

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS  
COMPUTACIONAIS PARA O AGRONEGÓCIO

IVAN COLTRO

**TECNOLOGIA PARA O CONTROLE QUÍMICO DE PLANTAS  
INVASORAS**

MEDIANEIRA  
2017

IVAN COLTRO

**TECNOLOGIA PARA O CONTROLE QUÍMICO DE PLANTAS  
INVASORAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Acadêmico em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – PPGTCA – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – *Campus* Medianeira, como requisito parcial para a obtenção do título de “Mestre em computação” – Área de concentração: Computação aplicada à agricultura.

Orientadora: Professora Dr<sup>a</sup> Fabiana Costa de Araujo Schütz.

Co-orientador: Professor Dr. Pedro Luiz De Paula Filho.

MEDIANEIRA  
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

C725t

Coltro, Ivan

Tecnologia para o controle químico de plantas invasoras. / Ivan Coltro – 2017.  
78 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Fabiana Costa de Araujo Schutz

Coorientador: Pedro Luiz de Paula Filho

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócios. Medianeira, 2017.

Inclui bibliografias.

1. Agricultura – Aspectos ambientais. 2. Agricultura de precisão. 3. Impacto ambiental. 4. Computação – Dissertações. I. Schutz, Fabiana Costa de Araujo, orient. II. Paula Filho, Pedro Luiz de, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócios. IV. Título.

CDD: 004



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ



DIRETORIA DO *CAMPUS* MEDIANEIRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS  
COMPUTACIONAIS PARA O AGRONEGÓCIO

---

TERMO DE APROVAÇÃO

## TECNOLOGIA PARA O CONTROLE QUÍMICO DE PLANTAS INVASORAS

Por

**IVAN COLTRO**

Este Trabalho foi apresentado às nove horas do dia vinte e cinco de abril de dois mil e dezessete, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM COMPUTAÇÃO APLICADA A AGROINDÚSTRIA, linha de pesquisa – Computação Aplicada à Agricultura, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – PPGTCA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabiana Costa de Araujo  
Schutz (UTFPR- PPGTCA) - *Orientadora*

---

Prof. Dr. Pedro Luiz De Paula Filho  
(UTFPR- PPGTCA) – *Co-Orientador*

---

Dr. Camillo Freddy Mendonza Morejon  
(UNIOESTE) – *Membro titular externo*

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla Adriana Pizarro Schmidt  
(UTFPR-PPGTCA) – *Membro titular*

---

Prof. Dr. Augusto Luchese  
(UTFPR-PPGTCA) – *Membro suplente*

---

Prof. Dr. Claudio Leones Bazzi  
(UTFPR-PPGTCA) – *Coordenador*

“A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS PARA O AGRONEGÓCIO”

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus.

A meus pais José e Lucia, pelos ensinamentos e principalmente pela vida.

A minha esposa Simone, pelo apoio nos momentos difíceis.

Aos meus filhos Lívia e Enzo, pela motivação em lutar.

Ao meu irmão Yan, meus tios Pedro e saudoso Leovindo, pelas palavras e pelo estímulo em sempre lutar.

A minha orientadora Fabiana, por apontar a direção a ser seguida, aconselhar e colaborar muito com esta conquista e também meu co-orientador Pedro, pelo conhecimento e disponibilidade em me auxiliar.

A todos os colegas de curso, que compartilharam muitos dias de estudo e atividades.

A todos os demais professores e funcionários.

## RESUMO

COLTRO, Ivan. Tecnologia para o controle químico de plantas invasoras. 2017. Projeto de pesquisa (Mestrado Acadêmico em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – PPGTCA. Medianeira, 2017.

A agricultura brasileira desenvolve um papel muito importante na economia nacional e melhorar os processos de produção é algo que se busca continuamente. Métodos que auxiliem o manejo adequado das culturas visando uma maior produtividade e redução de custos é algo imprescindível para uma agricultura mais competitiva. O controle de plantas invasoras está entre os fatores que mais influenciam na lucratividade de uma cultura, pois se realizada de modo ineficiente, pode inviabilizar a atividade. O uso de sensores que automatizam alguns dos diversos processos realizados no campo vem tomando força na agricultura moderna e contribuindo para as produções recordes registradas atualmente, mas que na maioria dos casos são inacessíveis a grande maioria dos produtores. Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo que automatiza o processo de aplicação controlada de herbicida, com um custo 13,53% em relação aos principais equipamentos comerciais que realizam tal função. Trata-se de um equipamento desenvolvido com *hardware* e *software* livre, que realiza a captura e processamento digital de imagens, promovendo a identificação de plantas invasoras e aplicação localizada de herbicidas não seletivos. A coleta das imagens é realizada por uma *webcam* controlada pela placa Raspberry, que também realiza o processamento digital destas imagens com o auxílio do *software* Opencv. O equipamento possui também uma válvula solenoide que controla o fluxo de herbicida. Toda a construção e testes foram realizados no município de Vera Cruz do Oeste, no Paraná. A velocidade máxima obtida nos testes foi de 4 km/h, pouco se comparado aos 25 km/h dos equipamentos comerciais, detectando plantas com área folhar com no mínimo 3 cm<sup>2</sup>, um resultado muito semelhante aos principais equipamentos comerciais presentes no mercado. Apesar da baixa velocidade de operação, o equipamento se mostrou viável em sua utilização, pois pode gerar lucro com a economia de herbicida em aproximadamente dois anos, dependendo da área e grau em que se dá a utilização do equipamento.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Impacto ambiental. Reconhecimento de imagens. Pulverização agrícola. Automatização.

## ABSTRACT

COLTRO, Ivan. Technology for the chemical control of invasive plants. 2017. Projeto de pesquisa (Mestrado Acadêmico em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – PPGTCA. Medianeira, 2017.

Brazilian agriculture plays a very important role in the national economy and improving the production processes is something that is continuously sought. Methods that help the proper management of crops for greater productivity and cost reduction are essential for a more competitive agriculture. The control of invasive plants is among the factors that most influence the profitability of a crop, because if it is carried out in an inefficient way, it can make the activity unfeasible. The use of sensors that automate some of the various processes carried out in the field has been taking hold in modern agriculture and contributing to the record productions currently recorded, but in most cases are inaccessible to the great majority of producers. In this work a prototype was developed that automates the process of controlled application of herbicide, with a cost of 13.53% in relation to the main commercial equipment that perform such function. It is an equipment developed with hardware and free software, which performs the digital capture and processing of images, promoting the identification of invasive plants and localized application of non-selective herbicides. The images are collected by a webcam controlled by the Raspberry card, which also performs the digital processing of these images with the help of Opencv software. The equipment also has a solenoid valve that controls the flow of herbicide. All the construction and tests were carried out in the municipality of Vera Cruz do Oeste, Paraná. The maximum speed obtained in the tests was of 4 km / h, little compared to the 25 km / h of commercial equipment, detecting plants with leaf area with at least 3 cm<sup>2</sup>, a result very similar to the main commercial equipment present in the market. In order to achieve a low operating speed, the equipment proved to be viable in its use, since it can generate profit from the herbicide economy in approximately two years, depending on the area and degree of use of the equipment.

**Keywords:** Precision Agriculture. Environmental impact. Recognition images. Agricultural spraying. Automation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Interação entre os conceitos de computação.....	18
Figura 2 – Exemplar de buva resistente ao glyphosate em área dessecada. ....	22
Figura 3 - Representação esquemática da mudança genética na população suscetível para uma população resistente, provocada pela pressão de seleção imposta pelo herbicida. ....	23
Figura 4 - Segmentação no espaço de cores RGB para a cor vermelha que variam dentre as varias tonalidades selecionadas em um retângulo dentro da imagem colorida.....	29
Figura 5 - Demonstração de como o sensor foi construido, seus componentes e funcionamento.....	38
Figura 6 – Exemplar de capim amargoso, resistente ao principio ativo do glifosato aplicado na área.....	40
Figura 7 - Raspberry Pi 3 Model B. ....	41
Figura 8 - Camera Web Logitech, modelo C270. ....	42
Figura 9 – Módulo relê. ....	42
Figura 10 – Válvula Solenoide.....	43
Figura 11 – Circuito regulador de tensão com LM7805.....	44
Figura 12 – Esquemático para o circuito regulador de tensão. ....	44
Figura 13 – Ventilador. ....	45
Figura 14 – Filtro de espuma utilizado pelo Herbi-TEC.....	45
Figura 15 – Dimensões da caixa construída para armazenar parte dos componentes do Herbi-TEC. ....	46
Figura 16 – Disposição dos componentes dentro da caixa que forma o Herbi-TEC. 1 – Ventilador; 2 – Regulador de tensão; 3 – RaspberryPi; 4 – Modulo relê; 5 – Camera web USB; 6 – Filtro de ar.....	47
Figura 17 – Parte traseira do equipamento, onde são apresentados os componentes e as suas respectivas medidas. ....	48
Figura 18 – Detalhes da parte de baixo do equipamento. (a) braçadeira; (b) orifício por onde é realizada a captura de imagens. ....	49
Figura 19 – Ligação da válvula solenoide do Herbi-TEC com o pulverizador. ....	50
Figura 20 – Representação atraves de um fluxograma dos processos e métodos utilizados nos testes. ....	51



Figura 21 – Área dos experimentos com cobertura de aveia dessecada. ....	54
Figura 22 - Área dos experimentos com a terra preparada utilizando gradagem. ....	54
Figura 23 – Teste referente à economia de herbicida na aplicação com o Herbi-Tec em relação a aplicação de área total; (a) recipiente coletor fixado ao bico de pulverização do Herbi-Tec; (b) recipiente coletor fixado ao bico de pulverização em área total. ....	56
Figura 24 - Sensor montado, pronto para realização de testes. ....	58
Figura 25 (A) Imagem capturada pela camera no formato BGR. (B) Conversão da imagem A para o canal de cor HSV “ <i>COLOR_BGR2HSV_FULL</i> ”. (C) Imagem após aplicação de determinado limiar “ <i>INRANGE</i> ”, apresentando pontos falso positivos. (D) Imagem após a aplicação da técnica de erosão, onde permanecem os pontos referentes a erva daninha encontrada. ....	60
Figura 26 – Planta daninha com aproximadamente 1 cm <sup>2</sup> de área foliar, detectada pelo equipamento. ....	62
Figura 27 – Área 2 dias após a aplicação de Gramocil com o prototipo Herbi-Tec, com economia de 54,4% de calda aplicada. ....	62
Figura 28 – Teste de aplicação com Herbi-Tec a esquerda e aplicação em area total a direita. ....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aspectos de Resistência de plantas invasoras a herbicidas .....	22
Tabela 2 – Custo dos componentes utilizados na montagem do Herbi-Tec e seu custo total.....	64
Tabela 3 - Preço por litro de herbicida utilizado na dessecação, quantidade utilizada e custo por hectare deste mesmo herbicida.....	65

## LISTA DE SIGLAS

A – Ampère;  
BGR – *Blue, Green, Red*;  
Chip - Circuito Integrado;  
cm<sup>2</sup> – Centímetros quadrados;  
cm - Centímetros;  
DNA - *Deoxyribonucleic Acid*;  
fps – Frames por segundo;  
Gb – *Gigabytes* (1 bilhão de bytes);  
GHz – *Giga-Hertz*;  
Glyphosate - (N-(fosfonometil) glicina, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>5</sub>P);  
GNSS – *Global Navigation Satellite System*;  
GPIO – *General-Purpose Input-Output*;  
Hd – *High Definition*;  
HDMI – *High Definition Multimedia Interface*;  
HSV – *hue* (matiz), *saturation* (saturação), *value* (valor);  
i2c – *Inter-Integrated Circuit*;  
IDE – *Integrated Development Environment*;  
IR – *Infrared*;  
kgf – QuiloGrama Força;  
km/h – Quilômetros por hora;  
LIBSVM - *Library for Support Vector Machines*;  
Megapixel – Milhões de pontos que formam uma imagem;  
mA – Miliampere;  
MDF - *Medium Density Fiberboard*;  
mw – MiliWatts;  
OGMs - Organismos Geneticamente Modificados;  
OpenCv - *Open Source Computer Vision Library*;  
RAM – *Random Access Memory*;  
RGB – *Red, Blue e Green*;  
SD – *Secure Digital*;  
SOC – *System On Chip*;  
SVM - *Support Vector Machine*;  
USB – *Universal Serial Bus*;  
V – Volts;  
VAC – *VoltAlternatingCurrent*;  
VDC – *VoltDirectCurrent*;  
Webcam – Câmera para internet;  
Wi-fi – *Wireless Fidelity*;

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
2.1	A EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA E SUAS TECNOLOGIAS	15
2.2	PLANTAS INVASORAS RESISTENTES	19
2.3	CONTROLE DE BUVA E CAPIM-AMARGOSO RESISTENTES AO GLIFOSATO EM CULTURAS COMERCIAIS	24
2.4	CATAÇÃO QUÍMICA	25
2.5	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	28
2.6	MICROCONTROLADORES	30
2.6.1	Raspberry	32
2.7	O ESTADO DA ARTE	33
2.8	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E PROPRIEDADE INTELECTUAL	35
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
3.1	AVALIAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIAM NO ESTUDO	37
3.1.1	Determinação do alvo pela reflexão da luz	38
3.1.2	Teste preliminar para determinação do alvo por meio do processamento digital de imagens	39
3.2	DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO HERBI-TEC E SUAS FUNCIONALIDADES	40
3.3	MONTAGEM DO EQUIPAMENTO	46
3.4	DETERMINAÇÃO DO ALVO POR MEIO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	50
3.5	TESTES DO PROTÓTIPO	53
3.6	BUSCA DE ANTERIORIDADES DO ESTADO DA TÉCNICA	56
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>58</b>
4.1	RESULTADO OBTIDO NA DETERMINAÇÃO DO ALVO PELA REFLEXÃO DA LUZ	58
4.2	RESULTADOS PARA A DETERMINAÇÃO DO ALVO POR MEIO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	59
4.3	RESULTADOS DA MONTAGEM DO EQUIPAMENTO E TESTES DE FUNCIONAMENTO DO HERBI-TEC	61
4.4	DESCRIÇÃO DOS CUSTOS DO PROTÓTIPO E DOS COMPONENTES	64
4.5	CUSTO BENEFÍCIO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO	64
4.6	RESULTADOS PARA A BUSCA DE ANTERIORIDADES DO ESTADO DA TÉCNICA	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>69</b>
5.1	TRABALHOS FUTUROS	69
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com aumento da produtividade agrícola, vem a necessidade do aumento da eficiência das áreas já cultivadas com a adoção de novas técnicas de cultivo, com uso intensivo de tecnologias que maximizam a produção, como as plantas geneticamente modificadas, a computação aplicada à produção agrícola, com uso de sistemas embarcados como os receptores GNSS, em máquinas e equipamentos agrícolas, a utilização de novas moléculas na formulação de agroquímicos para um maior e melhor controle de insetos, plantas invasoras e demais malesas que atacam as mais diversas culturas.

É de grande importância o manejo adequado de todas as atividades agrícolas desenvolvidas, visando a maior produtividade, diminuição de perdas na produção e também de custos, que com uma maior rentabilidade do setor, este tende a se aprimorar e buscar novas tecnologias que propiciem uma produtividade cada vez maior. Um fato importante que deve ser observado e que pode ocasionar grandes perdas de produtividade em culturas como milho e soja, por exemplo, é a infestação destas culturas por plantas invasoras causando a competição por luz e nutrientes, diminuindo consideravelmente a produtividade.

O emprego de tecnologias para o aumento da produtividade não deve ser algo limitado a grandes proprietários rurais, que possuem um poder aquisitivo maior, mas também pela maioria composta principalmente por pequenos proprietários, buscando assim a popularização destas tecnologias aplicadas a produção agrícola. Atualmente a tecnologia da computação se encontra presente nos mais variados equipamentos e sistemas utilizados no cotidiano das pessoas, que acabam por usá-la inconscientemente, nas diversas atividades diárias.

Estes sistemas são chamados de sistemas pervasivos, ou também computação pervasiva, assim denominada por se tornar imperceptível ao usuário final, de tal forma que este ao realizar tarefas simples a seu ver, desencadeia operações complexas de computação com alto grau tecnológico empregado (ALENCAR et al., 2013).

Na agricultura esta evolução tecnológica se expande cada vez mais em função da agricultura de precisão, oferecendo soluções para melhorar o desempenho de equipamentos e também da mão de obra, fornecendo maquinários

com *hardware* sofisticados e programas de *software* complexos para executarem de modo maximizado tarefas antes realizadas manualmente que poderiam apresentar alguma deficiência em sua qualidade.

Um exemplo de processo que vem sendo automatizado é a operação de catação das plantas resistentes presentes nos mais diversos cultivos, que anteriormente era realizada de forma manual com a capina, mecânica com a utilização de cultivadores e ainda quimicamente com a aplicação manual de herbicidas específicos ou misturas de vários herbicidas. Tal tecnologia ainda é nova e, portanto, bastante onerosa a grande maioria dos produtores rurais brasileiros.

Um equipamento capaz de automatizar as atividades de aplicação de herbicidas, que a realize de modo dirigido, diretamente no alvo pretendido, realizando a catação química das plantas invasoras presentes na área de aplicação e que seja mais acessível aos pequenos e médios produtores rurais será um equipamento muito importante para a agricultura de um modo geral, para uso nas mais variadas culturas e em diferentes períodos do ano.

O equipamento proposto neste trabalho trata basicamente do modo de aplicação dos agrotóxicos, mais especificamente de herbicidas utilizados na catação química de plantas invasoras após a dessecação pré-plantio ou mesmo na dessecação pré-plantio quando conveniente, que com o surgimento de cada vez mais espécies que apresentam tolerância ao glifosato, este procedimento vem se tornando muito comum.

O intuito deste equipamento é propor uma solução ao uso excessivo de agrotóxicos que vem ocorrendo no país de um modo geral, focando no uso de herbicidas utilizados no pré-plantio, promovendo a diminuição da contaminação das águas, do solo e do meio ambiente como um todo, bem como diminuir os problemas de saúde causados por tais agrotóxicos nas pessoas, tanto as que trabalham diretamente com manuseio e aplicação do produto, quanto as que consomem o que é produzido da agricultura, com a diminuição de resíduos.

## 1.1 OBJETIVOS

Neste item serão descritos os objetivos pretendidos com este trabalho, as principais etapas que serão executadas e o que se deseja obter no final do processo de desenvolvimento desta dissertação.

### 1.1.1 Objetivo geral

Identificar métodos de processamento digital de imagens capazes de identificar plantas invasoras em imagens capturadas nas áreas agrícolas e desenvolver um protótipo de relativo baixo custo, que realiza a aplicação de herbicida de modo dirigido onde ele é necessário. Avaliar o potencial inovador do equipamento desenvolvido e realizar o registro de patente do mesmo.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Desenvolver um dispositivo que realize o reconhecimento de plantas verdes ou em meio aos demais materiais depositados em uma lavoura de plantio direto, utilizando microcontroladores, câmera de vídeo, reles, sensores, válvulas e linguagem de programação C;

Montar um equipamento com os vários dispositivos utilizados juntamente com a lógica necessária para seu funcionamento;

Avaliar o desempenho do equipamento desenvolvido por meio de testes e levantar os resultados de economia de agrotóxico que a utilização do equipamento proporciona;

Avaliar o potencial inovador do protótipo.

