

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ALEX JOAQUIM CARLINI
CAIQUE DI CARLI SOUZA PEDROSO

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA PROCESSO DE
CAPINA ECOLÓGICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
(TCC 2 – Nº de inscrição: 51)

CURITIBA 2017

ALEX JOAQUIM CARLINI
CAIQUE DI CARLI SOUZA PEDROSO

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA PROCESSO DE
CAPINA ECOLÓGICO**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Celso Salamon

CURITIBA 2017

TERMO DE ENCAMINHAMENTO

Venho por meio deste termo, encaminhar para apresentação a monografia do Projeto de Pesquisa "DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA PROCESSO DE CAPINA ECOLÓGICO", realizado pelos alunos Alex Joaquim Carlini e Caique Di Carli Souza Pedroso, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica do Paraná.

Orientador: Prof. Dr, Celso Salamon
UTFPR - Damec

Curitiba, 14 de Novembro de 2017.

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "Desenvolvimento de protótipo para processo de capina ecológico", realizado pelos alunos Alex Joaquim Carlini e Caique Di Carli Souza Pedroso, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Celso Salamon
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Daniel Hioki
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 06 de Dezembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Dr. Celso Salamon, que foi nosso orientador, por todo suporte técnico, assim como a disponibilização do laboratório de automação e pneumática da UTFPR para a realização do trabalho, sem o qual nada disso seria possível.

RESUMO

CARLINI, Alex Joaquim; PEDROSO, Caique Di Carli Souza. **Desenvolvimento de protótipo para processo de capina ecológico**. 2017. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Damec, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

Existem diversos métodos para controle de ervas daninhas, seja químico, manual ou térmico. Cada método apresenta pontos positivos e negativos em relação a custo, impacto ambiental e velocidade de operação. Os métodos manuais em geral são de certa forma demorados, o que os tornam inviáveis quando se necessita cobrir uma área muito grande. Já os métodos térmicos são custosos, como por exemplo o flamejamento, pois necessita de uma grande quantidade de energia para matar a erva daninha. Os métodos químicos são considerados rápidos e baratos, porém, causam um impacto ambiental preocupante, além de serem nocivos ao ser humano. Sendo assim, não existe um método de capina que seja superior em todos os aspectos, fazendo com que haja espaço para inovações no setor com novos métodos que se destaquem em alguns aspectos.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre o combate de ervas daninhas utilizando a aspersão de óleo vegetal aquecido. Para tal função duas concepções são desenvolvidas e testadas ao longo do trabalho. Com a melhor concepção, testes com plantas mostram os parâmetros necessários ao funcionamento deste método de capina. Os resultados obtidos com os testes realizados indicaram que a aspersão de óleo vegetal aquecido consegue causar mortalidade em ervas daninhas para algumas das condições de operação testadas e o tipo de vegetação avaliado. Entretanto a mortalidade só ocorreu a partir de alta temperatura (150°C) e alto volume de óleo aspergido (6,1l/m²). Dessa forma o método aqui avaliado não se mostrou superior em nenhum aspecto quando comparado aos dados de literatura de outros métodos já existentes.

Palavras chave: Capina ecológica. Ecocapina. Óleo vegetal. Capina térmica.

ABSTRACT

CARLINI, Alex Joaquim; PEDROSO, Caique Di Carli Souza. **Development of a prototype for ecological weeding**. 2017. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Damec, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

There is a variety of weeding methods, which can be separated into chemical, thermal and manual. Each method has advantages and disadvantages. Manual methods are usually slower, which makes them unsuitable when it is required to cover large areas. Thermal methods, such as flaming, are rather expensive because they require a large amount of energy to kill the weeds. Chemical methods are considered quick and rather cheap, but they cause environmental issues and are usually harmful to humans. Therefore, there is no perfect weeding method, leaving room for new approaches and technologies to be developed.

The following paper presents a study regarding the combat of weeds utilizing the sprinkling of heated vegetable oil. For this function, two concepts are developed and tested throughout the study. With the best concept, tests with plants show the necessary parameters for the function of this weeding method. The results obtained with the tests indicated that the sprinkling of heated vegetable oil succeeds in killing the weeds for some of the tested operational conditions and the type of evaluated vegetation. However, the mortality only occurred with the use of high temperature (150°C) and high volume of the sprayed oil (6,1l/m²). In this way, this method did not seem to be superior in any aspect when compared to the literature of other methods that currently exist.

Key words: Ecological weeding. Ecocapina. Vegetable oil. Thermal weeding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Acampamento indígena na floresta amazônica.....	12
Figura 2 - Comparação entre linha férrea infestada por vegetação (a) e linha férrea devidamente limpa (b).....	13
Figura 3 - Lavoura de mamona com infestação de ervas daninhas.	14
Figura 4 - Capina mecânica em beira de rodovia.	18
Figura 5 - Máquina de sucção.	19
Figura 6 - Aplicação de herbicida em beira de rodovia.....	19
Figura 7 - Aplicação de flamejadores na agricultura.....	22
Figura 8 - Máquina do frio.....	23
Figura 9 - Máquina de capina a vapor para aplicação ferroviária.	23
Figura 10 - Aplicação de spray de água quente com proteção de espuma. .	24
Figura 11 - Máquina de Descarga Elétrica.	25
Figura 12 - Máquina experimental de micro-ondas.....	25
Figura 13 - Máquina de Radiação UV.....	26
Figura 14 - Máquina de capina por radiação infravermelha.....	26
Figura 15 - Função global 1 do protótipo.	35
Figura 16 - Função global 2 do protótipo.	35
Figura 17 - Estrutura funcional 1 do protótipo.....	36
Figura 18 - Estrutura funcional 2 do protótipo.....	36
Figura 19 - Concepção 1, ar + óleo.	37
Figura 20 - Concepção 2, óleo pressurizado.	37
Figura 21 - Diagrama esquemático de componentes do protótipo 1.	38
Figura 22 -Reservatório de óleo utilizado no dispositivo.....	39
Figura 23 - Resistência de cinta de 700W.....	39
Figura 24 - Controlador PID Novus e sensor PT100.	40
Figura 25 - Gerador de vácuo Festo.....	40
Figura 26 - Válvula direcional pneumática 3/2vias com acionamento manual.	41
Figura 27 - Dispositivo finalizado e pronto para uso.	41
Figura 28 Dispositivo de hidroconformação adaptado com bico de aspersão.	42
Figura 29 - Bico de aspersão agrícola comercial.....	43
Figura 30 - Amostras iniciais da Axonopus Compressus.....	44

Figura 31 - Amostras iniciais da <i>Portulaca oleracea</i>	45
Figura 32 - Amostra inicial da <i>Tradescantia zebrina</i>	45
Figura 33 - Amostras iniciais da <i>Arachis hypogaea</i>	46
Figura 34 - Óleo de soja utilizado para os experimentos.....	46
Figura 35 - Experimento 1, condições três dias após aplicação.....	47
Figura 36 - Experimento 2, condições três dias após aplicação.....	48
Figura 37 - Experimento 3, condições três dias após aplicação.....	49
Figura 38 - Experimento 4, condições três dias após aplicação.....	50
Figura 39 - Experimento 5, condições três dias após aplicação.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento das necessidades dos clientes.....	31
Tabela 2 - Benchmarking de produtos de combate a ervas daninhas.....	32
Tabela 3 - Casa da qualidade.....	33
Tabela 4 - Requisitos do produto.....	34
Tabela 5 - Especificações e resultados do experimento 1 com a grama São Carlos.....	47
Tabela 6 - Especificações e resultados dos experimentos 2 e 3 com as plantas Beldroega e Lambari roxo.	49
Tabela 7 - Especificações e resultados dos experimentos 4 e 5 com as plantas Amendoim e Lambari roxo.	51
Tabela 8 - Resultados para os requisitos dos clientes após os experimentos.	52

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Objetivos	15
1.1.1. Objetivos Gerais.....	15
1.1.2. Objetivos Específicos.....	15
1.2. Justificativa.....	15
1.3. Riscos.....	15
1.4. Estrutura Do Trabalho	16
2. CAPINA	17
2.1. Métodos De Capina.....	17
2.1.1. Mecânico.....	17
2.1.1.1. Manual.....	17
2.1.1.2. Corte Mecanizado	17
2.1.1.3. Jato De Ar Ou Água	18
2.1.1.4. Sucção	18
2.1.2. Químico.....	19
2.1.2.1. Glifosato	20
2.1.3. Capina Térmica.....	21
2.1.3.1. Flamejadores.....	22
2.1.3.2. Resfriamento	23
2.1.3.3. Vapor.....	23
2.1.3.4. Água Quente	24
2.1.3.5. Descarga Elétrica	24
2.1.3.6. Micro-Ondas.....	25
2.1.3.7. Radiação Ultravioleta	26
2.1.3.8. Radiação Infravermelha	26

2.2.	Ecocapina.....	27
2.2.1.	Descrição Da Tecnologia	27
2.2.2.	Óleo Vegetal Como Alternativa Para Condução De Calor	27
3.	METODOLOGIA DO PROJETO.....	30
3.1.	Levantamento dos requisitos do produto.....	30
3.1.1.	Necessidades dos clientes.....	30
3.1.2.	Benchmarking (avaliação comparativa)	31
3.1.3.	Casa da qualidade	33
3.1.4.	Especificação do produto	33
3.2.	Projeto conceitual.....	34
3.2.1.	Estrutura Funcional	35
3.2.2.	Concepção dos protótipos.....	36
4.	FABRICAÇÃO DOS PROTÓTIPOS	38
4.1.	Concepção 1	38
4.2.	Concepção 2	42
5.	TESTES E RESULTADOS	44
6.	CONCLUSÕES.....	55
	REFERENCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

O planeta em que vivemos possui uma característica natural de ser recoberto por vegetação em praticamente toda a sua superfície, apenas com algumas exceções em casos extremos, como regiões de deserto. Desde os primórdios da humanidade, o ser humano tende a se abrigar em locais limpos de vegetação alta e rasteira, como por exemplo os índios na floresta amazônica. Muitas tribos até hoje vivem em meio a uma região de mata extremamente densa, porém, limpam a vegetação da região onde constroem suas vidas, deixando um chão exclusivamente de terra batida, como mostrado na Figura 1.



Figura 1 - Acampamento indígena na floresta amazônica
Foto: Pedro Biondi.

Com o desenvolvimento da sociedade, o surgimento de cidades continuou cada vez mais a moldar a vegetação ao seu redor. Atualmente dentro das cidades existem desde parques com uma grande área verde, até pequenos jardins em residências. Todos esses ambientes, apesar de enaltecer algum tipo de vegetação, ainda são controlados, para que não saiam de um perímetro desejado, para que não brotem plantas indesejadas no local, e que apresentem uma aparência desejável. Porém, a natureza é muito resiliente, e plantas conseguem brotar até nos locais mais inesperados e muitas vezes inconvenientes, como por exemplo em uma calçada, passando por uma minúscula trinca no pavimento até chegar à superfície, ou então por entre os trilhos em uma ferrovia. Essas plantas são chamadas de ervas daninhas, que por definição são plantas indesejadas que crescem de maneira espontânea e causam algum tipo de transtorno onde estão (DEUBER, 1992).

Ervas daninhas representam um problema para praticamente todos os setores da economia. Para residências, ervas daninhas são combatidas para manter uma boa aparência do imóvel e até a conservação das construções. Uma residência infestada por ervas daninhas exibe uma aparência de abandono, e dependendo do nível de

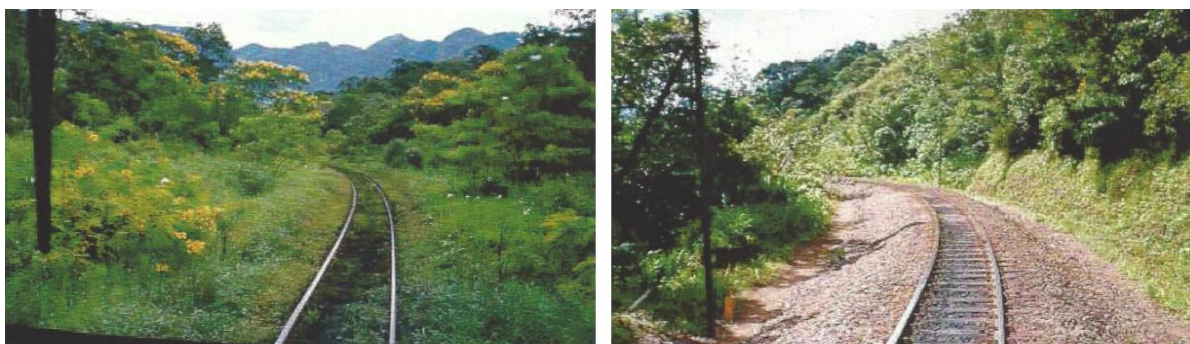
infestação, as plantas podem até causar rachaduras na construção. Tudo isso causa uma depreciação no valor do imóvel.

Um órgão governamental, como por exemplo prefeituras, precisam realizar um controle intensivo de ervas daninhas. As plantas infestantes tendem a invadir o espaço público, e prejudicam a aparência da cidade. Além disso, a limpeza dessas plantas infestantes também ajuda a evitar acúmulo de lixo e possíveis animais e insetos indesejados. Além disso também existem gastos com eventuais reparos em estruturas danificadas pelas ervas daninhas.

