entrelinhas da cultura simulada, e para a realização das imagens foi utilizada smartfone com câmera de celular, com o qual foram geradas 9 imagens, sendo as duas primeiras antes da aplicação, e as demais com 0, 3, 7 e 12 dias após a aplicação do tratamento.

Para aplicação do teste foi determinado uma pressão de GLP constante com valor de 245kPa, a velocidade média na realização do tratamento foi determinada com uso de cronometro digital para determinação da velocidade somente durante o teste, excluindo-se o tempo de manobra e alinhamento.

A partir da realização do primeiro teste com o protótipo foi estimado o consumo de gás por hectare baseado nos resultados obtidos por Spagnolo et al. (2020), que utilizou um sistema de aplicação de calor similar ao utilizado neste trabalho e obteve para a menor velocidade de tratamento térmico (0,56ms⁻¹) e maior pressão de gás (245kPa), um consumo de aproximadamente 84,9 kg ha⁻¹ (21,25kg ha⁻¹ por campânula). Para a determinação do consumo de gás foram comparados a velocidade de aplicação de calor e a largura efetiva de trabalho para uma campânula. Já na determinação do custo do tratamento térmico foi utilizado o valor unitário de R\$ 100,00 referente a recarga de um botijão de 13kg.

O segundo teste foi realizado na mesma localidade, porém em uma outra área que possuía inclinação média de 16% (ângulo de 9°). Nesta área foi realizado o teste com 3 diferentes operadores que apresentaram as seguintes características, conforme o quadro da Figura 16.

Operadores	Altura (m)	Massa (Kg)	Idade (anos)
Operador 1	1,73	103	39
Operador 2	1,78	79	56
Operador 3	1,72	82	38

Figura 16 – Características dos operadores que realizaram o teste ergonômico.

Este teste teve como objetivo verificar as interações que cada um dos operadores experimentou ao utilizar a máquina, sobre uma área que condiciona diferentes demandas de esforço físico, operacionalidade e ergonomia. Para isso, cada operador realizou a movimentação da máquina, deslocando-a 15m no sentido do aclave e 15m no sentido contrário, repetindo esta ação três vezes.

Nesse teste cada operador ainda realizou a movimentação da máquina por 15m no sentido oblíquo à inclinação inicial, repetindo-a por duas vezes. Neste mesmo sentido de deslocamento do protótipo o terreno apresenta inclinação média de 7% (ângulo de 4°). Ao final do teste cada operador relatou sua avaliação sobre o uso do protótipo para cada situação determinada nesse experimento.

No terceiro teste foram verificadas características de estabilidade lateral, longitudinal e oblíqua do protótipo, a fim de determinar as inclinações máximas do terreno para que a máquina possa ser operada com segurança. Para isso, inicialmente foi içado a parte dianteira do protótipo até o ponto de equilíbrio, logo antes do tombamento, e a partir do uso de trena foi medida a altura em relação ao ponto inicial. Da mesma forma, este método foi utilizado para determinação da inclinação lateral, porém neste a máquina foi posicionada sobre uma plataforma, a qual foi inclinada para realizar a medida da altura.

Como o protótipo possui um formato de triciclo foi realizado o teste de tombamento oblíquo, no qual a roda dianteira e uma das rodas traseiras permanecem em contato com o solo, enquanto a outra roda traseira fica suspensa.

Em todos os testes o protótipo, estava com o botijão apresentando carga total, a fim de simular a pior situação para o operador.

A fim de verificar se a máquina gera compactação sobre solo foram obtidas as pressões de contato pneu/solo dos rodados pneumáticos dianteiro e traseiros do protótipo e comparados com a capacidade de suporte de carga de um Planossolo, um Argissolo vermelho e um Latossolo vermelho com diferentes teores de umidade.

Para determinação das pressões de contato foram levantadas algumas características dimensionais, como área de contato dos rodados pneumáticos e massa total do protótipo. Para a determinação da área de contato do pneu com o solo foi utilizada a equação 1, proposta por Mckyes (1985).

$$A = \frac{B \times D}{K} \quad (1)$$

Onde:

A = área de contato pneu/solo (m²);

B = largura do pneu (m);

D = diâmetro externo do pneu (m);

K = constante do solo (2 para solo solto e 4 para solo firme).

Os pneumáticos utilizados possuem largura de 0,09m e diâmetro externo de 0,36m e para a constante do solo “K”, foi adotado o valor 4, pois a condição dos três tipos de solo foi para solo não mobilizado. A partir desses valores obteve-se o valor da área de contato pneu/solo de 0,008m².

A pressão de contato do rodado pneumático dianteiro e dos rodados pneumáticos traseiros foram determinadas através da equação 2, cujo a distribuição da massa total do protótipo entre o eixo dianteiro e o eixo traseiro foram medidas, por meio de balança digital, obtendo-se 17,3% (17,2kg) e 82,7% (82,2kg) respectivamente. A massa total da máquina (99,4kg) foi considerada com a bateria e o botijão, simulando a realidade de uso do mesmo.

$$P_c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Onde:

P_c = Pressão de contato pneu/solo (KPa);

P = Peso de contato do pneu sobre o solo (KN);

A = Área de contato pneu/solo (m²).

No cálculo da pressão de contato do rodado pneumático dianteiro, utilizou-se o peso distribuído sobre um único rodado e o valor encontrado foi de 25kPa. Já o peso distribuído no eixo traseiro foi dividido por dois (P/2), pois são constituídos por dois rodados pneumáticos e os valores encontrados para as pressões de contato com o solo foram de 50kPa.

Os valores das pressões de contato pneu/solo encontrados no protótipo foram comparados com os valores das pressões de pré-adensamento (T_p) de três tipos de solo (Planossolo, Argissolo vermelho e Latossolo vermelho) em função da umidade

gravimétrica para três teores de umidade diferentes, caracterizados em seus estados seco, friável e úmido, apresentados por Machado et al. (2003) Figura 17.

Consistência do solo	Classificação do solo		
	Planossolo	Argissolo vermelho	Latossolo vermelho
Seco	110kPa	108kPa	109kPa
Friável	96kPa	100kPa	87kPa
Úmido	78kPa	52kPa	33kPa

Figura 17 - Valores das tensões de pré-adensamento (T_p) para três tipos de solo em função das consistências do solo (MACHADO et al., 2003).

5. Resultados e Discussão

A concepção selecionada, a partir da combinação dos princípios de solução, para executar tal função pode ser vista na Figura 18.

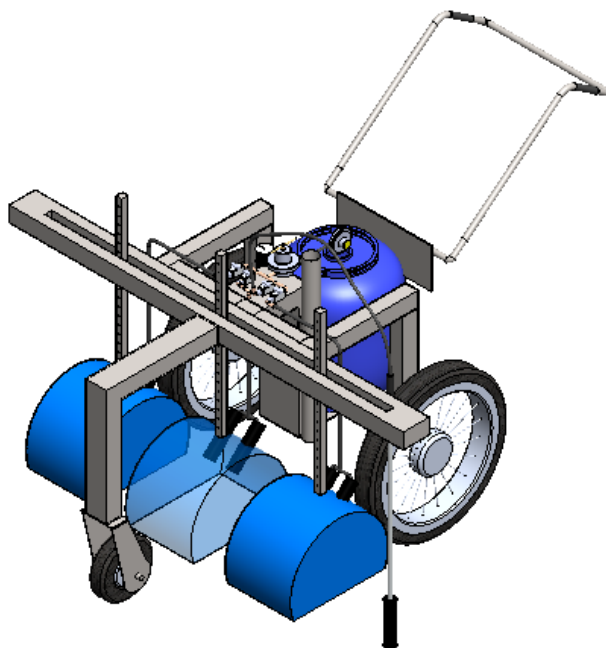


Figura 18 - Concepção final da máquina de aplicação de calor estabelecida através da combinação dos princípios de solução.
Fonte: Rosa (2018).

A partir da concepção foi dado início a fase do projeto preliminar com intuito de obter-se ao final um protótipo funcional atendendo às necessidades estabelecidas nas fases do projeto informacional e conceitual.

A sequência do desmembramento dos SSCs foi realizada de acordo com a hierarquização obtida por Rosa (2018), o qual estabeleceu a seguinte ordem de sequência de detalhamento dos sistemas (Figura 19).

1° Aplicar calor;
2° Dosar gás;
3° Gerar centelhas;
4° Suportar mecanismos;
5° Aplicar calor manualmente;
6° Acoplar fonte de potência.

Figura 19 - Classificação dos sistemas hierarquizadas a partir do trabalho de Rosa (2018).
Fonte: Rosa (2018).

A sequência de detalhamento dos SSCs foi utilizada nos quadros de especificações, os quais apresentam de forma detalhada as informações necessárias para obtenção dos SSCs, a fim de realizar, ao final, a sua montagem.

Conforme a classificação dos sistemas hierarquizados (Figura 19) o primeiro item apresentado, a partir do quadro de especificações (Figura 20), foi o sistema Aplicar calor.

5.1 Especificações do sistema do protótipo 2

5.1.1 Sistema Aplicar calor

Este sistema foi desmembrado em dois subsistemas (Distribuir calor e Proteger cultura) e cada um, posteriormente, desmembraram-se em componentes.

O subsistema Distribuir calor (Figura 20) foi composto por dois queimadores cilíndricos da marca Jackwal nº6 com diâmetro do bocal de 48mm, diâmetro do bico injetor de 1,2mm, temperatura máxima da chama de 1050°C e consumo médio de 1750g/h (componente 1.1.1). Este componente foi escolhido por ser facilmente encontrado no comércio, facilitando a substituição por parte dos usuários, além da sua aplicação ser factível para este projeto a partir dos testes realizados com o mesmo mecanismo por Spagnolo, (2020) em seu trabalho. A montagem de todos os

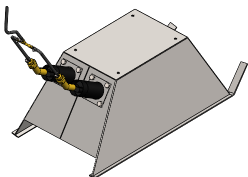
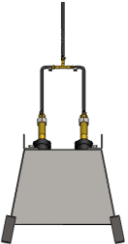
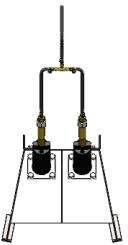

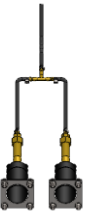


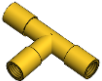

componentes do subsistema Distribuir calor, conforme descrito na Figura 21, propiciaram a fixação no subsistema Proteger cultura.

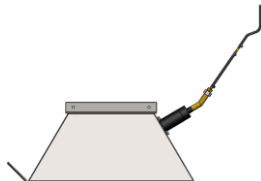






O subsistema Proteger cultura (subsistema 1.2) da Figura 20 foi dimensionado, levando-se em conta a largura recomendada de espaçamento entrelinhas das culturas de milho e de feijão produzidos pelos agricultores familiares entrevistados por Rosa (2018). Conforme análise realizada por Antunes (2017), a qual descreve que na cultura do milho o recomendado é de 0,45 a 0,50m. Já para a cultura do feijão a variação do espaçamento entre linhas recomendado, varia de 0,40 a 0,60m, (OLIVEIRA, 2023).




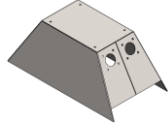
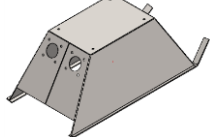
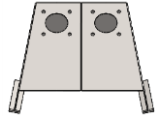
O subsistema Proteger cultura (item 1.2 da Figura 20) foi readaptado de um outro projeto para ser utilizado neste trabalho e ao passar pelo ciclo DFF, foi realizado alterações no comprimento do componente, o qual foi reduzido de 750mm para 600mm.

O comprimento da campânula (600mm), foi dimensionada para que a propagação das chamas não atingisse as culturas pela parte frontal da campânula, além de manter uma maior quantidade de calor concentrada dentro do seu espaço. Segundo Neilson et al. (2017) a cobertura feita pela campânula é importante para a redução do impacto realizado sobre as chamas dos queimadores, pela ação dos ventos.

A campânula permaneceu com formato semi piramidal, largura de trabalho de 450mm, altura de 250mm e abas laterais com inclinação de 30°. Na parte inferior das suas abas laterais, foram colocadas barras chatas confeccionadas para auxiliar no deslizamento da campânula quando em contato com o solo.