Realizar a proteção intelectual do protótipo desenvolvido, por meio de patente.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pretende-se com o apoio da literatura existente, levantar informações sobre a agricultura brasileira e mundial, seus desafios e oportunidades, bem como as tecnologias utilizadas e os problemas encontrados no dia a dia da produção de alimentos. Munir-se de informações, para que com estas seja possível propor soluções eficientes e economicamente viáveis a problemas enfrentados pela agricultura atual, possibilitando uma diminuição de custos e efetivando a produção agrícola.

### 2.1 A EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA E SUAS TECNOLOGIAS

O aumento da população mundial gerou uma necessidade no aumento do volume de alimento cultivado. Atualmente, segundo a OCDE–FAO (2015), 40% da superfície terrestre são usadas para a agricultura. Uma área de 16 milhões de quilômetros quadrados, o tamanho da América do Sul, é dedicada aos cereais; 30 milhões de quilômetros quadrados, a superfície da África, são pastos. Os melhores solos, os mais férteis, já são cultivados. Em diversas regiões não existem mais reservas de terra passíveis de utilização para produção de alimentos.

No Brasil, a produção total do fator (PTF) agrícola, mais que dobrou seu volume de produção desde os anos de 1990. Entre 172 países estudados pelo USDA, o Brasil se encontra na posição de número 12, se consagrando e ganhando destaque como uma das nações com o melhor desenvolvimento agrícola do mundo, contabilizando um crescimento médio de 3,5% ao ano entre 1975 e 2013 e melhorando este percentual no início deste século, chegando a 4% (OCDE–FAO, 2015).

É possível perceber que agricultura evoluiu muito nos últimos anos e ainda continua evoluindo nos dias de hoje, com a aplicação cada vez maior de novas tecnologias, novas práticas agrícolas, melhoramento das espécies cultivadas dentre outras ações que foram e continuam sendo desenvolvidas.



Para Sepulcri e Paula (2004), tal evolução tem acontecido em âmbito global, não sendo este um processo apenas ocorrido no Brasil e se dá pela utilização cada vez maior de tecnologias, insumos, máquinas e equipamentos bem como também, de mão de obra especializada.

A evolução agrícola pode ser entendida como uma mudança na base técnica utilizada, na qual se aplica ciência e conhecimento para alcançar produtividades cada vez maiores, deixando para trás a agricultura artesanal com grande uso de mão de obra humana, com equipamentos rudimentares, dando lugar a nova agricultura, esta mecanizada, assemelhando-se muito às indústrias, que adquirem determinados insumos e produzem matéria-prima para outros domínios da cadeia produtiva. (SEPULCRI; PAULA, 2004).

Esta nova agricultura teve no ano de 1983, um grande marco em sua história, a aprovação de patentes para plantas geneticamente modificadas por meio do uso de biotecnologia (CARRER; BARBOSA; RAMIRO, 2010).

A utilização da transgenia das plantas foi um marco muito importante no desenvolvimento e evolução da agricultura, possibilitando a atribuição de diferentes características a diversas espécies agricultáveis (CARRER; BARBOSA; RAMIRO, 2010).

Segundo Santos, Fernandes e Fernandes (2012), o Brasil foi um dos primeiros países do mundo a ter uma lei que regulamenta as questões envolvidas com os “Organismos Geneticamente Modificados” como os transgênicos, conhecida como a lei de Biossegurança.

O uso da biotecnologia se deu primeiramente de forma a promover o bem-estar humano e animal por meio da criação de medicamentos utilizados para combater as mais diversas doenças, fato este que se deu a partir da Segunda Guerra Mundial com a descoberta da penicilina, apesar de que, considerando usos mais rudimentares, a biotecnologia é utilizada há milhares de anos na fermentação de pães e fabricação de bebidas (CARRER; BARBOSA; RAMIRO, 2010).

Conforme Carrer, Barbosa e Ramiro (2010), o avanço maior para o uso da biotecnologia na agricultura aconteceu com a possibilidade de se realizar o sequenciamento do DNA e a utilização do DNA recombinante, ocorrido na década de 1970, que viabilizou o uso de transgenia nas plantas, possibilitando assim “obter novas características agrônomicas e nutricionais desejáveis nos cultivos de plantas”.

O uso de biotecnologias na agricultura possibilitou o desenvolvimento de plantas geneticamente modificadas, resistentes a herbicidas e mais tolerantes a intemperes climáticos, doenças e patógenos, contribuindo assim para o aumento de produção, diminuição de perdas e custos, facilitando a aquisição e consumo de alimentos pela população de modo geral (GOMES; BORÉM, 2013).

Para Gomes e Borém (2013), o aumento na utilização de plantas geneticamente modificadas está justificado no seu maior rendimento e diminuição de perdas decorrentes do ataque de pragas e resultantes também da concorrência com ervas invasoras, por água e nutrientes.

No ano de 1998 foi registrado por Carrer, Barbosa e Ramiro (2010), como o ano em que a soja transgênica resistente a herbicidas foi liberada no Brasil pela primeira vez e que em seguida esta liberação foi revogada por determinação judicial.

Conforme James (2014), o cultivo de plantas geneticamente modificadas no mundo durante o ano de 2014, teve crescimento pelo décimo nono (19º) ano consecutivo, chegando a 181 milhões de hectares.

Para Gazziero et al. (2014), com o aumento gradativo no cultivo de transgênicos que fazem uso em muitas vezes de apenas um princípio ativo de herbicida no controle de plantas invasoras, trouxe consigo problemas de resistência aos herbicidas utilizados.

Segundo Mariani et al. (2014), no estado do Paraná, na maioria dos anos o inverno se apresenta com temperaturas relativamente altas, propiciando o desenvolvimento de ervas invasoras muitas vezes resistentes, pois é possível que ocorra o aparecimento de até quatro gerações destes indivíduos em apenas um ano, aumentando assim o seu banco de sementes e dificultando ainda mais o seu controle.

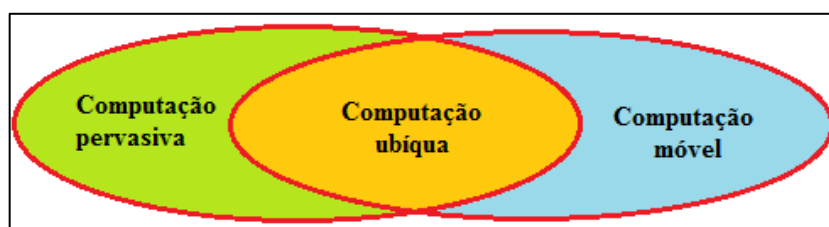
É notável que as diversas mudanças trazidas pela adoção de cultivares geneticamente modificados, mais resistentes e produtivos, trouxeram consigo alguns problemas como a resistência de algumas ervas invasoras aos herbicidas utilizados, sendo necessária a adoção de novas técnicas de cultivo, visando contornar estes problemas na propriedade.

Uma alternativa para a evolução dos sistemas que subsidiam a produção agrícola é a utilização de técnicas computacionais, que permitem a automação de tarefas facilitando os processos agrícolas. Estes sistemas são

chamados de sistemas pervasivos, ou também computação pervasiva, assim denominada por se tornar imperceptível ao usuário final, de tal forma que este ao realizar tarefas simples a seu ver, desencadeia operações complexas de computação com alto grau tecnológico empregado. Sendo assim, Kirschner (2012), desenvolveu um sistema auxiliar que possibilita a coleta de dados em um dispositivo móvel que sincroniza automaticamente com servidores, permitindo o processamento dos dados coletados e a realização de análises sobre estes dados, desta forma auxiliando o produtor rural na tomada de decisão.

Para Oliveira (2012), sistemas de computação pervasiva são capazes de interagir com o meio onde se fazem presentes, obtendo informações por meio de sensores e modificando este meio com a utilização de atuadores.

Segundo Alencar et al. (2013), a computação pervasiva se faz presente quando existem dispositivos computacionais espalhados no ambiente, cada um com sua função específica. Conforme a Figura 1, computação pervasiva, móvel e ubíqua, são três indivíduos distintos que não podem ser confundidos, mas que compartilham de algumas ideias (OLIVEIRA, 2012). Existem vários estudos que demonstram a inclusão de sistemas pervasivos nas rotinas diárias em várias áreas.



**Figura 1 - Interação entre os conceitos de computação**  
Fonte: Adaptado de Alencar et al. (2013).

Na área da saúde, por exemplo, Copetti, Leite e Loques (2011), monitoraram a distância dados ambientais, fisiológicos e comportamentais, para a identificação em tempo real e contínua de situações críticas de um paciente idoso. Tais características propõem um mecanismo de decisão para inferência de contexto em aplicações de monitoramento de saúde. O trabalho define um modelo denominado de Decisão, dos quais derivam dois módulos principais: um Módulo de Inferência que reconhece situações críticas e um Módulo de Aprendizado que propõem ajustes no mecanismo de inferência.

Esta evolução nas atividades agrícolas direcionou os grandes produtores para uma nova realidade chamada, agricultura de precisão. Uma definição de agricultura de precisão foi feita por Inamasu e Bernardi (2014), a qual se trata de um mecanismo de controle e gestão que leva em consideração diversas variáveis espaciais presentes nas lavouras, no intuito de buscar a sustentabilidade ambiental, bem como para as pessoas envolvidas, tanto no âmbito social como no econômico.

Com todos esses avanços, vieram também alguns problemas específicos encontrados no cultivo dos organismos geneticamente modificados, que, ao ser realizado o cultivo da soja transgênica, por exemplo, se faz uso de praticamente um único princípio ativo de herbicida, que neste caso específico é o glifosato. Com este uso intensivo do glifosato, associado ao manejo inadequado da lavoura por parte do produtor rural, algumas espécies de plantas invasoras sofreram uma seleção natural, permanecendo na lavoura após as aplicações de herbicida apenas os indivíduos resistentes, que se proliferam causando danos às culturas e perda de produtividade, além de onerar o processo (GAZZIERO et al., 2014). Segundo Velini (1987), existe ainda a competição por espaço que é de difícil quantificação e compreensão, podendo-se, contudo, admiti-la quando uma determinada planta é forçada a assumir uma arquitetura que não lhe é característica.

## 2.2 PLANTAS INVASORAS RESISTENTES

As plantas invasoras podem ser classificadas como resistentes quando, em uma aplicação de herbicidas com doses normais, recomendadas em bula para tal planta, não promove o efetivo controle, fato que deve ser diferenciado dos casos em que as aplicações são realizadas de modo inadequado, com dosagens de herbicida fora do recomendado, geralmente subdoses, causando a sobrevivência das plantas (GAZZIERO et al., 2014).

Não deve ser confundida a tolerância com resistência das plantas aos herbicidas, na qual a primeira acontece quando determinada população apresenta tolerância natural ao herbicida aplicado, como é o caso da *Ipomoea spp* (Corda-de-violão), que nunca foi controlada pelo herbicida glifosato. A resistência pode ser

explicada como aptidão adquirida por determinada planta em resistir à aplicação de herbicida na dose recomendada e em condições normais, que seria eficaz no controle dos demais indivíduos não resistentes da mesma população (VARGAS; ROMAN, 2006).

Christoffoleti et al. (2008), trazem uma definição muito bem elaborada para explicar como ocorre a resistência das ervas invasoras aos herbicidas. Segundo eles é “a capacidade inerente e herdável de alguns biótipos, dentro de uma determinada população, de sobreviver e se reproduzir após a exposição à doses de um herbicida, que normalmente seria letal a uma população normal da mesma espécie”.

O biótipo no que diz respeito a uma planta daninha resistente, pode ser descrito como a planta que possui uma característica genética um pouco diferente dos demais membros da população, que por sua vez mantém uma carga genética muito semelhante entre seus indivíduos (INOUE; OLIVEIRA, 2011). Tal característica apenas se difere da população no tocante aos genes responsáveis pela característica da resistência (MONSANTO, 2015).

Para Inoue e Oliveira (2011), existem três mecanismos capazes de influenciar na resistência de ervas invasoras e também nas ações causadas pelo herbicida nestas plantas, que são a alteração do local de ação do herbicida, na qual a planta sofre algum tipo de mutação em sua estrutura interna, impossibilitando a penetração do produto aplicado; o aumento da capacidade de metabolização do herbicida, que é a habilidade de a planta resistente metabolizar o produto muito mais rápido que as da mesma espécie susceptíveis, incapacitando sua função antes que cause danos; e o compartilhamento, em que a planta isola as moléculas químicas em partes inativas de seu interior, distantes de onde o produto deveria agir, inviabilizando este.

Desde que a agricultura começou a se desenvolver mais rapidamente no Brasil, a partir da década de 1970, muitas espécies de ervas invasoras vem sendo selecionadas e aumentando seus bancos de sementes devido à aplicação de herbicidas com mesmo princípio ativo, mesmas doses, repetidas vezes em uma mesma área (GAZZIERO et al., 2014).

Os relatos das primeiras plantas que apresentavam resistência foram feitos em 1957 no Havaí, como foi descrito por Gazziero et al. (2014), onde a

incidência de *Commelina diffusa* (trapoeraba) em meio a plantações de cana de açúcar, não era mais controlada efetivamente por um tipo específico de herbicida.

Várias espécies de plantas invasoras já apresentam resistência à aplicação de glifosato, que é o principal produto utilizado no cultivo da soja transgênica. Esta tecnologia no ano de 2005 tornou viável o cultivo da soja visto a alta infestação de plantas invasoras na cultura, diminuindo o custo com herbicida em alguns casos, em até 80% (VARGAS et al., 2011).

Ainda segundo Vargas et al. (2011), no ano de 2011, muitas espécies de plantas invasoras já haviam sido identificadas no mundo, das quais no Brasil estavam presentes dentre estas a *Conyza Canadensis* e *Conyza Bonariensis* (espécies de buva) e a *Digitaria Insularis* (capim-amargoso), espécies que se encontram instaladas também no estado do Paraná.

Gazziero et al. (2014), relata que para o ano de 2014, cerca de 25 espécies de plantas resistentes a diferentes princípios ativos de herbicidas já eram conhecidas no Brasil.

No âmbito mundial, este número chega a 236 espécies que são responsáveis por 433 biótipos diferentes, atingindo 82 culturas em 65 países (GAZZIERO et al., 2014).

Conforme Christoffoleti et al. (2008), a seleção natural é um fator amplamente aceito para descrever a resistência das plantas invasoras nas lavouras. Segundo eles, estas plantas têm em geral baixa infestação nas áreas, e quando se realiza a aplicação de herbicida, estas são selecionadas e se desenvolvem mais rapidamente pela não concorrência e competição dos demais indivíduos de sua espécie que são susceptíveis ao efeito do agrotóxico, aumentando assim o seu banco de sementes.

De modo geral, a infestação por plantas invasoras resistentes só é percebida quando esta atinge o nível de aproximadamente 30% do total das plantas invasoras daquela espécie, presentes na área (CHRISTOFFOLETI et al., 2008).

Em seus estudos, Inoue e Oliveira (2011), demonstram por meio de dados em uma tabela (Tabela 1), que com apenas 10% de plantas resistentes, que não são controladas por herbicidas, já se torna um problema perceptível e ocorre aproximadamente no quinto ano.

**Tabela 1** - Aspectos de Resistência de plantas invasoras a herbicidas

Ano	Nº de plantas resistentes	Nº de plantas sensíveis	% de controle	Evolução
0	1	1.000.000	99,9999	Imperceptível
1	5	100.000	99,999	Imperceptível
2	10	10.000	99,99	Imperceptível
3	100	1.000	99,9	Imperceptível
4	1.000	100	99	Imperceptível
5	10.000	10	90	Pouco perceptível
6	100.000	5	80	Perceptível
7	1.000.000	1	50	Evidente

**Fonte:** Inoue e Oliveira (2011).

Como pode ser observado na Figura 2, as aplicações sucessivas de herbicida glifosato selecionaram a espécie resistente de buva, que se não for controlada se reproduzirá aumentando o banco de sementes e causará grandes danos a cultura implantada na área, com posterior agravamento do quadro para a safra seguinte (MOREIRA et al., 2010).

A aplicação de um herbicida específico para o controle destas espécies de plantas daninhas nas condições apresentadas na imagem, se torna onerosa com o uso de pulverizadores comuns, visto que estes aplicam o produto de forma homogênea em toda a área, causando o desperdício de um grande volume de calda.



**Figura 2** – Exemplar de buva resistente ao glyphosate em área dessecada.

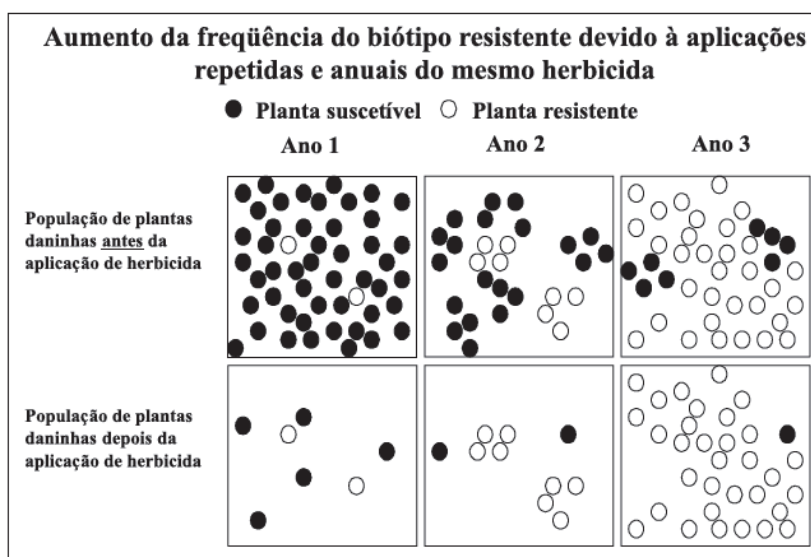
**Fonte:** CAMPO&NEGOCIOS (2015).

Foram encontradas ocorrências de buva resistente ao glifosato desde 2005 na região sul do Brasil (VARGAS et al., 2011).

Segundo Vargas et al. (2007), que avaliou a resposta de uma população de plantas de buva a glifosato, concluiu que, de forma geral, o biótipo resistente mostra baixa resposta ao herbicida glifosato, mesmo se este for empregado em doses elevadas, evidenciando ter adquirido resistência a esse produto.

Segundo Lazaroto (2008), a ampla distribuição geográfica das espécies de buva sugere que possui poucas limitações climáticas. A espécie tolera bem condições de deficiência hídrica e continua crescendo e produzindo sementes em condições estressantes para o desenvolvimento de culturas de interesse econômico, tornando o seu manejo mais difícil.

. A Figura 3 exemplifica mudança genética na população suscetível para uma população resistente, provocada pela pressão de seleção imposta pelo herbicida.



**Figura 3 - Representação esquemática da mudança genética na população suscetível para uma população resistente, provocada pela pressão de seleção imposta pelo herbicida.**

**Fonte: Christoffoleti et al. (2008).**

Uma forma de manejar as áreas em início de infestação seria aplicando o processo de catação destas plantas, com a extração de forma manual ou com aplicação de herbicida específico de forma direcionada. Tais operações necessitam



de mão de obra adequada, que na maioria dos casos é difícil de ser encontrada, ou também com a utilização de equipamentos específicos.

### 2.3 CONTROLE DE BUVA E CAPIM-AMARGOSO RESISTENTES AO GLIFOSATO EM CULTURAS COMERCIAIS

O manejo e controle das plantas invasoras presentes nas áreas destinadas ao cultivo comercial, como a soja, por exemplo, deve ocorrer de forma contínua, durante todo o ano e não somente as vésperas da implantação da cultura, ou quando esta já se encontra implantada.

