



Vinicius Alberto Fiedler

**PROTÓTIPO DE BASE ROBÓTICA MÓVEL PARA APLICAÇÃO NO
RAMO AGRÍCOLA**

Horizontina - RS

2017

Vinicius Alberto Fiedler

**PROTÓTIPO DE BASE ROBÓTICA MÓVEL PARA APLICAÇÃO NO
RAMO AGRÍCOLA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Adalberto Lovato.

Horizontina - RS

2017

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“Protótipo de base robótica móvel para aplicação no ramo agrícola”

Elaborado por:

Vinicius Alberto Fiedler

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 22/11/2017
Pela Comissão Examinadora

Prof. Me. Adalberto Lovato
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Prof. Me. André Rogério Kinalski Bender
FAHOR – Faculdade Horizontina

Prof. Me. Sirnei Cesar Kach
FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS

2017

DEDICATÓRIA

À minha família, que incentivou, acreditou e suportou a realização dessa conquista.

“Sorrir é a melhor maneira de lidar com situações difíceis”.

(Caio Fernando Abreu)

RESUMO

A imersão da tecnologia no ramo agrícola ocorre de forma exponencial e busca auxiliar e facilitar o manejo no campo. Uma vez que o uso eficaz de inseticidas na cultura da soja deve ocorrer no momento correto e em quantidade adequada, é necessário um monitoramento constante das plantações, a fim de detectar os insetos e pragas que interferem no desenvolvimento da mesma. A partir desse contexto, o presente trabalho buscou construir um protótipo de base robótica móvel, de pequenas dimensões, possibilitando seu deslocamento entre as linhas das lavouras de soja, carregando instrumentos de coleta de dados que possam visualizar a parte inferior das plantas e folhas. Para tanto, utilizou-se dos conceitos de robótica e matriz QFD, de forma a desdobrar os requisitos iniciais em características que agregaram valor ao protótipo. Após a construção do robô, testes comprovaram a real capacidade de locomoção do mesmo no ambiente dinâmico e imprevisível encontrado nas plantações. Nos testes foram verificados a tração nas rodas, ângulo de ataque, movimentação em terrenos de diferentes inclinações e nivelamentos. Ademais, testou-se a capacidade de realizar manobras, tais como curvas e sobreposição de obstáculos. O conjunto robótico apresentou bons resultados na maioria dos terrenos, no entanto, mostrou dificuldade em movimentar-se em terrenos desnivelados. Por fim, a partir da análise dos resultados e conclusão foram expostas oportunidades de melhoria para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Protótipo. Base Robótica móvel. Soja.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Shakey: O primeiro robô móvel	18
Figura 2: Robô Dante	19
Figura 3: Classificação quanto à anatomia	21
Figura 4: Robôs terrestres com rodas	22
Figura 5: Robô terrestre com esteira	23
Figura 6: Robôs terrestres com pernas	24
Figura 7: Classificação quanto à funcionalidade	25
Figura 8: Colheitadeira autônoma	26
Figura 9: Motor de corrente contínua	28
Figura 10: Matriz QFD – Casa da Qualidade	29
Figura 11: QFD-Estendido.....	30
Figura 12: Lagarta-medideira	31
Figura 13: Campo de atuação Realismo Crítico.....	33
Figura 14: Relação: estrutura, mecanismo, condições e efeito	34
Figura 15: Relação entre Mente e Mundo Material	34
Figura 16: Pesquisa e Projeto: Ciclos básicos	35
Figura 17: Primeiro QFD - Planejamento do Produto.....	40
Figura 18: Segundo QFD - Projeto.....	42
Figura 19: Motor de limpador de parabrisa	44
Figura 20: Dados técnicos do motor elétrico	45
Figura 21: Baterias	46
Figura 22: Botoeiras de Acionamento de Vidro Elétrico	47
Figura 23: Rodados Pneumáticos 2,5x4	48
Figura 24: Mancais de Rolamento.....	49
Figura 25: Conjunto eixo e disco	50
Figura 26: Chassi Soldado	51
Figura 27: Furos para Mancal na Chapa Chassi	51
Figura 28: Suporte Motores.....	52
Figura 29: Movimentação em ambiente de asfalto.....	53
Figura 30: Movimentação em aclive com vegetação úmida	54
Figura 31: Movimentação em ambiente semicoberto por vegetação	55