Em estradas e rodovias o controle de ervas daninhas, e da vegetação em geral é essencial. Nesse caso o controle da vegetação tem um papel muito importante no aspecto de segurança da via, pois melhora a visibilidade em curvas, desobstrui placas de sinalização, mantém o acostamento limpo e acessível, além de facilitar a drenagem das chuvas, não permitindo que água se acumule na via. Adicionalmente a correta manutenção da vegetação também serve para desobstruir pontos de ônibus e manter a conservação de pontes e viadutos (DNIT, 2005).

Empresas que operam ferrovias possuem uma grande preocupação com o aparecimento de ervas daninhas, pois linhas férreas são um local extremamente propício para o crescimento de ervas daninhas, uma vez que essas podem crescer facilmente entre as pedras, dormentes e trilhos da via, além de serem locais com difícil acesso para limpeza mecanizada, como mostrado na Figura 2. A presença de ervas daninhas em ferrovias causa sérios problemas na estrutura da via.

A vegetação descontrolada polui o lastro, dificulta a drenagem superficial, prejudica as inspeções visuais e também os serviços de manutenção rotineira em vagões, além de provocar a falta de aderência no par rodadrilho, reduzindo a capacidade de tração das locomotivas. Estes fatos implicam na necessidade de se restringir a velocidade dos trens e, em alguns casos, na ocorrência de acidentes ferroviários. (ROSA, 2005, p.21).



(a)

(b)

Figura 2 - Comparação entre linha férrea infestada por vegetação (a) e linha férrea devidamente limpa (b).

Fonte: Rosa (2005).

O setor agrícola é interessado no controle de ervas daninhas. Do custo total de produção de uma lavoura, estima-se que entre 20-30% do valor seja relacionado com o combate de ervas daninhas. Quando ervas daninhas crescem junto com uma planta, existe a competição por água, luz, nutrientes e espaço, como mostrado na Figura 3. Essa competição causa perdas na produtividade e qualidade do produto final. Algumas ervas daninhas possuem característica de parasitas, causando perdas na produtividade e até morte da planta. Outra maneira que ervas daninhas afetam lavouras é atuando como hospedeiras de pragas e doenças maléficas a planta. Além disso, causam dificuldades de manejo após o cultivo e no momento de colheita (VIVIAN, 2005). Adicionalmente, algumas ervas daninhas possuem características alopatóicas, que é a liberação de substâncias químicas tóxicas para as outras plantas, acarretando em perdas na produção.



Figura 3 - Lavoura de mamona com infestação de ervas daninhas.
Foto: Liv Soares Severino.

Todos os grupos interessados em controlar e combater ervas daninhas, o fazem por meio de algum método de capina. A capina é um processo que existe de várias formas, podendo ser mecânico, químico ou térmico. Cada processo possui suas vantagens, desvantagens e restrições, como por exemplo restrição ambiental para processos químicos. Apesar da capina não ser algo novo, ainda é uma área com muito potencial para desenvolvimento de novas tecnologias.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Gerais

O objetivo do trabalho apresentado é o desenvolvimento de um protótipo para capina térmica, baseado na patente de Monda Térmica a Óleo Vegetal (COOPERBIOBRASIL, 2016), bem como levantamento de dados de *performance*, parâmetros operacionais do processo e levantamento de sua viabilidade.

1.1.2. Objetivos Específicos

Para o desenvolvimento do presente trabalho, estabeleceu-se como fundamentais os seguintes itens:

- a) Examinar os principais processos existentes para o controle de ervas daninhas;
- b) Levantamento dos parâmetros do processo de capina térmica;
- c) Projeto e construção do protótipo para processo de capina térmica com uso de óleo vegetal;
- d) Definição detalhada de parâmetros e método para teste do protótipo;
- e) Levantamento de dados de *performance* do método de capina.
- f) Conclusão sobre viabilidade deste método de capina.

1.2. Justificativa

Os métodos atuais de controle de ervas daninhas têm alto consumo energético ou grande impacto ambiental e de saúde (como será descrito nos próximos capítulos), fazendo com que exista uma oportunidade de desenvolvimento de um processo sustentável e com baixo impacto ambiental, conciliado com viabilidade econômica e alto desempenho operacional.

1.3. Riscos

O desenvolvimento de um protótipo para um novo processo de capina, que tem como objetivo principal conciliar desempenho e eficácia com baixo impacto ambiental e de saúde, implica em uma série de riscos, são eles:

- a) Um desempenho abaixo do esperado, por se tratar de uma tecnologia não

- consolidada;
- b) Alto custo do produto final (protótipo);
- c) Alto impacto ambiental pelo uso de óleo excessivo em caso de baixa *performance*;
- d) Dificuldades na fabricação do protótipo funcional;
- e) Imprevistos na construção de protótipo e testes que implique na não entrega do produto.

1.4. Estrutura Do Trabalho

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, isso sem contar elementos pre-textuais (resumo, sumário, etc.) e pos-textuais (referencias).

No capítulo 1 é feita uma introdução sobre ervas daninhas, importância e métodos de combate. Adicionalmente são apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, justificativa para a realização do mesmo, e os riscos existentes.

O capítulo 2 começa mostrando em detalhes os métodos mais usuais de capina, separando-os em manual, químico e térmico. Em seguida, a patente da COOPERBIOBRASIL é apresentada, e seu princípio de funcionamento é analisado, assim como o uso de óleo vegetal para combate de ervas daninhas.

A partir do capítulo 3, inicia-se o processo metodológico para desenvolvimento de um protótipo funcional. Onde são apresentadas as etapas de levantamento dos requisitos do produto, e em seguida a parte de projeto conceitual, onde uma solução de protótipo é selecionada.

No capítulo 4 a fabricação de protótipos baseados nas concepções escolhidas é apresentada. Cada concepção tem seus componentes e suas funcionalidades detalhados. Adicionalmente relatam-se os testes iniciais para ajustes dos protótipos.

O capítulo 5 é referente aos testes e resultados. Nesse capítulo os testes com plantas são mostrados e detalhados, assim como os resultados obtidos em cada teste e as mudanças realizadas para o teste seguinte.

Por fim o capítulo 6 discorre sobre as conclusões obtidas com todos os experimentos realizados. São apresentados argumentos que abrangem aspectos econômicos, operacionais e possíveis impactos ambientais decorrentes da utilização do método de capina por aspersão de óleo vegetal aquecido.

2. CAPINA

Na língua portuguesa, o termo capina é um substantivo feminino, que denota “Ato de capinar, capinação”. A palavra capinar é um verbo intransitivo, que significa “Limpar o terreno do capim ou de qualquer erva daninha” (AULETE, 2011).

2.1. Métodos De Capina

Existem diversos métodos de capina, e todos buscam apresentar uma solução viável para o mesmo problema, que é o combate de ervas daninhas. Os processos mais comuns serão descritos a seguir.

2.1.1. Mecânico

Os métodos de capina mecânicos consistem na quebra ou rompimento da vegetação superficial através de aplicação de forças trativas ou cisalhantes. Essas forças podem ser aplicadas manualmente ou através de máquinas.

2.1.1.1. Manual

O mais antigo dos métodos de capina. Consiste em se arrancar as ervas daninhas seja com as mãos, enxada ou outro equipamento similar e muito rudimentar. Pode-se dizer que esse método é vantajoso para áreas muito pequenas, como o jardim de uma casa, mas para situações onde existe uma grande área a ser cuidada, se torna um trabalho muito exaustivo, lento, e que requer o trabalho de várias pessoas. Estima-se que a capacidade de capina para uma pessoa é de oito a doze dias por hectare (OLIVEIRA JR., CONSTANTIN, 2001; ROSA, 2005, p.62).

2.1.1.2. Corte Mecanizado

Consiste do uso de máquinas, tais como roçadeiras, podendo ser portáteis ou não, e cortam superficialmente a vegetação. Esse tipo de corte é interessante quando se deseja manter uma altura adequada da vegetação, porém, como dito por Rosa (2005, p.68-69), uma vez que a planta não é destruída, existe a necessidade de corte frequente da mesma, e o terreno deve estar livre de obstáculos que prejudiquem a operação das máquinas. Esse método, quando utilizado em grandes áreas, é

normalmente feito por um grupo de pessoas, para que se tenha uma agilidade adequada no processo. No Brasil, um ótimo exemplo de capina mecânica em grandes áreas é a limpeza da beira de rodovias (Figura 4). Porém, a necessidade de constante corte da vegetação, faz com que avistar beira de rodovias tomadas por vegetação alta seja algo comum.



Figura 4 - Capina mecânica em beira de rodovia.
Fonte: (Prefeitura de contagem, 2017).

2.1.1.3. Jato De Ar Ou Água

O conceito deste método é o de pressurizar um fluido, normalmente água ou ar, e expeli-lo em forma de jato, em direção a planta invasora, fazendo assim o corte da mesma. Esse jato tem o poder de revolver a superfície da terra, fazendo com que a raiz da planta seja cortada e morra. Existem, porém, alguns contrapontos nesse método. Um dos problemas é que "...a aeração ajuda a manter a vegetação forte, pois melhora o solo que está compactado, permitindo que a relva floresça." (COX, 1997; ROSA, 2005, p.63). Para algumas aplicações, o revólver do solo é indesejável, como por exemplo, em uma linha férrea, onde isso pode afetar a estabilidade da via (ROSA, 2005, p.63).

2.1.1.4. Sucção

Existem máquinas que realizam a limpeza de cabeceiras de linhas férreas, como essa feita na Áustria (Figura 5), onde a vegetação é previamente descolada do solo, para então ser sugada pela máquina (FERROVIA É PROGRESSO, 1999; ROSA, 2005, p.70).



Figura 5 - Máquina de sucção.

Fonte: (FERROVIA É PROGRESSO, 1999; ROSA, 2005).

2.1.2. Químico

Os métodos químicos (Figura 6), que consiste no uso de herbicidas, são largamente utilizados em todo o mundo, sendo usados para as mais diversas áreas de aplicação. Isso se dá ao fato de serem de simples aplicação, rápido efeito e têm baixo custo quando comparados a outros métodos.

A definição de herbicida na língua portuguesa é a seguinte, “Diz-se de, ou substância utilizada para destruir ervas daninhas” (AULETE, 2011). Basicamente, herbicida significa matar ervas, como demonstrado pela etimologia da palavra, *herbi* significa erva, e *cida* significa matar.

Porém, existem problemas ambientais e de saúde relacionados aos herbicidas. Além disso, aplicações constantes acabam por criar algumas espécies resistentes ao produto aplicado, fazendo com que uma dosagem maior, e conseqüentemente mais nociva para o meio ambiente, tenha que ser utilizada para gerar o efeito pretendido (DARE, 1978; ROSA, 2005, p.66-67).



Figura 6 - Aplicação de herbicida em beira de rodovia.

Fonte: (ORTING NEWS, 2012).

2.1.2.1. Glifosato

Como apontado por Benbrook (2016), o herbicida mais utilizado no mundo é o Glifosato, (N-(fosfonometil)glicina). Na última década, de 2005 a 2014, o Glifosato representou mais de 71% do total de herbicidas utilizados mundialmente. Este composto químico foi descoberto em 1950 pelo químico suíço Dr. Henri Martin, enquanto trabalhava para uma companhia farmacêutica. Como não foram encontradas propriedades farmacêuticas, a molécula do Glifosato foi vendida para que outras empresas realizassem testes. Em 1970, o químico Dr. John Franz, que trabalhava para a empresa norte americana Monsanto, identificou a capacidade herbicida do Glifosato, e em 1974 a Monsanto lançou no mercado o produto conhecido como *Roundup*. O uso do Glifosato se intensificou a partir de 1995, quando a Monsanto lançou sementes de milho, soja, e algodão, modificadas geneticamente para serem resistentes ao herbicida Roundup possibilitando um uso mais intenso e contínuo (BENBROOK, 2016).

Apesar de eficiente no que se propõe, existem problemas relacionados ao uso de Glifosato. Um desses problemas é o aparecimento de plantas resistentes ao Glifosato. Isso representa um grande problema, pois as ervas daninhas passam a necessitar de maiores quantidades do herbicida, sendo que existem tipos de ervas resistentes que requerem até dez vezes mais Glifosato para morrer. Plantas resistentes ao herbicida são mais susceptíveis a aparecer em locais de aplicação constante do produto. E o uso continuado do herbicida só irá fazer aumentar a população de ervas daninhas resistentes (BOERBOOM, et. Al, 2006)

Adicionalmente, o Glifosato, assim como os outros herbicidas, tem sido largamente relacionados a problemas de contaminação ambiental, e principalmente problemas de saúde em seres humanos. Por exemplo, existem estudos que comprovam a ocorrência de malformações congênitas (BENITEZ, 2009; PAGANELLI 2010), efeitos tóxicos em células humanas (RICHARD 2005; BENACHOUR 2007, 2009; GASNIER 2009), além de causar dano em peixes (CAVALCANTE 2008) e outros animais (PAGANELLI, 2010). A partir disso, pode-se dizer que, “ Diante dos efeitos tóxicos resumidamente descritos para o glifosato e suas formulações, é relevante enfatizar que a ampla utilização de produtos à base de glifosato tem resultado na contaminação ambiental não só nas regiões onde é aplicado, mas também atinge alvos muito distantes dos locais de aplicação” (HESS; NODARI, p.7,

2015).

2.1.3. Capina Térmica

Devido aos problemas com herbicidas, os métodos não químicos de combate a ervas daninhas ganham cada vez mais força, devido à crescente preocupação com impactos ambientais e de saúde causados por produtos como os herbicidas. Os métodos térmicos, como por exemplo o flamejamento, apesar de não serem novidade, ganham uma importância extra nesse contexto, uma vez que conferem um rápido controle das ervas daninhas, mas sem causar contaminação do solo e da água (ASCARD, J. et al., 2007, p.155).