Para um controle eficiente, segundo Vargas e Gazierro (2009), o agricultor deve realizar o manejo adequado das áreas cultivadas, evitando deixar as áreas em pousio sem nenhuma cobertura vegetal, pois facilita a ocorrência e proliferação destas espécies resistentes ao glifosato.

Para o controle de buva, Vargas e Gazierro (2009), recomendam uma combinação de herbicidas com diferentes fórmulas aplicados em diferentes períodos, que segundo eles, trazem um controle satisfatório destas plantas invasoras. Na dessecação pré-plantio, uma combinação de glifosato e 2,4-D (produto comercial) a uma dosagem de  $3,0 \text{ L ha}^{-1}$  (em uma concentração de 36% de produto comercial) e  $2,0 \text{ L ha}^{-1}$  respectivamente, serão aplicados na área com infestação de buva. No período de 10 a 15 dias após esta aplicação e dois dias antes da semeadura da cultura, se faz necessário o uso de dicloreto de paraquate na dosagem de  $2,0 \text{ L ha}^{-1}$  de produto comercial, acompanhado de um espalhante adesivo na proporção de 0,1% sobre a calda de aplicação (VARGAS; GAZIERRO, 2009).

Para o controle do capim-amargoso, resistente ao glifosato, Melo et al. (2012) sugerem a utilização de glifosato juntamente com *clethodim*, formando uma mistura sinérgica, na dosagem de  $1440 \text{ g i.a. ha}^{-1}$  ( 4L de Randup Original) e  $180 \text{ g i.a. ha}^{-1}$  (770ml de Select) respectivamente, que segundo seus estudos apresentaram resultados satisfatórios.

Outras recomendações de aplicação indicam uma dosagem de  $1440 \text{ g i. a. ha}^{-1}$  de glifosato juntamente com  $0,45 \text{ L ha}^{-1}$  de Select (produto comercial para

Clethodim) em plantas que estejam em uma fase vegetativa não superior a 20 cm de altura. Para esta aplicação, é recomendado o uso de óleo mineral como adjuvante com dosagem de 0,5% do total da calda de aplicação (GEMELLI; OLIVEIRA; CONSTANTIN, 2013).

Segundo Lazaroto (2008), não se pode descartar o emprego do controle químico. Não será apenas com práticas culturais que se conseguirá resolver plenamente o problema das infestações de buva, assim como o uso tão somente de herbicidas poderá não viabilizar sua eliminação. A adoção de práticas culturais eficientes e diversificadas pode levar ao menor uso de herbicidas, seja em número de produtos, de aplicações ou mesmo de doses. Contudo, dificilmente poder-se-á prescindir dos herbicidas. O problema da resistência de plantas invasoras não compromete o método químico de controle em si, mas, frequentemente, advém do uso incorreto que se faz de determinados herbicidas ou da técnica inadequada de sua utilização.

A adoção de elevado nível tecnológico de manejo pode minimizar os efeitos negativos provocados pelas espécies de buva, diminuindo, desse modo, a dependência em herbicidas e reduzindo os custos da lavoura, mas mantendo elevado o potencial de produtividade de grãos. Esse fato decorre, do reconhecimento da importância negativa das espécies invasoras, assim como da necessidade de se racionalizar o uso desses agroquímicos. (LAZAROTO, 2008).

## 2.4 CATAÇÃO QUÍMICA

Uma das operações comuns no controle de plantas invasoras é a de “catação” ou “repasse”, que consiste no uso de herbicidas aplicados após o controle químico efetuado em área total, com uso de máquina costal manual. Esta operação objetiva a diminuição da competitividade das ervas invasoras com as culturas comerciais.

A catação química de plantas invasoras é uma prática já utilizada largamente em cultivos de cana de açúcar e vem crescendo muito com o advento da colheita da cana crua ou colheita mecanizada, visto que, após a realização da manutenção tradicional da lavoura, com a aplicação de herbicidas em toda a área de

modo homogêneo, muitas plantas permanecem, tornando a catação química o método mais indicado para o manejo destas plantas pois dispensam a aplicação em toda a área (MELO et al., 2013).

Para Ferreira et al. (2010), com a colheita da cana de açúcar sendo realizada de forma mecânica, as aplicações de herbicidas de forma localizada, dirigida, diretamente na planta que se pretende atingir, se tornou uma tendência, na qual em muitos casos, a área cultivada possui uma infestação baixa de plantas invasoras, as quais se encontram espaçadas, distantes umas das outras, inviabilizando economicamente a aplicação de herbicidas no total da área, pelo seu alto custo.

Rodrigues, Abi Saab e Gandolfo (2011), compararam diferentes taxas de aplicação do glifosato quanto à eficiência no controle e à deposição da calda em plantas invasoras na operação de “repasso” ou “catação”. Os resultados indicaram uma redução significativa nos volumes de calda aplicada, quando realizada por meio da catação química.

Na maioria dos casos, a aplicação de herbicidas na catação química de plantas invasoras é feita de forma manual, na qual o aplicador realiza a observação do local, identificando visualmente a planta daninha a ser eliminada e realizando a aplicação dos agrotóxicos indicados para o controle. Este trabalho pode colocar em risco a saúde do trabalhador rural, que ao realizar tal tarefa fica mais vulnerável a contaminação por agrotóxicos.

Ferreira et al. (2010) mencionam que a catação química de plantas invasoras traz consigo o aumento do uso de equipamentos como os pulverizadores costais e pistolas de aplicação manual acopladas a pulverizadores, equipamentos estes que são utilizados em trabalhos manuais.

Para Heap e Trengove (2008), a aplicação de herbicida de forma variável tem se mostrado uma opção muito boa para a agricultura moderna, no que diz respeito a diminuição de custos e preservação do meio ambiente, visto que, o comum na aplicação de herbicidas é pulverizar a área toda de modo homogêneo, desconsiderando os locais onde não existe nenhum tipo de planta invasora.

Várias pesquisas são realizadas na Austrália, onde existe a ocorrência de azevem e aveia selvagem resistentes a ação de alguns herbicidas, sendo que nestes casos, é feita uma aplicação de herbicidas mais baratos para um controle total e posteriormente feita a aplicação localizada nas plantas resistentes com

herbicidas específicos, mais caros, apresentando resultados muito bons (HEAP; TRENGOVE, 2008).

Existem no mercado, alguns equipamentos sofisticados, construídos com o emprego de alta tecnologia, capazes de realizar a identificação e aplicação localizada de herbicida diretamente onde este é necessário. O WeedSeker<sup>®</sup>, com tecnologia americana (TRIMBLE, 2016), é um equipamento que realiza a identificação das plantas presentes na cultura, por meio da emissão de luz infravermelha e captura da refletância desta luz pela planta. O WeedIt<sup>®</sup>, com tecnologia Holandesa (WEEDIT, 2016), tem um funcionamento muito parecido com o anterior, mas trabalha com a emissão de luz vermelha. Estes são exemplos de equipamentos que já são comercializados e que por possuírem tecnologia estrangeira e de alta complexidade, praticamente são inacessíveis a maioria dos produtores rurais brasileiros.

Araújo (2016) menciona que o produtor rural pode instalar o equipamento WeedIt<sup>®</sup> em seu pulverizador, variando o investimento em função do tamanho de sua máquina que pode variar entre 12, 22, 30, 32 ou 36 metros de largura.

WeedIt<sup>®</sup> e WeedSeker<sup>®</sup>, que são os principais equipamentos existentes no mercado, referência na aplicação localizada de herbicida, de modo controlado, determinam que estes são eficientes na detecção de plantas com área foliar acima de 3 cm<sup>2</sup> (SMARTSENSING, 2016), (BAILLIE et al., 2013).

O equipamento WeedIt<sup>®</sup> pode atingir a velocidade máxima de operação de 25km/h, demonstrando sua capacidade de detecção mesmo em velocidades relativamente altas, propiciando grandes rendimentos na aplicação controlada de herbicida (SMARTSENSING, 2016).

Ainda conforme Araújo (2016), o custo de um sensor instalado que realiza o controle de um metro na barra de pulverização, fica em torno de US\$ 5.000,00 (cinco mil dólares), que representam cerca de mais de R\$ 15.000,00 (quinze mil reais) na cotação atual do dólar, uma tecnologia relativamente cara, mas que dependendo da área em que é utilizada, pode trazer retorno em um prazo de pouco mais de um ano com a economia de herbicida, que pode variar de 30% a 70%, dependendo da infestação da área por plantas invasoras.

Neste contexto, o desenvolvimento de alternativas tecnológicas para a catação química, que reduzam os custos dessa aplicação, favorecendo a diminuição

dos volumes de herbicidas utilizados nas principais culturas, assim como, permitindo o acesso de pequenos agricultores a tais tecnologias, é de extrema importância no atual cenário da agricultura.

## 2.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

A manipulação de uma imagem por computador, de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens, é classificada como Processamento Digital de Imagens (PDI). O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

A função mais importante do processamento digital de imagens é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação.

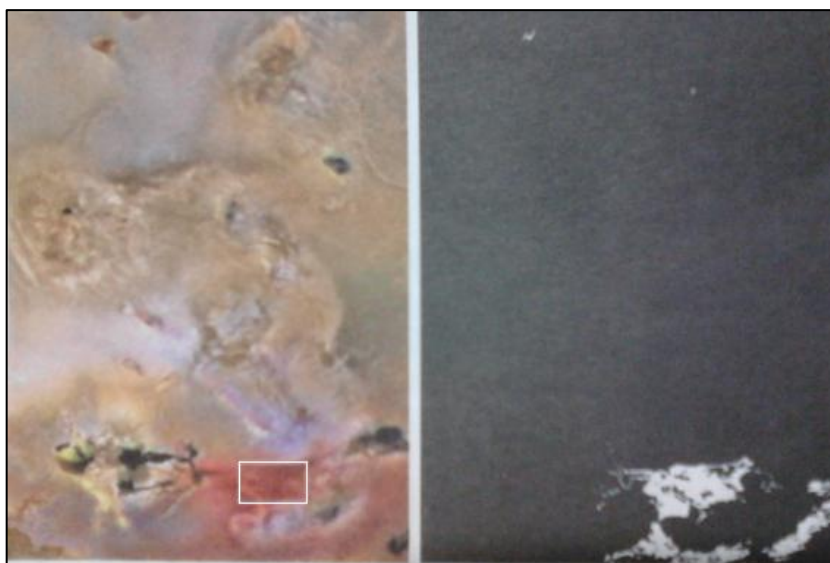
A informação de interesse é caracterizada em função das propriedades dos objetos ou padrões que compõem a imagem. Portanto, extrair informação de imagens envolve o reconhecimento de objetos ou padrões. A maior parte dessa atividade requer grande capacidade de processamento, devido à complexidade dos processos envolvidos.

Segundo Marengoni e Stringhini (2009), o termo processamento de imagens na forma digital pode ser entendido como a utilização de imagens como dados de entrada, seu processamento por um dispositivo eletrônico como um computador e posteriormente resultando em uma informação de saída, que pode ser outra imagem melhorada, com destaque as características desejadas. Alguns tipos de processamentos de imagens são muito utilizados no dia a dia, como a eliminação ou adição de ruído em imagens, aplicação de filtro de cores, dentre outros.

A extração de características de uma imagem é um tipo de processamento em que se obtêm atributos da imagem em questão, transformando estes atributos em números, que por sua vez podem ser comparados, processados e analisados no intuito de identificar a imagem inicial, como desejado (PAULA; TUSSET, 2009).

Conforme Chacon (2012), o processamento digital de imagens é realizado por um processador digital como um computador, no qual se utiliza uma imagem digital de entrada e tendo como saída, a extração simplificada de características desta imagem, que por sua vez é dependente de como as imagens de entrada são capturadas, quais os sensores utilizados, visto que uma imagem de formato digital não restringe seu alcance à apenas o espectro visível ao olho humano.

Gonzales e Woods (2011) conseguiram ótimos resultados na separação de regiões de uma imagem utilizando a segmentação por cores, que consistiu em calcular o desvio padrão das diferentes tonalidades de cores de vermelho, verde e azul que se pretende segmentar. Centralizaram um cubo de cores ao desvio padrão obtido e multiplicando esta medida por 1,25, obteve-se uma variação de cores que serviu de limiar para determinar quais pixels da imagem seriam segmentados. A Figura 4 mostra o resultado do experimento.



**Figura 4 - Segmentação no espaço de cores RGB para a cor vermelha que variam dentro as varias tonalidades selecionadas em um retângulo dentro da imagem colorida.**

**Fonte: Gonzales e Woods (2011).**

Uma das aplicações possíveis do processamento digital de imagens é na agricultura de precisão, objetivando a retirada de ruídos de imagens, a melhoria da qualidade da imagem e a segmentação do objeto de interesse. De forma gradativa, as técnicas de processamento digital de imagens, vêm contribuindo para uma melhor gestão de diversos tipos de recursos e informações. A agricultura de

precisão está cada vez mais se beneficiando dessa nova forma de análise, sendo que novas técnicas de geoprocessamento estão sendo desenvolvidas especificamente para auxiliar a tomada de decisão na agricultura.

Amaral, et al. (2014) analisaram a componente matiz (*hue*) e a partir dela gerou uma classificação de cobertura do solo de um talhão cultivado com algodão. Os resultados comprovaram que a metodologia proposta é capaz de fornecer informações que podem ser relevantes para a gestão adequada de propriedades rurais.

Além das aplicações na utilização de imagens de sensoriamento remoto, é possível aplicar técnicas de processamento digital de imagens para extrair atributos de fotografias que permitam o reconhecimento de padrões específicos de determinadas imagens, possibilitando a automação de processos, a partir da detecção de tais padrões.

Cruvinel e Karan (2010) apresentaram um método baseado em visão computacional para a construção de mapas de aplicação de herbicida em taxa variável, dedicado a plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho. Seus resultados mostraram que a aplicação dessa técnica adequa-se não somente para o controle de plantas invasoras para ganhos de produtividade da cultura, mas também como instrumento para diminuir o impacto econômico e ambiental do uso de herbicidas, com base no uso de mapas de aplicação em taxa variável.

## 2.6 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores podem ser considerados computadores completos, pois possuem um processador, portas de entrada e saída de dados, memórias para armazenamento de dados e programas e também periféricos que aumentam as suas funcionalidades (DENARDIN, 2014).

Para Almeida (2012), os microcontroladores são circuitos integrados inteligentes, constituídos por um processador, memória e linhas de entrada e saída de dados em um mesmo *chip*, capaz de interagir com o meio físico por meio de sua

programação ou recebendo informações, processando-as e retornando os resultados adequados para tal.

A tecnologia dos microcontroladores está mais presente em nossas vidas do que podemos imaginar. Segundo Denardin (2014), uma estimativa feita para o ano de 2010 mostra que em média uma pessoa interagiria diariamente na época com cerca de 250 equipamentos que possuem em sua construção algum tipo de microcontrolador.

Ainda conforme Denardin (2014), a tecnologia dos microcontroladores está presente nos mais variados equipamentos de uso diário, como fornos de micro-ondas, *cd players*, veículos equipados com injeção eletrônica que é microcontrolada, dentre outros. Ele menciona ainda que existem cada vez mais equipamentos voltados também a preservação ambiental, os quais este possuem em sua construção a tecnologia dos microcontroladores.

Dentre os microcontroladores disponíveis no mercado, o Arduino é uma opção eficiente de baixo custo. Trata-se de uma placa de prototipagem simples, baseado em microcontroladores Atmel ATmega8, ATmega168 e ATmega328, com portas de entrada e saída de dados.

É capaz de realizar interações com o meio físico, possui várias extensões obtidas com auxílio de outras placas denominadas de *Shields*, que podem ser acopladas a placa Arduino principal, trazendo diversas novas funcionalidades (ARDUINO, 2015).

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, baseada em *hardware* e *software* de fácil utilização, possibilitando a criação de projetos por iniciantes no mundo da prototipagem, quanto por programadores experientes. A parte de *software* é baseada na linguagem de programação Wiring e a sua IDE baseada em Processing (ARDUINO, 2017).

Segundo Pinto (2011), a plataforma Arduino é formada basicamente por duas partes, o *hardware* que são as placas físicas e o *software* para codificação dos projetos criados pelos usuários. Trata-se de uma plataforma *Open Source* para a reprodução e modificação das partes físicas e também do *software*.

Cunha e Rocha (2015), implementaram um sistema de irrigação automatizado voltado para a agricultura familiar de baixo custo, utilizando a plataforma embarcada Arduino para o controle e monitoramento das variáveis umidade do solo, temperatura e umidade do ar e acionamento da bomba de água.



Concluíram que a automação do sistema de irrigação com tais controladores é viável técnica e economicamente.

Uma das vantagens de utilização da plataforma Arduino, é a sua licença *Creative Commons*, que permite que os usuários façam cópias e reprodução de todo o conteúdo em qualquer formato, modificando, remixando e criando novos materiais baseados nos já existentes, para qualquer fim, mesmo que este fim seja comercial (CREATIVE COMMONS, 2015).

Monteiro, Nunes e Celinski (2012), compararam sensores de condutividade eletrolítica utilizando instrumentos de medidas dedicados como ohmímetros, com dados dos mesmos sensores de condutividade elétrica coletados por meio de um microcontrolador, utilizando a plataforma Arduino, e concluíram que o microcontrolador Arduino, apresentou capacidade para medir as variações da resistência elétrica do solo, correlacionando-se fortemente com as medidas obtidas pelo ohmímetro analógico.

Conforme Pinto (2011), dentre os vários projetos de placas de prototipagem baseadas em um microcontroladores existentes, o Arduino se destaca por ser muito difundido, com um vasto conteúdo encontrado na internet.

### 2.6.1 Raspberry

RaspberryPi é um projeto que surgiu como uma ferramenta para o aprendizado de linguagens de programação para alunos de países menos desenvolvidos, propondo ser um computador completo e de baixo custo (RASPBERRY, 2017b).

RaspberryPi é um pequeno computador completo capaz de realizar as diversas tarefas designadas a computadores de mesa normais, como acessar internet, processar textos, trabalhar com planilhas eletrônicas, reproduzir vídeos em alta qualidade, dentre muitas outras tarefas possíveis. Este SOC é capaz de executar um sistema operacional específico, tornando-o muito semelhante a computadores *desktop* (RASPBERRY, 2017a).

A fundação RaspberryPi é uma instituição de caridade que visa a disponibilização da tecnologia do RaspberryPi por 35 dólares, um custo

relativamente baixo, possibilitando a inclusão digital, a programação e o mundo digital as pessoas com menos condições financeiras (RASPERRY, 2017b).

A RaspberryPi 3, lançada em fevereiro de 2016, é a terceira geração deste SOC, que conta com um processador *quad-core* de 64 bits de 1.2 GHz, *Wi-fi* e *Bluetooth* integrado, 1GB de memória RAM, 4 portas USB, 40 pinos GPIO, Porta HDMI completa, conexão de rede por cabo, saída de áudio e vídeo composto de 3,5 mm, entrada para cartão Micro SD, dentre outras (RASPERRY, 2017c).

Um fato que agrada bastante a grande maioria dos utilizadores da placa é seu *hardware*, composto por 4 portas USB e 40 pinos da interface GPIO, que favorecem a utilização de vários dispositivos simultaneamente como *mouses* teclados, *webcam*, dentre outros dispositivos USB e pela GPIO, os quais possibilitam acionar periféricos como *leds*, motores, cargas com relês, realizar a leitura digital de sensores, comunicação serial, comunicação com o protocolo *i2c*, dentre outras possibilidades.