Sistema	Subsistema/Função auxiliar	Especificação do componente	Quant.	Material	Fabricação/Montagem
<p>1. Aplicar calor</p>  <p>Perspectiva Isométrica</p>  <p>Vista Frontal</p>  <p>Vista Posterior</p>	<p>1. 1 Distribuir calor</p>  <p>Perspectiva Isométrica</p>  <p>Vista Frontal</p>	<p>1.1.1 Queimador nº 6</p> 	2		<p>Posicionado entre o flange (1.1.8), através de processo de soldagem, e a mangueira (1.1.2) do subsistema aplicar calor</p>
		<p>1.1.2 Mangueira 5/16" GLP NBR13419</p> 	3	Composto de pvc e borracha nitrílica, trançado interno com fios de poliéster	<p>Posicionado entre a extremidade com diâmetro menor do queimador (1.1) e uma das conexões do Tê fêmea (1.3).</p>
		<p>1.1.3 Tê fêmea rosca NPT 1/4" x 1/4" x 1/4"</p> 	1	Liga de cobre (latão)	<p>Conectado às mangueiras do sistema aplicar calor (1.2.1) através dos componentes 1.1.4</p>
		<p>1.1.4 Espigão macho com rosca NPT 1/4"</p> 	5	Liga de cobre (latão)	<p>Conecta-se as mangueiras (1.1.2) do sistema aplicador calor e aos componentes 1.1.3 e 1.1.6</p>

 <p>Vista Lateral Direita</p>	 <p>Vista Posterior</p>  <p>Vista Lateral Direita</p>	<p>1.1.5 Abraçadeira 1/2"</p> 	6	Aço carbono	<p>Fixam por aperto as extremidades das mangueiras (1.1.2) aos espigões (1.1.4)</p>
		<p>1.1.6 Bucha de Redução 5/8" x 1/4" NPT</p> 	2	Liga de cobre (latão)	<p>Interligam na extremidade com diâmetro menor os espigões (1.1.4) e na extremidade com diâmetro maior fixam as hastes dos queimadores (1.1) através das porcas sextavadas</p>
		<p>1.1.7 Porca M16 MA DIN 934 p/ saída de gás</p> 	2	Liga de cobre (latão)	<p>Fixam a extremidade dos dutos dos queimadores (1.1.1), através de aperto, as buchas de redução (1.1.6)</p>
		<p>1.1.8 Flange fixação</p> 	2	Aço SAE 1020	<p>(Usinagem)</p> <p>Chapa com dimensões 0,75mx0,75m, apresentando nas suas extremidades, superior e inferior, furações com diâmetro de 8mm</p> <p>Posiciona o subsistema aplicar calor (1.1) no subsistema proteger cultura (1.2.1) através de parafusos, arruelas lisas e porcas</p>

		1.1.9 Parafuso M8x20 MA DIN 933 5.8 	8	Aço médio carbono	Fixa os flanges (1.1.8), na face da campânula (1.2.1) com uso de porcas e arruelas lisas
		1.1.10 Arruelas lisas M8 DIN 125A 	16	Aço SAE 1070 galvanizado	Posicionadas, entre a cabeça dos parafusos (1.1.9), chapa da campânula (1.2.1) e entre as porcas (1.1.11)
		1.1.11 Porca M8 MA DIN 934 	8	Aço carbono	Fixam por aperto a campânula ao flange dos queimadores, após a arruela lisa
	1.2 Proteger cultura	1.2.1 Campânula protetora 	1	Aço SAE 1020	A confecção ocorreu a partir de uma chapa galvanizada partindo do desenho planificação e transferida para a mesma. Após foi realizado corte com tesoura, na chapa, para posterior dobramento e soldagem
	 Perspectiva Isométrica  Vista Frontal				Suportam os queimadores (componente 1.1.1) através da fixação dos flanges (componente 1.1.8) na extremidade superior da face frontal da chapa da campânula

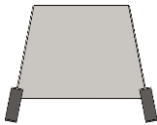

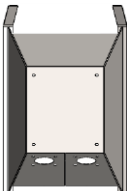
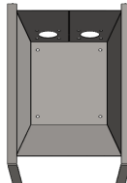

	 <p>Vista Posterior</p>  <p>Vista lateral direita</p>  <p>Vista superior</p>  <p>Vista inferior</p>	<p>1.2.2 Chapa deslizante câmara 1"</p> 	2	Aço SAE 1020	<p>Barra chata com 1" de largura e cortada com 0,675 m de comprimento e dobra de 45° em uma das extremidades</p> <p>Fixada nas extremidades inferiores das laterais da campânula (1.2.1) através de solda</p>
--	--	---	---	-----------------	---

Figura 20 - Especificações do sistema de aplicar calor nas plantas espontâneas, do protótipo 2.

Para que os queimadores ficassem com distância mínima de 0,3m em relação ao alvo, a campânula foi projetada com altura de 250mm, permitindo uma distância segura de 50mm em relação ao solo, a fim de evitar que a campânula ficasse em contato contínuo durante o deslocamento da máquina e de acordo com experimentos realizados por Silva (2008) e Spagnolo (2020), os quais utilizaram alturas com medidas aproximadas de 0,26 a 0,30m respectivamente.

Segundo recomendações de Kang (2001) e Diver (2002) os queimadores devem permanecer com ângulo entre 30° e 45°C em relação ao alvo, isso foi levado em consideração para o projeto da campânula, na qual a superfície posterior foi determinada com o ângulo de 30°, para que ao fixar o subsistema Distribuir calor, o mesmo já permanecesse com este ângulo, o qual promove uma melhor penetração do calor entre as plantas espontâneas.

Não foi introduzido na campânula nenhum componente para realizar o isolamento térmico entre as paredes das chapas, pois conforme observado por Spagnolo (2014) em seu experimento de campo, a temperatura externa das paredes, não apresentou riscos de danos as culturas.

Todos estes parâmetros contribuíram para o projeto do sistema Aplicar calor (Figura 21), a fim de que, o mesmo seja utilizado, tanto para cultura do milho, como também para a cultura do feijão, podendo além disso ser utilizadas em culturas com espaçamentos similares.

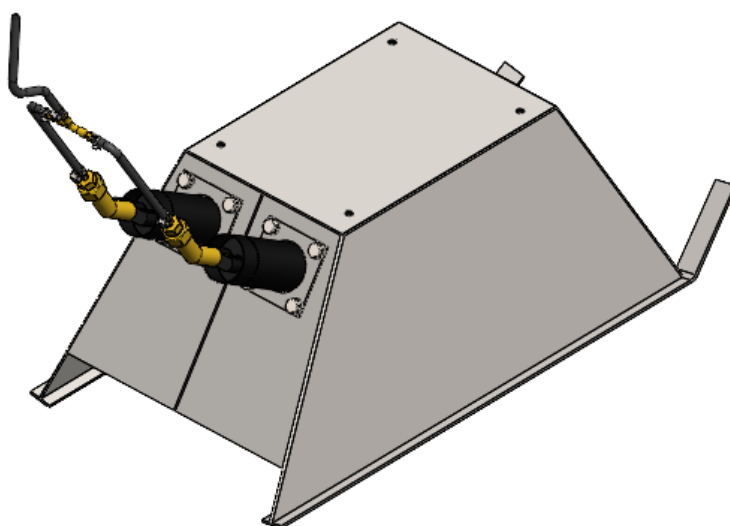


Figura 21 – Perspectiva isométrica do sistema Aplicar calor, do protótipo 2.



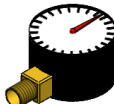
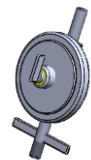

Para alimentar o sistema Aplicar calor foi necessário conectá-lo ao sistema de Dosar gás, através da montagem de seus componentes, conforme descrito no quadro de especificação (Figura 22).

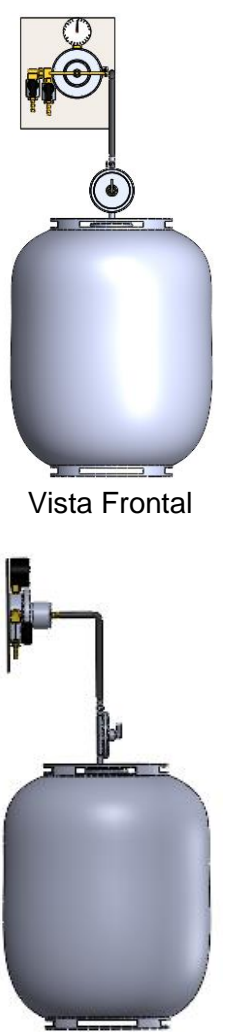




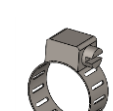
5.1.2 Sistema Dosar gás, protótipo 2

Seguindo a classificação dos sistemas hierarquizados (Figura 19) o sistema **Dosar gás** foi submetido ao desmembramento para gerar o quadro de especificações dos seus SSCs (Figura 22). Este sistema possui uma válvula com manômetro analógico da marca Famabras, série GLP, modelo FRG13B, o qual possui uma entrada para ser conectada ao botijão e 2 saídas, uma para o manômetro e a outra para as válvulas de esfera.

A válvula de regulação da pressão com manômetro foi escolhida para este sistema, pois permite que a pressão desejada mantenha-se constante durante toda a realização da aplicação de calor.

As duas válvulas de esfera foram posicionadas próximas ao operador e conectadas a uma das saídas da válvula reguladora de pressão (Figura 23), cujas funções foram alimentar os sistemas, Aplicar calor e Aplicar calor manualmente. A localização destas válvulas permite que o operador realize o corte da alimentação de gás de forma rápida e individual, em caso de emergência.

Sistema	Subsistema/Função auxiliar	Especificação do componente	Quant.	Material	Fabricação/Montagem
2. Sistema de dosar gás  Perspectiva Isométrica		2.1 Regulador de pressão GLP 	1	Aço Carbono Componentes internos em latão	Componente principal do sistema dosar gás, apresenta um orifício para entrada de GLP e dois orifícios de saída do gás
		2.2 Manômetro analógico 	1	Aço Carbono Componentes internos em latão	Conecta-se ao regulador de pressão (2.1) através do seu componente com rosca externa
		2.3 Válvula botijão para GLP NPT 1/2" 	1	Materiais diversos conforme fabricante	Posicionado entre o botijão de gás GLP, pela sua extremidade inferior, e a mangueira (2.9) que alimenta o sistema de dosar gás (extremidade superior)
		2.4 Registro de esfera 	2	Liga de cobre Acabamento Niquelado	Fixado ao Sistema dosar gás, permite a passagem do gás GLP para o sistema Aplicar calor

 <p>Vista Frontal</p> <p>Vista lateral esquerda</p>		<p>2.5 Espigão macho com rosca NPT 1/2"</p> 	3	Liga de cobre (latão)	Conectado por rosqueamento ao registro de esfera (2.4) e acoplado a mangueira (1.1.2) em sua outra extremidade
		<p>2.6 Tê 1 saída macho e 2 saídas fêmeas NPT 1/2"</p> 	1	Liga de cobre (latão)	Conectado em suas extremidades a 3 componentes do sistema (2.1, 2.4 e 2.7)
		<p>2.7 Curva 1 saída macho e 1 saída fêmea NPT 1/2"</p> 	1	Liga de cobre (latão)	Fixado ao componente do sistema 2.6 e conectado ao componente 2.4
		<p>2.9 Mangueira 1/2" GLP NBR13419</p> 	1	Composto de PVC e borracha nitrílica, trançado interno com fios de poliéster	Interligado em uma de suas pontas ao Registro de gás, encaminha o GLP para o principal componente do sistema Dosar gás, item 2.1, na sua outra extremidade
		<p>2.10 Abraçadeira 1/2"</p> 	2	Aço carbono	Fixa por aperto as extremidades das mangueiras nos espigões (2.5)




 <p>Vista lateral direita</p>		<p>2.11 Chapa de fixação 1,70m x 2,00m e 1,95 mm</p> 	1	Aço SAE 1020	<p>Processo de corte</p> <p>Suporta os componentes do sistema dosar gás, sendo fixado ao chassi por solda ou parafusos, arruelas e porcas</p>
		<p>2.12 Botijão GLP (P13 e P8 Kg)</p> 	1	Aço carbono	<p>Recipiente que armazena o GLP, sendo localizado no sistema armazenar gás que foi localizado próximo ao operador. O botijão alimenta o sistema dosar gás do protótipo.</p>

Figura 22 - Especificações do sistema de dosar gás, desenvolvido para o protótipo2.



Figura 23 – Perspectiva isométrica do sistema dosar gás, do protótipo 2

A válvula conectada ao botijão tem a função de evitar que o gás fique retido na mangueira que alimenta a válvula reguladora de pressão, evitando assim, acidentes com vazamento de gás ou rompimento da mangueira.

O botijão utilizado para o protótipo foi o P13, por ser amplamente comercializado, sendo assim de fácil aquisição pelos agricultores.

Na Figura 24 foram representados a sequência de montagem dos sistemas Aplicar calor e Dosar gás que são interligadas por meio de mangueiras que transportam o GLP do botijão para os queimadores.

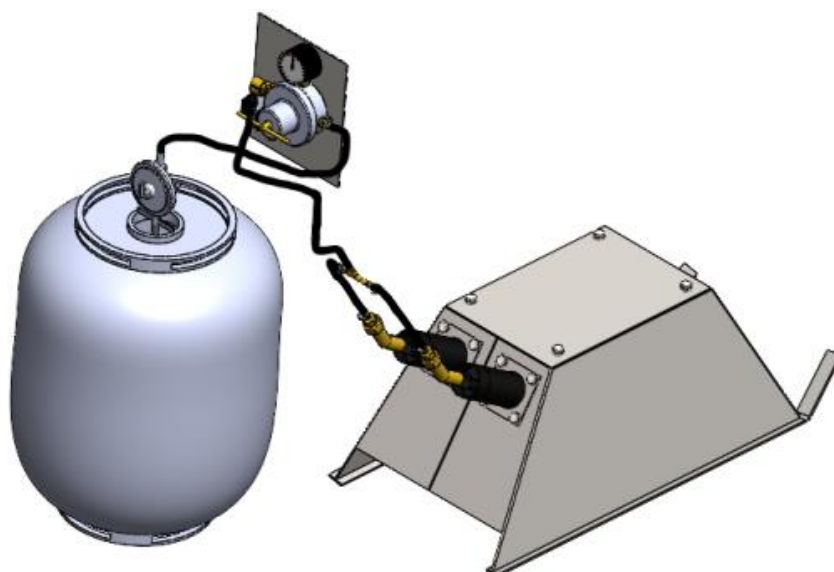


Figura 24 - Perspectiva isométrica do sistema Dosar gás e sistema Aplicar calor, do protótipo 2

5.1.3 Sistema de Gerar Centelhas, protótipo 2

O terceiro item apresentado através do quadro de especificações (Figura 25) foi o sistema Gerar centelhas, dando sequência a classificação dos sistemas hierarquizados (Figura 19).

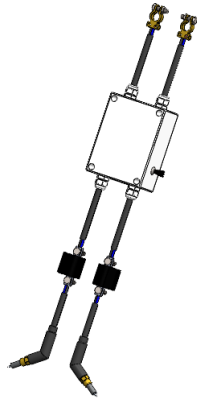
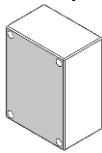



O mecanismo foi desenvolvido para manutenção da chama dos queimadores por meio do centelhamento das velas que ocorrem 1 vez a cada 4 segundos, em cada queimador. O mecanismo temporizador é responsável por gerar uma quantidade de centelhas por um tempo determinado. Este mecanismo, foi projetado através de um conjunto de dispositivos eletrônicos, alocados no interior da caixa plástica.