Por definição, o método térmico de controle de ervas daninhas refere-se à manipulação de calor na erva, seja com o uso de alta temperatura, baixa temperatura ou campos eletromagnéticos. (ASCARD, 1995, p.1). Existem métodos de flamejamento, congelamento, vapor, água quente, eletrocução, micro-ondas, radiação ultravioleta e radiação infravermelha (ASCARD, J. et al., 2007, p.155).

A prática mais difundida de controle térmico de ervas daninhas é a de aquecimento, o qual se baseia em aquecer a planta até uma alta temperatura. Uma boa maneira de se avaliar a eficiência desse método é através da temperatura da planta e o tempo de exposição a alta temperatura. (SIRVYDAS, A. et al., 2006, p.1).

O processo de aquecimento causa uma destruição na estrutura da erva daninha, causando sua morte. Os efeitos disso foram bem resumidos por Da Silva (2008, p.9).

As altas temperaturas causam alterações no estado físico-químico das biomembranas e na conformação das moléculas de proteína. As membranas internas do cloroplasto denominados de tilacóides, onde se localiza a clorofila e ocorrem as reações de luz da fotossíntese, são especialmente sensíveis ao calor, portanto os distúrbios na fotossíntese são as primeiras evidências do estado de estresse ao calor. O resultado do dano causado nos cloroplastos é a inibição da fotossíntese e, eventualmente, dependendo da temperatura, essa situação resulta na morte da planta (LARCHER, 2000).

A temperatura a que uma planta deve ser aquecida para que efetivamente morra é de grande importância. É dito que "...O ponto térmico letal para a maioria das células vegetais é entre 45°C e 55°C..." (OLIVEIRA JUNIOR, CONSTANTIN, 2001;

ROSA, 2005, p.59). Outra fonte diz que, “...o calor deve ser o suficiente para aquecer partes da planta, especialmente as folhas até 70 °C, para causar um dano a proteína. Se uma planta for aquecida até 100 °C, todas as estruturas celulares também serão destruídas...” (THERMOWEED, 2006; DA SILVA, 2008, p.10).

Uma variável muito importante a se considerar é a do tempo a que a erva daninha deve ser submetida ao calor. Isso depende de vários fatores, tais como o método térmico utilizado, a quantidade de calor emitido ou absorvido, condições climáticas no momento do tratamento, espécie, estágio de desenvolvimento e densidade das ervas daninhas (DA SILVA, 2008, p.10). Apesar disso, estudos mostram que quanto mais alta a temperatura do processo, maiores são os danos causados a planta (ASCARD, J. et al., 2007, p.155), e que um aumento de temperatura abrupto causa mais danos do que um aumento gradativo de temperatura (DANIELL, et. al., 1969; ASCARD, J. et al., 2007, p.155-156)

2.1.3.1. Flamejadores

Nesse método, bocais de queimadores são apontados em direção ao chão, e passados rapidamente sobre a vegetação (Figura 7). Isso faz com que a temperatura da vegetação suba rapidamente, o suficiente para destruir sua estrutura e causar a morte da planta (DA SILVA, 2008, p.9). Adicionalmente, recomenda-se que “... para romper as membranas das células, o tecido da planta deverá ser elevado a uma temperatura de 100°C por pelo menos um segundo...” (PARISH 1990; DA SILVA, 2008, p.10).



Figura 7 - Aplicação de flamejadores na agricultura.
Fonte: (FLAME ENGINEERING, 2017).

2.1.3.2. Resfriamento

Assim como geadas matam plantações, também matam as ervas daninhas, e é exatamente essa a ideia por trás do método de resfriamento. A planta é exposta a um meio muito gelado como nitrogênio líquido, gelo seco, ar (Figura 8), etc. por um intervalo de tempo, suficiente para matar a planta. Porém, existe o problema de que esse método é custoso, usando de três a seis vezes mais energia do que os métodos de flamejadores (ASCARD, J. et al., 2007, p. 170).



Figura 8 - Máquina do frio.
Fonte: (ROSA, 2005, p.140).

2.1.3.3. Vapor

Neste método vapor d'água superaquecido é pulverizado sobre as ervas daninhas, como mostrado na (Figura 9). O calor excessivo danifica e acaba por matar a vegetação. O dano causado na vegetação depende do tamanho da erva atingida e a energia recebida (tempo X temperatura). Exposições entre 0.1-0.2s já se mostram suficientes para danificar significativamente a vegetação. Porém, esse método apresenta dificuldade em matar espécies perenes, as quais tendem a rebrotar e exigem mais aplicações para garantir a morte da erva daninha (ASCARD, J. et al., 2007, p. 165).



Figura 9 - Máquina de capina a vapor para aplicação ferroviária.
Fonte: (ROSA, 2005, P.66).

2.1.3.4. Água Quente

Nesse método, um spray de água quente é jogado sobre a superfície das ervas daninhas, fazendo com que elas sequem e morram. Assim, como no método a vapor, a raiz não é afetada, e plantas mais resistentes podem precisar de algumas aplicações para morrerem efetivamente (ASCARD, J. et al., 2007, p. 163). Alguns modelos utilizam água misturada com uma espuma feita de material biodegradável (Figura 10), tal como coco e açúcar, a qual forma uma espuma e ajuda a água a dissipar menos calor com o ar, chegando assim mais aquecida até a erva daninha (QUARLES, 2001; ASCARD, J. et al., 2007, p. 164). Além disso, estudos mostram que a adição de surfactante na água, uma substância que diminui sua tensão superficial e ajuda a sua capacidade de aderência em outras superfícies, torna possível a aplicação desse método em velocidades de até 8km/h (KURFESS, KLEISINGER, 2000; ASCARD, J. et al., 2007, p. 164). Maquinas atuais de capina com agua quente possuem preciso controle de temperatura na faixa ideal de mortalidade das plantas combinado com reduzido consumo de agua, na faixa de 1,5l a 1,9l por metro quadrado (HEATWEED, 2017).



Figura 10 - Aplicação de spray de água quente com proteção de espuma.
Fonte: (INVASIVE, 2005).

2.1.3.5. Descarga Elétrica

Este método consiste em se passar uma corrente elétrica pela planta, fazendo com que seja eletrocutada, ocasionando na morte da raiz, sem que haja necessidade de se revolver o solo. Máquinas que utilizam esse princípio podem ser encontradas tanto para uso amador, como profissional, pois seu princípio de funcionamento possibilita uma grande variedade de tamanhos. Em um artigo publicado em 2013, o autor relata que os testes com uma máquina da Gebana Brasil (Figura 11) em

plantações mostrou que ervas daninhas resistentes ao Glifosato foram mortas com sucesso, e ao mesmo tempo, minhocas e formigas presentes no solo sobreviveram ao teste. Porém também relata que problemas comuns com esse tipo de máquina, é o de existir dificuldade em se matar ervas daninhas que tenham raízes mais profundas, baixa produtividade (1ha/hr), alto risco de incêndio em condições secas, relativo perigo de utilização, e alto custo do maquinário (LANDERS, 2013).



Figura 11 - Máquina de Descarga Elétrica.
Fonte: (Landers, 2013).

2.1.3.6. Micro-Ondas

Micro-ondas são um tipo de radiação eletromagnética que causam a agitam as moléculas de água presentes no que estiver em seu caminho. A agitação das moléculas é então transformada de energia cinética para calor. Esse método é interessante pois causaria o aquecimento e morte das ervas daninhas, sem necessitar contato com o solo. Testes com um equipamento experimental (Figura 12) mostraram bons resultados, quando as plantas ficaram exposta a radiação por cinco minutos. Porém como a zona de influência das micro-ondas é pequena, a velocidade de operação de tal sistema ainda é um problema. (ROSA, 2005, p.71).

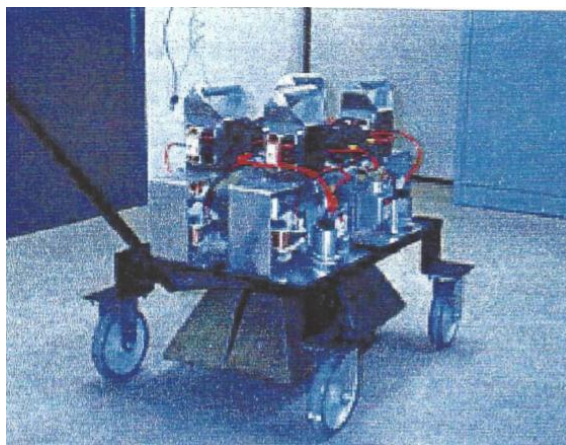


Figura 12 - Máquina experimental de micro-ondas.
Fonte: (RAIZER, 2003; ROSA, 2005, p.72).

2.1.3.7. Radiação Ultravioleta

Nesse processo as "...ervas daninhas são danificadas devido ao aquecimento de sua folhagem, causado pela absorção da radiação UV..." (ASCARD, J. et al., 2007, p. 169). Essa tecnologia ainda está em fase de testes (Figura 13), e avaliações com relação a segurança, custo e eficácia devem ser estudados.



Figura 13 - Máquina de Radiação UV.
Fonte: (OPTOCLEANER, 2017)

2.1.3.8. Radiação Infravermelha

Nesse método são utilizadas placas de cerâmica ou metal (Figura 10), aquecidas a temperaturas de em torno de 900°C. Essas placas incandescentes então aquecem as plantas por radiação infravermelha (ASCARD, J. et al., 2007, p. 162). Entretanto, irradiadores infravermelho não são populares devido ao alto consumo energético e ainda produzem temperaturas menores, quando comparado a flamejadores (PARISH, 1989; ASCARD, J. et al., 2007, p. 163).



Figura 14 - Máquina de capina por radiação infravermelha.
Fonte: (ROSA, 2005, p.62).

2.2. Ecocapina

2.2.1. Descrição Da Tecnologia

A técnica de capina térmica escolhida para esse trabalho é de certa forma inovadora. O método se propõe a realizar a capina utilizando óleo vegetal aquecido, podendo ser considerado uma mistura dos métodos de vapor e água quente. Tudo isso se baseia em uma patente da COOPERBIOBRASIL, a qual descreve o processo como, “A ação do óleo aquecido a uma temperatura de aproximadamente 100°C sendo borrifado sobre as plantas invasoras por um período de cerca de 01 segundo faz com que a planta murche devido ao rompimento das membranas celulares, resultando na morte da planta em dois ou três dias.” (COOPERBIOBRASIL..., 2016, p.3-4).

Outra característica desse processo é o baixo volume de óleo utilizado, com testes já realizados pela COOPERBIOBRASIL apontando o gasto de 30l/ha. Além disso, o processo não causa impacto ambiental, como descrito na patente.

Este processo, com óleo aquecido, não afeta a vida no solo, uma vez que o aumento da temperatura na superfície é de dois a três graus celsius preservando com isso a micro-fauna além de ser um processo ecológico já que o óleo, aplicado em baixo volume, pode ser facilmente incorporado ao solo, transformando-se em adubo orgânico. (COOPERBIOBRASIL..., 2016, p.3-4)

Outros estudos sobre o impacto ambiental causado devem ser realizados, porém outros testes já realizados pela COOPERBIOBRASIL, mostram que, as plantas invasoras que morrem, juntamente com o sutil filme de óleo aspergido, acabam por fertilizar o solo, sendo que pequenas áreas testadas acusaram a presença intensa de minhocas no solo após a aplicação do processo. Adicionalmente, a meta desta tecnologia é de utilizar 30 litros de óleo por hectare, fazendo com que o valor de operação seja competitivo.

Por fim, essa tecnologia também se mostra como uma alternativa viável a utilização de herbicidas, tais como o glifosato, como agente dessecante durante o período de colheita.

2.2.2. Óleo Vegetal Como Alternativa Para Condução De Calor

O uso de óleo vegetal como agente transmissor de calor é uma alternativa muito interessante, possuindo vantagens sobre outros meios, tal como a água. Por

exemplo, o calor específico de óleos vegetais é em geral menos da metade do calor específico da água (SUCRANA, 2017). Como definição, “O calor específico é definido como a quantidade de energia necessária para que 1 g de uma substância sofra aumento ou diminuição de temperatura de 1°C” (JUNIOR, 2017). Sendo assim, o óleo vegetal requer menos energia para ser aquecido do que a água. Existe também a vantagem de que óleos vegetais podem ser aquecidos a uma temperatura superior a temperatura de ebulição da água, permitindo assim trabalhar com um meio mais aquecido. Para temperaturas mais elevadas o vapor d'água seria uma opção, porém a energia requerida para se vaporizar a água é muito elevada, uma vez que deve se passar a barreira do calor latente, que por definição é “... a grandeza física que está relacionada à quantidade de calor que um corpo precisa receber ou ceder para mudar de estado físico.” (SANTOS, 2017).

O uso de óleos vegetais para combate a ervas daninhas não é novidade. Óleos vegetais são comumente adicionados como adjuvantes em soluções de herbicidas. Por definição, “Os adjuvantes são substâncias adicionadas à formulação herbicida ou à calda herbicida para aumentar a eficiência do produto ou modificar determinadas propriedades da solução, visando facilitar a aplicação ou minimizar possíveis problemas” (VARGAS, ROMAN, 2006, p.2). Os óleos são adjuvantes do tipo aditivos, ou seja, tem a propriedade de aumentar a absorção do herbicida, reduzir a deriva da mistura quando pulverizada, retardar a evaporação da mistura, melhorar a adesão da gota e melhorar o espalhamento da mistura sobre a planta. Adicionalmente, na superfície da planta o óleo age de maneira a dissolver as gorduras componentes da cutícula e membranas celulares, eliminando assim as barreiras que diminuem a absorção dos herbicidas e provocando o extravasamento do conteúdo da célula. (VARGAS, ROMAN, 2006, p.5).