Uma grande vantagem na utilização desta placa na prototipagem de equipamentos é seu tamanho e sua configuração. Tem o tamanho aproximado de um cartão de crédito, o que facilita sua acomodação e é ideal para a utilização na construção de protótipos pequenos.

Seu consumo de energia também é um ponto importante a ser observado, o qual se mantém com uma voltagem de apenas 5 V e corrente variando entre 500 mA e 2,5 mA, com uma média de consumo para utilizações normais de 1 mA (RASPERRY, 2017d).

## 2.7 O ESTADO DA ARTE

Além dos benefícios produtivos que a realização da catação de plantas invasoras traz a lavoura, existe também a questão econômica com a diminuição dos custos de produção, influenciando no resultado final de todo o processo produtivo.

Vários estudos foram e estão sendo realizados no intuito de automatizar este processo, que na grande maioria dos casos é realizado de forma manual, pela extração das plantas de forma mecânica ou pela aplicação manual de herbicida no local onde ele é necessário.

Santiago et al. (2014), desenvolveram um estudo no qual o objetivo era realizar a identificação de plantas invasoras nas entrelinhas da cultura de milho, bem como segmentar a linha de cultivo e calcular o índice de área coberta por plantas daninhas, por meio do processamento digital de imagens. Para a diferenciação dos objetos verdes presentes na imagem (milho e plantas invasoras) dos demais (restos culturais, palha, pedras e solo), utilizaram o cálculo da distância euclidiana do valor de cada pixel com o valor de verde absoluto e comparando o resultado com determinado limiar. Todos os pixels que se encontravam a uma distância maior que a determinada pelo limiar, eram transformados em pretos, representando o fundo da imagem. Para a eliminação de ruídos e pontos desconectados, bem como agrupar partes distantes, preencher buracos e demais problemas presentes nas imagens já processadas, aplicaram os processos morfológicos de erosão e dilatação. Para determinar a linha de cultivo, aplicaram a transformada de Hough, que utiliza o sistema de coordenadas polares para representação de uma linha reta.

QUEIROZ (2005) realizou dentre outros experimentos, a avaliação de um sistema alternativo ao WeedSeeker<sup>®</sup>, denominado de “sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens”, pertencente a empresa Jacto, para a detecção de plantas daninhas por meio de análise de imagens, aplicável a pulverização de entrelinhas em área com cultivo de eucalipto. Para isso desenvolveu testes comparativos entre um pulverizador convencional e o pulverizador com o novo sistema alternativo, aferindo a capacidade do sistema em detectar plantas com diferentes áreas foliares e arquitetura de folhas em diferentes superfícies. Seu funcionamento se dava pela captura das imagens durante a aplicação do herbicida, por uma câmera, que era interligada a duas placas de circuito eletrônico, uma utilizada para o processamento das imagens e outra responsável pela calibração do equipamento por parte do operador, que escolhe o alvo observando a imagem capturada. Os resultados obtidos mostraram que o equipamento apresentava desempenho igual ao WeedSeeker<sup>®</sup> em relação a detecção de plantas e economizou 24,1% do herbicida utilizado, mostrando retorno econômico para utilização em áreas acima de 3000 ha<sup>-1</sup>.

Bakhshipour et al. (2017), realizaram um estudo no qual tentavam identificar quatro espécies de plantas invasoras muito comuns no cultivo de beterraba açucareira, bem como identificar também o que era beterraba. Para isso, realizaram a aquisição de imagens no formato RGB, dividindo estas em partes de 10

x 10 pixels e extraindo informações de luminância e textura, que posteriormente foram submetidas ao processamento de redes neurais. Para diferenciar o solo das plantas verdes, realizaram a subtração dos canais verde (G) do canal de cor vermelho (R) e em seguida, a aplicação de um determinado limiar (*threshold*). Após estas etapas, aplicou uma sobreposição (*AND*) das imagens processadas, chegando a um resultado de 96% de detecção de plantas invasoras em meio à cultura de beterraba, mostrando a alta eficiência da proposta desenvolvida.

Sabzi, Abbaspour-Gilandeh e Javadikia (2017), conduziram um experimento pelo qual foi proposto um sistema de visão computacional para a identificação de diferentes plantas invasoras na cultura de batata, por meio da captura e processamento digital de imagens obtidas em quatro hectares do cultivo. Em um primeiro momento, as imagens eram pré-processadas no intuito de remover áreas sem interesse, como terra, palha, pedras e demais elementos, visando diminuir processamentos desnecessários. Para isso, foi analisado pixel a pixel de cada imagem, comparando os valores de verde (G), vermelho (R) e azul (B), no qual o pixel era mantido se o valor de R fosse menor ou igual a G, ou ainda se o valor de B fosse menor ou igual a G, caso contrário seria considerado como fundo (transformado em preto). Para a diferenciação das espécies presentes, a metodologia utilizada empregava a extração de oito diferentes características de cada imagem, que eram analisadas posteriormente por uma rede neural, no intuito de classificar os exemplares de batata, *Chenopodium album L*, *Secale cereal L*, e *Polygonium aviculare L*.

## 2.8 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E PROPRIEDADE INTELECTUAL

Segundo Buainain et al. (2005), é possível assumir que a propriedade intelectual e a inovação têm sido apresentadas em conjugação quase indissociável, e de grande importância para o desenvolvimento da sociedade.

Para Steiner, Cassim e Robazzi (2008), no país existe uma deficiência no aproveitamento das inovações tecnológicas produzidas pelos pesquisadores. “O Brasil é um país que despertou tardiamente para a inovação tecnológica. Apesar

de possuir uma boa capacidade de gerar conhecimento, não foi capaz de produzir, concomitantemente, uma política eficaz de uso do conhecimento”.

Nas últimas décadas, o Brasil tem desenvolvido uma política bem-sucedida para criar e ampliar um sistema de geração de conhecimento. Essa capacidade está ligada ao sistema de pós-graduação, principalmente nas universidades públicas federais e estaduais. No entanto, as estatísticas de produção científica, altamente qualificada indicam que o Brasil produz, apenas e 2% da ciência mundial. (PLONSKI, 2002).

Para Noveli e Segatto, (2012), ainda existem elementos que podem ser adicionados na caracterização da cooperação Universidade – Empresa, na busca de um desenvolvimento mais acentuado da inovação tecnológica por meio da propriedade intelectual.

Um dispositivo que permite a proteção da inovação realizada na Universidade é a patente, que, segundo Castro e Souza (2012), é um título de propriedade temporária sobre uma invenção ou modelo de utilidade, outorgado pelo Estado aos inventores ou outras pessoas físicas ou jurídicas detentoras de direitos sobre a criação.

A pesquisa e o desenvolvimento para elaboração de novos produtos requerem, na maioria das vezes, grandes investimentos humanos e financeiros. Proteger esse produto por meio de uma patente significa prevenir-se de competidores, inibindo a concorrência desleal.

Em contrapartida, o inventor se obriga a revelar detalhadamente todo o conteúdo técnico da matéria protegida pela patente, o que contribuirá para o desenvolvimento tecnológico mundial, tornando a patente um importante instrumento na divulgação de informação tecnológica e estimulando novos desenvolvimentos científicos.

A Lei 9.279, de Propriedade Industrial, prevê que para um invento seja protegido por patente é necessário que atenda aos requisitos: novidade, atividade inventiva e aplicação industrial (BRASIL, 1996).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Toda pesquisa se difere em relação as demais, pois utilizam conceitos complexos que não podem ser descritos de uma única maneira. Esta pesquisa foi classificada, levando em consideração todas as suas variáveis, nos quais é possível elencar alguns pontos: A pesquisa pode ser considerada qualitativa e quantitativa, pois compara o equipamento desenvolvido com resultados obtidos por equipamentos similares, atestando sua qualidade e também quantifica a economia de herbicida, aumento de produtividade na aplicação, dentre outros fatores; tem natureza aplicada, pois tenta resolver um problema vivenciado por produtores rurais locais, que é o alto consumo de herbicidas e dificuldades no controle de plantas invasoras resistentes; com objetivo explicativo, visando apresentar uma solução diferente a um problema, visto a dificuldade de se aplicar a solução já existente para o problema em questão, sendo que os equipamentos disponíveis para realização da catação química são todos importados e com alto custo de implantação; é uma pesquisa operacional baseada em um estudo de campo, pois avalia a eficiência do equipamento que será desenvolvido utilizando *softwares* e *hardwares*, responsáveis pelo funcionamento do equipamento. O foco do estudo é o desenvolvimento de um equipamento, capaz de encontrar plantas invasoras em meio a lavoura no período de dessecação de pré-plantio, utilizando técnicas de processamento digital de imagens e que seja capaz de depositar herbicida somente onde este é necessário, utilizando componentes eletrônicos adequados a este fim.

Todo o estudo foi conduzido em uma propriedade rural do oeste do Paraná, localizada no município de Vera Cruz do Oeste, comunidade Linha Placa São Pedro, a margem esquerda da PR488, sentido noroeste, a aproximadamente dez quilômetros do centro da cidade.

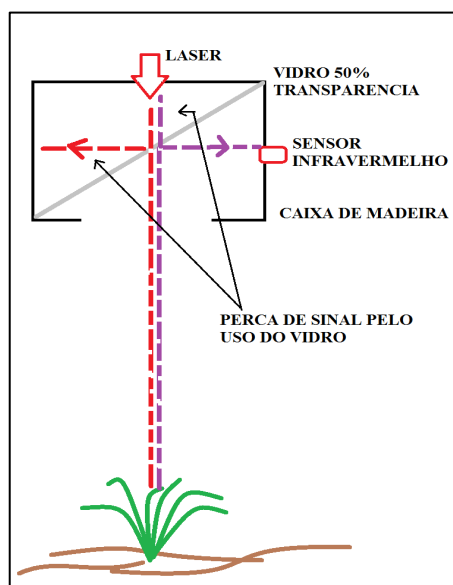
#### 3.1 AVALIAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIAM NO ESTUDO

Para que fosse possível determinar como o protótipo seria construído, foram feitos vários testes preliminares no intuito de se identificar uma solução

relativamente simples, de baixo custo e fácil implementação. Todos os testes foram realizados manualmente, para gerar subsídios para a montagem do equipamento.

### 3.1.1 Determinação do alvo pela reflexão da luz

Levando em consideração as teorias estudadas, foram realizados testes com o objetivo de desenvolver o equipamento em questão, a fim de que este fosse capaz de capturar a frequência eletromagnética na região do infravermelho próximo, emitida pelas plantas que realizam fotossíntese, com materiais relativamente simples e de baixo custo. Foram utilizados um laser de 10 mW, uma placa Arduino Uno, um sensor infravermelho de 5 mm comum, um retângulo de vidro de 7 cm por 5 cm com 50% de transparência, pedaços de madeira retangulares. A Figura 5 apresenta o conceito utilizado no experimento, seu funcionamento e seus componentes.



**Figura 5 - Demonstração de como o sensor foi construído, seus componentes e funcionamento.**  
**Fonte: O autor.**

Foi construída uma caixa com os pedaços de madeira, para acomodar os componentes utilizados no experimento, com exceção do Arduino. A caixa era furada na sua parte superior para acomodar o emissor laser, um furo em um dos

lados, para acomodar o sensor infravermelho, e um furo maior na parte de baixo da caixa para a saída da luz emitida pelo laser e entrada da reflexão emitida pelo alvo.

Após o acoplamento do laser e do sensor em seus devidos lugares, foi adicionado o vidro a caixa, com um ângulo de 45° em relação ao feixe de laser e ao sensor, promovendo o desvio da radiação eletromagnética refletida pelos alvos a um ângulo de 90°, direcionando-a para o sensor. Foi construído um código com a IDE de programação Arduino e implantado no respectivo microcontrolador que por sua vez estava conectado ao sensor IR e mensurava de modo analógico a radiação captada pelo sensor.

### 3.1.2 Teste preliminar para determinação do alvo por meio do processamento digital de imagens

A utilização do processamento digital de imagens apresentou bons resultados e foi escolhido para o desenvolvimento do protótipo, utilizando métodos de conversão de cores das imagens, juntamente com outras técnicas de processamento disponíveis na biblioteca OpenCV, que não demandam um poder computacional muito grande para serem executadas.

Foi selecionada uma área em que já havia sido realizada a aplicação de glifosato e existia a infestação por plantas invasoras resistentes ao seu princípio ativo, restando estas verdes, enquanto as plantas susceptíveis já se encontravam mortas, como mostra a Figura 6. Vale a pena ressaltar que todas as plantas resistentes presentes no local já se encontravam na fase vegetativa adulta.

Um vídeo da área descrita foi gravado com a utilização de uma câmera *webcam* da marca HardLine, com velocidade de gravação de 30 fps e resolução de imagem de 640 pixels de largura por 480 pixels de altura, um *notebook* Acer juntamente com o *software* AMCAP 9.0, responsáveis pela gravação do vídeo. A câmera é capaz de capturar imagens com aproximadamente 35 cm de largura, medida inferior à faixa de aplicação de um bico do pulverizador e 26 cm de comprimento, com a câmera posicionada a aproximadamente 1m do chão. A largura e comprimento da imagem capturada podem variar para mais ou para menos, conforme a variação de altura da câmera em relação ao solo.





**Figura 6 – Exemplar de capim amargoso, resistente ao princípio ativo do glifosato aplicado na área.**

**Fonte: O autor.**

Levando em consideração que existem 30 imagens por segundo no vídeo gravado, este valor deve ser dimensionado conforme a velocidade de deslocamento da câmera, que no teste ficou por volta de 5 a 7 km/h.

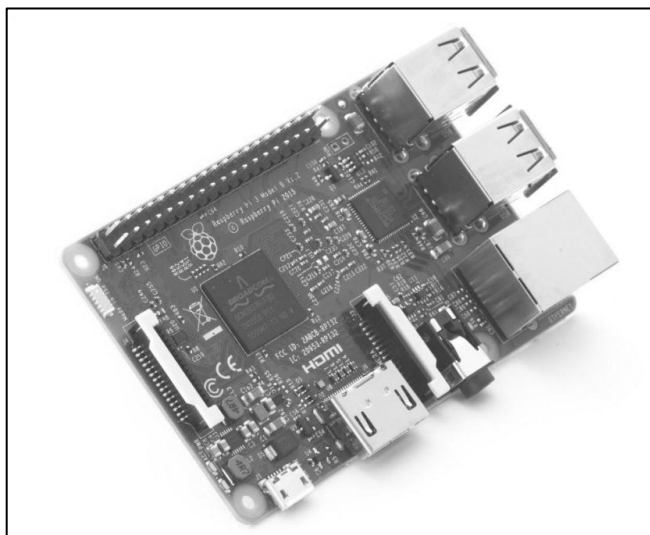
Para o desenvolvimento deste teste, foi desenvolvido um código na linguagem C utilizando a IDE de programação CodeBloks, juntamente com a biblioteca OpenCv, ambas instaladas em um computador da marca Positivo com processador Intel Core i5 e 4 GB de memória RAM, na qual também ocorreu os testes de identificação das ervas invasoras presentes no vídeo, mostrando que o método poderia ser adotado para a construção do protótipo. Todos os passos utilizados no processamento das imagens, bem como os métodos e ajustes feitos, estão descritos no próximo capítulo (Capítulo 3.4).

### 3.2 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO HERBI-TEC E SUAS FUNCIONALIDADES

O princípio de funcionamento do protótipo desenvolvido Herbi-TEC, é capturar imagens do solo em tempo real e processá-las no intuito de detectar a presença de plantas verdes na imagem e realizar a deposição de herbicida no local exato onde foi identificada uma planta daninha. Esta detecção se dá pela presença ou não de qualquer objeto de cor verde, sem nenhum tipo de seletividade, independente do formato.

O Herbi-TEC é formado por vários componentes, os quais serão descritos abaixo:

Uma Raspberry Pi 3 Model B, que é responsável por realizar todo o processamento digital das imagens adquiridas, no intuito de classificar e apurar a presença de plantas invasoras no local amostrado, apresentada na Figura 7.



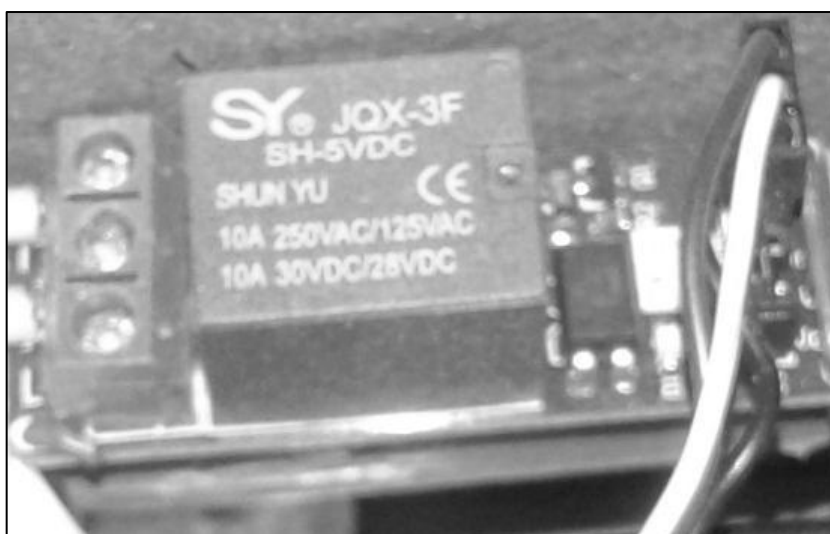
**Figura 7 - Raspberry Pi 3 Model B.**  
**Fonte: Ventura (2016).**

Uma *webcam* hd da marca Logitech, modelo C270, que captura vídeos com uma resolução de 640 x 480 pixels, responsável por capturar as imagens em tempo de execução e disponibilizá-las para posterior processamento, representada na Figura 8. Ela é ligada à placa RaspberryPi por uma conexão USB, que por sua vez, serve como alimentação para a câmera e também para transferência das imagens adquiridas. Esta câmera captura imagens com 50 cm de largura, 37 cm de comprimento a uma altura de 63 cm do solo, medidas estas que são ideais para a fixação do protótipo na barra de pulverização.



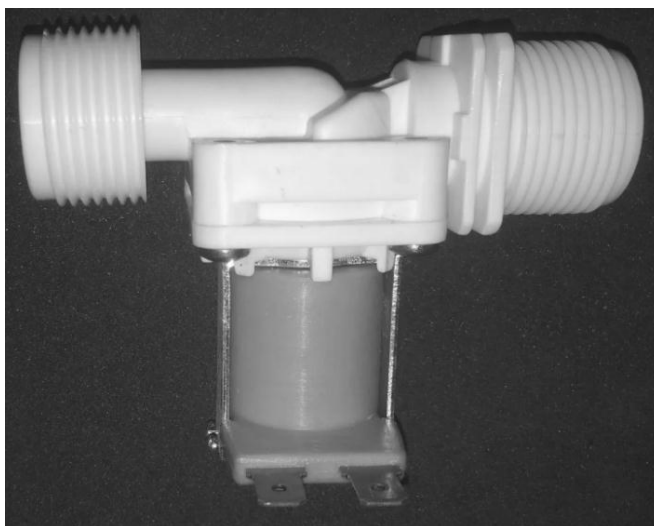
**Figura 8 - Camera Web Logitech, modelo C270.**  
Fonte: O autor.