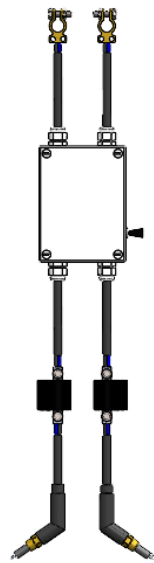
Quando o sistema Gerar centelhas (Figura 26) é acionado, seu circuito eletrônico, alimentado por uma bateria, fica submetido a uma diferença de potencial de aproximadamente 12 Volts que permite a circulação de uma corrente elétrica contínua para alimentar a bobina de ignição, a qual eleva a tensão de alimentação nas velas, gerando pequenos arcos elétricos (centelhas) com intensidade capaz de promover a ignição do sistema. Aplicar calor e desta forma, permitindo um controle eficaz das plantas espontâneas.

A função deste mecanismo é evitar que as chamas sejam extinguidas pela ação de ventos fortes, ou pelo abafamento promovido pelas plantas espontâneas, ou ainda por causa do consumo de oxigênio realizados pelas chamas da palhada sob a campânula, o que proporciona uma mistura pobre.




A caixa plástica tem objetivo de acondicionar os componentes do mecanismo temporizador em ambiente hermético, a qual possibilita o operador realizar as atividades mesmo com uma elevada umidade relativa no ar. Além disso a caixa deve ser posicionada sobre o chassi, em local próximo ao operador, a fim de facilitar o acionamento e desligamento deste sistema.

A bateria também deve ser instalada sobre o chassi, porém com um sistema que facilite a sua remoção, para que a mesma possa ser recarregada externamente ao protótipo.

Sistema	Subsistema/Função auxiliar	Especificação do componente	Quant.	Material	Fabricação/Montagem
3. Sistema de gerar centelhas  Perspectiva Isométrica		3.1 Caixa plástica 	1	Plástico ABC (Acrilonitrila butadieno estireno)	É o componente principal que armazena todos os componentes eletrônicos do sistema
		3.2 Chave liga/desliga 	1	Materiais diversos conforme fabricante	Componente conectado a cabos elétricos, em uma de suas extremidades e instalado na lateral da caixa plástica (3.1) com a função de ligar e desligar o circuito eletrônico do sistema
		3.3 Bobina Titan 125 	2	Materiais diversos conforme fabricante	Conectado em suas extremidades por cabos elétricos (3.7) que estão conectados ao sistema eletrônico e a vela de ignição (3.4)
		3.4 Vela de ignição Titan 125 	2	Materiais diversos conforme fabricante	Conectado em uma de suas extremidades a cabos elétricos (3.7) através do cachimbo (3.4). Sua outra extremidade é posicionada em um orifício circular feito no componente 1.1.1 do sistema de aplicar calor



Vista Frontal

<div>3.5 Cachimbo de vela</div> 	2	Materiais diversos conforme fabricante	Aloca em uma de suas extremidades a vela de ignição (3.4) e na outra extremidade conecta-se a um cabo elétrico
			Conecta em uma de suas extremidades um cabo elétrico e na outra extremidade recebe um parafuso sextavado com porca sextavada para aperto e fixação aos terminais de uma bateria
			Alimenta o circuito eletrônico, a bobina de ignição e a vela de ignição, através da conexão de um dos seus terminais aos polos da bateria
			Conectado por uma de suas extremidades a caixa do circuito eletrônico. Permite a passagem do fio elétrico que vem da fonte de energia para a parte interna da caixa
3.6 Conector de bateria	2	Latão	
<div>3.7 Cabo elétrico</div> 	6	Condutor de cobre flexível e isolamento de PVC	
3.8 Prensa fio	4	Termoplástico	
<div>3.9 Parafuso M8x25 MA DIN 933 5.8</div> 	2	Aço médio carbono	Conectados nas furações do conector de bateria (3.6), fixam o mesmo aos terminais da bateria
3.10 Parafuso M8x20 MA DIN 933 5.8	4	Aço médio carbono	Fixam por aperto as extremidades do conector as extremidades dos cabos elétricos (3.7)
3.11 Parafuso M8x35	4	Aço médio carbono	
			Fixa a bobina no chassi da máquina


 <p>Vista lateral direita</p>		MA DIN 933 5.8			
		3.12 Arruelas lisas M8 DIN 125A	14	Aço SAE 1070 galvanizado	Posicionadas entre a cantoneira do chassi da máquina a porca M8
		3.13 Porca M8 MA DIN 934	10	Aço carbono	Fixam por aperto em conjunto com o parafuso sextavado o conector nos terminas na bateria
		3.13 Bateria 12 Volts e 60A	1	Materiais diversos	Acopla aos seus terminais os conectores para bateria e fica localizado da parte superior do chassi, próximo ao operador.

Figura 25 - Especificações do sistema de gerar centelhas, desenvolvido para o protótipo2.

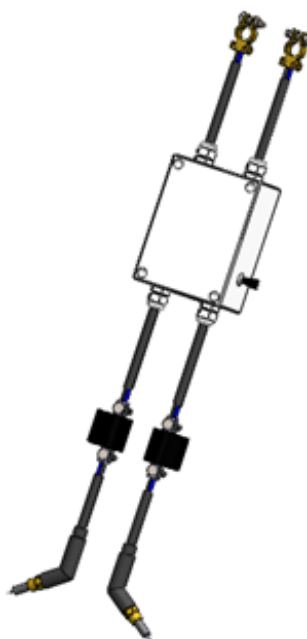


Figura 26 – Perspectiva isométrica do sistema de gerar centelhas, do protótipo 2.

Na Figura 27 foram representados a sequência de montagem dos sistemas Aplicar calor, Dosar gás e Gerar centelhas. Os cabos elétricos, na cor vermelha, conectaram-se aos polos da bateria, e ao dispositivo gerador de centelhas. Na saída deste dispositivo os cabos foram conectados as bobinas que alimentaram as velas acopladas aos queimadores.

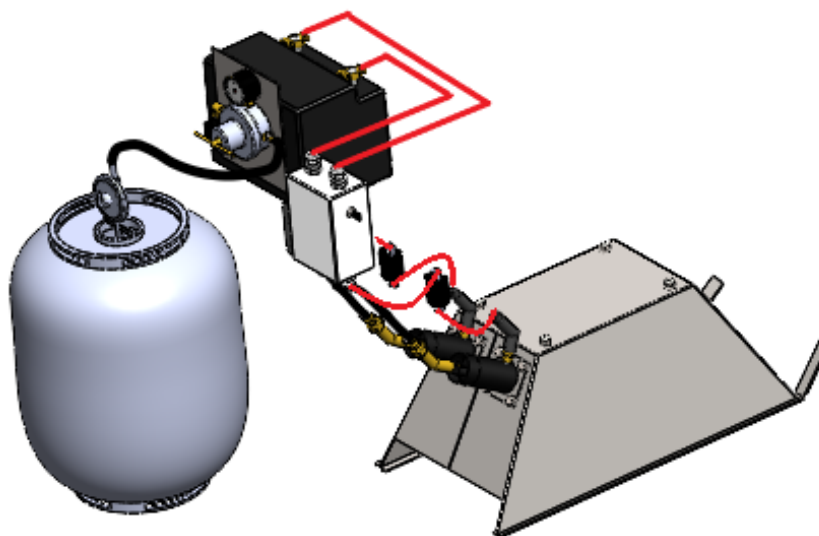


Figura 27 - Perspectiva isométrica dos sistemas Aplicar calor, Dosar gás e Gerar centelhas, do protótipo 2.

Conforme a classificação dos sistemas hierarquizados (Figura 19) o quarto item apresentado, por meio do quadro de especificações (Figura 30), foi o **sistema Suportar mecanismos**.

5.1.4 Sistema Suportar mecanismos, protótipo 2

Ao realizar-se o teste do protótipo 1 (Figura 29) obteve-se resultados importantes que foram levados em consideração para especificar os SSCs do protótipo 2. O primeiro sistema a ser testado, com auxílio do protótipo 1, foi o Suportar mecanismos, o qual foi confeccionado em madeira conforme descrito anteriormente e os seus resultados são apresentados a seguir.

O primeiro ponto analisado foi a interação entre a campânula e o chassi, desenvolvido, por meio da concepção, em um componente rígido, porém com a aplicação do teste de simulação do uso da máquina foi verificado a necessidade de um componente para permitir sua movimentação, quando surgirem obstáculos sobre o solo. Para isso, foi desenvolvido um sistema pantográfico unindo o sistema Aplicar calor ao sistema Suportar mecanismos, mantendo a mesma inclinação em relação ao solo, conservando assim, a uniformidade da aplicação de calor sobre as plantas espontâneas e evitando danos mecânicos à campânula.

Ao mesmo momento que solucionou-se o problema da manutenção da uniformidade de aplicação de calor, com o uso de sistema pantográfico, também foi idealizado orifícios nas hastes do pantográfico, permitindo a regulagem de altura da campânula para se adequar ao porte das plantas espontâneas (Figura 28).



Figura 28 – Determinação da altura da campânula com relação ao solo, para ultrapassar um obstáculo.

Quando o sistema pantográfico é acionado por um obstáculo, a campânula é projetada para trás, assim foi necessário a determinação da altura máxima (0,15m), para que a campânula não colida com o suporte do botijão de gás que está posicionado na parte posterior do sistema de aplicação de calor, conforme a Figura 28.

A partir da determinação do deslocamento da campânula, com intuito de evitar restrições de funcionamento da mesma, foi possível determinar o espaço necessário para o sistema Aplicar calor, que é compreendido entre a parte frontal da campânula e a parte posterior dos queimadores.

Com a determinação do espaço necessário para o sistema Aplicar calor foi possível determinar a posição da roda dianteira, a qual deve manter uma distância mínima de 0,1m em relação à campânula, a fim de evitar o aquecimento do pneu pela chama dos aplicadores de calor (Figura 29).

Após realizar o deslocamento da máquina durante o teste, constatou-se que a inclinação da base de giro da roda dianteira (Figura 29) provocava um aumento do comprimento da máquina e dificuldade em realizar as manobras, causando um esforço excessivo para o realinhamento da mesma

Ao corrigir a inclinação da base de giro da roda dianteira da máquina foi possível diminuir seu comprimento em 160mm, além de melhorar a manobrabilidade, por meio da diminuição do esforço ao realizá-la.

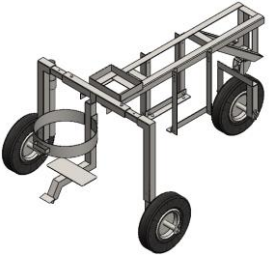
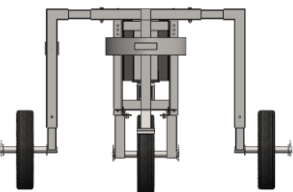
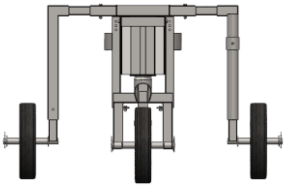
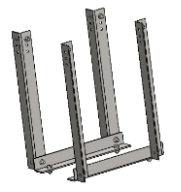
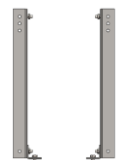
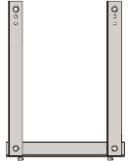
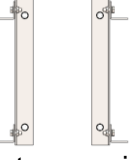
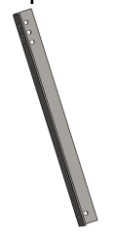



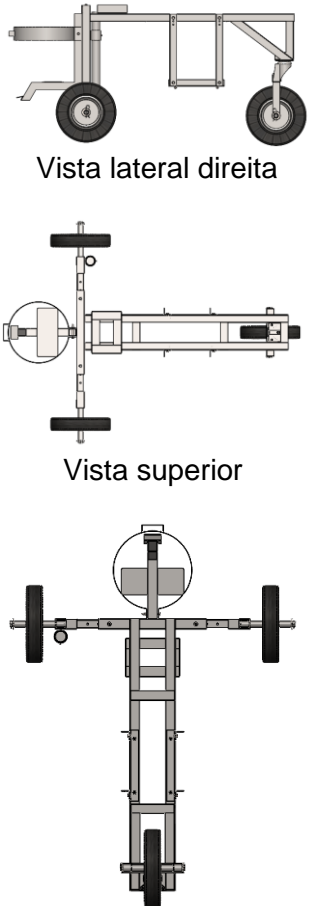



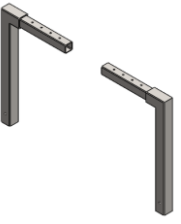
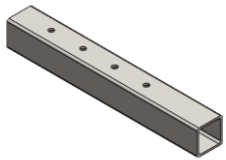
Figura 29 – Aspectos dimensionais do protótipo e seus componentes.




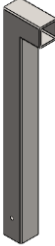



Quanto aos rodados pneumáticos utilizados, os mesmos demonstraram-se adequados quanto a capacidade de sustentação da carga e não geraram dificuldades significativas no deslocamento do protótipo, levando-se em conta a massa total com o botijão de 13kg de GLP acoplado.





Diante disto, todos aspectos observados foram considerados para a determinação dos SSCs do Suportar mecanismos, conforme quadro de especificações (Figura 30).


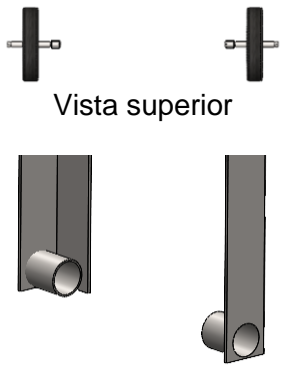
A partir do teste realizado com o protótipo 1 (Figura 29), o subsistema Pantográfico foi desenvolvido atendendo aos resultados obtidos no teste, no qual as hastes apresentam 3 orifícios de regulação, próximos à extremidade superior, permitindo a variação de altura do sistema Aplicar calor em relação ao solo de 0 a 0,10m. Esta regulação é importante no caso das plantas espontâneas apresentarem alturas superiores a 0,20m, evitando o abafamento das chamas e consequentemente na eficácia de tratamento térmico.