Óleos também possuem uma característica herbicida, e pesquisas apontam um grande potencial de aplicação, como por exemplo agricultura orgânica. (OOTANI et. al., 2013, p.1). Os óleos vegetais com maior poder herbicida são os óleos essenciais, que são definidos como “...um grupo de substâncias naturais de variável poder aromatizante, de composição mais ou menos complexa que faz parte do organismo de diversas espécies vegetais, das quais é extraído segundo processamento específico.” (BAKKALI et al. 2008; OOTANI et. al., 2013). Pesquisas comprovam que os óleos essenciais possuem capacidade herbicida, como por exemplo, onde um controle quase perfeito de ervas daninhas utilizando óleo essencial

de canela e alho (TWORKOSKI, 2002, p.429). Entretanto não são apenas os óleos essenciais possuem características inerentes de controle de vegetação. Um estudo que verificava a toxicidade de óleos no solo mostrou que óleo de soja de cozinha não usado quando aplicado em uma concentração de 7.5ml de óleo para cada 100g de solo, causou uma inibição gradativa na germinação de *Eruca sativa* (Rúcula) e *Lactuca sativa* (Alface). Conforme o óleo ia se degradando no solo, a inibição de germinação ia aumentando, sendo que após 180 dias a inibição para *Eruca* chegou a 80%, e para *Lactuca* chegou a 65%. (TAMADA et al., 2012).

É importante notar que existem problemas ambientais causados pela disposição de óleos vegetais no meio ambiente. Porém, esses problemas são muito mais relacionados a grandes concentrações de óleo, e principalmente óleo usado, como o proveniente de frituras, que já estão saturados devido ao calor excessivo. Sendo assim, óleos vegetais apresentam elevada toxicidade, e representam um problema ao meio ambiente, quando passam por oxidação, ou seja, são aquecidos além de certo ponto, que gira em torno de 200°C (REDA, CARNEIRO, 2007). Por esse motivo que óleo residual de fritura deve ter um descarte correto, e não pode ser despejado no meio ambiente, pois causa entupimento de tubulações, impermeabiliza o solo e contamina a água (SALLES, 2010). Entretanto, o processo de capina térmica proposto requer apenas um aquecimento não muito acima dos 100°C, fazendo com que não ocorra degradação significativa do óleo utilizado.

3. METODOLOGIA DO PROJETO

Essa etapa destina-se à descrição da metodologia utilizada para o desenvolvimento de um protótipo para o processo de capina ecológica, através de aspersão de óleo vegetal aquecido (COOPERBIOBRASIL, 2016).

Foram tomadas como referência algumas das ferramentas descritas por Pahl et al. (2013), para sistematização do processo de projeto de produto, que nesse caso é o protótipo a ser construído. A sistematização do projeto também direciona as características do novo produto para as necessidades do cliente, visando sempre a sua satisfação.

3.1. Levantamento dos requisitos do produto

Para se desenvolver um produto, primeiro é necessário endereçar as características que o produto deve ter. Para tal, deve-se conhecer o que os clientes esperam do produto, quais funções devem ser executadas, quais métricas devem ser atingidas, quais as funções mais importantes e quais são as características de produtos concorrentes já existentes no mercado. Todos esses pontos serão analisados a seguir utilizando algumas ferramentas da metodologia de Pahl et al. (2013).

3.1.1. Necessidades dos clientes

Existem vários possíveis clientes para um novo processo de capina a ser desenvolvido, desde pequenos agricultores até empresas do ramo de construção civil, e têm uma série de expectativas quanto ao produto.

O levantamento dessas necessidades visa direcionar o projeto às necessidades e expectativas dos clientes, pois servirão de base para o levantamento dos requisitos do produto, através das ferramentas de *Benchmarking* e Casa da Qualidade, pois ajudam a traduzir os desejos dos clientes em requisitos de produto (PAHL et al., 2013).

As necessidades descritas abaixo foram baseadas na percepção do problema durante a revisão bibliográfica, através dos métodos já existentes. As necessidades então foram transformadas em requisitos de engenharia, que são parâmetros mensuráveis (Tabela 1).

Tabela 1 – Levantamento das necessidades dos clientes.





Necessidades	Valor de relevância (1-5 crescente)	Requisitos de engenharia	Unidade
Leveza	2	Peso	Kg
Ergonomia	3	Elementos de pega	Quantidade
Baixo Impacto Ambiental	5	Resíduo gerado	Kg
Baixo Consumo Energético	4	Consumo de óleo	Litros
Baixo Custo de Operação	5	Preço total de operação	R\$/l
Tempo para capina	3	Velocidade de operação	Km/h
Eficácia	5	Percentual de plantas mortas	%

Conforme visto acima, também foram definidas as respectivas importâncias de cada necessidade, ou seja, existem necessidades mais relevantes para o produto. Os valores de relevância vão induzir quais prioridades deverão ser tomadas no projeto do protótipo.

3.1.2. Benchmarking (avaliação comparativa)

Para entender quais características um produto deve ter, deve-se primeiro analisar os produtos similares existentes no mercado através do um *Benchmarking*, onde os produtos são comparados por meio de características consideradas relevantes. No *Benchmarking* realizado, foram comparados produtos que atuam de maneira diferente no combate a ervas daninhas, abrangendo os métodos manual (enxada), mecanizado (roçadeira), flamejamento (maçarico), químico (pulverizador) e a vapor (vaporizador). Optou-se por comparar apenas produtos pequenos ao invés de máquinas grandes devido à natureza desse trabalho, que é a de produzir um pequeno protótipo funcional. Isso torna mais fácil a comparação das características entre os produtos. O *benchmarking* desenvolvido é mostrado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Benchmarking de produtos de combate a ervas daninhas.

					
Produto	Enxada	Roçadeira	Flamejador	Pulverizador	Vaporizador
Fabricante	Tramontina	Toyama	Red Dragon	Vulcan	DynaSteam
Preço	R\$ 30,00	R\$ 1214,00	R\$ 650,00	R\$ 112,00	R\$ 818,00
Método de capina	Manual	Corte mecanizado	Flamejamento	Químico	Vapor d'água
Tamanho	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Pequeno
Peso	1,5kg	8,2kg	30kg	23kg	5kg
Manutenção	Baixa	Alta	Media	Baixa	Media
Potencia	-	2.54kW	29,3kW	-	1,8kW
Nível de esforço humano	Alto	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Impacto ambiental	Nenhum	Baixo	Baixo	Alto	Nenhum
Uniformidade da capina	Baixo	Alta	Media	Alto	Médio
Nível de extermínio ervas daninhas	Médio	Nenhum	Alto	Alto	Médio
Velocidade de operação	Baixa	Media	Baixa	Alta	Baixa
Método de acionamento	Manual	Motor a combustão	Queima de gás	Manual	Motor elétrico
Fluido de trabalho	-	-	Chama	Glifosato + água	Vapor d'água
Resíduo	Nenhum	Baixo	Médio	Alto	Baixo
Custo fluido de trabalho	-	-	-	0,60R\$/l Diluído	0,002R\$/l
Fonte energética	Humana	Gasolina + óleo 2T	Gás propano	Humana	Elétrica
Custo energia	-	4,50R\$/l	4,20R\$/kg	-	0,56R\$/kWh

3.1.3. Casa da qualidade

A ferramenta casa da qualidade (Tabela 3) é uma matriz de comparação entre as necessidades dos clientes e os requisitos de engenharia. Nessa matriz, cada necessidade é comparada com cada requisito, um a um, com base em uma relação que pode ser forte, média ou fraca. Adicionalmente, também são considerados os valores de relevância da tabela de necessidades dos clientes. Quando a matriz está preenchida com as relações entre todos os itens, e levando em consideração o peso dado a cada item, é então calculado o total de pontos para cada requisito de engenharia. Com isso pode-se ordenar os requisitos por relevância, tendo assim um guia para o desenvolvimento dos próximos passos.

Tabela 3 - Casa da qualidade.

Quês	Comos							
	Importância	Peso	Elementos de pega	Resíduo gerado	Consumo de óleo	Preço total de operação	Velocidade de operação	Percentual de plantas mortas
Leveza	2	●	△	△	△	△	△	△
Ergonomia	3	●	●	△	△	△	△	△
Baixo Impacto Ambiental	5	△	△	●	●	○	△	○
Baixo Consumo Energético	4	△	△	○	●	●	○	●
Baixo Custo de Operação	5	△	△	●	●	●	△	●
Tempo para capina	3	△	○	●	○	●	●	●
Eficácia	5	△	△	●	●	●	●	●
Importância Absoluta		67	57	179	185	173	99	173
Importância Relativa		6	7	2	1	3	5	3

Quês vesus Comos
 Relações fortes ● - 9
 Relações médias ○ - 3
 Relações fracas △ - 1

3.1.4. Especificação do produto

Com base nos valores de importância obtidos na matriz da casa de qualidade, juntamente com os valores levantados no *benchmarking*, foram definidas as especificações do produto (Tabela 4). Esses valores servirão como guia no projeto do protótipo.

Tabela 4 - Requisitos do produto.

Requisitos	Importância	Objetivo	Saídas indesejáveis
Consumo de óleo	1º	30l/ha	Consumo excessivo de óleo para matar as ervas daninhas.
Percentual de plantas mortas	2º	80% de plantas mortas	Não ser eficiente no extermínio das ervas daninhas
Resíduo gerado	3º	Baixa geração de resíduos	Excesso de resíduos podem ser prejudiciais ao meio ambiente
Preço total de operação	4º	6,00R\$/l de óleo	Inviabilização do processo por alto custo
Velocidade de operação	5º	1,5km/h	Operação muito demorada
Peso	6º	20kg	Peso elevado dificulta a utilização
Elementos de pega	7º	Mínimo de 2 manípulos	Equipamento de difícil utilização

Os objetivos escolhidos foram baseados em diversos fatores. O consumo de óleo foi baseado na patente da Ecocapina citada anteriormente. O percentual de plantas mortas se baseia nos resultados obtidos por Rosa (2005) em seu trabalho. Para o preço total de operação, o valor se baseia no custo médio do litro de óleo vegetal. A velocidade de operação foi baseada em um ser humano caminhando lentamente. E por fim, o peso do produto foi estimado com base no *benchmarking* de produtos que também levam o reservatório de fluido de trabalho.

Com os resultados obtidos, já se tem parâmetros e requisitos suficientes para iniciar o projeto conceitual.

3.2. Projeto conceitual

Com os requisitos do produto já definidos baseados nas necessidades dos clientes, é necessário estabelecer qual a melhor solução para o problema proposto, ou seja, o controle de ervas daninhas. Este trabalho visa testar e levantar dados de trabalho para a patente de Ecocapina, portanto as etapas seguintes para a elaboração da solução do problema, bem como as suas ferramentas são direcionadas para este método.

3.2.1. Estrutura Funcional

Foram definidas função global e estrutura de funções para a clarificação do problema, baseados na metodologia descrita por PAHL et al. (2013). Isso se justifica devido ao fato de um dispositivo de capina possuir uma complexidade considerável e não viabilizando uma solução empírica para o seu projeto.

A função global (figuras 15 e 16) foi estabelecida com referência à patente de aspersão de óleo vegetal aquecido (COOPERBIOBRASIL, 2016). Foram definidas entradas e saídas de energia e materiais, que serão usados como base para o detalhamento subsequente do processo em subfunções, ou seja, numa estrutura funcional (figuras y e z).

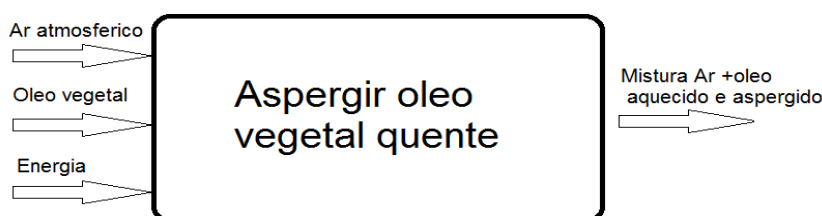


Figura 15 - Função global 1 do protótipo.

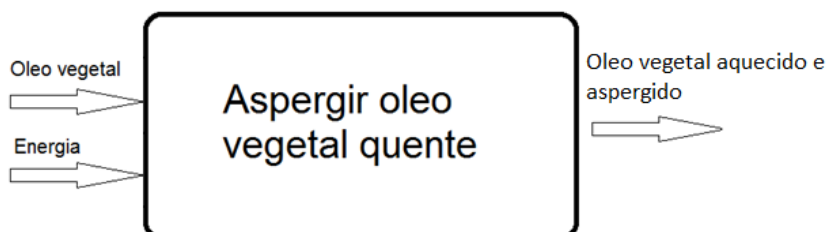


Figura 16 - Função global 2 do protótipo.

O processo de aspersão de óleo vegetal aquecido (COOPERBIOBRASIL, 2016) pode resultar em diversos processos diferentes, pois não especifica precisamente o fluxo de materiais e energias para a obtenção dessa aspersão. Portanto, foram definidas duas possíveis estruturas funcionais para o processo. A primeira delas aspergindo uma mistura de óleo vegetal com ar (figura 17), e a segunda estrutura com óleo aquecido aspergido diretamente para o ar (figura 18).