Um relê com tensão e corrente de operação de 5 V e 15 a 20 mA, que consegue operar uma tensão e corrente de até 30 VDC ou 250 VAC a 10 A, mostrado na Figura 9, responsável por receber comandos da Raspberry e alimentar ou não com energia a válvula solenoide, a cada imagem processada. A utilização do relê se faz necessária pelo fato de a placa RaspberryPi fornecer em sua GPIO como saída, uma tensão de 3,3 V com uma corrente máxima de 50 mA, insuficiente para acionar a válvula solenoide que consome em sua abertura 12 V com uma corrente de cerca de 3000 mA. Sem a utilização de um dispositivo auxiliar como o relê, o pino GPIO utilizado poderia sofrer danos permanentes.



**Figura 9 – Módulo relê.**  
Fonte: O autor.

Uma válvula solenoide, Figura 10, que trabalha com tensão de 12 V e pressão de operação de 0,2 à 8 kgf/cm<sup>2</sup>, responsável por liberar quando necessário, a calda de aplicação contendo o herbicida. Seu estado em repouso é normalmente fechada e a corrente solicitada em seu acionamento, ou seja, durante o seu processo de abertura (arranque), foi de aproximadamente 3000 mA, posteriormente para manter o estado aberto da válvula o consumo de corrente caiu para 400 mA. Esta válvula é indicada para utilização residencial com líquidos e gases, não sendo a melhor opção para a utilização de modo embarcado, na aplicação de herbicida. Foi escolhida pelo seu baixo custo e facilidade de aquisição.



**Figura 10 – Válvula Solenoide.**  
**Fonte: O autor.**

Foi desenvolvido um circuito regulador de tensão, apresentado na Figura 11, que utiliza como componente regulador o LM7805, responsável por transformar a tensão de 12 a 14 VDC recebida pela bateria do trator, em 5 VDC estabilizada com uma corrente de aproximadamente 1,5 A, ideal ao funcionamento da placa RaspberryPi e os componentes nela ligados. O LM7805 suporta tensões entre 7 V e 20 V e é um componente muito comum, encontrado muitas vezes em sucatas de fontes de computador.



Figura 11 – Circuito regulador de tensão com LM7805.  
Fonte: O autor.

É importante descrever o esquemático de como o circuito foi criado, o qual é mostrado na Figura 12. Foram acrescentados alguns outros componentes por questões de segurança, como uma ponte de diodos, para evitar ligações invertidas, um led como indicativo de atividade, um jumper para teste de utilização de corrente e um conector fêmea USB, pois a alimentação da placa RaspberryPi é realizada com um cabo neste padrão.

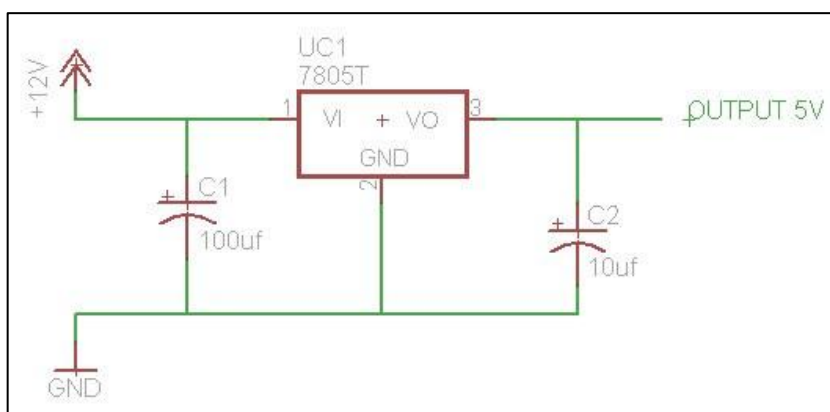


Figura 12 – Esquemático para o circuito regulador de tensão.  
Fonte: Oleomachado (2013).

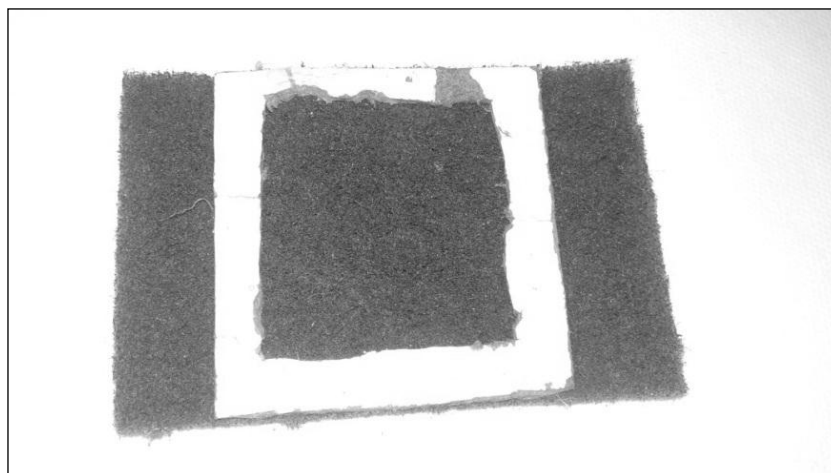
Para a refrigeração do conjunto, foi utilizado um ventilador 12 VDC, medindo aproximadamente 7,5 cm de largura, por 7,5 cm de altura, geralmente encontrado em computadores, responsável por forçar a circulação de ar no interior do equipamento, evitando o superaquecimento dos componentes, representado na Figura 13. Este ventilador não tem ligação nenhuma com os demais componentes,

funcionando de modo contínuo e ininterrupto, enquanto existe alimentação de energia por parte da bateria do trator.



**Figura 13 – Ventilador.**  
**Fonte: O autor.**

No intuito de se evitar a entrada excessiva de poeira e demais impurezas que possam surgir, foi construído um filtro de ar com espuma, como é mostrado na Figura 14, medindo 7 cm de largura, 10,5 cm de altura e 0,7 cm de espessura, colado a um suporte de madeira que se fixa na parte dianteira, no interior do equipamento.



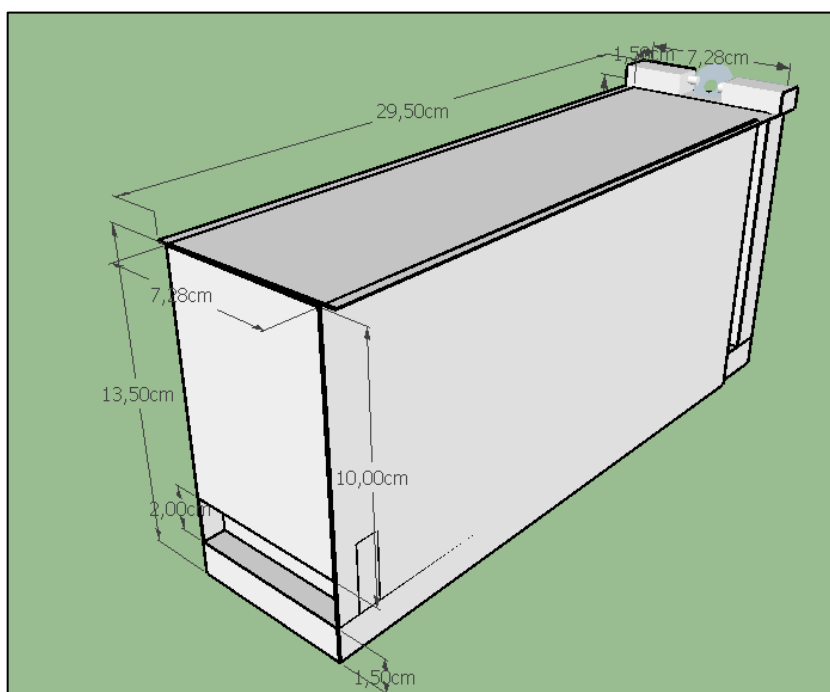
**Figura 14 – Filtro de espuma utilizado pelo Herbi-TEC.**  
**Fonte: O autor.**

### 3.3 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO

Todos os componentes descritos até agora, com exceção da válvula solenoide se encontram armazenados em uma caixa impermeável, construída exclusivamente para este fim.

Por se tratar um protótipo, a caixa foi construída partes em MDF, partes em madeira, todas reaproveitadas de partes pertencentes a móveis usados que seriam descartados.

A caixa tem formato retangular medindo 29,5 cm de comprimento, 7,28 cm de largura e 13,5 cm de altura, como é mostrada na Figura 15. Estas medidas foram adotadas visando acomodar de forma segura e compacta, todos os componentes necessários ao funcionamento adequado do protótipo, bem como permitir um espaço mínimo necessário para acoplamento e desacoplamento dos cabos e componentes em caso de manutenção e também para permitir a circulação de ar de modo adequado.



**Figura 15 – Dimensões da caixa construída para armazenar parte dos componentes do Herbi-TEC.**

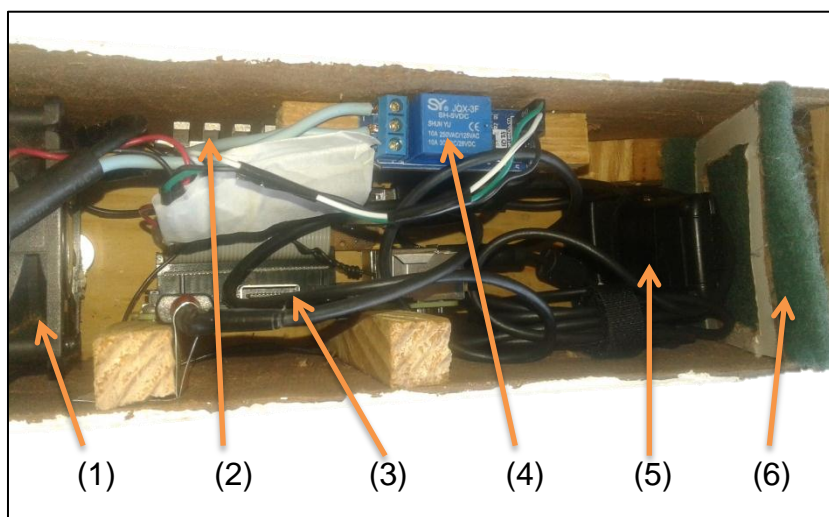
**Fonte: O autor.**



As laterais, a parte superior e frontal, foram construídas com lâminas de MDF, medindo aproximadamente 0,3 cm de espessura e a parte traseira e inferior, em madeira, com espessura de aproximadamente 1,8 cm. Existem alguns detalhes específicos que serão descritos e também apresentados em imagens, detalhes que são fundamentais para o funcionamento do equipamento.

É possível observar ainda na Figura 15, que na parte dianteira, e na parte lateral, existem aberturas para entrada e saída de ar, medindo 2 cm de altura por toda a largura e 1,5 cm de largura por toda a altura, respectivamente.

No seu interior, os componentes estão dispostos do seguinte modo, conforme segue a numeração da Figura 16: 1 – Ventilador; 2 – Regulador de tensão; 3 – RaspberryPi; 4 – Modulo relê; 5 – Câmera web USB; 6 – Filtro de ar.



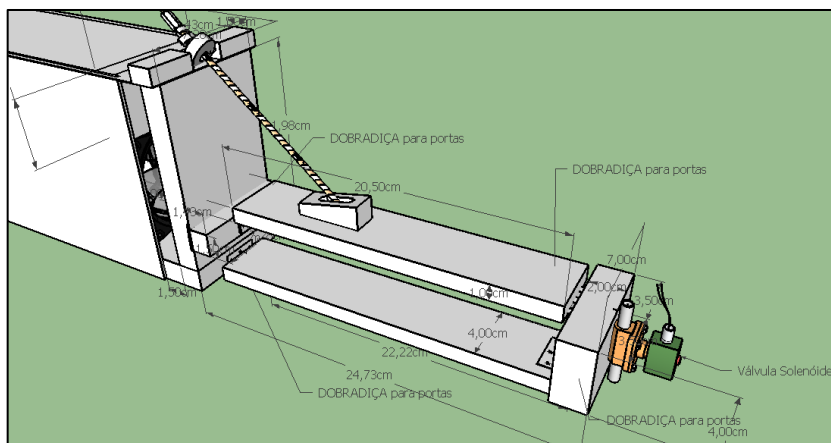
**Figura 16 – Disposição dos componentes dentro da caixa que forma o Herbi-TEC. 1 – Ventilador; 2 – Regulador de tensão; 3 – RaspberryPi; 4 – Modulo relê; 5 – Camera web USB; 6 – Filtro de ar.**

**Fonte: O autor.**

Na parte traseira do equipamento, Figura 17, existe um suporte móvel, que tem a função de ajustar a altura da ponta de aplicação, onde é fixada a válvula solenoide. Este suporte é composto por dois pedaços de madeira, fixados em ambas as extremidades por dobradiças comuns, utilizadas em janelas, medindo 3,5 x 4 cm, em que, de um lado está preso ao Herbi-TEC, e de outro em um retângulo de madeira que por sua vez fixa a válvula solenoide. A regulagem de altura é feita por uma barra de rosca fina, medindo 24 cm, no qual ao se rosquear para a direita,



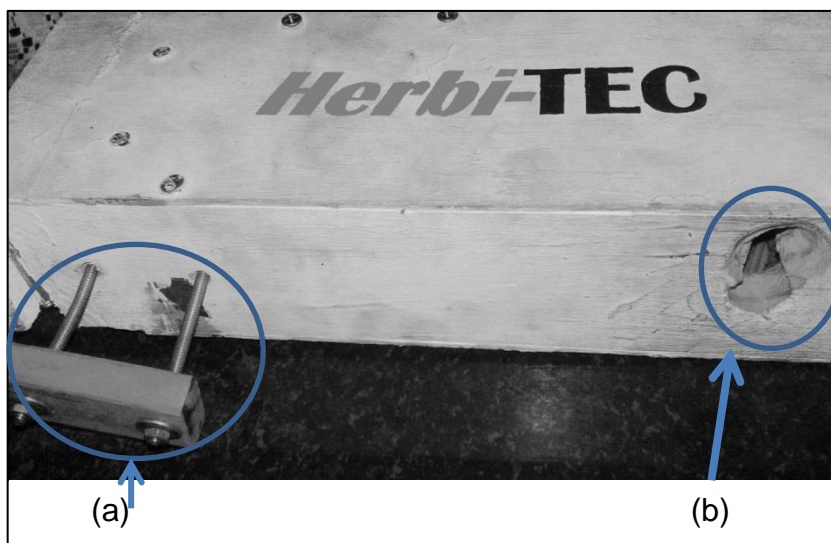
diminui e a esquerda aumenta a altura em relação ao solo. Esta barra de rosca é acompanhada por uma porca fixada na parte superior do Herbi-TEC, responsável por sustentar toda a parte traseira do equipamento.



**Figura 17 – Parte traseira do equipamento, onde são apresentados os componentes e as suas respectivas medidas.**

**Fonte: O autor.**

Na parte inferior, existem duas características que deve ser observadas. Na parte dianteira, existe um orifício com raio medindo 1 cm, localizado ao centro e a aproximadamente 3 cm da extremidade dianteira do equipamento. Este orifício é protegido em seu lado externo por uma placa de vidro com 100% de transparência, possibilitando a aquisição de imagens por meio da instalação da *webcam* (Figura 18b). Na parte traseira, existem dois parafusos fixados ao fundo do equipamento com distância de 4 cm entre eles e 2,5 cm do último em relação a parte final do equipamento, unidos por um pedaço de madeira, fazendo o papel de braçadeira, que serve para fixar o equipamento à barra de pulverização do pulverizador (Figura 18a).



**Figura 18 – Detalhes da parte de baixo do equipamento. (a) braçadeira; (b) orifício por onde é realizada a captura de imagens.**  
Fonte: O autor.

Por último, está a válvula solenoide, fixada com parafusos a parte de madeira do Herbi-Tec, e também recebe uma ligação de um cabo de energia para alimentação, vindo do interior do equipamento.

Esta válvula é responsável por receber a calda de aplicação diretamente de uma das pontas de pulverização do pulverizador, no qual é retirado o bico utilizado para as aplicações e acoplada uma mangueira apropriada. O bico retirado é então acoplado em uma das extremidades da válvula, como é mostrado na Figura 19. Quando o pulverizador se encontra em operação, a vazão e pressão da água se mantêm constantes, sendo que o controle da aplicação é feito pelo Herbi-Tec, com auxílio da válvula solenoide.

Para que a RaspberryPi funcione de modo adequado e realize todo o processamento que é desejado, foi instalado nela o sistema operacional Raspbian, que é o sistema oficial utilizado pela RaspberryPi e indicado pela Fundação Raspberry. Trata-se de uma versão do sistema operacional Linux Debian adaptada para o excelente funcionamento do *hardware* na plataforma RaspberryPi.



**Figura 19 – Ligação da válvula solenoide do Herbi-TEC com o pulverizador.  
Fonte: O autor.**

### 3.4 DETERMINAÇÃO DO ALVO POR MEIO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Todos os passos utilizados para o processamento das imagens capturadas pelo protótipo em tempo de execução, bem como nos testes, estão exemplificados no fluxograma da Figura 20 e também serão descritos a seguir.

O programa ou *software* construído para o processamento de imagens, instalado na placa RaspberryPi, foi todo construído em linguagem C e se utiliza de duas bibliotecas externas, OpenCV e WiringPI e realiza a requisição de uma imagem a *webcam* a cada determinado período de tempo, ou a cada ciclo completo do processo.

Para contornar uma característica presente na câmera utilizada no desenvolvimento do protótipo, que é o balanço automático da cor branca, que causava erros no processamento da imagem, ocasionando variações nas características de temperatura da imagem em determinados momentos, foi utilizado o *software* Gvvcview, que é um *software* utilizado para controlar câmeras, capturar fotos e vídeos nos sistemas operacionais Linux, possibilitando assim desabilitar esta funcionalidade da câmera e também adaptar o brilho, contraste e saturação das

imagens, para valores de 32, 8 e 9 respectivamente, dados estes, salvos em um arquivo de perfil do próprio Guvcvview, promovendo o mínimo de variações nas imagens capturadas, tanto em locais com sol bem como em locais sombreados.