Sistema	Subsistema/Função auxiliar	Especificação do componente	Quant.	Material	Fabricação/Montagem
<p>4. Suportar mecanismos</p>  <p>Perspectiva Isométrica</p>  <p>Vista Frontal</p>  <p>Vista Posterior</p>	<p>4. 1 Pantográfico</p>  <p>Perspectiva Isométrica</p>  <p>Vista Frontal</p>  <p>Vista lateral direita</p>  <p>Vista superior</p>	<p>4.1.1 Suporte vertical</p> 	4	Aço SAE 1020	<p>(Processo de corte e furação) Cantoneiras com abas iguais medindo 40mm x 40mm x 430mm de comprimento e apresentando orifícios com diâmetro de 8mm e distante de 25mm das extremidades</p> <p>Fixado por meio de parafusos sextavados, porcas e arruelas aos componentes Suporte direito e esquerdo do tubo central (4.4.2 e 4.4.3) e Suporte horizontal campânula</p>
		<p>4.1.2 Suporte horizontal campânula</p> 	2	Aço SAE 1020	<p>(Processo de corte e furação) Cantoneiras com abas iguais medindo 40mmx40mmx330mm de comprimento e apresentando orifícios com diâmetro de 8mm e distante de 50mm das extremidades</p> <p>Une a campânula (1.2.1), através de parafusos sextavados, arruelas lisas e porcas sextavadas, as barras do sistema pantográfico (4.1.1), a partir das furações nas extremidades de suas abas laterais</p>
		<p>4.1.3 Parafuso M8x20 MA DIN 933 5.8</p>	12	Aço médio carbono	<p>Fixam os componentes do sistema (4.1.1 e 4.1.2), em conjunto com as arruelas lisas e porcas sextavadas</p>


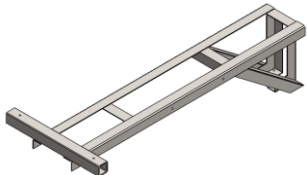
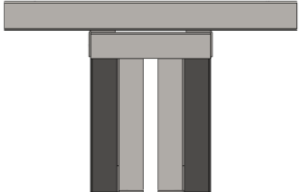
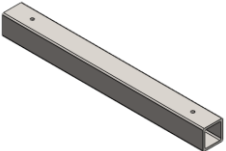
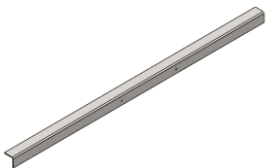
 <p>Vista lateral direita</p> <p>Vista superior</p> <p>Vista inferior</p>					
		4.1.4 Arruelas lisas M8 DIN 125A 	24	Aço SAE 1070 galvanizado	Posicionada entre as cabeça dos parafusos, chapa da parte superior da campânula, cantoneiras e entre as porcas
		4.1.5 Porca M8 MA DIN 934 	12	Aço carbono	Fixam por aperto os seguintes componentes (1.2.1), (4.1.1), (4.1.2), 4.4.2 e 4.4.3
	<p>4.2 Regulagem do espaçamento do Chassi</p>  <p>Perspectiva Isométrica</p>	4.2.1 Prolongador do braço 	2	Aço SAE 1020	(Processo de corte e furação) Tubo com dimensões 40mm x 40mm x 300mm de comprimento e apresentando orifícios com distâncias equidistantes de 50mm e diâmetro de 8mm, e distante de 50mm da extremidade
					Posicionado internamente no tubo central (4.4.1) com orifícios de regulagem ocupados por parafuso sextavado M8 x 80 mm. Na sua extremidade lateral, é fixado por solda o braço de regulagem
		4.2.2 Braço de regulagem	2	Aço SAE 1070 Zincado	Tubo cortado e após soldado em sua extremidade superior para que em ângulo de 90° para realizar fixação por solda no componente (4.2.1)

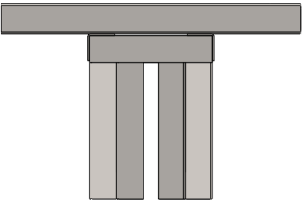



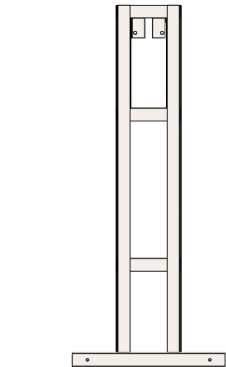

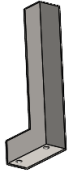
	 Vista Frontal  Vista lateral direita  Vista superior				Aloja em seu interior através de solda o prolongador do eixo que possui orifícios para regulagem de abertura do sistema de suporte dos mecanismos (4)
		4.2.3 Parafuso M8x80 MA DIN 931 8.8 	2	Aço médio carbono	Introduzido de forma concêntrica nos orifícios do braço de regulagem (4.2.2) e do prolongador do eixo (4.2.1), fixa o tamanho do Pneumático (4.3.10)
		4.2.4 Arruelas lisas M8 DIN 125A 	4	Aço SAE 1070 galvanizado	Um par de arruelas recebe aperto da cabeça do parafuso M8, quando posicionada sobre a face posterior do suporte vertical de regulagem. Já o outro par de arruelas, quando posicionadas entre a face frontal do componente 4.2.2 e a porca M8, recebe aperto do mesmo
		4.2.5 Porca M8 MA DIN 934 	2	Aço carbono	Fixa por aperto, juntamente com o parafuso (4.2.3) o subsistema 4.2 a haste vertical do braço (4.3.1)

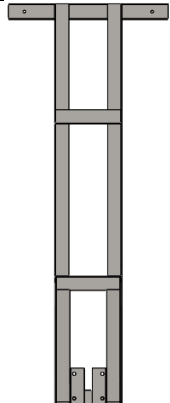
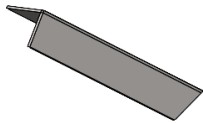
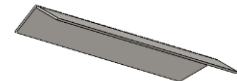
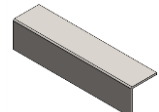

	<p>4.3 Movimentar máquina</p>  <p>Perspectiva Isométrica</p>  <p>Vista Frontal</p>  <p>Vista Posterior</p>  <p>Vista lateral direita</p>	4.3.1 Haste vertical do braço	2	Aço SAE 1020	<p>Usinagem (corte e furação)</p> <p>Posicionado internamente ao braço de regulagem (4.2.2) é fixado por meio de parafuso sextavado M8 x 80 mm (4.2.3). Na parte inferior suporta a ponta de eixo através de solda</p>
		4.3.2 Ponta de eixo	12	Aço SAE 1020	<p>É suportado pela haste vertical do braço em uma de suas extremidades e fixado por solda. Apresenta em sua outra extremidade orifício para introdução de pino R 3 x 70mm</p>
		4.3.3 Suporte direcional roda frontal	1	Aço SAE 1020	<p>Posicionado entre os suportes da roda frontal (4.4.4 e 4.4.5), através da fixação do seu flange por parafuso (4.4.9), arruela (4.4.11) e porca (4.4.12) M8, e soldado no tubo (4.3.4) a partir das extremidades inferiores das suas abas laterais</p>




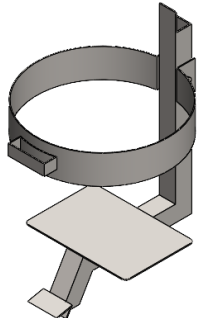
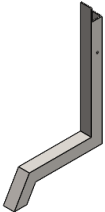
	  Vista superior Vista de detalhe 1	4.3.4 Tubo 50x50x 50mm	1	Aço SAE 1020	Usinagem (corte) Posicionado de forma centralizada entre as abas laterais do suporte direcional da roda frontal, sendo fixado por solda através de suas faces laterais externas. A sua extremidade externa conectasse através de solda a cantoneira horizontal (4.3.5)
		4.3.5 Cantoneira horizontal $\frac{3}{8}$ " x $\frac{1}{8}$ " com 280 mm	1	Aço SAE 1020	Usinagem (corte) Fixa em suas extremidades laterais, na face inferior, os garfos, através de solda
		4.3.6 Garfo $\frac{3}{8}$ " x $\frac{1}{8}$ " com 218 mm	1	Aço SAE 1020	Usinagem (corte e furação) Fixado a partir da sua extremidade superior, através de solda, a cantoneira horizontal (4.3.5)
		4.3.7 Garfo $\frac{3}{8}$ " x $\frac{1}{8}$ " com 218 mm	1	Aço SAE 1020	Usinagem (corte e furação) Fixado a partir da sua extremidade superior, através de solda, a cantoneira horizontal (4.3.5)

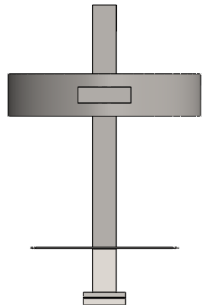
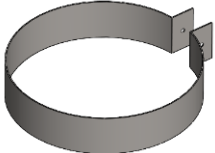
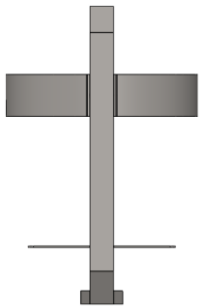
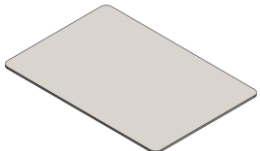
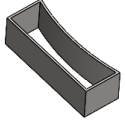
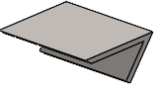
					
		<p>4.3.8 (Bucha de 30 mm) Tubo (33,70mm) $\frac{3}{8}$" x $\frac{1}{8}$" com 40 mm</p> 	2	Aço SAE 1020	<p>Usinagem (Corte)</p> <p>Fixado no orifício presente na aba da cantoneira vertical, através de solda na face cilíndrica da extremidade lateral do componente</p>
		<p>4.3.9 Eixo roda frontal</p> 	1	Aço SAE 1020	<p>Usinagem (corte e furação)</p> <p>Introduzido de forma concêntrica no orifício do tubo (4.3.8) possuindo em suas extremidades laterais orifícios para pino R 3 x 70mm</p>
		<p>4.3.10 Pneumático 3.50 - 8 Aro 8" com câmara</p> 	3	Borracha e lonas de aço	<p>Montado com câmara na roda 3.50 - Aro 8"</p>

		4.3.11 Roda 3.50 - 8 Aro 8"		3	Aço SAE 1020	Montada no pneumático e fixada a ponta de eixo (4.3.2) e ao eixo roda frontal (4.3.9) por meio de pino R 3 x 70mm e arruelas lisas M29
		4.3.12 Pino R 3 x 70mm				Fixa a roda (4.3.11) sendo introduzido de forma concêntrica nos orifícios presente nas extremidades da ponta de eixo (4.3.2) e eixo da roda frontal (4.3.9)
		4.3.13 Arruela lisa M29 DIN 125A				Localizado entre o Pino R e a face lateral externa das cantoneiras verticais e do centro do orifício da roda
	4.4 Chassi  Perspectiva Isométrica 	4.4.1 Tubo central 50 x 50 x 500 mm		1	Aço SAE 1020	Usinagem (Corte e Furação) Suporta internamente, através de suas extremidades opostas, o prolongador do braço (4.2.1) fixado com diferentes regulagens pelo parafuso com cabeça sextavada M8x70mm (4.4.10)
		4.4.2 Suporte direito do tubo central				Usinagem (Corte e Furação) Suas extremidades (pontas) são fixadas por soldagem nos suportes tubo central (4.4.1) e suporte estrutura do chassi (4.4.8)
				1	Aço SAE 1020	

	Vista Frontal 	4.4.3 Suporte esquerdo do tubo central 	1	Aço SAE 1020	Usinagem (Corte e Furação)
					Suas extremidades também (pontas) são fixadas por soldagem nos suportes tubo central (4.4.1) e suporte estrutura do chassi (4.4.8)
	Vista Posterior 	4.4.4 Suporte direito roda frontal 	1	Aço SAE 1020	Cantoneira cortada, dobrada e soldada, formando um ângulo de 90° em sua extremidade inferior para ser acoplada ao componente suporte direcional da roda frontal (4.3.3)
					Localizado entre o componente suporte estrutura do chassi (4.4.8) e o suporte estrutural diagonal. Fixado por soldagem nos componentes através de suas extremidades superior e inferior. Suporta através de seus orifícios e com uso de parafusos, arruelas e porcas sextavadas M8
	Vista lateral direita 				
	Vista superior 	4.4.5 Suporte esquerdo roda frontal 	1	Aço SAE 1020	Cantoneira cortada, dobrada e soldada, formando um ângulo de 90° em sua extremidade inferior para ser acoplada ao componente suporte direcional da roda frontal (4.3.3) Localizado entre o componente suporte estrutura do chassi (4.4.8) e o suporte estrutural diagonal. Fixado por soldagem nos componentes através de suas extremidades superior e inferior. Suporta através de seus orifícios e com uso de