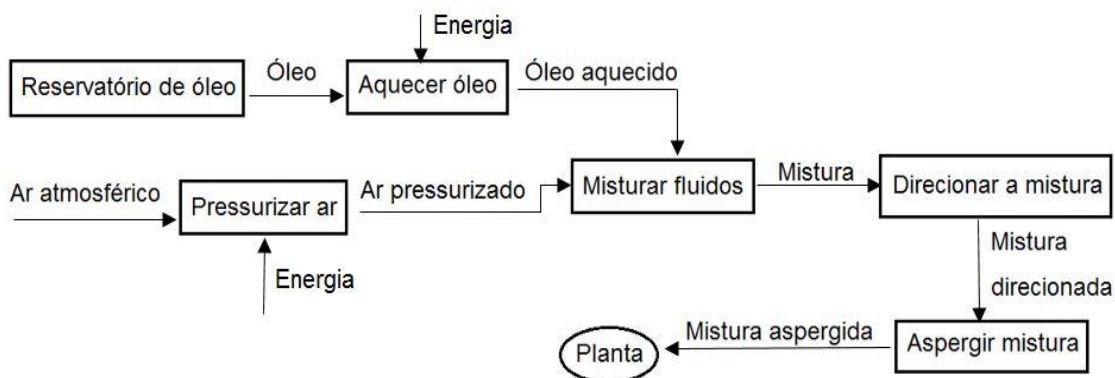


Figura 17 - Estrutura funcional 1 do protótipo.

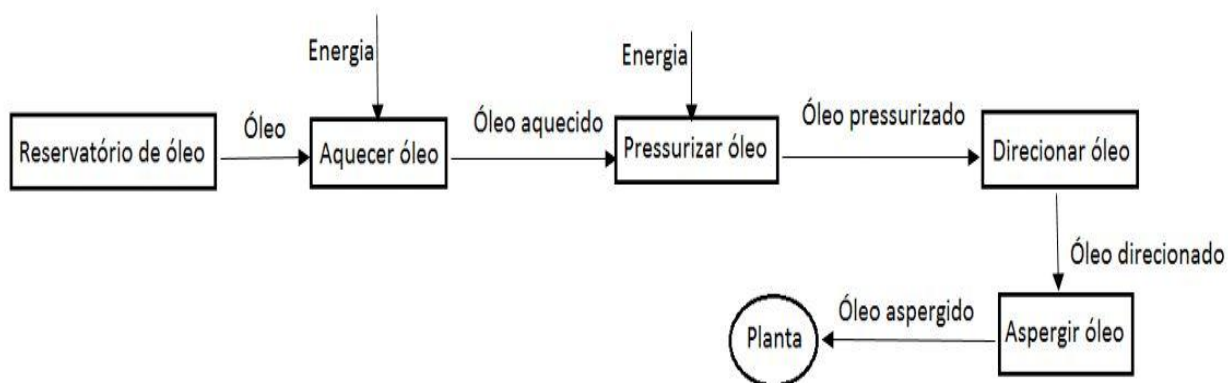


Figura 18 - Estrutura funcional 2 do protótipo.

3.2.2. Concepção dos protótipos

A partir de cada estrutura funcional apresentada, uma concepção de protótipo foi desenvolvida. Cada concepção busca o princípio de funcionamento das estruturas funcionais. As duas concepções são relativamente similares, se diferenciando principalmente pelo princípio de funcionamento.

A concepção 1 (Figura 19) pressuriza e asperge apenas óleo aquecido. Para tal tarefa, utiliza-se um reservatório metálico de volume conhecido onde o óleo aquecido ficará contido. Em seguida o óleo contido nesse reservatório é pressurizado por um sistema (seja uma bomba hidráulica ou mesmo um pistão), que força o óleo para um bocal responsável pela aspersão.

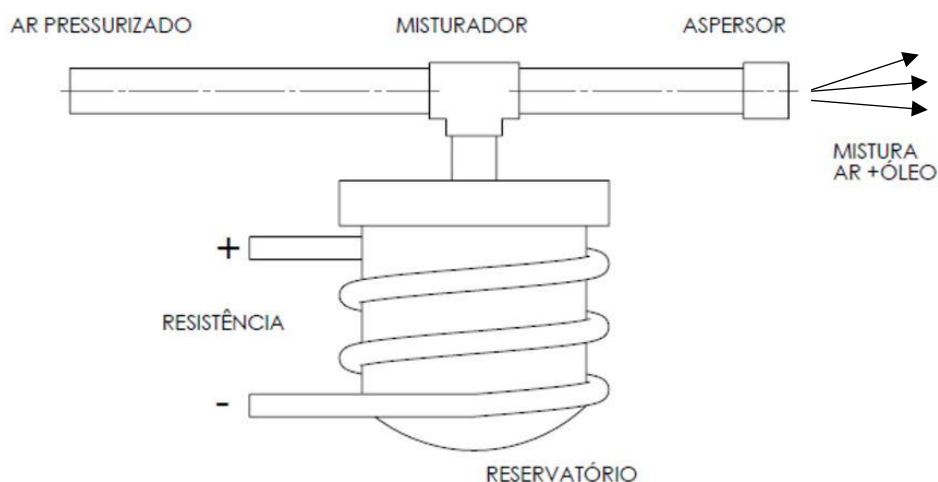


Figura 19 - Concepção 1, ar + óleo.
Fonte: Autoria própria.

A concepção 2 (Figura 20) utiliza ar pressurizado, para criar uma mistura de ar e óleo pelo princípio de Venturi, conseqüentemente aspergindo uma mistura de óleo e ar. Essa concepção também se utilizaria de um recipiente metálico de volume conhecido, onde se encontra o óleo aquecido. Esse recipiente está conectado a um tubo ou mangueira com ar comprimido. Quando acionado o sistema o ar comprimido “suga” o óleo por efeito Venturi, e o conduz até o bico de aspersão.

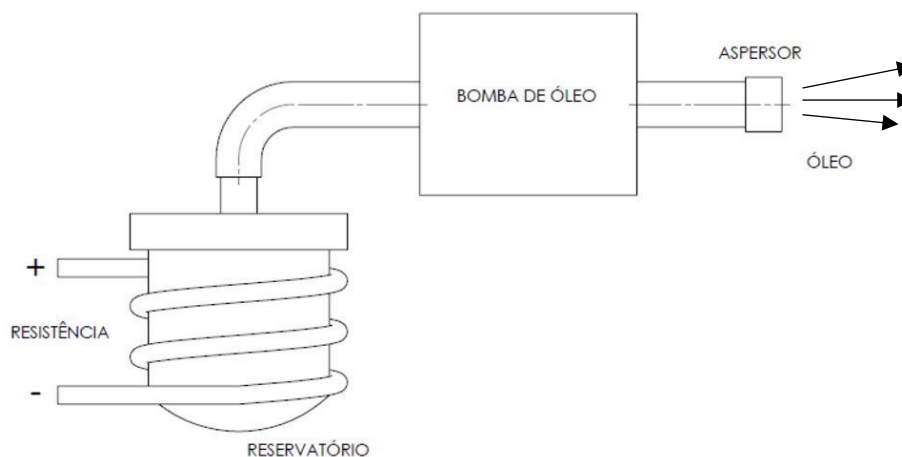


Figura 20 - Concepção 2, óleo pressurizado.
Fonte: Autoria própria.

As duas concepções criadas são simples, e não representam um produto final. Porém, a finalidade principal dos protótipos é o de levantar parâmetros sobre o processo. Sendo assim, as duas concepções apresentadas são ideais para o projeto, devido a sua simplicidade.

4. FABRICAÇÃO DOS PROTÓTIPOS

As soluções selecionadas no projeto conceitual foram fabricadas nas dependências da UTFPR Curitiba, campus Ecoville, nos laboratórios de fabricação mecânica. Essa etapa teve como objetivo utilizar o máximo possível de peças e equipamentos já disponíveis no mercado, que foram adaptados conforme a necessidade do projeto. Vale a pena ressaltar que o projeto tem uma restrição orçamentaria considerável. Sendo assim, a preferência será por componentes de baixo custo.

4.1. Concepção 1

A concepção tem o efeito de Venturi como princípio de funcionamento para aspersão do óleo aquecido pela resistência. Para cada função da estrutura funcional gerada anteriormente, foi definida uma solução para a fabricação do dispositivo. Uma representação esquemática do protótipo com todos os componentes esta mostrada na Figura 21 a seguir.

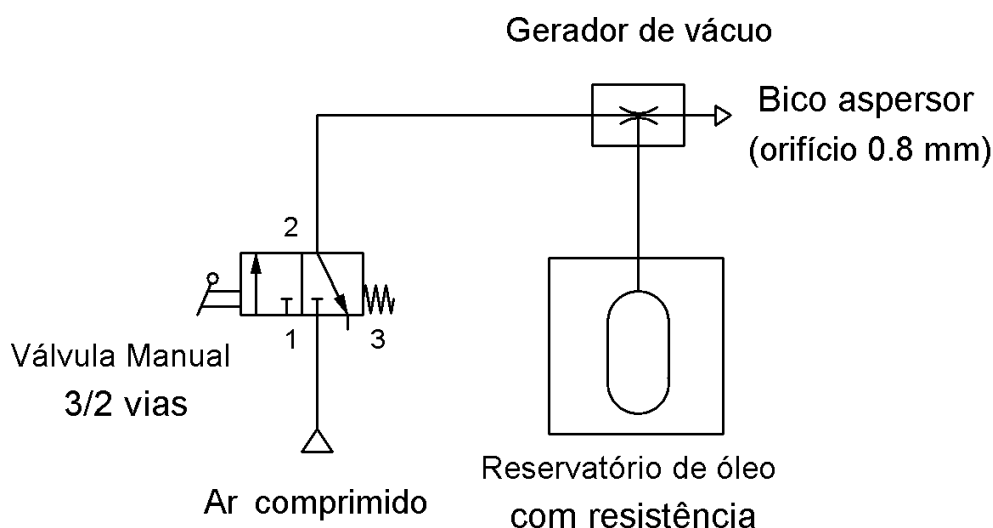


Figura 21 - Diagrama esquemático de componentes do protótipo 1.

Para o armazenamento do óleo a ser aquecido, foi utilizado um reservatório convencional de alumínio presente em pistolas de pintura (Figura 22), devido à condução facilitada de calor pelas paredes que estarão conectadas com a resistência elétrica responsável pelo aquecimento do óleo.



Figura 22 -Reservatório de óleo utilizado no dispositivo.

Uma resistência de cinta com 700W (Figura 23) foi escolhida para o aquecimento do óleo dentro do reservatório, pois o seu formato geométrico favorecia a troca térmica com o óleo uma vez que o envolvia completamente no dispositivo.



Figura 23 - Resistência de cinta de 700W.

A resistência controla a temperatura do óleo através de um controlador PID Novus N1100 e um sensor de temperatura PT100 (Figura 24). Esse controle

proporcionou a configuração de diversas temperaturas para o óleo para os testes.



Figura 24 - Controlador PID Novus e sensor PT100.

O ar atmosférico pressurizado é obtido do sistema de ar comprimido da própria UTFPR, que condiciona o ar a pressões acima da pressão atmosférica por um compressor alternativo e componentes auxiliares de regulação de vazão e umidade.

A mistura de ar pressurizado com óleo aquecido é realizada em um gerador de vácuo Festo VAD-1/8 (Figura 25), que succiona o óleo de seu reservatório e o mistura com ar comprimido através do efeito Venturi. A aspersão na erva daninha também é realizada pelo próprio componente após a mistura.



Figura 25 - Gerador de vácuo Festo.

O acionamento do óleo a ser aspergido é controlado por uma válvula direcional

pneumática Festo 3/2 vias com acionamento manual por alavanca (Figura 26). Isso permite um controle do tempo de aspersão de óleo e, conseqüentemente, quantidade de óleo aquecido a ser utilizado para os experimentos.

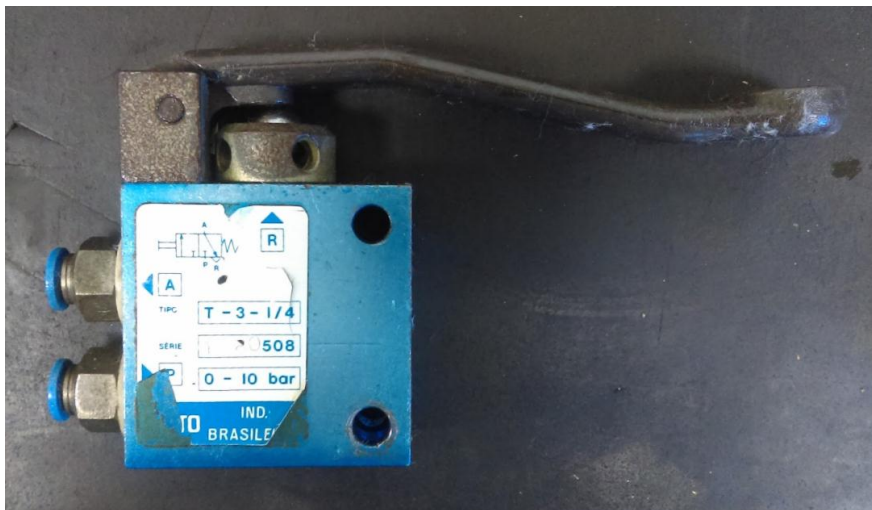


Figura 26 - Válvula direcional pneumática 3/2vias com acionamento manual.

Toda a estrutura do dispositivo foi construída em madeira, de modo a sustentar todos os componentes e conseguir posicionar a planta a ser submetida à aspersão logo abaixo do gerador de vácuo (Figura 27).