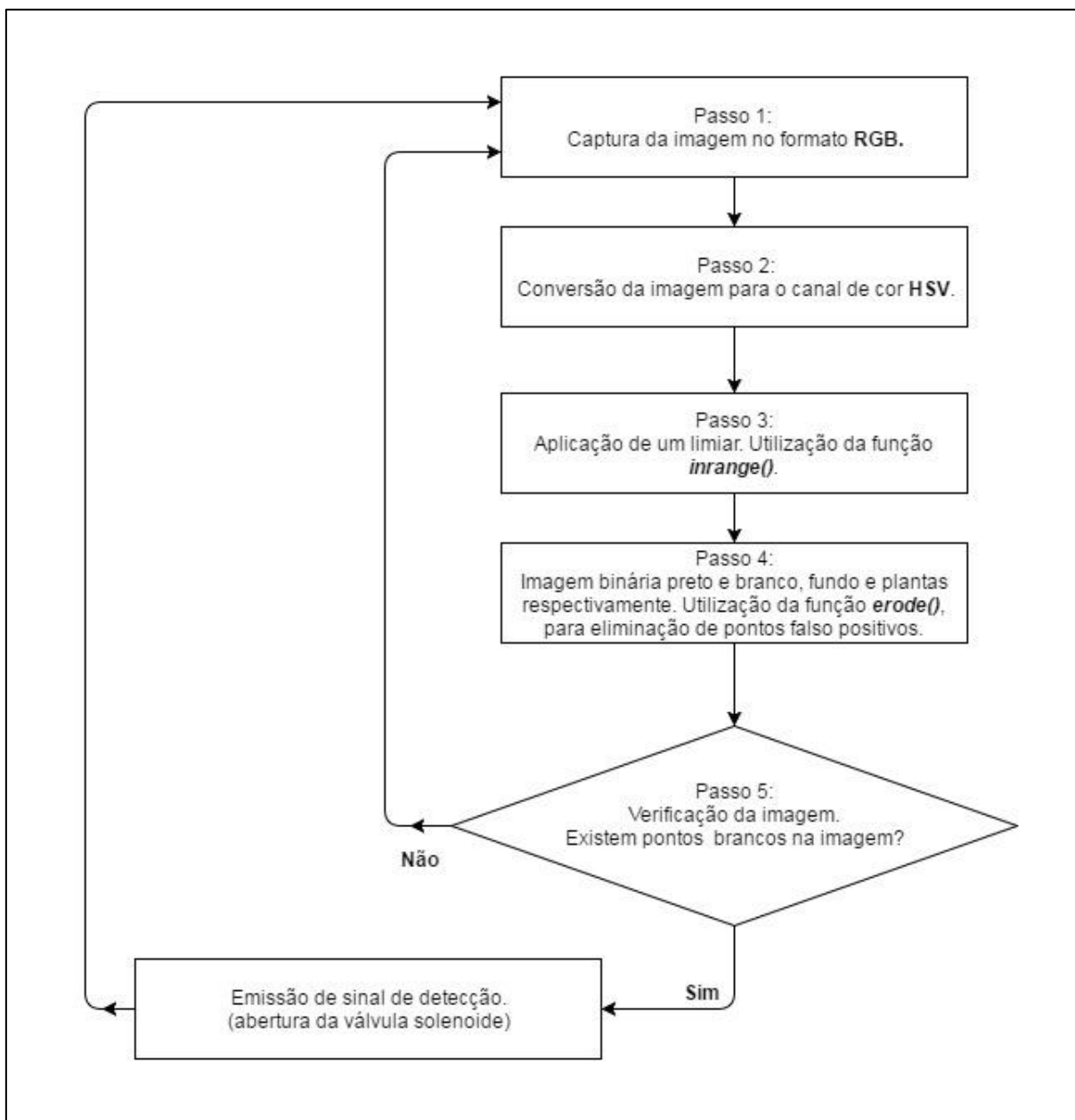


Figura 20 – Representação através de um fluxograma dos processos e métodos utilizados nos testes.

Fonte: autor.

O software Guvcvview é aberto utilizando a função `system()`, nativa da própria linguagem de programação C, logo após a captura do primeiro frame de imagem, passando os parâmetros “`gucvview -control_panel -profile=config.gpfl`”, nos quais os comandos da parte esquerda do sinal de igual (=) são comandos para

invocação do *software* e a parte a direita é o arquivo de perfil salvo anteriormente com as configurações mencionadas.

Foi aplicada a cada imagem capturada uma conversão do canal de cor BGR para o canal de cor HSV, no intuito de identificar o verde presente na imagem, em meio a terra, restos culturais e demais impurezas que estavam presentes na lavoura.

Esta conversão de cor é a mais indicada para os processos onde se deseja identificar objetos de determinada cor em imagens coloridas, pois é possível obter os valores de saturação (canal S) e de luminância (canal V) da imagem, fatores estes que influenciam muito o resultado de imagens capturadas em ambientes não controlados (OPENCV, 2016).

Posterior a isso, a imagem resultante do processo anterior sofreu uma operação de limiarização com a função *inrange()* da biblioteca OpenCV. Este processo compara o valor de *hue* (matiz), *saturation* (saturação) e *value* (valor ou luminância) de cada pixel da imagem com outras duas medidas de HSV, sendo a primeira para determinar um limite inferior, com valores de 60 para H, 60 para S e 70 para V e a segunda para o limite superior, com valores de 130 para H, 146 para S, 255 para V.

Se o pixel da imagem de interesse se encontra entre estes dois limites, este é transformado em branco, e se estiver fora, é transformado em preto.

Na sequência foi aplicado um método de erosão a imagem, utilizando para isso a função *erode()* da biblioteca OpenCv, para eliminar pontos dispersos na imagem e que não representam a existência de plantas invasoras, provocando a ocorrência de resultados de identificação falsos. Este processo foi aplicado com um total de duas iterações sobre cada imagem processada.

Segundo Gonzales e Woods (2011), as imagens captadas com uma resolução baixa, podem apresentar uma perda de detalhes da cena que se deseja registrar.

Por ultimo, a imagem era percorrida utilizando para isso o método *findContours()*, da biblioteca OpenCv, que percorre toda a imagem a procura de contornos e realiza a contagem dos pontos brancos presentes nela, atribuindo a uma variável a respectiva área do contorno encontrado. O último passo realizado, foi a verificação por meio de um *if()* se existe ou não algum valor na variável que armazena a área do contorno encontrado e se seu valor for maior que 1, a

verificação é parada e a função *digitalWrite()* da biblioteca WiringPI é utilizada para enviar um sinal a um dos pinos da placa RaspberryPI, que por sua vez aciona o relê responsável pelo chaveamento da energia utilizada pela válvula solenoide e que conseqüentemente abre ou fecha o fluxo de água utilizada na pulverização do herbicida.

### 3.5 TESTES DO PROTÓTIPO

Os testes do protótipo desenvolvido foram realizados em duas etapas, em diferentes períodos do ano. O primeiro aconteceu às vésperas do plantio da soja, safra 2016/2017, no final do mês de setembro de 2016 e o segundo logo após a colheita, no mês de março de 2017, em locais distintos, mas na mesma área da propriedade. Ambos foram realizados utilizando um trator Valmet modelo 68 e acoplado ao seu hidráulico um pulverizador da marca Jacto modelo Condor AM14 com barras manuais.

A primeira etapa de testes realizados com o protótipo Herbi-tec foi conduzida em duas áreas distintas em 30 de setembro de 2016. Na primeira área, em um talhão com cobertura morta, proveniente da dessecação de aveia mostrado na Figura 21, juntamente com restos culturais de milho e em um segundo talhão com solo nu, resultante do seu preparo com a realização de gradagem, Figura 22.

Ambos os testes aconteceram no mesmo dia, entre as 10h e 12h, com céu parcialmente nublado, sem a presença de sol. Para a realização destes primeiros testes, foi utilizada uma *webcam* com resolução de imagem de 640 X 480 pixels, que abrangia uma largura de 32 cm a uma altura de aproximadamente um metro do solo.

Foram delimitados oito blocos ao acaso em cada uma das áreas, contendo 50 metros de comprimento por 32 cm de largura. Os testes foram aferidos por meio da observação do equipamento durante seu funcionamento, sendo que o pulverizador foi abastecido com água e a pulverização realizada a aproximadamente 4 km/h, com o observador acompanhando o pulverizador a pé.



**Figura 21 – Área dos experimentos com cobertura de aveia dessecada.**

**Fonte: O autor.**



**Figura 22 - Área dos experimentos com a terra preparada utilizando gradagem.**

**Fonte: O autor.**

Nos blocos que continham palhada de aveia, as plantas se encontravam em estágio mais avançado, sendo estas todas adultas, remanescentes da dessecação realizada anteriormente, compostas por capim-amargoso e buva. Neste bloco, as plantas presentes foram contabilizadas.

Para calcular a economia de calda aplicada neste local, realizou-se a coleta do líquido em recipiente medidor, tanto do bico de pulverização controlado pelo Herbi-Tec, como de um outro bico que realizava a pulverização de área total, ambos pertencentes ao mesmo setor da barra, com mesma pressão e vazão.

Nos demais blocos, onde a área havia sofrido a gradagem, havia plantas germinando, bem como plantas adultas (Figura 22). Neste local, o teste se

deu no sentido de avaliar a precisão quanto à identificação das plantas invasoras presentes.

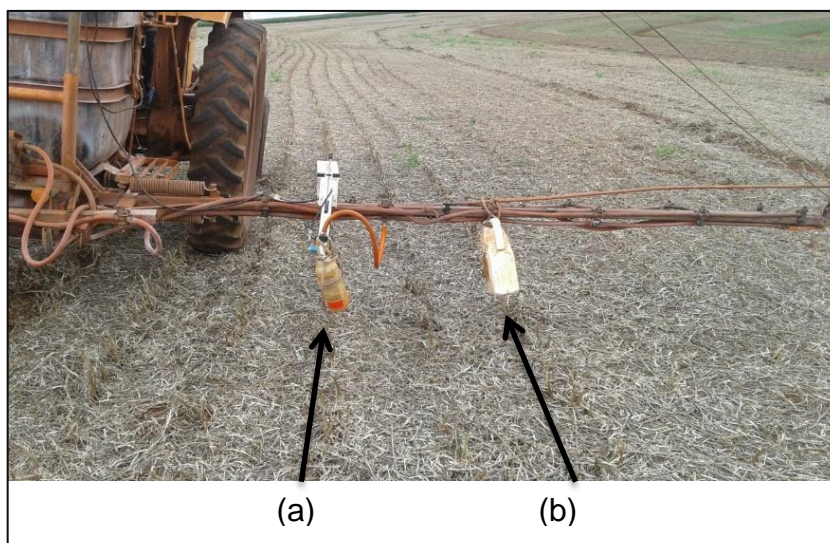
Em função da largura de detecção do equipamento testado, que na ocasião era de apenas 32 cm de largura, não atendendo a largura ideal de 50cm, utilizadas por pulverizadores comerciais, foi adotada outra câmera na montagem do protótipo.

A segunda etapa de testes foi realizada no dia 18 de março de 2017, período que sucede a colheita da safra 2016/2017 de soja, nos mesmos talhões da primeira etapa de testes, em áreas próximas. Foram realizados testes no período da manhã, por volta das 08h30min; ao meio dia, por volta das 13h30min e à tarde, por volta das 17h. Para aferir a eficiência da aplicação realizada pelo protótipo, foi preparada a calda de aplicação com o herbicida Gramocil na proporção indicada na bula do produto que é de 2 L ha<sup>-1</sup>, juntamente com 180 ml de espalhante adesivo que equivale a 0,1% sobre a calda aplicada. O pulverizador estava regulado para aplicar aproximadamente 180 L ha<sup>-1</sup> e a velocidade de deslocamento foi de aproximadamente 4km/h.

Para cada período do dia em que foram conduzidos os testes, foram delimitadas 8 parcelas ao acaso, cada uma contendo 50 metros de comprimento, totalizando assim 24 parcelas. Foram obstruídos todos os bicos de uma sessão do pulverizador, com exceção do bico em que o Herbi-Tec estava instalado, para que fosse possível aferir como ocorria a aplicação do herbicida Gramocil.

No período da tarde, foi realizada mais uma bateria de testes em novas 8 parcelas de 50 metros, no intuito de aferir a economia alcançada com o equipamento (Figura 23). Para contabilizar a economia de herbicida, além do Herbi-Tec que já se encontrava em funcionamento (Figura 23a), foi desobstruído outro bico de pulverização, que a realizava de modo contínuo (Figura 23b) e fixando recipientes medidores em cada um deles para a coleta da calda de aplicação que seria expelida por ambas as pontas, necessário para o cálculo de economia.





**Figura 23 – Teste referente à economia de herbicida na aplicação com o Herbi-Tec em relação a aplicação de área total; (a) recipiente coletor fixado ao bico de pulverização do Herbi-Tec; (b) recipiente coletor fixado ao bico de pulverização em área total.**

Fonte: O autor.

Feito os testes nesta área, o equipamento foi deslocado a outra área na mesma propriedade, onde a colheita já havia sido realizada há mais tempo e a infestação por plantas invasoras era maior, praticamente em área total. Neste local foram demarcados novos 8 blocos ao acaso, contendo cada um com 50 metros de comprimento. O intuito deste teste foi verificar se o equipamento atingia todos os alvos mesmo em área com grande infestação.

### 3.6 BUSCA DE ANTERIORIDADES DO ESTADO DA TÉCNICA

Com o intuito de avaliar a patenteabilidade do projeto, foi realizada pela empresa Vilage marcas e patentes, subsidiada pela UTFPR, uma busca em documentos de patentes, artigos científicos e publicações em geral relacionadas ao assunto exposto.

As palavras-chave: "*Weed and photography and image*"; e a classificação internacional de patentes: "A01M", utilizada para aparelhos para destruição de animais nocivos ou plantas nocivas, "G06K" Identificação de dados, apresentação de dados e manipulação e transporte de dados, além de artifícios como truncamento dos termos, inclusão de plural, uso de sinônimos, entre outros,

foram utilizados para garantir a recuperação de todos os possíveis documentos pertinentes disponíveis.

Foram utilizadas as bases de dados e serviços de busca: Questel Orbit, Espacenet, Plataforma do INPI, Google Patentes, Google Acadêmico e SciELO. Dentre os 60 resultados encontrados, 9 foram apresentados no relatório da empresa Village marcas e patentes, por tratar de assuntos correlatos e são relevantes à tecnologia proposta no objeto desta busca.

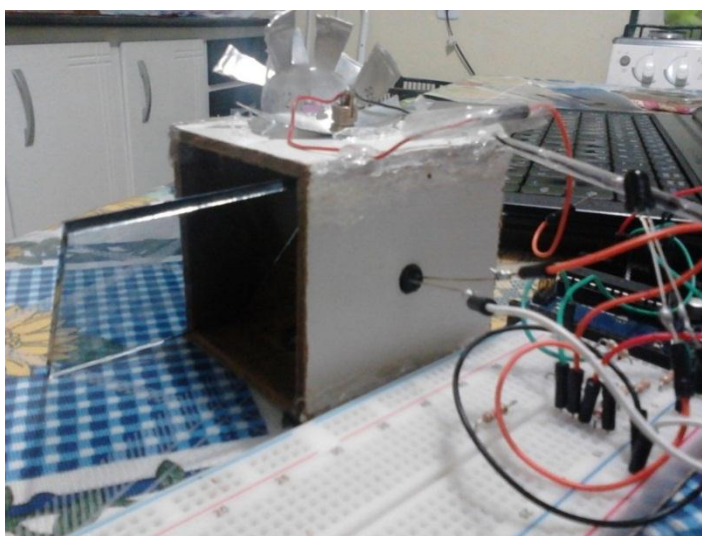
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar de todas as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do protótipo, este se mostrou eficiente em seu propósito, com algumas ressalvas, e pode ser utilizado tanto na dessecação pré-plantio, quanto nas demais aplicações realizadas no intuito de controlar as diversas plantas invasoras presentes nas áreas de cultivo. Sendo assim, aqui serão descritos os resultados obtidos em todos os experimentos realizados durante a construção do protótipo Herbi-Tec.

### 4.1 RESULTADO OBTIDO NA DETERMINAÇÃO DO ALVO PELA REFLEXÃO DA LUZ

O primeiro teste realizado no intuito de alcançar o objetivo pretendido neste estudo foi direcionado ao princípio da reflexão da luz visível e infravermelha. .

A Figura 24 apresenta o sensor já montado, com o qual foram realizados alguns testes.



**Figura 24 - Sensor montado, pronto para realização de testes.  
Fonte: O autor.**

Não foi obtido êxito neste teste, pois o sensor apresentava uma alta variação, ocasionada por diferentes intensidades de iluminação (na sombra e no sol) e também não respondia adequadamente a presença de materiais vegetais a que era apresentado. Um possível problema existente na metodologia utilizada seria a falta de uma fonte de iluminação adequada. Os sensores utilizados nos testes se mostraram ineficientes para a detecção a distâncias acima de 50 cm.

#### 4.2 RESULTADOS PARA A DETERMINAÇÃO DO ALVO POR MEIO DO PROCESSAMENTO DIGITA DE IMAGENS

Os resultados apresentados pelo equipamento foram satisfatórios quanto a detecção de plantas verdes presentes na área do experimento.

De um total de pouco mais de 300 imagens processadas no vídeo, constatou-se de forma visual que foram detectadas todas as plantas invasoras presentes nas imagens, sendo que, pouco mais de 50% das imagens do vídeo apresentavam em sua composição a presença de ervas invasoras, mostrando que o desenvolvimento do protótipo com esta tecnologia poderia trazer uma economia de herbicida considerável, visto que na metade das imagens não era necessária à aplicação de agrotóxico.

Foi observado também que a classificação apresentou um pequeno erro de identificação para mais, ou seja, realizou a identificação de plantas invasoras em imagens que não apresentavam tal atributo. As imagens utilizadas possuíam uma resolução relativamente baixa, o que pode dificultar a identificação de plantas muito pequenas.

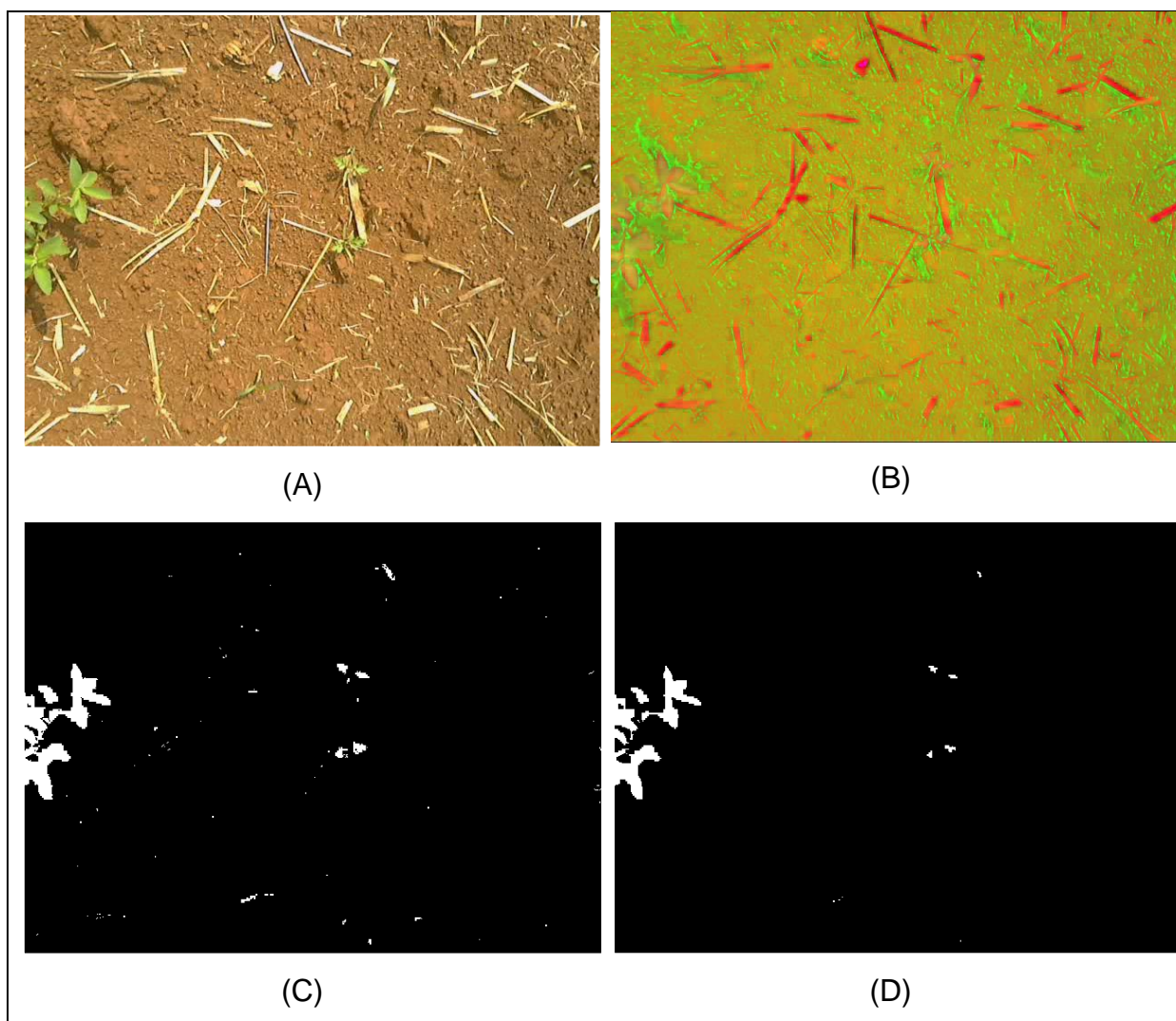
O tratamento utilizado nas imagens pode ser observado na Figura 25.