 Vista inferior				parafusos, arruelas e porcas sextavadas M8	
	4.4.6 Suporte estrutural diagonal chassi direito		1	Aço SAE 1020	Usinado (Corte)
					Fixado por soldagem das suas bordas, extremidades do componente, na parte inferior (dobrada) do componente suporte roda frontal e na face lateral interna do componente suporte do tubo central
	4.4.7 Suporte estrutural diagonal chassi esquerdo		1	Aço SAE 1020	Usinado (Corte)
					Fixado por soldagem das suas bordas, extremidades do componente, na parte dobrada do componente suporte roda frontal e na face lateral interna do componente suporte do tubo central
	4.4.8 Suporte estrutural do chassi		3	Aço SAE 1020	Usinagem (Corte)
					Componente localizado entre os suportes do tubo central, sendo fixado por solda nas extremidades de suas bordas (pontas)
4.4.9 Parafuso M8x25 MA DIN 933 5.8		4	Aço médio carbono	Fixa o suporte da roda frontal ao flange do componente suporte direcional roda frontal (4.3.3), com uso de porcas e arruelas lisas	
4.4.10 Parafuso M8x70 MA DIN 933 5.8				2	Aço médio carbono

					forma concêntrica nos orifícios do tubo central (4.4.1) e do prolongador do braço (4.2.1)
		4.4.11 Arruelas lisas M8 DIN 125A 	2	Aço SAE 1070 galvanizado	Posicionada entre a cabeça do parafuso (4.4.9), face superior do suporte da roda frontal e a face inferior do flange do componente suporte direcional da roda frontal (4.3.3), totalizando 8 itens. Os demais componentes (4) estão localizados entre a cabeça do parafuso (4.4.10) e face superior e inferior do tubo central (4.4.1)
		4.4.12 Porca M8 MA DIN 934 	6	Aço carbono	Une por aperto com auxílio da porca sextavada M8 os componentes suporte da roda frontal, suporte direcional da roda frontal e o tubo central
	4.5 Armazenar GLP  Perspectiva Isométrica	4.5.1 Suporte do subsistema armazenar GLP 	1	Aço SAE 1020	Tubo cortado em 3 partes distintas formando primeiramente uma união soldada perpendicular de 90° entre o tubo horizontal e o tubo vertical. Posteriormente a terceira parte do tubo está soldado na outra extremidade do tubo, posicionado horizontalmente, formando ângulo de 30° com o mesmo
					Suportado, por soldagem, em sua extremidade superior pelo tudo central, também suporta a chapa galvanizada e a pedaleira do suporte do subsistema armazenar GLP,

	 Vista Frontal				ambos por soldagem. É fixada em suas faces laterais a cinta metálica do subsistema armazenar GLP, através parafuso, arruela e porca M8
		4.5.2 Cinta metálica do subsistema armazenar GLP 	1	Aço SAE 1020	Chapa cortada, calandrada e furada nas suas extremidades opostas Suporta em seu interior o botijão GLP de 13 kg. É fixado através de parafusos, arruelas e porcas M8 ao componente suporte do subsistema armazenar GLP
	 Vista Posterior	4.5.3 Chapa galvanizada 280 x 180 x 1,95 mm 	1	Aço SAE 1020	Usinagem (Corte da chapa) Suporta através da sua face superior o botijão GLP. É suportado pelo componente suporte do subsistema armazenar GLP por meio se soldagem
		4.5.4 Pegador da cinta metálica do subsistema armazenar GLP 	1	Aço SAE 1020	Usinagem Fixado através de soldagem ao componente cinta metálica do subsistema armazenar GLP
		4.5.5 Pedaleira do suporte do subsistema armazenar GLP 	1	Aço SAE 1020	Cantoneira cortada e posteriormente conformada aproximando suas abas laterais com a redução do ângulo de 90° Soldada na extremidade inferior do componente suporte do subsistema armazenar GLP

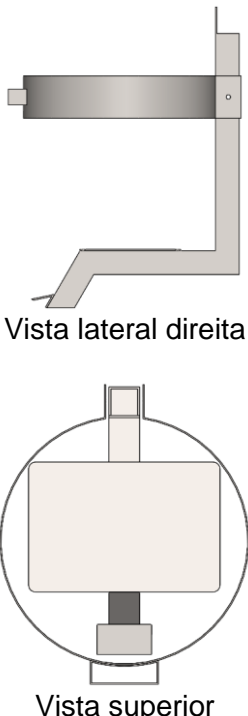



 <p>Vista lateral direita</p> <p>Vista superior</p>	<p>4.5.6 Parafuso M8x70 MA DIN 933 5.8</p> 	1	Aço médio carbono	Posicionado de forma concêntrica no orifício do componente cinta metálica do subsistema armazenar GLP, sendo fixado por porca sextavada M8
	<p>4.5.7 Arruelas lisas M8 DIN 125A</p> 	2	Aço SAE 1070 galvanizado	Localizada entre a cabeça do parafuso sextavado M8, cinta metálica do subsistema armazenar GLP e a porca sextava M8
	<p>4.5.8 Porca M8 MA DIN 934</p> 	1	Aço carbono	Fixa por aperto com auxílio do parafuso e arruelas M8 a cinta metálica do subsistema armazenar GLP

Figura 30 - Especificações do sistema suportar mecanismos, desenvolvido para o protótipo2

O conjunto do sistema Suportar mecanismos apresenta altura de 0,80m em relação ao solo e foi dimensionado para deslocar-se sobre as plantas de milho e feijão, que no período de manejo das plantas espontâneas apresentam em média alturas de 0,25 a 0,40m (ROSA, 2018). O sistema Suportar mecanismos (Figura 30) possui comprimento total de 1600mm, determinados nos teste do protótipo 1, e a largura de trabalho varia de acordo com o subsistema Regulagem do espaçamento do chassi, o qual dispõem de 4 regulagens (0,71m, 0,81m, 0,91m e 1,10m), que podem ser utilizadas de acordo com o espaçamento das entrelinhas das culturas de feijão e milho, podendo ser aplicado também para outras culturas com espaçamento similares.

O terceiro subsistema especificado foi o Movimentar máquina, desenvolvido com 3 pontos de apoio (Figura 31) para facilitar o direcionamento do protótipo com a utilização do componente Suporte direcional roda frontal. Este mecanismo proporciona que todos os componentes que atuam no direcionamento da máquina, durante seu uso, sejam simples e de fácil fabricação, tornando os custos do projeto reduzidos. Os rodados pneumáticos foram definidos a partir dos testes do protótipo 1 com capacidade de suporte de carga de 125kgf/cm² cada, estando acima do necessário em relação a massa total do protótipo (99,4kg).

O último subsistema desenvolvido foi o Armazenar GLP, que foi dimensionado para receber um botijão P13 (diâmetro de 0,36m e altura de 0,46m) ou um botijão P8 (diâmetro de 0,30m e altura de 0,46m). Ambos tipos de botijões podem ser substituídos, de acordo com a necessidade, como em casos de deslocamento da máquina em terrenos muito íngremes, que demandam um esforço físico maior por parte dos usuários. Um botijão P13 apresenta carga total de aproximadamente 30kg, enquanto um botijão P8 apresenta massa total de aproximadamente 17kg.

A fixação dos recipientes de GLP ocorre, por meio, do componente cinta metálica interligada ao componente Suporte do subsistema armazenar GLP. Ambos botijões são facilmente encontrados no mercado e o preço de seus cascos apresentam o mesmo valor comercial nos pontos de venda verificados durante o desenvolvimento do trabalho.

O subsistema Armazenar GLP foi posicionado na parte traseira do protótipo para proporcionar que o centro de massa da máquina, considerando-a em ordem de marcha, seja o mais próximo possível do eixo traseiro, com a finalidade de tornar o equipamento mais estável, melhor em relação a dirigibilidade e com menores riscos de tomabamento lateral, longitudinal e oblíquo.

Um componente que demonstrou ser muito importante no subsistema Armazenar GLP foi o mecanismo denominado Pedaleira, item 4.5.5 do quadro de especificações (Figura 31). Este componente auxilia a máquina, durante a sua operação ou transporte, principalmente na manobrabilidade do equipamento, ajudando a roda frontal e os demais rodados a superarem obstáculos, como por exemplo, pedras ou irregularidades no terreno, fazendo com que o operador realize uma leve pressão com um dos pés sobre a pedaleira para que a roda dianteira fique suspensa.

A bateria de 12 Volts que alimenta o sistema Gerar centelhas foi localizada na parte superior do chassi da máquina, próximo ao operador, conforme é representado na Figura 31, a fim de reduzir as perdas com resistencia elétrica dos condutores entre a bateria e o sistema de acionamento das velas, melhorar a visualização dos sistemas da máquina e das entrelinhas das culturas, durante o seu funcionamento e proporcionar que o centro de massa do protótipo fique próximo ao eixo traseiro.

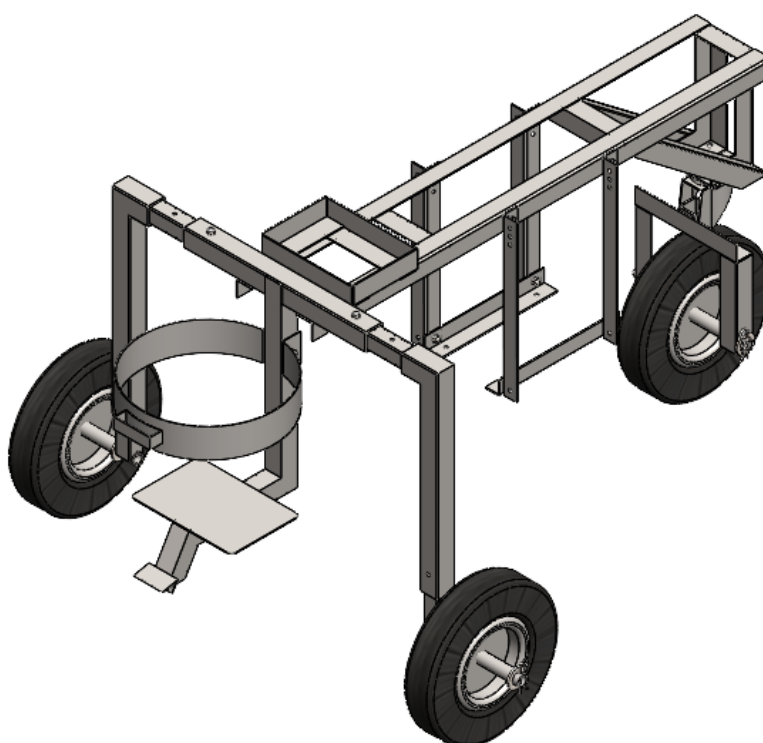


Figura 31 – Perspectiva isométrica do sistema de suportar mecanismos, do protótipo 2.

Na Figura 32 são representados os sistemas Aplicar calor, Dosar gás, Gerar centelhas, os quais foram fixados ao sistema Suportar mecanismos com intuito de demonstrar a interação dos sistemas.

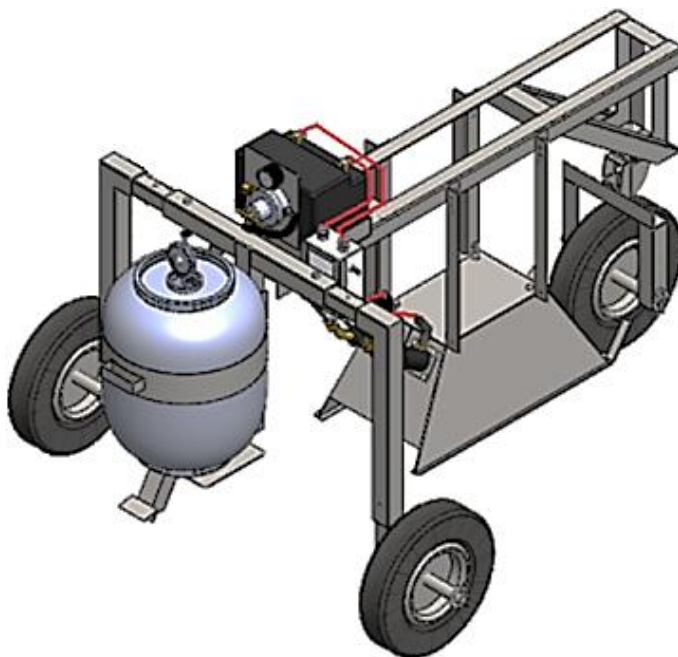


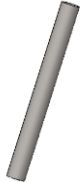




Figura 32 - Perspectiva isométrica dos sistemas Suportar mecanismos, Aplicar calor, Dosar gás e Gerar centelhas do protótipo 2.

O quinto item apresentado, por meio do quadro de especificações (Figura 33), foi o **sistema Aplicar calor manualmente**, conforme a classificação dos sistemas hierarquizados (Figura 19).

5.1.5 Sistema Aplicar calor manualmente, protótipo 2

O sistema Aplicar calor manualmente (Figura 33) foi desenvolvido com objetivo de gerar maior versatilidade ao equipamento, permitindo que a máquina possa controlar as plantas espontâneas em áreas de difícil acesso ou extremamente íngremes. Também foi constatada outra aplicabilidade para este sistema, o qual permitirá que o agricultor possa realizar o raleio em culturas de seu interesse.

Sistema	Subsistema/Função auxiliar	Especificação do componente	Quant.	Material	Fabricação/Montagem
5. Aplicar calor manualmente 		5.1 Queimador portátil 	1	Material diversos	Conectado através de sua extremidade superior a mangueira para GLP.
		5.2 Suporte do queimador portátil 	1	Aço SAE 1020	Tubo redondo com 38,11mm de diâmetro, espessura de 1mm, o qual foi cortado com 500mm de comprimento, apresentando furação de 5mm para parafuso sextava Permite o armazenamento em seu interior do maçarico portátil, pelo orifício localizado na sua extremidade superior.
		5.3 Fixar suporte 	1	Aço SAE 1020	Tubo redondo com 50,8mm de diâmetro, espessura de 3mm, o qual foi cortado com 60mm de comprimento e apresenta furação de 5mm para parafuso sextava Fixado através de solda ao componente braço de regulação, item 4.2.2, do sistema suportar mecanismos.
		5.4 Mangueira 1/2" GLP NBR13419 	1	Composto de pvc e borracha nitrílica, trançado interno com	Componente que transporta o GLP do botijão é conectado através de uma das suas extremidades ao componente maçarico portátil. Na outra extremidade a



				fios de poliéster	mangueira é fixada ao componente espigão macho, item 2.5, do sistema dosar gás
		5.5 Parafuso M5x15 MA DIN 933 5.8 	1	Aço médio carbono	
					Fixa por aperto o suporte do maçarico portátil
		Porca M5 MA DIN 934 	1	Aço carbono	Soldado ao componente fixador do suporte, recebe em seu interior parafuso sextavado M5

Figura 33 - Especificações do sistema Aplicar calor manualmente, desenvolvido para o protótipo2.