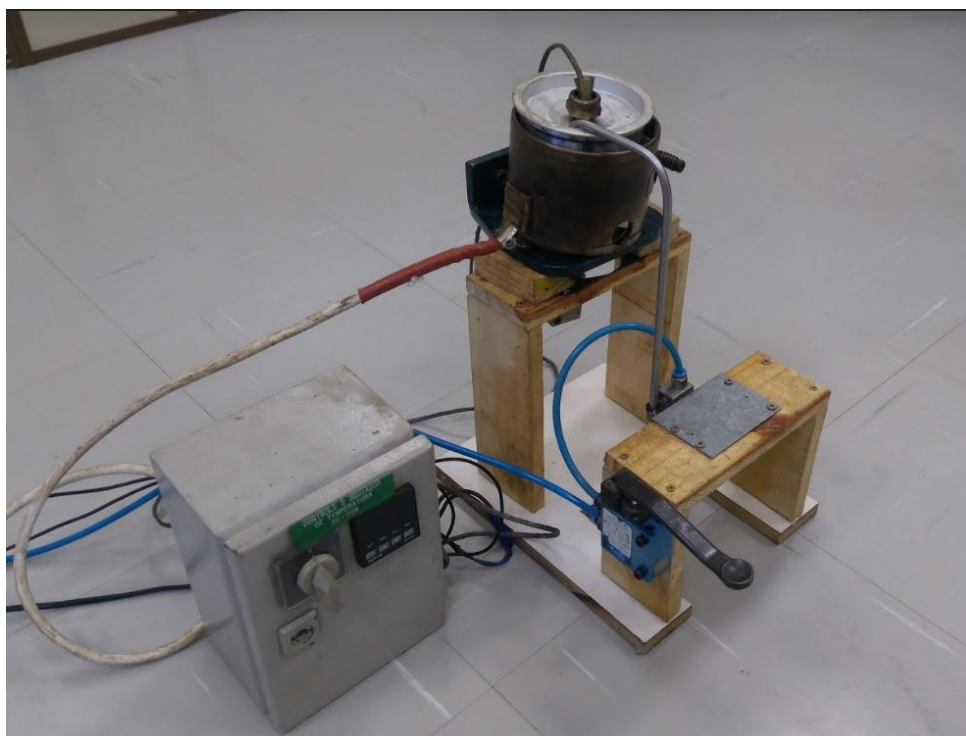


Figura 27 - Dispositivo finalizado e pronto para uso.

Através de testes preliminares o dispositivo para a concepção 1 foi satisfatório no controle da temperatura do óleo, bem como na aspersão do óleo aquecido sobre a

erva daninha. Por esses motivos esse foi o dispositivo utilizado para os testes futuros.

4.2. Concepção 2

A segunda concepção baseia-se em pressurizar, aquecer e então aspergir o óleo sobre a planta. Analisando-se as alternativas de equipamentos para construção deste protótipo, optou-se por adaptar um dispositivo de hidroconformação já existente na universidade. O dispositivo, mostrado na Figura 28, consiste em um cilindro hidráulico, um reservatório cilíndrico para o líquido de trabalho, e uma mangueira para a condução do líquido até a ferramenta de hidroconformação.

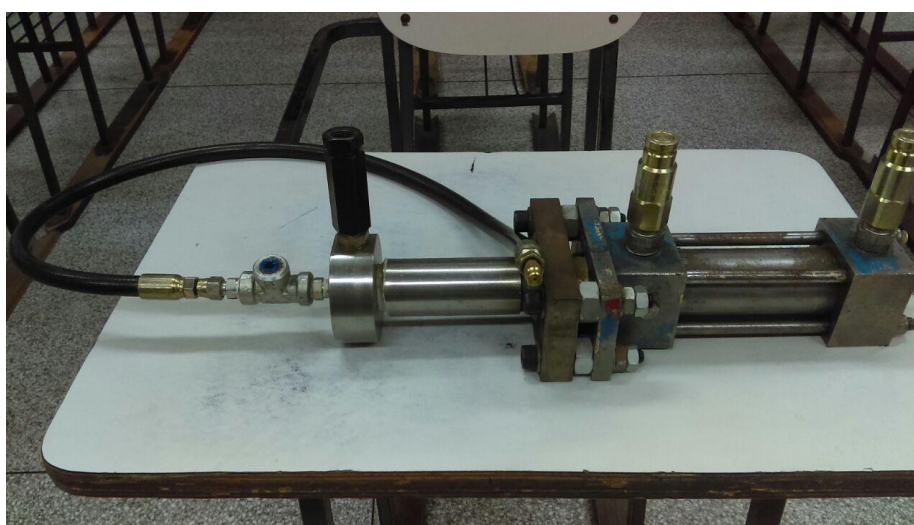


Figura 28 Dispositivo de hidroconformação adaptado com bico de aspersão.

Para a utilização deste dispositivo, fez-se necessária a substituição da ferramenta de hidroconformação, por um bico de aspersão agrícola comercial (Figura 29). Além disso, uma resistência de cinta em volta do reservatório cilíndrico é usada para aquecer o óleo.

Neste dispositivo, o cilindro hidráulico quando acionado realiza a função de pressurizar o óleo. O reservatório cilíndrico armazena o óleo, enquanto a resistência de cinta o mantém aquecido. Por fim, a mangueira direciona o óleo quente pressurizado até o bico, que realiza a aspersão. Vale ressaltar que este dispositivo representa uma grande economia para o projeto, pois a aquisição de uma bomba de óleo, mesmo que usada, acarreta em um custo muito elevado.



Figura 29 - Bico de aspersão agrícola comercial.

Antes de se iniciar o teste com plantas, foram realizados testes de ajuste do protótipo desta concepção. O protótipo foi ligado a uma bancada de testes hidráulica onde a pressão utilizada foi de 20 bar. Inicialmente realizou-se o teste sem a resistência elétrica e utilizando água como fluido. Esses testes constataram que o dispositivo causava uma aspersão insatisfatória, sendo quase um jato de água o resultado obtido. Analisando o bico aspersor, constatou-se que a pressão utilizada o havia danificado, acarretando em sua perda de funcionalidade. Buscando novos tipos de bicos comerciais, constatou-se que os bicos para trabalho em pressão mais elevada, apresentam também a necessidade uma vazão muito elevada, na ordem de 12 litros por minuto em média. Isso torna esses bicos incompatíveis com esse estudo, que busca um volume mínimo para aspersão. Considerando o problema de bicos comerciais para alta pressão, juntamente com a impossibilidade de se fabricar um bico específico para esse projeto, optou-se por descartar a utilização dessa concepção.

5. TESTES E RESULTADOS

Os testes com plantas foram realizados dentro do laboratório de automação e protótipos da UTFPR, todos utilizando o dispositivo da concepção 1, descrito no capítulo anterior. As plantas foram submetidas à várias condições diferentes de temperatura e volume de óleo aspergido, a fim de mapear as condições mínimas necessárias para atingir a sua mortalidade.

As amostras consistem em uma série de plantas e ervas daninhas presentes na região, todas iguais entre si em volume e tamanho, para que se possa fazer comparação de resultados. Além disso, todas as amostras foram compradas em lojas de jardinagem e utilizadas no mesmo dia, como forma de garantir a qualidade das plantas.

Todos os testes foram realizados em ambiente fechado, com temperatura média de 23 °C, umidade relativa de 85%, onde todas as amostras de plantas foram submetidas a aspersão de óleo aquecido sob várias condições.

As primeiras espécies utilizadas nos testes foram gramíneas do tipo São Carlos (*Axonopus Compressus*), com amostras quadradas de tamanho 100 cm² (Figura 30). Foi escolhida pela facilidade de obtenção nas lojas de jardinagem e o baixo preço.



Figura 30 - Amostras iniciais da Axonopus Compressus.

A segunda espécie de planta testada foi o Beldroega (*Portulaca oleracea*), mostrada na Figura 31, acomodadas em recipientes de 78 cm². Foi escolhida pela sua característica rasteira e semelhança com muitas ervas daninhas existentes.



Figura 31 - Amostras iniciais da *Portulaca oleracea*.

A terceira espécie testada foi a Lambari roxo (*Tradescantia zebrina*), mostrada na Figura 32. Essas plantas estavam todas bem enraizadas em pequenos vasos quadrados de tamanho 49 cm². Como é uma planta com folhas e caule mais robustos (além da sua altura maior em relação ao solo), foi escolhida como uma condição mais crítica da aplicação da aspersão do óleo aquecido.



Figura 32 - Amostra inicial da *Tradescantia zebrina*.

Por fim, a última espécie utilizada nos testes foi a Amendoim (*Arachis hypogaea*), mostrada na Figura 33. Todas também acomodadas em vasos de 49 cm². O seu formato se assemelha à muitas ervas daninhas existentes, o que justificou a sua escolha.



Figura 33 - Amostras iniciais da *Arachis hypogaea*.

Para as plantas testadas no dispositivo, a aspersion de óleo do gerador de vácuo foi fixada sob uma pressão de ar comprimido de 2 bar para todos os testes, resultando numa vazão média de óleo de 1,5 ml/s, tornando necessário apenas as variações de temperatura e tempo de exposição nos testes.

O óleo utilizado para os experimentos com aspersion foi o óleo de soja para cozinha (Figura 34). A sua viabilidade econômica e alta disponibilidade foram fatores decisivos na sua escolha, além do fato que as propriedades térmicas não variam de maneira acentuada em comparação com outros óleos vegetais.



Figura 34 - Óleo de soja utilizado para os experimentos.

O primeiro experimento realizado foi com a grama São Carlos (*Axonopus Compressus*). Nesse experimento 11 amostras foram utilizadas, variando a temperatura em 80, 110 e 150 °C e variando o tempo para cada temperatura em 1, 2 e 3 segundos. Uma amostra ainda foi borrifada com óleo a temperatura ambiente por 3s, para se analisar o efeito do óleo frio na planta. A última amostra não recebeu óleo e serve apenas para comparação com as outras. A Tabela 5 mostra as temperaturas, tempo de exposição e quantidade de óleo recebido por cada amostra, assim como o

resultado observado de mortalidade 3 dias após a aplicação. A condição das amostras 3 dias após a aplicação são mostradas na Figura 34 a seguir.



Figura 35 - Experimento 1, condições três dias após aplicação.

Tabela 5 - Especificações e resultados do experimento 1 com a grama São Carlos.

Amostra	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Quantidade de óleo (ml)	Resultados
1	80	1	1,5	Não efetivo
2	80	2	3	Não efetivo
3	80	3	4,5	Não efetivo
4	110	1	1,5	Não efetivo
5	110	2	3	Não efetivo
6	110	3	4,5	Não efetivo
7	150	1	1,5	Não efetivo
8	150	2	3	Não efetivo
9	150	3	4,5	Não efetivo
10	Ambiente (23°C)	3	4,5	Não efetivo

Durante os experimentos foram estabelecidas duas condições de análise para as amostras após a aspersão: Efetivo e Não efetivo. O resultado não efetivo implica que visualmente as amostras encontram-se no mesmo estado (ou muito próximo) que a amostra de controle, sendo esse estado baseado na coloração das folhas. Para as plantas com alteração significativa na coloração e que estejam murchas, o teste é considerado efetivo.

Nos resultados observa-se que a aplicação do óleo quente não gerou nenhum efeito de letalidade nas plantas. Sendo assim, para o próximo experimento um aumento na temperatura e tempo de exposição se faz necessário. Adicionalmente, 5

dias após os testes todas as amostras encontravam-se amareladas e ressecadas, incluindo as amostras de controle em que nada foi feito. Isso se deve ao fato da grama São Carlos não resistir muito tempo fora do solo, necessitando ser plantada rapidamente. Por isso, o próximo experimento será feito com outras plantas.

Os segundo e terceiro experimentos foram realizados com a planta Beldroega (*Portulaca oleracea*) e a Lambari roxo (*Tradescantia zebrina*), respectivamente. Nesse experimento 13 amostras de cada planta foram utilizadas, variando a temperatura em 100, 150 e 170 °C e variando o tempo para cada temperatura em 1, 3, 5 e 7 segundos. Uma amostra adicional de cada planta não recebeu óleo e serve apenas para comparação com as outras. A Tabela 6 mostra as temperaturas, tempo de exposição e quantidade de óleo recebida por cada amostra, assim como o resultado de mortalidade após 3 dias da aplicação para os experimentos 2 e 3. A condição das amostras 3 dias após a aplicação do óleo para os experimentos 2 e 3 são mostrados respectivamente na Figura 36 e 37 a seguir.