A Figura 25 (A) representa a imagem RGB (BGR) capturada pela câmera em tempo de execução.

Na Figura 25 (B), é apresentada a conversão da imagem original para o canal de cor HSV, como descrito no capítulo 4.1.2.

Na imagem seguinte (Figura 25 (C)), foi aplicado determinado limiar para separar as partes de interesse de terra e palha. O resultado deste processo é uma imagem binária, preto e branco, onde é possível visualizar as plantas invasoras

em branco e o restante da imagem em preto. Neste ponto, a imagem ainda não representa a ocorrência real das plantas daninhas, contendo pontos dispersos que não representam tal atributo.



**Figura 25 (A) Imagem capturada pela camera no formato BGR. (B) Conversão da imagem A para o canal de cor HSV “COLOR\_BGR2HSV\_FULL”. (C) Imagem após aplicação de determinado limiar “INRANGE”, apresentando pontos falso positivos. (D) Imagem após a aplicação da técnica de erosão, onde permanecem os pontos referentes a erva daninha encontrada.**

**Fonte: O autor.**

No intuito de tratar o problema dos pontos falso-positivos foi aplicado um método de erosão a imagem, mantendo assim apenas os pontos mais concentrados, que realmente representam a existência de ervas invasoras, como mostra a Figura 25 (D).

#### 4.3 RESULTADOS DA MONTAGEM DO EQUIPAMENTO E TESTES DE FUNCIONAMENTO DO HERBI-TEC

Quanto à montagem do protótipo, esta se mostrou adequada às expectativas iniciais. Todos os componentes do dispositivo ficaram acomodados de modo adequado dentro da caixa, com uma boa distância entre eles, facilitando a circulação de ar, fixação e acoplamento dos cabos necessários ao funcionamento. Todos os componentes foram fixados por meio de parafusos, facilitando sua retirada em caso de necessidade. A fixação do protótipo já montado ao pulverizador, se deu na parte superior da barra de pulverização, o que livra o dispositivo de sofrer choques com objetos que atinjam o pulverizador e também evitando o seu molhamento pela calda de aplicação.

Os testes realizados em setembro de 2016, no intuito de aferir o funcionamento do equipamento, foram considerados bons, visto que, os equipamentos disponíveis no mercado, identificam plantas com uma área foliar a partir de 3 cm<sup>2</sup> enquanto o protótipo do Herbi-Tec conseguiu identificar plantas de aproximadamente 1cm<sup>2</sup> de área foliar. Observou-se neste experimento que todas as plantas presentes receberam a deposição de água, mostrando que o equipamento é 100% eficiente para plantas adultas.

Por ocasião deste teste, foi aferida uma economia de herbicida na ordem de 83,6%, sendo que, contabilizou-se uma média de 26,5 plantas para cada bloco de 50 metros, que representa 1,65 plantas m<sup>2</sup>.

Na Figura 26 é possível observar uma planta com área foliar de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> que foi detectada pelo equipamento e pulverizada, indicando, a alta capacidade de detecção do protótipo.

Em contrapartida a esta precisão, vem a largura de detecção do equipamento testado, que na ocasião era de apenas 32 cm de largura, onde o ideal é 50cm, distância esta abrangida pelos bicos dos pulverizadores comerciais. No intuito de contornar este problema, foi adotada outra câmera na montagem do protótipo e teve sua eficiência aferida em 18 de março de 2017.





**Figura 26 – Planta daninha com aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> de área foliar, detectada pelo equipamento.**

**Fonte: O autor.**

Com a nova câmera, a detecção atingiu os 50 cm de largura desejados, distância esta que condiz com a montagem dos bicos do pulverizador utilizado nos testes.

Testes realizados em 18 de março de 2017 mostraram que esta nova configuração se mostrou muito eficiente na detecção de plantas adultas, identificando em 100% dos casos as plantas com uma área foliar acima de 3 cm<sup>2</sup>, medida inferior ao alcançado com a primeira câmera que é compensada pela largura (Figura 27). Nesta data foi possível mensurar a economia de herbicida alcançada naquela área, com a utilização do protótipo, que ficou em torno de 54,4% do total de calda aplicada, atendendo assim ao seu propósito.

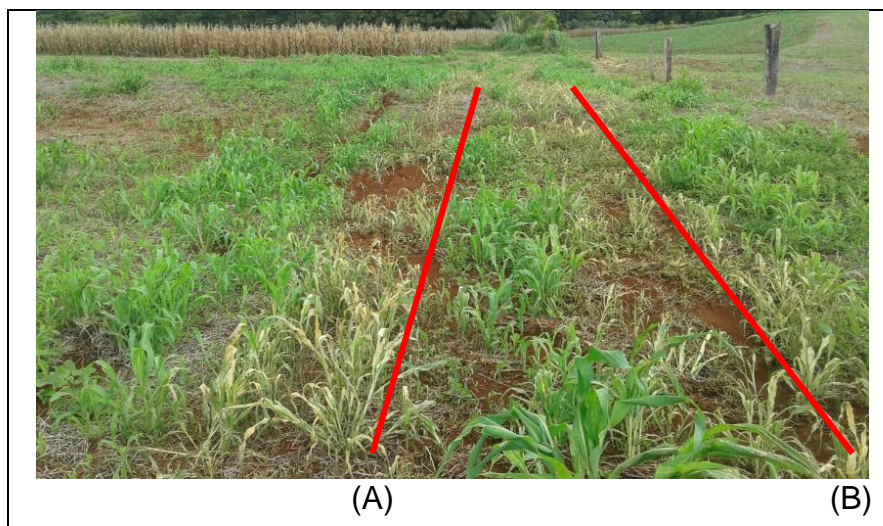


**Figura 27 – Área 2 dias após a aplicação de Gramocil com o protótipo Herbi-Tec, com economia de 54,4% de calda aplicada.**

**Fonte: O autor.**

Na verificação do potencial de atingir todos os alvos mesmo em área com grande infestação, o pulverizador foi acionado com apenas dois bicos de

aplicação desobstruídos, os quais realizaram a aplicação no local. A Figura 28 mostra o comparativo entre a aplicação do protótipo, representado pela linha A e a aplicação de um bico convencional na linha B. Foi possível observar que o controle das plantas daninhas se deu com mesma eficiência em ambas as aplicações.



**Figura 28 – Teste de aplicação com Herbi-Tec a esquerda e aplicação em área total a direita.  
Fonte: O autor.**

É importante ressaltar que a visão do equipamento acontece de cima para baixo, a um ângulo de 90 graus em relação ao solo e a detecção se dá pela área visível da planta ou folha, sendo influenciada pela posição ou inclinação em relação ao campo de visão do equipamento.

Um ponto negativo foi a velocidade de operação do protótipo, que por características de seus componentes e do modelo construtivo, alcançou, nos testes iniciais, a velocidade máxima de 4 km/h, considerando que a velocidade de trabalho média de equipamentos comerciais, é de aproximadamente 25 km/h. No entanto, com a melhoria do processo construtivo, com um posicionamento diferente da câmera, ampliação da distância entre a válvula solenoide e a câmera e também uma configuração diferenciada na placa RaspberryPi, é possível que tal problema seja amenizado ao até mesmo totalmente suprimido.

O custo do equipamento desenvolvido em relação aos comerciais, foi de 13,53% do valor médio dos similares que estão no mercado, ou seja, para cada 50 cm de barra instalada o Herbi-Tec o custo foi de R\$ 1015,00, contra R\$ 7500,00 do equipamento comercial mais vendido.



#### 4.4 DESCRIÇÃO DOS CUSTOS DO PROTÓTIPO E DOS COMPONENTES

Os custos para a aquisição dos componentes necessários ao desenvolvimento do protótipo Herbi-Tec, bem como o custo total de sua montagem, estão descritos na Tabela 2. Vale destacar que este custo se refere a 0,5 m da barra de pulverização, espaçamento este que condiz com a largura entre bicos da grande maioria dos conjuntos de pulverização desenvolvidos pela indústria atualmente.

Além do baixo custo do equipamento, é importante ressaltar, que a média de economia de herbicida, obtida com o protótipo nos testes foi de aproximadamente 54,4%, com 1530 ml aplicados pelo protótipo contra 3550 ml aplicados pelo bico de cobertura total.

**Tabela 2 – Custo dos componentes utilizados na montagem do Herbi-Tec e seu custo total.**

<b>Componente</b>	<b>Valor R\$</b>
raspberryPi 3	290,00
Valvula Solenoide	35,00
Rele	15,00
Regulador de tensão	30,00
Web câmera HD	120,00
Fios, conectores resistores e solda	50,00
Cooler de refrigeração	30,00
Filtro de ar (adaptado)	5,00
Porta bicos (adaptado)	30,00
Caixa para acomodar os componentes	60,00
Custo montagem por unidade	350,00
<b>Total</b>	<b>1015,00</b>

#### 4.5 CUSTO BENEFÍCIO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

Quando o produtor rural realiza investimentos em aquisição de novos equipamentos para agilizar e melhorar as atividades desenvolvidas ou insumos para

aumentar a produção, ele espera um retorno relativamente rápido, esperando que o resultado possa ser contabilizado já na safra seguinte.

Para que seja possível mensurar o custo benefício do equipamento aplicado em um caso real, foi contabilizada a área total em que o conjunto trator e pulverizador testado trabalham anualmente, que é de aproximadamente 72 ha<sup>-1</sup>.

Na Tabela 3 são apresentados os custos por litro dos herbicidas utilizados na dessecação de buva e capim-amargoso resistentes ao glifosato, coletados junto a duas empresas que realizam a comercialização destes produtos no município de Vera Cruz do Oeste, Paraná, no mês de junho de 2016. É mostrado também o custo do herbicida por hectare, em relação às dosagens indicadas para o controle destas plantas invasoras.

Para calcular o tempo necessário para que o equipamento cubra seus custos, foram utilizados dados da Tabela 2, referente ao custo do equipamento utilizado, sendo necessárias 28 unidades para equipar um pulverizador com 14m de barras e dados do custo por hectare de herbicidas aplicados na dessecação pré-plantio, apresentados na Tabela 3, que podem variar em função da infestação da área.

**Tabela 3** - Preço por litro de herbicida utilizado na dessecação, quantidade utilizada e custo por hectare deste mesmo herbicida.

Produto	Valor por litro R\$	Quantidade média aplicada L ha <sup>-1</sup>	Custo médio R\$/ha <sup>-1</sup>
Trop (glifosato 36%)	11,75	3,5	41,12
Select (clethodim)	115,00	0,77	88,55
2,4-D	14,50	2,0	29,00
Gramoxone 200 (paraquat)	17,20	2,0	34,40
Nimbus (óleo mineral)*	17,00	0,62	10,54

\* Foram utilizados 124 L ha<sup>-1</sup> de calda de pulverização, onde 0,05% corresponde a 0,62 L ha<sup>-1</sup> de Nimbus.

Com estes dados chegou-se a um custo de implantação do equipamento em cerca de R\$ 28.420,00. Levando em consideração a economia alcançada nos testes e descrita anteriormente, que é em média de 68,95% e supondo que seriam necessárias aplicações de controle de buva e capim-amargoso na mesma área, com custo de R\$ 115,06 /ha<sup>-1</sup> e R\$ 140,21 /ha<sup>-1</sup> respectivamente, esta economia de herbicida ficaria em R\$ 176,00 /ha<sup>-1</sup>. Sendo assim, a economia

anual de herbicida em toda a área seria de R\$ 12.672,00, o que torna a aquisição do equipamento viável em um período de 2,24 anos.

#### 4.6 RESULTADOS PARA A BUSCA DE ANTERIORIDADES DO ESTADO DA TÉCNICA

Os resultados da busca estão organizados em ordem de relevância, conforme a classificação da empresa prestadora de serviços, e estão apresentados na sequência.

O primeiro foi nominado como "*Apparatus for controlled weed fighting*", e tem como autor RIFIKATSII SKOGO KHOZJAJST, sob o registro número WO200708079, de 08/07/2005, e descreve a uma máquina que captura imagens digitais, bem como meios para processar e interpretar essas imagens para saber onde estão as ervas daninhas e daí acionar um dispositivo com o herbicida. É dotado de um ventilador tanto para retirar a poeira da lente quanto para resfriar a placa mãe.

Sob o número de registro CN203860305, de 29/04/2011, desenvolvido por QUINGDAO AGRICULTURAL UNIVERSITY, também foi apresentado o "*Spray robot based on image processing*", que utiliza uma câmera de duas lentes para adquirir imagens das culturas e ervas daninhas para pulverizar a área necessária. É um veículo autônomo, que possui uma haste móvel e direcional dotada de um bico pulverizador, diferente da ideia proposta pelo Herbi-Tec, que é o acoplamento em pulverizadores, utilizando assim a estrutura já existente.

O terceiro registro considerado relevante para a empresa Vilage, foi o de registro CN202857639, de 13/11/2012, que faz o reconhecimento da erva invasora utilizando câmeras, e assim que realizado aciona um relê e uma válvula solenoide na cabeça de pulverização. No entanto, essa solução utiliza um PC para trabalhar as imagens pós campo e para controle da aplicação, utiliza um microcontrolador específico. Este protótipo foi nomeado como "*Dynamic weed recognition and intelligent spraying experiment device*" e desenvolvido por HEILONGJIANG INSTITUTE SCIENTIFIC & TECHNOLOGY.

Sob o número de registro WO2012122988 de 16/03/2011 e nomeado “*Spray boom for selectively spraying a herbicidal composition onto dicots*”, foi desenvolvido por SYDDANSK UNIVERSITET, e o recurso é utilizado na lança de pulverização que possui um conjunto de câmeras digitais. A imagem é dividida em células de 200 mm por 250 mm capazes de diferenciar as monocotiledôneas das dicotiledôneas (ervas invasoras). A segmentação serve para fazer essa diferenciação e todo este processo é realizado em um primeiro momento, gerando um mapa de pulverização que posteriormente é novamente percorrido, realizando a aplicação do herbicida desejado, conforme a planta invasora detectada anteriormente e presente no local, diferente do Herbi-Tec que realiza todo o processo de aquisição de imagens, processamento e aplicação do herbicida em um mesmo momento. O inventor menciona ainda que com tal processo, é possível aplicar outros métodos de controle de plantas invasoras, como o controle mecânico por exemplo.

Nomeado “*Method for automatic identifying weeds in field and medicine spraying device*”, sob o número de registro CN100437629C em 08/10/2005, desenvolvido por CHINA INSTITUTE OF AGRICULTURE MECH e se propõe a coletar a imagem em tempo real da planta por meio de uma câmera de vídeo que é transmitida para um computador. Aplicando métodos estatísticos as imagens são armazenadas e as ervas daninhas são identificadas a partir do contraste. O sistema se utiliza de um receptor GPS para o cálculo da velocidade de deslocamento do equipamento e como é mostrado na descrição da patente, tal equipamento requer uma estrutura desenvolvida especificamente para seu acoplamento, proposta esta que inviabilizaria a utilização na maioria dos pulverizadores em operação existentes no Brasil, pela dificuldade de montagem. Este problema não ocorre com a utilização do protótipo Herbi-Tec, visto que sua montagem é realizada sobre as mesmas barras já utilizadas pelo pulverizador.

Em 29/04/2005, sob o número de registro WO2006117581, tem-se o “*Setup for constructing a weed map*”, desenvolvido por EHND G NEVENIVEDEL MI EHSK KER, que compreende uma unidade de gravação de imagem, uma unidade de processamento de imagem, uma unidade de armazenamento de dados, uma base de dados de plantas daninhas, uma unidade de detecção de posição e uma fonte de luz. Com essas informações se constrói um mapa de dados para posterior pulverização. Tal processo pode se tornar mais oneroso e requer mais de uma

entrada na lavoura, sendo que, em um primeiro momento é gerado uma mapa de aplicação com posterior aplicação, onerando mais o processo, diferente da proposta do Herbi-Tec, que é a realização de todo o processo em tempo de execução.

Desenvolvido por NANJING FORESTRY UNIVERSITY, e registrado em 18/12/2003, sob o número CN1628513, o "*Method for employing agricultural chemicals to target accurately*" se propõe de forma dividida em três subsistemas, sendo um para captação das imagens; um para processamento e um para ativação da cabeça de pulverização, tudo em tempo real. Este sistema é muito semelhante a metodologia proposta pelo Herbi-Tec, diferenciando apenas nos subsistemas empregados em todo o processo, visto que, o equipamento proposto neste trabalho se utiliza apenas de uma placa para realizar a captura das imagens, processamento e controle da aplicação, promovendo um a diminuição de componentes e também de custos.

Em 25/01/2001 desenvolvido por PRAKTIJKONDERZOEK RUNDVEE, e nomeado de "*Solar powered weed killing vehicle, has camera with image recognition capability for identifying weeds to be killed*" propôs um veículo equipado com uma câmera de vídeo com capacidade de reconhecimento de imagem que diferenciam as ervas invasoras, registro número NL1014174. Por ser um veículo, se difere do Herbi-Tec que é um equipamento embarcado.

EP1000540, nomeado "*Image processing*" e registrado por MCLOUGHLIN DANIEL, apresenta um aparelho de processamento de imagem que compreende uma estrutura específica, meios para mover-se sobre a vegetação, meios para capturar as imagens e meios para processar as referidas imagens e gerar um sinal de saída para o tratamento da aludida vegetação. O processamento de imagens permite identificar as variedades de plantas de acordo com a textura e a altura. Tal dispositivo requer uma estrutura específica e necessita acondicionar a vegetação de modo mecânico para possibilitar a aquisição de imagens e posterior identificação. Utiliza também para o processo a emissão de luz laser.

Diante da busca realizada e análise da descrição e das características de cada dispositivo, relevante em relação ao protótipo proposto neste estudo, a empresa contratada concluiu que a tecnologia apresentada neste momento como Herbi-Tec, cumpre com os requisitos de novidade e aplicação industrial na sua integralidade.

## 5 CONCLUSÃO

O protótipo Herbi-Tec se mostrou eficiente na aplicação localizada de herbicida, não somente em áreas onde há a existência de plantas resistentes, mas em todas as áreas onde se deseja realizar a aplicação de herbicidas para dessecação.

A precisão na detecção se equiparou aos principais equipamentos comerciais presentes no mercado, localizando plantas verdes com área foliar de no mínimo 5cm<sup>2</sup>.

O equipamento obteve uma economia média de 68,95% de herbicida nos testes atendendo o princípio de economia, preservação do meio ambiente e diminuição de custos, propostos no objetivo do estudo.

O estudo mostrou que o protótipo desenvolvido tem um custo muito menor que os equipamentos comerciais presentes no mercado e pode gerar rentabilidade em pouco mais de dois anos, dependendo do grau de utilização, diluindo seu custo principalmente na economia de herbicida.

A tecnologia proposta cumpre com os requisitos de novidade e aplicação industrial na sua integralidade, sendo passível de requerimento de patente de invenção.