Este sistema (Figura 34) constitui-se por um maçarico, denominado queimador portátil, com 450mm de comprimento total, o qual foi escolhido através do ciclo DFF, por ser largamente utilizado pelos agricultores e facilmente encontrado no comércio, facilitando assim sua substituição quando necessário. A mangueira foi dimensionada com comprimento de 4m possibilitando o uso do sistema aplicar calor manualmente concomitantemente com o sistema Aplicar, ou permitindo uma distância de tratamento térmico considerável do local onde a máquina estiver parada.

Quanto ao componente suporte do queimador portátil, este foi desenvolvido para armazenar o queimador e possibilitar que a máquina transporte este sistema, podendo ser utilizada a qualquer momento. Desta forma o equipamento também poderá ser empregado no controle de plantas espontâneas na fruticultura, na produção orgânica de frutas, assim como o equipamento desenvolvido por Pomper e Crabtree (2006) (Figura 3), no entanto, com a vantagem de ser ergonomicamente melhor ao operador, uma vez que o mesmo não necessitará transportar manualmente o botijão.

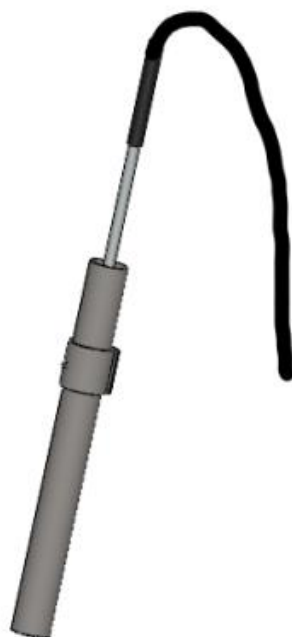


Figura 34 - Perspectiva isométrica do sistema Aplicar calor manualmente, do protótipo 2.

Já o componente fixar suporte (Figura 35), localizado no sistema suportar mecanismo, foi desenvolvido com a finalidade de permitir a retirada do suporte do queimador portátil, nos casos em que o agricultor não necessitar utilizá-lo.

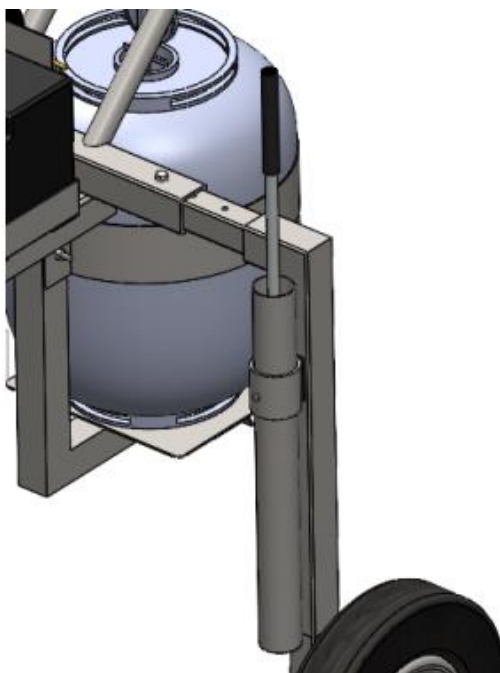


Figura 35 - Vista detalhada do sistema Aplicar calor manualmente fixada ao sistema Suportar mecanismos.

Na Figura 36 foram representados a sequência de montagem dos sistemas Aplicar calor, Dosar gás Gerar centelhas, Suportar mecanismos e Aplicar calor manualmente, os quais foram fixados no chassi do protótipo.

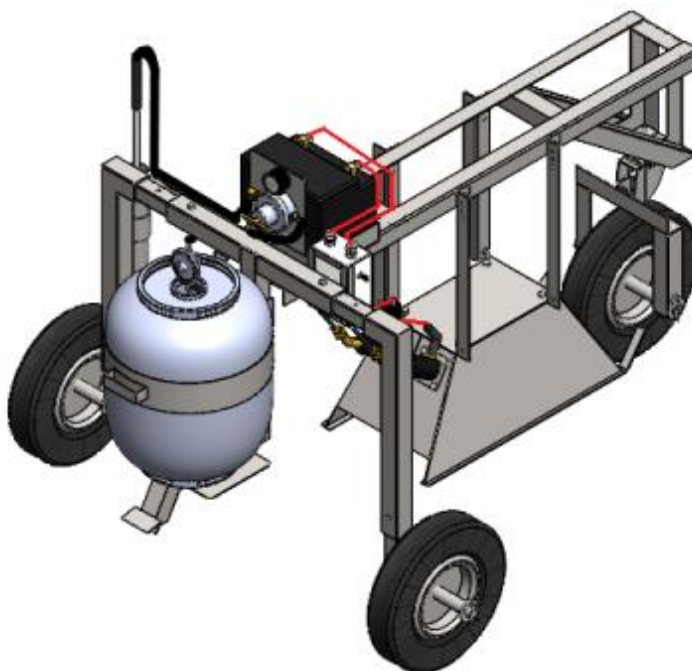


Figura 36 - Perspectiva isométrica dos sistemas Aplicar calor manualmente, Aplicar calor, Dosar gás, Gerar centelhas e Suportar mecanismos, do protótipo 2.

O sistema Aplicar calor manualmente não teve seus componentes montados sobre o protótipo, pelo fato do queimador portátil (maçarico), principal componente deste sistema, ser um item comercial, o qual já foi amplamente testado quanto a sua aplicabilidade em diversas atividades agrícolas, não sendo necessário nenhum teste para verificar seu funcionamento. Este sistema foi aplicado a metodologia de projeto, passando pelo ciclo DFF apenas para determinar suas interações com os sistemas Suportar mecanismos e Dosar gás.

O componente armazenar queimador portátil, do sistema Aplicar calor manualmente, interagiu com o sistema Suportar mecanismo, necessitando ser dimensionado para ser fixado ao chassi da máquina. Já a interação com o sistema Dosar gás, necessitou adição de uma segunda válvula de esfera para alimentar este sistema.

5.1.6 Sistema Acoplar fonte de potência, protótipo 2

Após realizar-se os primeiros testes com o protótipo 1 foram obtidos resultados importantes que foram levados em consideração para especificar os SSCs do protótipo 2. Já o segundo teste realizado, com o protótipo 1, foi do Sistema Acoplar fonte de potência e os seus resultados foram apresentados a seguir.

Aproveitando o teste do protótipo 1 foi simulado um mecanismo de transmissão de potência, conforme pode ser visto na Figura 37, a fim de determinar a sua altura em relação ao solo, para que a operação da máquina fosse confortável, evitando assim problemas de ergonomia. Este fator pôde ser avaliado após a operação ter sido realizada por usuários com diferentes alturas, verificando que o sistema deveria possuir regulagem da inclinação do guidom, corroborando com a norma NBR ISO 112282 de 2017 que determina que os suportes ou acoplamentos de máquinas de puxar ou de empurrar devem ser posicionados entre 0,9 e 1,15 m de altura.



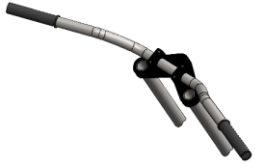



Figura 37 – Esforço no deslocamento e altura do mecanismo de transmissão de potência.

Desta forma, todos aspectos observados foram considerados para a determinação dos SSCs do Acoplar fonte de potência, conforme quadro de especificações (Figura 38).

O componente escolhido para ser utilizado no protótipo, no qual o operador realiza a pega e aplicação da sua força, para deslocar o equipamento, foi um guidom, utilizado em moto, com comprimento de 770mm e diâmetro de 30mm, a fim de atender aos quesitos levantados, por meio do protótipo 1.

O mecanismo denominado Mesa do guidom, também empregado em motos, foi escolhido como componente do projeto para fixar o guidom e fazer a regulação de altura, no local da pega. Este componente também possibilitou que o guidom fosse regulado, aproximando-se ou afastando-se do chassi da máquina, através do componente do sistema Tubo transmissor de potência, respeitando o espaçamento do subsistema Armazenar GLP, evitando assim, que o usuário não esbarre nos componentes desse subsistema.

Já a manopla, feita com material antiderrapante, foi empregada no guidão para oferecer maior controle e conforto ao operar o protótipo.

Sistema	Subsistema/Função auxiliar	Especificação do componente	Quant.	Material	Fabricação/Montagem
<p>6. Sistema de acoplar fonte de potência</p>  <p>Perspectiva Isométrica</p>  <p>Vista Frontal</p>  <p>Vista Posterior</p>  <p>Vista lateral direita</p>		6.1 Mesa do guidom	1	Liga de alumínio	Componente fixado ao tubo transmissor de potência através de seu orifício transversal a superfície plana superior. Suporta o guidom, através do aperto do parafuso sextavado M8, em seus orifícios perpendiculares a superfície plana superior
		6.2 Guidom	1	Aço SAE 1020	Elo de ligação entre a máquina e o operador é fixado a mesa do guidom
		6.3 Tubo transmissor de potência	2	Aço SAE 1020	O tubo foi cortado no tamanho desejado e na sua extremidade inferior foi realizado um corte, em V com ângulo de 90°
					Suporta em sua extremidade superior a mesa do guidom e na sua extremidade inferior fixasse ao tubo central (4.4.1) por solda
		6.4 Manopla do guidom	2	Borracha	Posicionado na extremidade do guidom, o mesmo ocupa todo orifício interno do punho

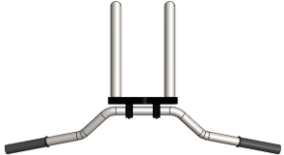

 <p>Vista superior</p>		6.5 Parafuso M5x25 MA DIN 933 5.8 	4	Aço médio carbono	
					Fixa por aperto o guidom a mesa do guidom

Figura 38 – Especificações do sistema suportar mecanismos, desenvolvido para o protótipo2.

Após a especificação de todos os componentes dos sistemas e subsistemas foi realizada a montagem dos mesmos (Figura 39) através do software *Solidworks*, os quais propiciaram a construção do protótipo 2, conforme a imagem da Figura 40.

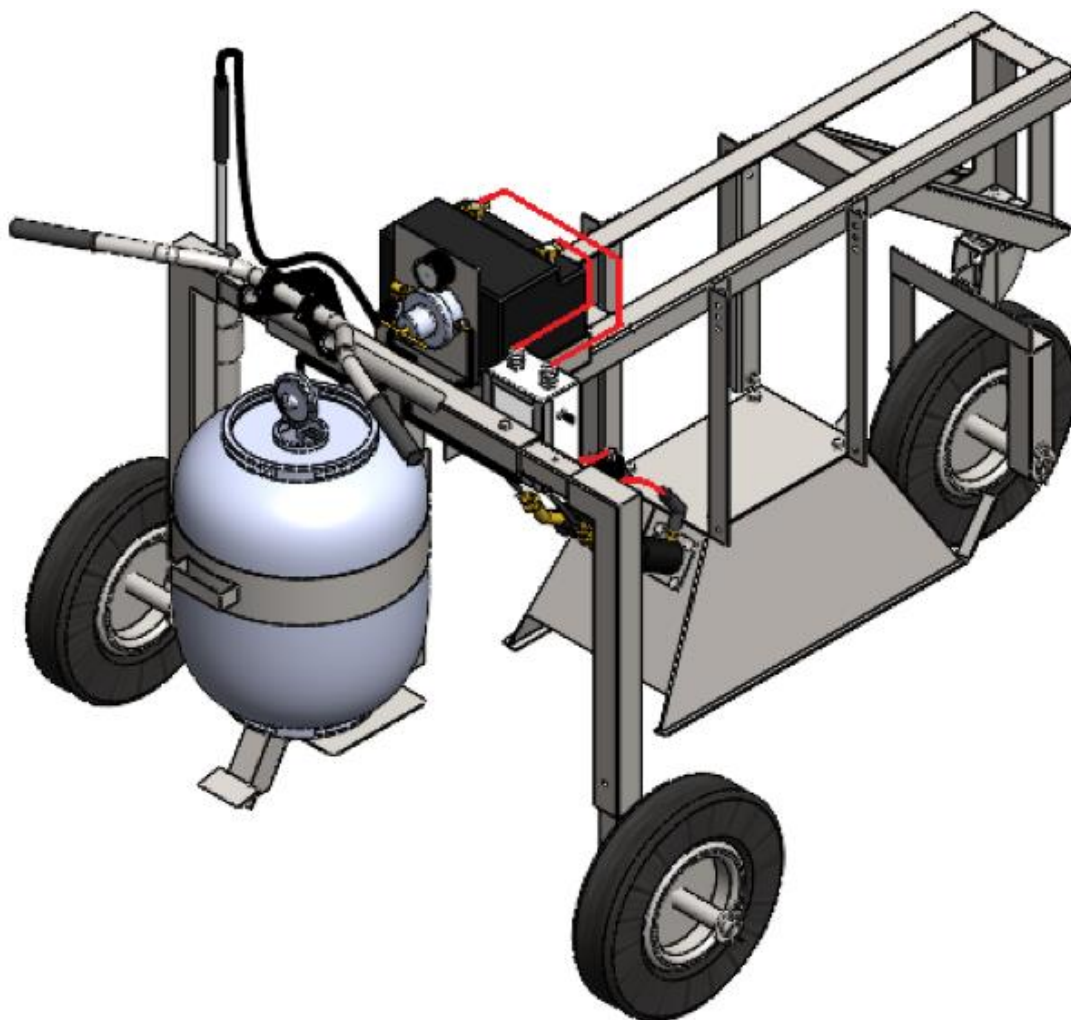


Figura 39 - Perspectiva. Isométrica do protótipo 2 com todos seus sistemas montados.

Após a fabricação e montagem de todos os componentes do protótipo 2, conforme apresentado pela Figura 40. A próxima etapa foi a realização dos testes funcionais do equipamento com todos os seus SSCs, e posteriormente as avaliações dos mesmos.