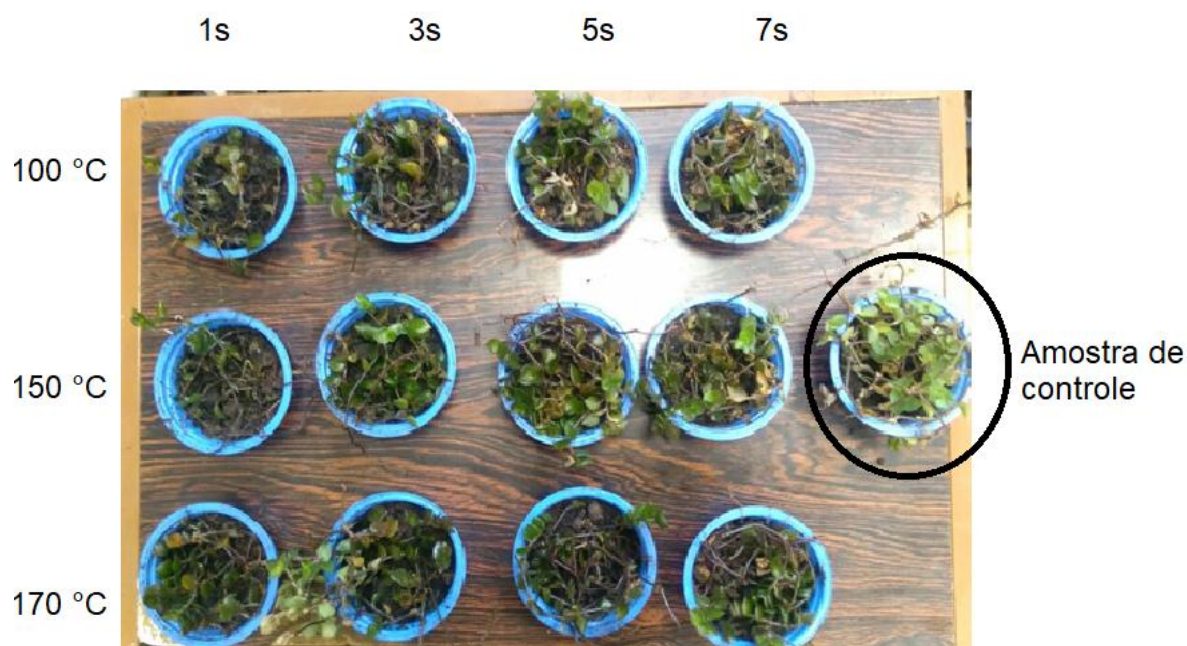


Figura 36 - Experimento 2, condições três dias após aplicação.

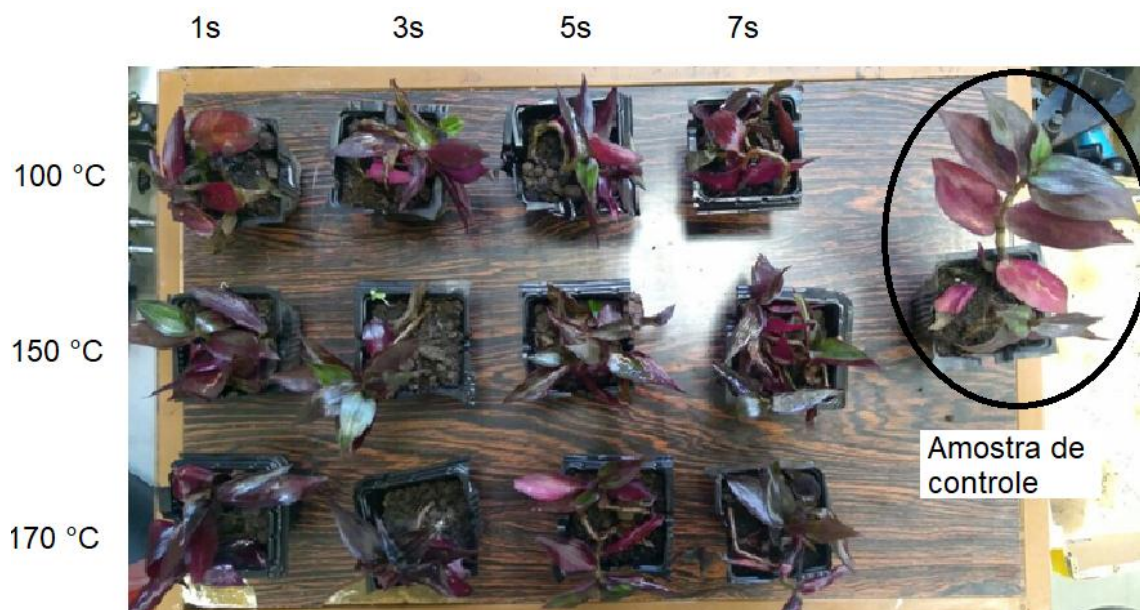


Figura 37 - Experimento 3, condições três dias após aplicação.

Tabela 6 - Especificações e resultados dos experimentos 2 e 3 com as plantas Beldroega e Lambari roxo.

Amostra	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Quantidade de óleo (ml)	Resultados
1	100	1	1,5	Não efetivo
2	100	3	4,5	Não efetivo
3	100	5	7,5	Não efetivo
4	100	7	10,5	Não efetivo
5	150	1	1,5	Não efetivo
6	150	3	4,5	Não efetivo
7	150	5	7,5	Não efetivo
8	150	7	10,5	Não efetivo
9	170	1	1,5	Não efetivo
10	170	3	4,5	Não efetivo
11	170	5	7,5	Não efetivo
12	170	7	10,5	Não efetivo

Os resultados para os experimentos 2 e 3 foram idênticos entre si, uma vez que em nenhuma das condições testadas, em nenhuma das amostras, ocorreu a morte das mesmas. Analisando as amostras, também se nota que as plantas não sofreram nenhum tipo de dano, ficando apenas brilhantes devido ao óleo, mas ainda sim fortes. Tendo em vista esse resultado para o próximo experimento o tempo de exposição será aumentado significativamente, uma vez que a temperatura do óleo já está em seu limite de degradação.

Por fim, o quarto e quinto experimentos foram realizados com a planta Amendoim (*Arachis hypogaea*) e a Lambari roxo (*Tradescantia zebrina*) novamente.

Nesse experimento 13 amostras de cada planta foram utilizadas, variando a temperatura em 100, 150 e 170 °C, porém desta vez variando o tempo para cada temperatura em 10, 20, 30 e 40 segundos. Uma amostra adicional de cada planta não recebeu óleo e serve apenas para comparação com as outras. A Tabela 7 mostra as temperaturas, tempo de exposição e quantidade de óleo recebida por cada amostra, assim como o resultado de mortalidade após 3 dias da aplicação para os experimentos 4 e 5. A condição das amostras 3 dias após a aplicação para os experimentos 4 e 5 são mostrados respectivamente na Figura 38 e 39 a seguir.

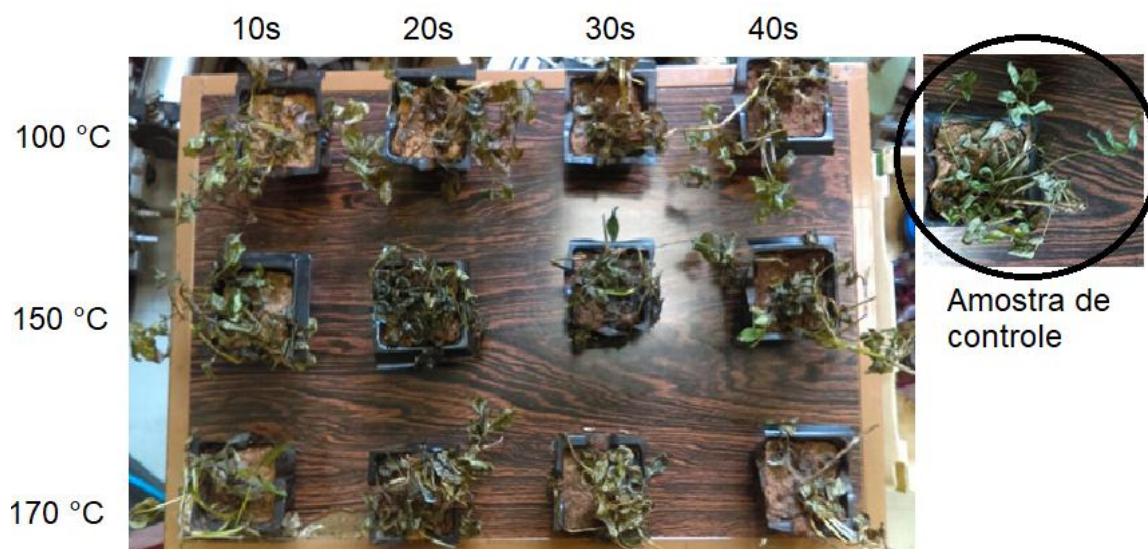


Figura 38 - Experimento 4, condições três dias após aplicação.

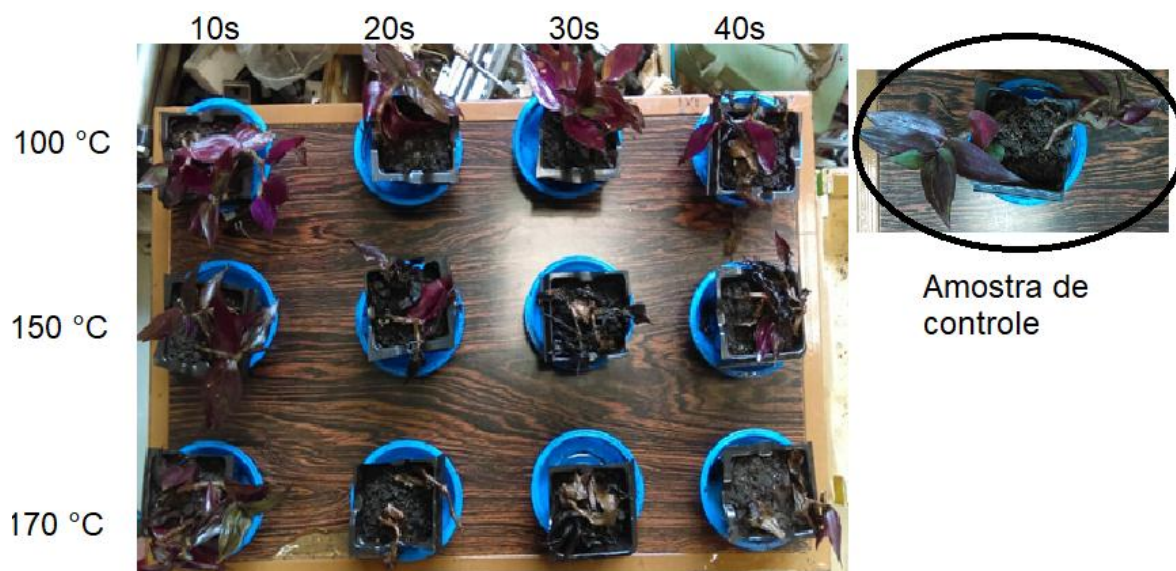


Figura 39 - Experimento 5, condições três dias após aplicação.

Tabela 7 - Especificações e resultados dos experimentos 4 e 5 com as plantas Amendoim e Lambari roxo.

Amostra	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Quantidade de óleo (ml)	Resultados	
				4	5
1	100	10	15	Não efetivo	Não efetivo
2	100	20	30	Não efetivo	Não efetivo
3	100	30	45	Não efetivo	Não efetivo
4	100	40	60	Efetivo	Efetivo
5	150	10	15	Não efetivo	Não efetivo
6	150	20	30	Efetivo	Não efetivo
7	150	30	45	Efetivo	Efetivo
8	150	40	60	Efetivo	Efetivo
9	170	10	15	Não efetivo	Não efetivo
10	170	20	30	Efetivo	Efetivo
11	170	30	45	Efetivo	Efetivo
12	170	40	60	Efetivo	Efetivo

Os experimentos 4 e 5 apresentaram resultados de mortalidade em algumas das plantas, especialmente nas que sofreram uma exposição maior a aspersão de óleo quente.

Para a temperatura de 100 °C no óleo aspergido, apenas a quantidade de 60 ml acarretou na morte das amostras. Sendo a área de cada amostra igual a 49 cm², uma extrapolação desse resultado implica em um consumo de 12 l/m² de óleo para ambas as espécies testadas.

O consumo de óleo utilizado na aspersão é diminuído quando se eleva a temperatura do óleo para 150 °C, para o qual foram necessários 30 ml no mínimo aplicados para amostras de Amendoim e 45 ml para o Lambari Roxo, para que ocorra mortalidade. Extrapolando os resultados, um consumo de 6,1 l/m² é necessário para o Amendoim e 9,2 l/m² para o Lambari Roxo.

O consumo mínimo de óleo é obtido na temperatura de 170 °C, que causou mortalidade para ambas as plantas com 30 ml por amostra, equivalendo à um consumo extrapolado de óleo de 6,1 l/m² para as duas espécies.

Como notado nos experimentos 4 e 5, ocorreu uma pequena diferença nos resultados, devido a diferentes características das plantas. A planta Amendoim é muito mais fina, e conseqüentemente mais fácil de ser aspergida do que a Lambari roxo. Porém, mesmo com essa diferença, a quantidade requerida de óleo para ambas ainda foi muito elevada.

Os experimentos foram realizados em um laboratório fechado e com ambiente controlado. Em um ambiente real de uso, esses valores de consumo tem a tendência de aumentar devido a perdas de calor para o ambiente. Além disso, quanto menores

as gotículas aspergidas, maior será a área do líquido exposta ao ar ambiente, trocando mais calor com o mesmo antes de atingir a planta. Adicionalmente, correntes de ar tendem a desviar a névoa de óleo de sua direção inicial, que seria a planta invasora.

Analisando os resultados obtidos com os experimentos nota-se que os requisitos do produto estabelecidos anteriormente no capítulo 3 não são alcançados como o esperado. A Tabela 8 a seguir mostra os requisitos do produto e qual o resultado observado durante os testes referente a cada requisito.

Tabela 8 - Resultados para os requisitos dos clientes após os experimentos.