### 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Com a crescente evolução tecnológica que vem acontecendo neste século, é inevitável o surgimento de sistemas computacionais com *hardware* e *software* mais compactos e poderosos do que o que foi utilizado no projeto desenvolvido.

Com uma maior capacidade de processamento, um processo que pode ser adicionado ao Herbi-Tec, é a diferenciação entre as plantas presentes na lavoura, ou seja, diferenciar as plantas cultivadas das plantas invasoras, e até mesmo classificar as plantas invasoras em folha larga e estreita, visto a necessidade de aplicação de diferentes herbicidas para controle destes dois grupos de plantas.

Outra funcionalidade que foi testada apenas em ambiente controlado, que poderia ser facilmente adicionada ao Herbi-Tec e que já existe em alguns dos equipamentos comerciais, é a aplicação em “verde sobre verde”. Trata-se de uma complementação do processo que já é realizado pelo Herbi-Tec, que para encontrar plantas invasoras realiza a contagem total dos pontos brancos na imagem, que caracterizem plantas. Para contemplar este novo processo, seria necessário realizar uma comparação do total de pontos encontrados na imagem com determinado limiar, que se excedido, caracteriza a presença de plantas invasoras, ou seja, em determinada área sem a ocorrência de plantas invasoras, a cultura representa 40 mil pontos brancos em uma imagem e em uso o equipamento contabiliza uma imagem com 50 mil pontos, necessariamente extrapola um limiar determinado em 45 mil pontos, o que demonstra a presença de uma área verde anormal para a cultura, caracterizando a presença de plantas daninhas.

Outro uso interessante para o dispositivo desenvolvido seria na aplicação de nutrientes líquidos nas culturas, o qual seria utilizado para detectar sob qual bico do pulverizador se encontra a cultura evitando desperdícios do produto aplicado em áreas sem o cultivar.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, D. C. P.; LIMA, Daniel P. R.; KODA, E. S.; PARANHOS, L.; NOGUEIRA, M.; LOSSIO, R. C. Sistema de monitoramento de temperatura corporal humana utilizando software embarcado e tempo real baseado em computação ubíqua. **Proceedings...** Porto, 2013. Disponível em: <<http://proceedings.copec.org.br/index.php/wcseit/article/view/1102/1044>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

ALMEIDA, S. de S. **Sistema de aquisição de dados para leituras analógicas de tensão utilizando um microcontrolador pic (interface controladora de periféricos)**. Mossoró, 2012. Disponível em: <<https://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/73/SISTEMA%20DE%20AQ%20UI%20C3%87%20C3%83O%20DE%20DADOS%20PARA%20LEITURAS%20ANAL%20C3%93GICAS%20DE%20TENS%20C3%83O%20UTILIZANDO%20UM%20MICROCONTROLADOR%20PIC.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

AMARAL, B. A. S.; LINHARES, M. M. A.; COSTA, A. P.; ROCHA, N. C. C.; CÂNDIDO, L. G. **Análise de matiz para classificação da cobertura do solo em áreas agrícolas**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2014 São Pedro – SP.

ARAÚJO; N. **O sonho da pulverização de precisão se tornou realidade**. 2016. Disponível em: <<http://sfagro.uol.com.br/o-sonho-da-pulverizacao-de-precisao-se-tornou-realidade/>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

ARDUINO. **Arduino**. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/>>. Itália, 2015. Acessado em: 19 jul. 2015.

ARDUINO. **What is Arduino?** Itália, 2017. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. acesso em: 15 fev. 2017.

BAILLIE, C.; FILLOLS, E.; MCCARTHY, C.; REES, S.; STAIER, T. **Evaluating commercially available precision weed spraying technology for detecting weeds in sugarcane farming systems**. 2013. Disponível em: <[http://www.sugarresearch.com.au/icms\\_docs/178257\\_Evaluating\\_commercially\\_available\\_precision\\_weed\\_spraying\\_technology\\_for\\_detecting\\_weeds\\_in\\_sugarcane\\_farming\\_systems.pdf](http://www.sugarresearch.com.au/icms_docs/178257_Evaluating_commercially_available_precision_weed_spraying_technology_for_detecting_weeds_in_sugarcane_farming_systems.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2017.

BAKHSIPOUR, A.; JAFARI, A.; NASSIRI, S. M.; ZARE, D.; Weed segmentation using texture features extracted from wavelet sub-images. **Biosystems**



**Engineering**, Iran, v. 157, p.1-12, maio 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.02.002>>. Acesso em: 08 mai. 2107.

BRASIL. Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 1996. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9279.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9279.htm)>. Acesso em: 01 mar. 2017.

BUAINAIN, A. M.; CARVALHO, S. D.; PAULINO, S. R.; YAMAMURA, S. Propriedade intelectual e inovação tecnológica: algumas questões para o debate atual. **O Futuro da Indústria: Cadeias Produtivas. MDIC/IEL-NC**. Brasília, v. 1601, p. 11-38, 2005. Disponível em: <<http://egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/anexos/27774-27784-1-PB.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2016.

CAMPO&NEGOCIOS. **Herbicida 2,4-D tem papel importante no controle de plantas daninhas**. Uberlândia, 2015. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/herbicida-24-d-tem-papel-importante-no-controle-de-plantas-daninhas>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

CARRER, H.; BARBOSA, A. L.; RAMIRO, D. A. Biotecnologia na agricultura. **Estud. av.**, São Paulo, v. 24, n. 70, p. 149-164, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142010000300010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000300010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 16 set. 2015.

CASTRO, B. S. de; SOUZA, G. C. de; O papel dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) nas universidades brasileiras | The role of Technological Innovation Centers in Brazilian universities. **Liinc em Revista**, Rio de Janeiro. v.8, n.1, p.125-140, março 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18617/liinc.v8i1.465>>. Acesso em: 16 set. 2016.

CHACON, G. T. **Aplicação de técnicas de processamento digital de imagens para a detecção de MARFes no JET.**, 2012. 104 f. Dissertação (Instrumentação Científica) - Centro Brasileiro De Pesquisas Físicas. Rio de Janeiro, 2012 Disponível em: <[http://cbpfindex.cbpf.br/publication\\_pdfs/TeseChacon-072012.2012\\_07\\_26\\_15\\_12\\_47.pdf](http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/TeseChacon-072012.2012_07_26_15_12_47.pdf)>. Acesso em: 02 abr. 2016.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L.; NICOLAI, M.; VARGAS, L.; CARVALHO, S. J. P. de; CATANEO, A. C.; CARVALHO, J. C.; MOREIRA, M. S. **Aspectos de Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas**. Piracicaba, 2008. 3ª ed., HRAC-BR.

COPETTI, A.; LEITE, J. C. B.; LOQUES, O. Um mecanismo de decisão para inferência de contexto em ambientes pervasivos de tratamento de saúde. **Sba Controle & Automação**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 363-378, Ago. 2011. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-17592011000400004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592011000400004&lng=en&nrm=iso) >. Acesso em: 18 jul. 2015.

CREATIVE COMMONS. Creative Commons. 2015. Disponível em: < [http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.pt\\_PT](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.pt_PT) >. Acesso em: 19 jul. 2015.

CRUVINEL, P. E.; KARAM, D. **Construção de mapas de aplicação em taxa variável de herbicida para cultura do milho (*Zea mays* L.) com base em visão computacional e ocupação de plantas invasoras de folhas largas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto, 2010.

CUNHA, K. C. B. da; ROCHA, R. V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, jul./dec. 2015. ISSN: 2448-0452

DENARDIN, G. W. Microcontroladores. Centro de ciências tecnológicas – CCT Departamento de engenharia mecânica – DEM. UDESC. Joinville, 2014. Disponível em: < [http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/eduardo\\_henrique/materiais/apostila\\_micro\\_do\\_Gustavo\\_Weber.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/eduardo_henrique/materiais/apostila_micro_do_Gustavo_Weber.pdf) >. Acesso em 18 jul. 2015.

GEMELLI, A.; OLIVEIRA Jr., R. S. de; CONSTANTIN, J. **Estratégias para o controle de capim-amargoso (*digitaria insularis*) resistente ao glyphosate, desde a dessecação de manejo até a pós-emergência da soja RR**. Maringá: Uem, v. 02, n. 02, nov. 2013. Disponível em: <<http://www.pga.uem.br/uploads/informe-tecnico-pga-uem-004.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2017.

FERREIRA, E. A.; PROCÓPIO, S. O.; GALON, L.; FRANCA, A. C.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A. F.; TIRONI, S. P.; ROCHA, P. R. R. Manejo de plantas daninhas em cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 915-925, 2010. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pd/v28n4/v28n4a25.pdf> >. Acesso em: 27 jun. 2015.

GAZZIERO, D.L.P.; KARAM, D.; ADEGAS, F.S.; VARGAS, L.; VOLL, E. **Resistência das plantas daninhas**. Capítulo em livro técnico-científico (ALICE) - Resistência das plantas daninhas. Brasília, 2014. Disponível em: <

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/992128/1/Resistenciaplantas.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2015.

GOMES, W. S.; BORÉM, A. Biotecnologia: Novo paradigma do agronegócio brasileiro. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v.11, n.1, Janeiro – Abril 2013. Trimestral. ISSN: 1679-1614. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/164096/2/Artigo%204.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2015.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

HEAP, J.; TRENGOVE, S. **Site Specific Weed Management (SSWM)**. Australia, 2008. Disponível em: <<https://www.grdc.com.au/Research-and-Development/GRDC-Update-Papers/2008/06/Site-Specific-Weed-Management-SSWM>>. Acesso em: 25 out. 2015.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C. **Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar**. 1. ed. Brasília:RB Gráfica Digital Eirelli, 2014.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA, R. S. de. **Resistência de Plantas Invasoras a Herbicidas**. Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://omnipax.com.br/livros/2011/BMPD/BMPD-cap8.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2015.

JAMES, C. **Status Global das Cultivares Transgênicas Comercializadas: 2014**. New York, 2014. Disponível em: <<http://isaaa.org/resources/publications/briefs/49/executivesummary/pdf/B49-ExecSum-Portuguese-Brazil.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

KIRSCHNER, S. F. **Um sistema de auxílio à coleta de dados na área de agricultura de precisão baseado em aplicações móveis**. Ijuí, 2012. Disponível em: <[http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1556/tcc\\_sabrina.pdf?sequence=1](http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1556/tcc_sabrina.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 28 jun. 2015.

LAZAROTO C.A.; FLECK, N. G.; VIDAL, A, R; **Biologia e ecofisiologia de buva (conyza bonariensis e conyza canadensis)**, Cienc. Rural, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 852-860, Junho 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782008000300045&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000300045&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 Jun. 2016.

MARENGONI, M.; STRINGHINI, D. **Tutorial: Introdução à Visão Computacional usando OpenCV.** Porto Alegre, 2009. Disponível em: < [http://www.seer.ufrgs.br/rita/article/viewFile/rita\\_v16\\_n1\\_p125/7289](http://www.seer.ufrgs.br/rita/article/viewFile/rita_v16_n1_p125/7289)>. Acesso em: 02 abr. 2016.

MARIANI, F.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; ANDRES, A. **Novos Horizontes no Controle de Plantas Invasoras na Cultura da Soja.** Pelotas, 2014. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122752/1/Andre-Andres-ATA-e-Resumos-Reuniao-Soja-revisao-04-de-marco.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2015.

MELO, E. B. de; SILVA, A. A. P. da; NETO, A. M. de O.; GUERRA, N.; VILAR, C. C.; BOTTEGA, E. L.; MACIEL, C. D. de G. **Alternativas para a catação química de touceiras de capim-colonião e capimbraquiária em cana-soca.** Londrina, 2013. Disponível em: < [http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/238/pdf\\_9](http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/238/pdf_9)>. Acesso em: 27 jun. 2015.

MELO, M. S. C. de; ROSA, L. E.; BRUNHARO, C. A. de C. G.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. **Alternativas para o controle químico de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate.** Piracicaba, 2012. Disponível em: < <http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/145/pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2017.

MONSANTO. **Manejo de Resistência de Plantas Invasoras.** Monsanto Company, 2015. Disponível em: < <http://www.monsanto.com/global/br/produtos/pages/manejo-de-resistencia-de-plantas-invasoras.aspx>>. Acesso em: 19 set. 2015.

MONTEIRO J. M.; NUNES, R O.; CELINSKI V. G. Avaliação da utilização de um microcontrolador na plataforma Arduino na leitura de sensores condutividade eletrolítica do solo de baixo custo. **Revista de Engenharia e Tecnologia.** Ponta Grossa, v. 4, n. 2, página 52. ISSN 2176-7270. Ago/2012.

MOREIRA, M. S.; MELO, M.S.C.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; CRHISTOFFOLETI, P.J. Herbicidas alternativos para controle de biótipos de *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha,** Viçosa-MG, v. 28, n. 1, p. 167-175, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v28n1/20.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

NOVELI, M; SEGATTO, A. P. Processo de cooperação universidade-empresa para a inovação tecnológica em um parque tecnológico: evidências empíricas e proposição de um modelo conceitual. **Revista de Administração e Inovação,** São Paulo, v. 9, n. 1, p.81-105, jan./mar. 2012.

OCDE–FAO. **Perspectivas Agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024.** França, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

OLEOMACHADO. **Conversor/Regulador voltagem 12V – 5V – L7805 – ATtiny.** Brasil, 2013. Disponível em: <<https://arduinoexamples.wordpress.com/2013/11/22/conversor-12v-5v-l7805-arduino-attiny/#more-192>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

OLIVEIRA, J. M. **Computação Ubíqua.** Bom Despacho, 2012. Disponível em: <<https://portalsis.wordpress.com/tag/computacao-pervasiva/>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

OPENCV. **Changing Colorspaces.** 2016. Disponível em: <[http://docs.opencv.org/3.2.0/df/d9d/tutorial\\_py\\_colorspaces.html](http://docs.opencv.org/3.2.0/df/d9d/tutorial_py_colorspaces.html)>. Acesso em: 02 mar. 2017.

PAULA F<sup>o</sup>, P. L.; TUSSET, A. M. Análise De Cor Para O Reconhecimento De Espécies Florestais. **ÁGORA : revista de divulgação científica**, v. 16, n. 2(A), Número Especial: I Seminário Integrado de Pesquisa e Extensão Universitária. Porto União, 2009. Disponível em: <<http://www.periodicos.unc.br/index.php/agora/article/viewFile/121/199>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

PINTO, M. de C. **Aplicação de arquitetura pedagógica em curso de robótica educacional com hardware livre.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[http://www.nce.ufrj.br/ginape/publicacoes/dissertacoes/d\\_2011/d\\_2011\\_marcos\\_de\\_castro.pdf](http://www.nce.ufrj.br/ginape/publicacoes/dissertacoes/d_2011/d_2011_marcos_de_castro.pdf)>. Acesso em: 19 jul. 2015.

PLONSKI, G.A. **Questões tecnológicas na sociedade do des(conhecimento).** In: SANTOS, L.W.; ICHIKAWA, E.Y.; SENDIN, P.V.; CARGANO, D.F. (Org.) *Ciência, tecnologia e sociedade: o desafio da interação.* Londrina: IAPAR, 2002. p. 83-99.

QUEIROZ, C. A. DE S. **Desenvolvimento e avaliação de pulverizador florestal com detecção eletrônica de plantas daninhas e aplicação em doses variáveis.** ii, 88 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas Botucatu, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/101680>>. Acesso em: 30 de mai. 2017.

RASPBERRY. **Raspberry PI, 2017a.** Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#introWhatIs>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

RASPBERRY. **Raspberry PI, 2017b.** Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/about/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

RASPBERRY. **Raspberry PI, 2017c.** Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

RASPBERRY. **Raspberry PI, 2017d.** Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/power/README.md/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

RODRIGUES, E. B.; ABI SAAB, O. J. G.; GANDOLFO, M. A.. Cana-de-açúcar: avaliação da taxa de aplicação e deposição do herbicida glifosato. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 90-95, jan. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662011000100013&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000100013&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em: 26 mar. 2017.

SABZI, S.; ABBASPOUR-GILANDEH, Y.; JAVADIKIA, H. The use of soft computing to classification of some weeds based on video processing. **Applied Soft Computing**, Iran, v. 56, p.107-123, jul. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494617301291>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

SANTIAGO, W. E.; TERUEL, B. J.; LEITE, N. J.; TEIXEIRA, R. F. da S. **TRANSFORMADA DE HOUGH PARA DETECÇÃO DE PLANTAS DANINHAS EM CULTURAS AGRÍCOLAS.** Campo Grande, 2014. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br/conbea/2014/livro/R0060-3.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2016.

SANTOS, A. C. S.; FERNANDES, A. A. R.; FERNANDES, P. M. B. **Uso da biotecnologia para a melhoria da qualidade nutricional de alimentos.** Vitória, 2012. Disponível em: <<http://periodicos.ufes.br/RBPS/article/download/5126/3852>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

SEPULCRI, O.; PAULA, N. de. **A EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA E SEUS REFLEXOS NA EMATER.** Curitiba, 2004. Disponível em: <[http://www.emater.pr.gov.br/arquivos/File/Biblioteca\\_Virtual/Premio\\_Extensao\\_Rural/2\\_Premio\\_ER/03\\_Evol\\_Agri\\_refl\\_Emater.pdf](http://www.emater.pr.gov.br/arquivos/File/Biblioteca_Virtual/Premio_Extensao_Rural/2_Premio_ER/03_Evol_Agri_refl_Emater.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2015.

SMARTSENSING. **WEEDit.** 2016. Disponível em: <<http://www.smartsensingbrasil.com.br/WEEDit/#Especificacao%20C3%A7%20C3%B5es%20OT%20C3%A9nicas>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

SPRING: **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.** Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

STEINER, J. E.; CASSIM, M. B.; ROBAZZI, A. C. Parques tecnológicos: ambientes de inovação. **Revista IEA.** USP. São Paulo, 2008.

TRIMBLE. **WeedSeeker spot spray system.** Califórnia, 2016. Disponível em: <<http://www.trimble.com/Agriculture/weedseeker.aspx>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

VARGAS, L.; GAZZIERO, O. L. P. Manejo de Buva Resistente ao Glyphosate. **Embrapa Trigo: Documentos.** Passo Fundo, v. 1, n. 1, p.1-16, dez. 2009. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31188/1/doc.91.trigo.pdf>>. Acesso em: 06/01/2017.

VARGAS, L.; GAZZIERO, D. P.; AGOSTINETTO, D.; KARAM, D. **Plantas invasoras - Como manejar.** Pelotas, 2011. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/897230/1/ID32199.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2015.

VARGAS, L; ROMAN, E. S. **Resistência de plantas invasoras a herbicidas: conceitos, origem e evolução.** Passo Fundo, 2006. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do58.pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do58.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2015.

VARGAS, L; BIANCHI, M.A., RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T. **BUVA (*Conyza bonariensis*) RESISTENTE AO GLYPHOSATE NA REGIÃO SUL DO BRASIL,** Planta Daninha, Viçosa-MG, v.25, n. 3, p. 573-578, 2007

VELINI, E.D. **Matobiologia e matocompetição.** In: Semana do Herbicida, 8. R. Osipe, Coord. Fund. Faculd. de Agronomia "Luiz Meneghel", Bandeirantes, PR. 1987. p. 281-304.

VENTURA, Felipe. Raspberry Pi 3. Brasil, 2016. Disponível em: <<http://gizmodo.uol.com.br/raspberry-pi-3-oficial/>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

WEEDIT. **Weddit,** The Netherlands, 2016. Disponível em: <<http://www.weedit.com/>>. Acesso em: 22 ago. 2015.