Figura 40 - Protótipo 2 fabricado e montado com seus SSCs.

5.2 Resultados dos testes funcionais do protótipo 2

O primeiro teste realizado com aplicação de calor foi em uma área delimitada com fitas e estacas representando os espaçamentos entrelinhas para simular a cultura (Figura 41). Nesta área existia cobertura vegetal constituída por plantas de campo nativo do bioma pampa e com presença de uma pequena quantidade de palha.



Figura 41 – Imagem da área antes do tratamento térmico das plantas espontâneas.

Na Figura 42 observar-se visualmente o efeito sobre as plantas espontâneas, logo após a aplicação de calor nas entrelinhas tratadas durante o teste.



Figura 42 - Imagem da área 0 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.

Neste teste a velocidade média para realização do tratamento térmico foi de $0,35\text{m.s}^{-1}$, não contabilizando o tempo para realizar as manobras. Esta velocidade foi inferior a utilizada nos experimentos realizados por Spagnolo (2020), as quais foram de $0,56$, $0,78$ e $1,17\text{m.s}^{-1}$, proporcionando desta forma maior tempo de exposição das plantas espontâneas ao calor, e assim, permitindo uma maior eficácia no tratamento térmico, conforme Mojzis et al. (2015).

Na Figura 43 observar-se de forma aproximada os efeitos da aplicação de calor na área do teste no dia do tratamento



Figura 43 - Imagem aproximada da área, 0 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.

Pode-se verificar na imagem (Figura 43) um aspecto escurecido entre as linhas, resultado da queima das plantas espontâneas que já estavam mortas na área e formavam uma palhada seca, misturada as demais plantas espontâneas vivas que permaneceram com a mesma coloração (verde).

No terceiro dia após o tratamento térmico (Figura 44) constatou-se os efeitos da aplicação de calor no controle das plantas espontâneas, por meio da utilização do equipamento aqui projetado.



Figura 44 - Imagem da área 3 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.

A partir da Figura 45 também pode-se observar, de forma aproximada, os efeitos da aplicação de calor na área do teste após 3 dias do tratamento.



Figura 45 - Imagem aproximada da área, 3 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.

Nota-se, a partir do terceiro dia após o tratamento térmico, cores de aspecto amarelado nas imagens (Figura 44 e Figura 45) que demonstraram os efeitos iniciais do controle térmico sobre as plantas espontâneas que se encontravam vivas nas áreas tratadas. Nas linhas, simuladas como locais das culturas, notou-se a coloração de aspecto verde, pois nessa área existem as plantas espontâneas que não receberam tratamento. Esse fato implica em uma segurança na aplicação do tratamento térmico para as culturas que estiverem no local, pois estas não serão prejudicadas pelos efeitos do calor, sendo esse resultado, consequência do uso da campânula.

A partir da Figura 46 verificar-se os efeitos do tratamento térmico sobre as plantas espontâneas, após os 7 dias do teste.



Figura 46 - Imagem da área 7 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.

Na partir da Figura 47 pode-se observar, de forma aproximada, os efeitos da aplicação de calor na área do teste após 7 dias do tratamento.



Figura 47 - Imagem aproximada da área, 7 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.

Transcorridos 7 dias do tratamento térmico foram evidentes, a partir das imagens da Figura 46 e da Figura 47, a continuidade dos efeitos do tratamento térmico sobre as plantas espontâneas presentes na área. Verificou-se que o tratamento, permaneceu com a predominância da coloração de aspecto amarelado.

Não foi notado visualmente diferença significativa no tratamento térmico se comparado as imagens apresentadas com relação ao terceiro dia após o tratamento (Figura 44 e Figura 45). Tal fato vem ao encontro do observado por Spagnolo et al. (2020) que em seu experimento constatou que para velocidade baixa ($0,56\text{ms}^{-1}$), associada a uma pressão elevada de GLP (245kPa) o índice de controle das plantas espontâneas não apresentou uma grande variação nas avaliações realizadas aos 3 dias após o tratamento térmico (82% de controle) e aos 7 dias após o tratamento (86% de controle).

A Figura 48 e a Figura 49 apresentam os resultados após 12 dias transcorridos do tratamento térmico.



Figura 48 - Imagem da área 12 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.

Na Figura 49 também pode-se observar, de forma aproximada, os efeitos da aplicação de calor na área do teste após 12 dias do tratamento.



Figura 49 - Imagem aproximada da área, 12 dias após o tratamento térmico das plantas espontâneas.

A partir do monitoramento realizado no período de 12 dias, após o teste concretizado no presente trabalho, observou-se o surgimento de novas plantas

espontâneas e/ou até mesmo a possibilidade da rebrota das plantas que por ventura sobreviveram ao tratamento térmico, o que foi confirmado pelo leve aumento na coloração de aspecto verde nas imagens (Figura 48 e Figura 49). Essa constatação vem ao encontro dos resultados descritos por Spagnolo (2020), Datta e Knezevic (2013), Ulloa et. al. (2010) e Kang (2001) que descreveram em geral a rebrota das plantas espontâneas por volta dos 10 dias após o tratamento térmico.

Os resultados evidenciados após o teste de aplicação de calor, neste trabalho, demonstram a possibilidade de se realizar um atraso na competição entre as plantas espontâneas e as culturas de interesse, a qual pode ser reduzida pela eficácia do tratamento térmico. Segundo Ulloa et al. (2010) o tratamento térmico é satisfatório quando controlar acima de 80% das plantas espontâneas que infestam uma determinada área de cultivo agrícola.

Após os resultados do primeiro teste verificou-se que o consumo de gás estimado foi de aproximadamente 34kg ha^{-1} para uma velocidade média de $0,35\text{m s}^{-1}$ e para uma pressão de trabalho de 245kPa . O custo obtido para o tratamento térmico foi de aproximadamente R\$1046,00 por aplicação e foi baseado no consumo de gás e no valor unitário de um botijão de 13kg. Spagnolo et al (2020) no tratamento térmico de plantas espontâneas obteve um custo de $\text{R\$}522,34\text{ ha}^{-1}$ por aplicação e o preço estimado do botijão de 13kg foi de 80 reais.

Spagnolo et al. (2020) também atingiu uma taxa de controle de 79% usando a mesma velocidade durante o tratamento, e uma pressão inferior.

Na sequência realizou-se o segundo teste, no qual foram descritos pelos operadores os resultados com relação a demandas de esforço físico, operacionalidade e ergonomia, após o deslocamento do protótipo no terreno com aclive, declive e também no sentido oblíquo a inclinação inicial.

Ao operar o protótipo no sentido do aclive (Figura 50), os operadores descreveram a dificuldade encontrada durante o deslocamento da máquina, a qual exigiu um esforço maior para iniciar o movimento. No entanto, a dirigibilidade no aclive foi considerada melhor ao compara-se com o deslocamento do protótipo no sentido do declive (Figura 51), visto que a roda dianteira na descida ficava instável, devido ao operador ter que realizar o controle de velocidade, freando a máquina, e assim, diminuindo a carga sobre a roda dianteira.



Figura 50 - Deslocamento realizado pelo protótipo no sentido do aclave.

Para frear a máquina os operadores descreveram que houve a necessidade de realizar uma leve inclinação do corpo para trás, contudo, no sentido do aclave aconteceu o oposto, dado que devido ao esforço para realizar o deslocamento da máquina, os operadores necessitaram inclinar o corpo para frente, fazendo com que os braços ficassem estendidos, com intuito de compensar o deslocamento do centro de gravidade do corpo.



Figura 51 - Deslocamento realizado pelo protótipo no sentido do declive.

No teste de deslocamento da máquina no sentido oblíquo (Figura 52), segundo os operadores 1 e 2, a roda dianteira projetava-se para o sentido do declive, dificultando a manutenção da linearidade em relação ao seu deslocamento, o que não ocorreu no sentido contrário.



Figura 52 - Deslocamento realizado pelo protótipo no sentido oblíquo.

Todos operadores constataram que as irregularidades de relevo presentes no solo, no momento dos testes, influenciaram no alinhamento e controle direcional da roda dianteira, no entanto, as manobras foram facilmente realizadas, principalmente por apresentar raio de giro igual a distância entre eixos.

Por fim foi realizado o terceiro e último teste, no qual inicialmente foi elevado o eixo longitudinal da máquina como pode ser visto na (Figura 53). O ângulo máximo obtido neste teste foi de 23° , porém esta inclinação já não apresenta uma condição operacional segura, pois aumenta significativamente o esforço para movimentar a máquina, além de promover uma instabilidade e riscos com acidentes.



Figura 53 - Teste realizado para determinação do tombamento longitudinal para trás do protótipo 2.

Posteriormente, inclinou-se a plataforma lateralmente e o ângulo encontrado para o ponto de equilíbrio foi de 33° , conforme demonstrado na Figura 54. Na plataforma de inclinação lateral foram fixados, por meio de travas, a roda dianteira e uma roda traseira, a fim de evitar o escorregamento lateral da máquina.



Figura 54 - Teste realizado para determinação do tombamento lateral do protótipo 2.

Por fim no último teste realizado constatou-se um ângulo de inclinação oblíquo da máquina de 40° , como pode ser visto na Figura 55. Nota-se que esta situação de tombamento apresentou um ângulo maior que o de tombamento lateral, contudo, as boas práticas de manejo do solo indicam que as culturas devem ser implantadas no

sentido das curvas de nível, e por isso o ângulo de tombamento lateral é o que possui maior iminência de ocorrer.



Figura 55 - Teste realizado para determinação do tombamento oblíquo do protótipo 2.

Os resultados obtidos com relação aos tombamentos estáticos, longitudinal, lateral e oblíquo possibilitaram determinar o ângulo máximo de inclinação seguro que a máquina poderá operar em cada situação, pois segundo Mialhe (1980) os ângulos de tombamento não devem ultrapassar 60% das suas inclinações máximas, sendo assim, para utilização da máquina de forma segura os ângulos de inclinação longitudinal, lateral e oblíquo do protótipo, em relação ao terreno, devem ser de 13,8°, 19,8° e 24°, respectivamente.

Também foi constatado que as pressões de contato do rodado pneumático dianteiro (com 21,5kPa) e dos rodados pneumáticos traseiros (com 51,4kPa cada) do protótipo, quando comparados com as pressões de pré-adensamento (Figura 17), geram compactação apenas para o Latossolo vermelho na condição úmida, o qual sofreria compactação pelos rodados pneumáticos do eixo traseiros da máquina.

Ao realizar-se os testes, foi possível constatar diversas melhorias para o protótipo, uma destas refere-se a largura média de controle das plantas realizado pelo sistema Aplicar calor (Figura 56), que foi entorno de 0,35m, o que possibilita a redução da largura da campânula de 450mm para a medida constatada. Esta melhoria permite reduzir o custo com material para fabricação e consequentemente a massa da máquina, além de possibilitar a realização do tratamento térmico nas culturas de milho

e feijão, pois ambas possuem o espaçamento entre linhas de 0,45m como recomendação.

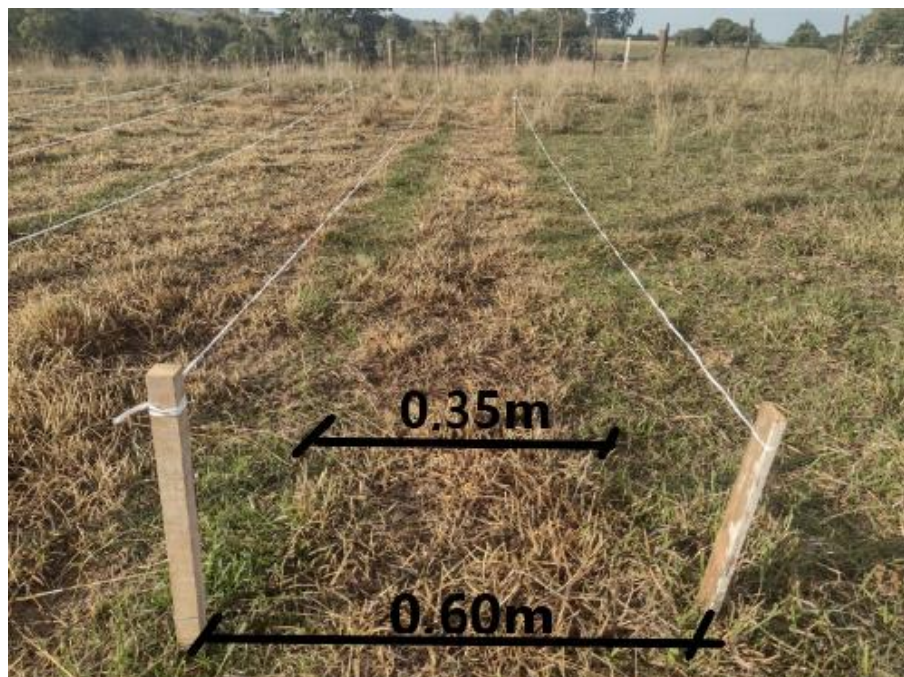


Figura 56 - Largura média de controle das plantas espontâneas, após o teste.

Outra melhoria constatada foi a necessidade da adição de uma proteção na roda dianteira, devido à proximidade desta com o sistema Aplicar calor, principalmente quando a máquina foi operada em terrenos inclinados, o que provocou o aquecimento do pneu. Também verificou-se a necessidade do pantográfico apresentar mecanismo para evitar inclinação acentuada do sistema Aplicar calor quando o terreno for íngreme, evitando que a campânula entre em contato com a roda dianteira ou com o suporte que armazena o botijão.

Quanto ao sistema Acoplar fonte de potência, observou-se que o desenvolvimento da posição de conforto do guidom, para cada operador, foi extremamente importante e amenizou o desconforto quando o protótipo foi operado em áreas íngremes.

Aumentar a abertura da parte traseira da campânula, logo abaixo dos queimadores, foi uma melhoria também constatada como necessária, a fim de auxiliar na manutenção da chama, permitindo uma entrada melhor de oxigênio.