Requisitos	Importância	Objetivo	Saídas indesejáveis	Resultados Obtidos
Consumo de óleo	1º	30 l/ha	Consumo excessivo de óleo para matar as ervas daninhas.	Indesejado
Percentual de plantas mortas	2º	80% de plantas mortas	Não ser eficiente no extermínio das ervas daninhas	Indeterminado
Resíduo gerado	3º	Baixa geração de resíduos	Excesso de resíduos podem ser prejudiciais ao meio ambiente	Indesejado
Preço total de operação	4º	6,00 R\$/l de óleo	Inviabilização do processo por alto custo	Indesejado
Velocidade de operação	5º	1,5 km/h	Operação muito demorada	Indiferente
Peso	6º	20 kg	Peso elevado dificulta a utilização	Indesejado
Elementos de pega	7º	Mínimo de 2 manípulos	Equipamento de difícil utilização	Indiferente

Vários dos requisitos apresentaram resultados indesejados, principalmente o consumo de óleo, resíduo gerado e preço de operação. O consumo de óleo necessário para a eficácia do método foi muito acima do esperado, o qual acarreta em uma grande quantidade de resíduos gerados que podem causar sérios danos ao meio ambiente, além de elevar o custo total de operação. Outro ponto indesejado foi que o alto consumo de óleo requer um reservatório grande para a capina mesmo de pequenas áreas, fazendo com que o peso de um possível produto seja elevado. Devido aos resultados indesejados já citados, outros requisitos não foram avaliados. O percentual de plantas mortas é dado como indesejado pois os testes não se estenderam a condições de campo aberto, com área maior e cobertura vegetal variada. A velocidade de operação e elementos de pega por sua vez são indiferentes

pois o método não se mostrou promissor a ponto de se desenvolver um produto onde esses fatores seriam levados em conta.

Como observado na literatura, outros métodos de capina com aspersão de líquidos aquecidos possuem um consumo na faixa de 1,5 a 1,9 litros de água por metro quadrado (HEATWEED, 2017). Fazendo uma comparação energética simplificada (desconsiderando perdas) do potencial de troca de calor entre a água e o óleo de soja pode-se verificar se os números de consumo obtidos nos experimentos estão razoáveis. Para tal faz-se uso da Equação 1 a seguir, relativa ao calor sensível contido nos dois fluidos (MORAN, SHAPIRO, 2010). Nessa comparação será considerado a temperatura ambiente de 30°C para ambos os líquidos. Água será aquecida até 100 °C e o óleo até 170 °C. Ambos os líquidos possuem a mesma massa de 1 kg. Segundo Sucrana (2017) o calor específico para a água é de 4,18 kJ/kg°C e de 1,96 kJ/kg°C para o óleo de soja. Logo:

$$Q = m * cp * \Delta T \quad (1)$$

$$Q_{oleo} = 1 \text{ kg} * 1,96 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (170 - 30)^\circ\text{C}$$

$$Q_{oleo} = 274,4 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{agua} = 1 \text{ kg} * 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (100 - 30)^\circ\text{C}$$

$$Q_{agua} = 292,6 \text{ kJ/kg}$$

Como pode se observar nas contas acima, a água a 100 °C carrega 18,2 kJ/kg de calor a mais do que a mesma massa de óleo a 170 °C. Isso mostra que consumo de óleo obtido nos experimentos não está fora da realidade, uma vez que teoricamente ele deve ser maior do que o consumo de água. Apesar de 18,2 kJ/kg representar uma diferença de aproximadamente 6%, o consumo de óleo obtido nos testes foi de aproximadamente três vezes o consumo de água encontrado na literatura. Isso se deve a alguns fatores, como por exemplo a extrapolação realizada para a obtenção do consumo por metro quadrado, máquinas com métodos mais eficientes para aplicação do líquido quente e números baseados em resultados com plantas de espécies diferentes das utilizadas em nossos experimentos. Mesmo que a vantagem energética da água em relação ao óleo de soja não seja muito superior, no aspecto de impacto ambiental a utilização de água em detrimento do óleo de soja apresenta

uma vantagem muito grande, uma vez que não há problemas com contaminação relacionados ao uso da água.

6. CONCLUSÕES

Os experimentos com o método de aspersão de óleo aquecido sobre plantas apresentaram efetividade apenas sob determinadas condições de funcionamento (temperatura de óleo, pressão de ar e volume de óleo) para dois dos tipos de plantas estudadas.

O fato da obtenção de mortalidade das amostras testadas ter ocorrido apenas com o alto consumo de óleo se mostra como o grande ponto negativo do método avaliado. Isso pois extrapolando os valores de consumo obtidos, tem-se que são necessários vários litros de óleo para o eficaz combate de ervas daninhas como as testadas. Devido a essa característica de alto consumo de óleo, os requisitos do produto levantados nesse trabalho não foram alcançados. Adicionalmente, o consumo mínimo de óleo obtido de 6,1 l/m², está muito longe da faixa de 15 a 30 l/ha (1,5 a 3 ml/m²) proposto na patente da COOPERBIOBRASIL, considerando as espécies de plantas utilizadas no experimento.

Nota-se que diferentes espécies de vegetais reagem de maneira diferente ao método da aspersão, o que indica que os resultados obtidos podem ser usados apenas como referência para outras plantas. Apesar disso o volume de óleo necessário em outras plantas não deve ser muito inferior. Sendo assim, não se observam vantagens no método a ponto de se justificar sua utilização em detrimento de outros observados na literatura que se mostram mais viáveis para o combate de ervas daninhas, como por exemplo o método de aspersão de água quente, o qual os motivos já foram discutidos no capítulo anterior.

Apesar do presente trabalho não se propor a cobrir aspectos de impacto ambientais causados pelo método testado, sugere-se que esses sejam amplamente realizados antes de qualquer utilização do mesmo, devido à grande quantidade de óleo requerida para a capina.

REFERENCIAS

- ASCARD, Johan. **Thermal weed control by flaming**. 1995.
- ASCARD, J. et al. 10 Thermal weed control. **Non-chemical weed management**, f. 238, 2007.
- ASOCIACION LATINO AMERICANA DE MALEZAS - ALAM. **Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas**. Bogota, 1974, p. 35-58.
- AULETE, F. J. C. *Novíssimo Dicionário contemporâneo da língua portuguesa* Caldas Aulete. 2011.
- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D. AND IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils - a review. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.
- BENACHOUR, Nora et al. Time-and dose-dependent effects of roundup on human embryonic and placental cells. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 53, n. 1, p. 126-133, 2007.
- BENACHOUR, Nora; SÉRALINI, Gilles-Eric. Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. **Chemical research in toxicology**, v. 22, n. 1, p. 97-105, 2008.
- BENBROOK, Charles M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. **Environmental Sciences Europe**, v. 28, n. 1, p. 3, 2016.
- BENÍTEZ-LEITE, Stella; MACCHI, M. A.; ACOSTA, Matilde. Malformaciones congénitas asociadas a agrotóxicos. **Arch. Pediatr. Urug**, v. 80, p. 237-247, 2009.
- BOERBOOM, Chris et al. Facts about glyphosate-resistant weeds. 2006.
- CAVALCANTE, D. G. S. M.; MARTINEZ, C. B. R.; SOFIA, S. H. Genotoxic effects of Roundup® on the fish *Prochilodus lineatus*. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 655, n. 1, p. 41-46, 2008.
- COOPERBIOBRASIL COOP. SOLID.MIST. DE PROD.AGR E DE EQUIP. AMB.IMP.E EX. Martin Zimmermann. Disposição em Monda Térmica a Óleo Vegetal. BR 202014022733-0 U2. 15 set. 2014, 04 out. 2016.
- COPEL. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F1c427910dff45ac03257488005939d5>>. Acesso em 21 out. 2017.

DANIELL, Jeff Walter; CHAPPELL, W. E.; COUCH, H. B. Effect of sublethal and lethal temperature on plant cells. **Plant Physiology**, v. 44, n. 12, p. 1684-1689, 1969.

DARE, D. **Normas e Instruções Gerais de Via Permanente**. Rio de Janeiro: RFFSA, 1978.

DA SILVA, Marcos Roberto et al. Eficiência de flamejadores no controle de plantas daninhas. 2008

DEUBER, R. Ciência das plantas daninhas 1: Fundamentos. Legis Luma Ltda, Jaboticanbal. 438p, 1992.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério dos Transportes. **Manual de Conservação Rodoviária**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 568 p. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual de Conservação Rodoviaria.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Conservação%20Rodoviaria.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2017.

FERROVIA É PROGRESSO, Viena – Austria: Plasser &Theurer, 1999.

FLAME ENGINEERING. Disponível em: <<https://flameengineering.com/products/red-dragon-row-crop-flamers>> Acesso em 02 abr. 2017.

GASNIER, Céline et al. Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. **Toxicology**, v. 262, n. 3, p. 184-191, 2009.

HEATWEED TECHNOLOGIES. **The heatweed®method**. Disponível em: <<http://heatweed.com/the-heatweed-method/>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

HESS, S. C.; NODARI, R. O. **Parecer Técnico Glifosato**. Disponível em: <http://noticias.ufsc.br/files/2015/07/parecer-tecnico-N.-01.pdf> Acesso em 02 abr. 2017.

INVASIVE.ORG. Disponível em:<<https://www.invasive.org/gist/tools/hotfoam.html>>. Acesso em 02 abr. 2017.

JÚNIOR, Joab Silas Da Silva. **Calor específico**. *Mundo educação*. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/calor-especifico.htm>>. Acesso em: 08 abr. 2017.

KURFESS, W. et al. Effect of hot water on weeds. **Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz**, n. Sonderh. 17, p. 473-477, 2000.

LANDERS, J. N. et al. Note on weed control for zero tillage organic soybeans in Brazil. **Agriculture for Development**, n. 20, p. 39-40, 2013.

LARCHER, W.. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 53 L p.

MONSANTO.

Disponível

em:

<http://www.monsantoglobal.com/global/br/produtos/Documents/roundup-ready-bula.pdf>. Acesso em 21 out. 2017.

MORAN, Michael J. et al. **Fundamentals of engineering thermodynamics**.

John Wiley & Sons, 2010.

OLIVEIRA JUNIOR, RS de; CONSTANTIN, J. Plantas daninhas e seu

manejo. **Guaíba: Agropecuária**, 2001.

OOTANI, Marcio Akio et al. Utilização de óleos essenciais na

Agricultura. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 2, 2013.

OPTOCLEANER. Disponível em: <<http://www.optocleaner.com/>>. Acesso em

02 abr. 2017.

ORTING

NEWS.

Disponível

em:

<<http://www.ortingnews.com/article/2012/4/county-herbicide-applications-start-april-18th.html>>. Acesso em 02 abr. 2017.

PAGANELLI, Alejandra et al. Glyphosate-based herbicides produce

teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling. **Chemical research in toxicology**, v. 23, n. 10, p. 1586-1595, 2010.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. Engineering design: a systematic

approach. Springer Science & Business Media, 2013.

PARISH, S. Investigations into thermal techniques for weed control.

In: **Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering**. ADodd & PM GRACE). Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 1989. p. 2151-2156.

PARISH, S. A review of non-chemical weed control techniques. **Biological**

Agriculture & Horticulture, v. 7, n. 2, p. 117-137, 1990.

PREFEITURA

DE

CONTAGEM.

Disponível

em:

<[http://www.contagem.mg.gov.br/?ga=imagens&galeria=481074#prettyPhoto\[foto\]/0/](http://www.contagem.mg.gov.br/?ga=imagens&galeria=481074#prettyPhoto[foto]/0/)> Acesso em 02 abr. 2017.

QUARLES, William. Improved hot water weed control system. **IPM**

Practitioner, v. 23, n. 1, p. 1-4, 2001.

REDA, Seme Youssef; CARNEIRO, Paulo I. Borba. Óleos e gorduras:

aplicações e implicações. **Revista Analytica**, v. 27, p. 60-67, 2007.

RICHARD, Sophie et al. Differential effects of glyphosate and roundup on

human placental cells and aromatase. **Environmental health perspectives**, p. 716-

720, 2005.

ROSA, Carlos Alberto da. **Desenvolvimento de projeto alternativo para capina ecológica**. 2005. 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2005.

SALLES, Fernanda Soton Ferreira. **Impacto Ambiental Causado por Óleo Vegetal**. 2010. 36 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Ambiental, Instituto A Vez do Mestre, Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/k214339.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2017.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. **Calor latente**; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/calor-latente.htm>>. Acesso em 08 de abril de 2017.

SIRVYDAS, A. et al. Plant temperature variation in the thermal weed control process. **ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ-SONDERHEFT**-, v. 20, p. 355, 2006.

SUCRANA. **Densidade relativa e calor específico para diversos líquidos**. Disponível em: <<http://www.sucrana.com.br/tabelas/densidade-relativa.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2017.

TAMADA, Ivo S. et al . Toxicological evaluation of vegetable oils and biodiesel in soil during the biodegradation process. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo , v. 43, n. 4, p. 1576-1581, Dez. 2012 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822012000400042&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 22 Abr. 2017.

THERMOWEEED. **Facts Worth Knowing About Thermal Weed Control**. Disponível em: <http://www.tbermoweed.com/mdex.htm>>. Acesso em: 02 maio 2006.

TWORKOSKI, Thomas. Herbicide effects of essential oils. **Weed science**, v. 50, n. 4, p. 425-431, 2002.

VARGAS, Leandro; ROMAN, Erivelton Scherer. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. Embrapa Trigo, 2006. 10 f. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 56). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do56.htm>. Acesso em 08 de abril de 2017.

VIVIAN, Rafael. **A Importância das Plantas Daninhas na Agricultura**. 2005. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Mate>

ria.asp?id=24187&secao=Artigos Especiais>. Acesso em: 10 abr. 2017.