No teste com aplicação de calor, verificou-se que para ambientes controlados com pouca ou nenhuma quantidade de palha sobre o solo e altura constante das plantas controladas, inferiores a 0,20m de altura, não ocorre a extinção da chama,

contudo para ambientes sem tal controle o sistema de gerar centelha se faz necessário.

Após a verificação de uma boa aplicação de calor mesmo em superfícies irregulares observou-se que a campânula pode ser deslocada para trás em torno de 100mm sem perdas no funcionamento do equipamento, fazendo com que o centro de gravidade fique mais próximo ao eixo traseiro.

Através dos testes realizados com o protótipo 2 constatou boa manobrabilidade mesmo em terrenos irregulares e com presença de pequenos buracos, no entanto, quando a inclinação do terreno aumentou, a dificuldade na manobrabilidade também foi tornando-se maior, mas esta situação não ocorreu, devido ao afundamento dos pneus no solo, pois verificou-se que as pressões de contato do rodado pneumático dianteiro (com 21,5kPa) e dos rodados pneumáticos traseiros (com 51,4KPa cada) do protótipo, quando comparados com as pressões de pré-adensamento (Figura 17), não geram compactação, exceto para o Latossolo vermelho quando na condição úmida, o não é o caso no solo (Planossolo) onde ocorreram os testes qual sofreria compactação pelos rodados pneumáticos do eixo traseiros da máquina.

A fim de atender aos requisitos o protótipo 2 deverá apresentar proteção física no entorno do sistema Aplicar calor, com intuito de evitar riscos com queimaduras pelo contato direto com os componentes aquecidos.

Por fim, o custo com o tratamento térmico poderá ser reduzido facilmente mantendo-se a mesma velocidade de aplicação, mas reduzindo a pressão de gás. Tal fato pode ser corroborado a partir do trabalho de Spagnolo et al. (2020) que nos diversos tratamentos realizados em seu trabalho obteve uma redução no custo de aplicação térmica, mantendo uma taxa de controle das plantas espontâneas de 79%, com custo de R\$436,37.

Apesar do custo encontrado no trabalho para realização do tratamento térmico ter sido elevado (R\$) o mesmo ainda pode ser considerado mais barato quando comparado ao método manual, pois Model e Favreto (2010) descreveram que o custo para o controle das plantas espontâneas foi de R\$2.736,00 por meio da capina com seis intervenções.

6. Conclusões

A metodologia de projeto preliminar utilizada neste trabalho proporcionou uma organização e eficiência no desenvolvimento das etapas do projeto do produto.

O protótipo funcional apresenta totais condições para realizar o tratamento térmico, gerando danos significativos às plantas espontâneas em terrenos planos e com superfície do solo irregular.

O protótipo apresentou boa manobrabilidade e dirigibilidade entre as linhas das culturas simuladas e o sistema gerar centelhas demonstrou-se indispensável para manter as chamas, assim tornando o tratamento térmico eficaz e seguro para os agricultores familiares.

A fabricação de um protótipo físico e focado, anterior ao protótipo funcional foi importante para sanar dúvidas quanto a operacionalidade, dimensões gerais e distâncias entre componentes e sistemas móveis.

O protótipo é de simples fabricação, utilizando processos de fabricação convencionais e com possibilidade de melhorias.

Referências

- AGRONOMIA RUSTICA (Brasil). **Planta daninha**. 24 nov. 2019. Instagram. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/B5QM0PSAQwa/>. Acesso em: 24 nov. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBRISO11228-2**. Ergonomia – Movimentação manual. Parte 2: Empurrar e puxar. ABNT, 2017. 61 p.
- BACK, Nelson; OGLIARI, André; DIAS, Acires; SILVA, Jonny. Carlos. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008. 648 p.
- BRASIL. **Instrução Normativa 17, de 18 de junho de 2014**. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção, bem como as listas de substâncias e práticas permitidas para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção. Diário Oficial da União, Brasília, 20 jun. 2014.
- OLIVEIRA, Carina. Plantação de feijão: veja as melhores práticas para sua produção. **Blog da Aegro para negócios rurais**. Porto Alegre, 19 mai. 2023. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/plantacao-de-feijao/>. Acesso em 21 fev. 2023.
- DAROLT, Moacir. Roberto.; SKORA NETO, Francisco. Sistema de plantio direto em agricultura orgânica. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 70, p. 28-30, jul/ago. 2002.
- DIVER, Steve. **Flame Weeding for Vegetable Crops**. NCAT Agriculture Specialist. jun. 2002. Disponível em: <https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=110>. Acesso em: 06 jul. 2016.
- ANTUNES, Joseani M. Embrapa Trigo. **Espaçamento reduzido no milho**. Versão eletrônica, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/26329725/espacamento-reduzido-no-milho#:~:text=Espa%C3%A7amento%20e%20densidade,-O%20estabelecimento%20adequado&text=as%20previs%C3%B5es%20clim%C3%A1ticas.,Uma%20pr%C3%A1tica%20comum%20no%20cultivo%20do%20milho%20tem%20sido%20o,a%2050cm%20na%20%C3%BAltima%20d%C3%A9cada>. Acesso: 15 jun.2022.
- FAO - Food and Agriculture Organization. **FAOSTAT**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: 13 mai. 2019.
- FORCELLINI, Fernando Antônio. **Projeto conceitual**. Apostila. Nedip, UFSC, Florianópolis, 2003.
- FREITAS, F. C. L. et al. Interferência de Plantas Daninhas na Cultura do Feijão-Caupi. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.2, p.241-247, jun. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582009000200005>. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582009000200005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 19 ago. 2018.

GALLANDT, Eric. **Pedestrian propelled bed flame weeder**. Disponível em: <http://www.merfield.com/research/2010/thermal-weed-management-for-cropproduction-2010.pdf>. Acesso em 21 ago. 2018.

GUO, Wenlei et al. Effectiveness of Flame for Preplant Pest Management in Leaf Vegetable Fields. **HortTechnology**, Denver, v.29, n.6, p.788-794, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04341-19>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/29/6/article-p788.xml>. Acesso em: 19 nov. 2020.

JOHNSTONE, Ian; SMITH, Robert. **Torches and burners for flame cultivation and flaming**. US6257875. Julho, 2001. Disponível em: <http://www.freepatentsonline.com/6257875.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2019.

KOZLOWSKI, L. A. Período Crítico de Interferência das Plantas Daninhas na Cultura do Milho Baseado na Fenologia da Cultura. **Planta Daninha**, Viçosa, v.20, n.3, p.365-372, 2002.

LEAL, Amom Jecel Machado; WELZEL, Elcio; BRANDALISE, Rodrigo. **Capinadeira a fogo**. PI0206020-5A. Setembro, 2002. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br>. Acesso em: 05 ago. 2019.

LORENZI, H. **Plantas daninhas no Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais. 3.ed. São Paulo: Nova Odessa, 2000. 608p.

MACHADO, A. L. C.; MARTINS, J. R. C.; MACHADO, A. L. T. Análise da Capacidade de Suporte de Três Solos do Rio Grande do Sul Quanto a Pressão Exercida pelos Pneus de Tratores. In: **XV Salão de Iniciação Científica - UFRGS**, 15., Porto Alegre, 2003. Salão de iniciação científica, **Anais...** Porto Alegre: **XV Salão de Iniciação Científica - UFRGS**, 2003. p 24 – 28.

MARCHI, Giuliano; SILVA, Marcos Roberto da; MARCHI, Edilene Carvalho Santos. **Uso de lança-chamas e radiação infravermelha no controle de plantas daninhas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 225, 2008. 24 p.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – **Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos**. 11 ago. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/cadastro-nacional-produtores-organicos>. Acesso em: 03 jul. 2023.

McKYES, E. **Soil cutting and tillage**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., 1985. 217 p.

MIALHE, L.G. **MÁQUINAS AGRÍCOLAS: ENSAIOS & CERTIFICAÇÃO**. Piracicaba, FEALQ, USP, 1996, 722P.

MIGONZZI GROUP. **Equipamento de aplicação de calor manual costal.** Disponível em: <http://www.pirodiserbo.it/>. Acesso em: 21 out. 2019.

MIGONZZI GROUP. **Equipamento de aplicação de calor com GLP transportado por carrinho manual.** Disponível em: <http://www.pirodiserbo.it/>. Acesso em: 21 out. 2019.

MIGONZZI GROUP. **Equipamento de aplicação de calor com GLP transportado por carro motorizado.** Disponível em: <http://www.pirodiserbo.it/>. Acesso em: 21 out. 2019.

MOJZIS, M.; VITÁZEK, I.; LINDÁK, S. Determinação experimental de doses letais de calor no controle térmico de plantas daninhas. **Pesquisa em Engenharia Agrícola** V.61. p. 9-12. DOI: <https://doi.org/10.17221/20/2015-RAE>

MF RURAL. **Carrinho de queimar penas em aviários agrícolas.** Disponível em: <http://www.mfrural.com.br/>. Acesso em: 13 ago. 2019.

NAGUMO, C. H. et al. Opção Tecnológica para a Destruição de Plantas de Algodão Pós-Colheita com Altas Temperaturas: Uma Revisão. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO**, 8., **I COTTON EXPO**, 1., São Paulo, 2011. Evolução da cadeia para construção de um setor forte, **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011. 1788 – 1794 p.

Neilson B, Bruening C, Stepanovic S, Datta A, Knezevic SZ, Gogos G. Projeto e teste de campo de um implemento combinado de chama e cultivo para controle eficaz de ervas daninhas. **Engenharia Aplicada à Agricultura**. v.33. p. 43-54, 2017 DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.11719>.

NORTON, Robert. L. **Projeto de Máquinas - Uma Abordagem Integrada.** Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.

OLDONI, André. **Colhedora-beneficiadora de cebolas para a agricultura familiar: Projeto informacional e conceitual.** 2012. 108f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

OLDONI, André. **Colhedora-Beneficiadora de cebolas: projeto preliminar.** 2016. 189f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

OLIVEIRA, Rubem Silveiro de; CONSTANTIN, Jamil; INOUE, Miriam Hiroko. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas.** Curitiba: Ompipax, 2011. 348 p.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 411 p.

PITELLI, Robinson Antonio. Competição e Controle das Plantas Daninhas em Áreas Agrícolas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.4, n.12, p.1 – 24, set.1987.

POMPER, K. W.; CRABTREE, S. B. **Weed control and economic considerations of flame cultivation in pawpaw orchards**. Community research service, Land Grant Program, Kentucky State University, Frankfort, KY, 2006. Disponível em: <http://organic.kysu.edu/PomperWeed07.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

ROSA, Douglas Silva da et al. FERRAMENTA PARA CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA DE SUBFUNÇÕES (CHS) APLICADA A PROJETOS CONCEITUAIS DE MÁQUINAS. IN: **XXII ENCONTRO DE PÓS GRADUAÇÃO**, 1, Pelotas, 2020. UFPel: 6ª Semana Integrada, 2020. p.4

ROSA, Douglas Silva da. **Máquina de tração humana para o controle de plantas espontâneas através da aplicação de calor: Projeto informacional e conceitual**. 2018. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.

SANTOS, Graciela Cristina dos; MONTEIRO, Magali. Sistema orgânico de produção de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 15, n. 1, p. 73-86, 2004.

SILVA, Marcos Roberto da. **Eficiência de flamejadores no controle de plantas daninhas**. 2008. 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

SILVA, M. R. da, DANIEL, L. A. Controle térmico de plantas daninhas na cultura do citros: ensaio preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. p. 21-24.

SNIAUKA, P.; POCIUS, A. Thermal weed control in strawberry. **Agronomy Research**, v. 6, p. 359-366, 2008.

SPAGNOLO, Roger Toscan et al. MÁQUINA APLICADORA DE CALOR PARA CONTROLE DE WEED. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 40, n. 5, p. 595-600, set. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n5p595-600/2020>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162020000500595. Acesso em 28 nov. 2021.

SPAGNOLO, Roger Toscan. **Máquina para o controle de plantas espontâneas pela aplicação de calor**. 2014. 165f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

SKÓRA NETO, F. Uso de Caracteres Fenológicos do Milho como Indicadores do Início da Interferência Causada por Plantas Daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.1, p.81-87, 2003.

SULLIVAN, Preston. **Flame Weeding for Agronomic Crops**. NCAT Agriculture Specialist. Out. 2001. Disponível em: <http://www.attra.org/attra-pub/PDF/flammeweeder.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2020.

TAIZ, Lincon; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 135p.

ULLOA, Santiago M.; DATTA, Avishek; KNEZEVIC, Stevan Z. Tolerance of selected weed species to broadcast flaming at different growth stages. **Crop Protection**, v. 29, p. 1381-1388, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.07.017>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219410002140?via%3Dihub>. Acesso em: 29 set. 2020.

ULLOA, Santiago M. et al. Maize response to broadcast flaming at different growth stages: Effects on growth, yield and yield components. **European Journal of Agronomy**, v. 34, p. 10-19, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.09.002>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030110000791?via%3Dihub>. Acesso em: 29 set. 2019.

ULLOA, Santiago M. et al. Weed control and crop tolerance to propane flaming as influenced by the time of day. **Crop Protection**, v. 31, p. 1-7, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.09.005>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219411002948?via%3Dihub>. Acesso em: 30 set. 2019.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill. 1995. 289 p.

VANHALA, P. et al. Guidelines for physical weed control research:

flame weeding, weed harrowing and intra-row cultivation. In: EWRS WORKSHOP ON PHYSICAL AND CULTURAL WEED CONTROL, 6., 2004, Lillehammer. **Anais...** Lillehammer: EWRS, 2004. p. 208-239.

VIRBICKAITE, R.; SIRVYDAS, A. P.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENE, R. The comparison of thermal and mechanical systems of weed control. **Agronomy Research**, v.4, p. 451-455, 2006.

WILLER, Helga; SCHLATTER, Bernhard; TRÁVNICEK, Jan. **The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends 2023**. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn. 2023. 358 p.