Figura 32: Movimentação em ambiente lamacento.....	56
Figura 33: Terreno irregular: rodas sem contato com o solo.....	57
Figura 34: Forte aclive de terra seca e pedregoso.....	58
Figura 35: Aclive pedregoso ligeiramente nivelado.....	58
Figura 36: Protótipo subindo paralelepípedo.....	59
Figura 37: Obstáculos em interferência com chassi.....	60
Figura 38: Teste de velocidade média.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Desdobramento Requisitos Iniciais	39
Quadro 2: Classificação das Características da Qualidade	41
Quadro 3: Classificação das Características dos Componentes.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA	12
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.4 HIPÓTESES.....	13
1.5 JUSTIFICATIVA	13
1.6 OBJETIVOS	14
1.6.1 Objetivo Geral	14
1.6.2 Objetivos Específicos	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 ROBÓTICA MÓVEL	16
2.1.1 Histórico	16
2.1.2 Definições e características	19
2.1.3 Classificação	21
2.1.3.1 Quanto a Anatomia	21
2.1.3.2 Quanto ao tipo de controle	24
2.1.3.3 Quanto à funcionalidade.....	25
2.1.4 Componentes de robôs móveis	26
2.2 QFD – DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE	28
2.3 CULTURA DA SOJA	30
3 MÉTODOS	33
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	33
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	36
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1 QFD – ANÁLISE DOS REQUISITOS	38
4.2 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	43
4.2.1 Motores Elétricos, Baterias e Botoeiras de Acionamento	44
4.2.2 Rodados, Mancais e Eixo	47
4.2.3 Chassi e Suportes	50
4.3 REALIZAÇÃO DE TESTES PRÁTICOS.....	52
4.3.1 Análise da mobilidade da base robótica móvel em diferentes ambientes 53	
4.3.1.1 Ambiente de asfalto/cimento	53

4.3.1.2 Ambiente com cobertura vegetal.....	54
4.3.1.3 Ambiente com terra úmida	55
4.3.1.4 Ambiente de terra seca a pedregosa.....	57
4.3.2 Análise de velocidade, manobras e sobreposição de obstáculos.....	59
5 CONCLUSÃO	62
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICES	66

1 INTRODUÇÃO

O ser humano sempre utilizou de utensílios que o auxiliaram em suas mais variadas tarefas e, dessa forma, pode-se ligar a sua evolução com o grau de desenvolvimento tecnológico empregado desde os aperfeiçoamentos empregados em suas ferramentas, até a criação de novas máquinas que vêm substituir a realização de tarefas manuais. Ao longo dos séculos, as diversas invenções foram muito importantes para servir de base a fim de que, gradualmente, as máquinas substituíssem a mão-de-obra humana. (ROMANO e DUTRA, 2002).

Nessa perspectiva, a necessidade de facilitar o trabalho no meio agrícola, e principalmente no manejo das plantações torna-se evidente. Nos dias atuais, o ramo agrícola tem se desenvolvido muito, e com ele as máquinas e equipamentos utilizados. Acompanhando esse desenvolvimento, e buscando auxiliar produtores e trabalhadores no cultivo da soja, põe-se em prática o estudo de desenvolver um protótipo de base robótica móvel. Esse protótipo deve ser capaz de se locomover em meio às linhas de plantio de soja, para que seja possível, através de instrumentos de coleta de dados, obter informações sobre o solo, plantas e pragas, sem necessidade de haver contato físico direto do trabalhador com a plantação.

Para maximizar a probabilidade de sucesso, o desenvolvimento do protótipo contou com um estudo preliminar dos robôs móveis e seus componentes, foram elencados requisitos iniciais necessários para o produto e, ainda estudados características de cultivo da soja e manejo em campo. Por fim, têm-se os testes realizados que buscaram comprovar o desempenho e eficiência do robô em diversas situações, as quais podem ser enfrentadas durante sua utilização nas lavouras.

1.1 TEMA

A partir da introdução abordada, a temática do projeto será o desenvolvimento e construção de uma base robótica móvel, com características necessárias para aplicação em plantações de soja.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho será realizado no período de março a outubro de 2017. O projeto consiste em criar um robô elétrico móvel. Para tanto, foram utilizados motores de limpador de para-brisa para tracionar as quatro rodas do veículo, alimentados por duas baterias 12V e acionados em paralelo por duas botoeiras de vidro elétrico. O carro deverá possuir pequenas dimensões já que esse deverá ser capaz de andar entre as linhas de uma plantação de soja, além de possuir boa capacidade *off-road* (fora de estrada).

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

É possível construir uma base robótica móvel de pequenas dimensões e capacidade *off-road* suficientes para carregar instrumentos de coleta de informações nas lavouras de cultura de soja?

1.4 HIPÓTESES

Uma vez que não se sabe o desempenho do protótipo a ser criado, levantam-se duas hipóteses acerca do problema dessa pesquisa. A primeira hipótese, que poderá ser verificada através dos testes em campo, é de que o carro possuirá capacidade *off-road* adequada para ser utilizado em plantações de soja. A segunda hipótese levantada é se o carro poderá realizar curvas apenas controlando a rotação das rodas.

1.5 JUSTIFICATIVA

A busca por novas tecnologias para o ramo agrícola cresce a todo o momento. O fato é de que, segundo estimativas, a população mundial deverá crescer aproximadamente 30% até o ano de 2050, necessitando assim reduzir desperdício de alimentos, através de novas tecnologias, ou do que se pode chamar de agricultura inteligente.

A partir desse contexto, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de modernização dos mecanismos de mapeamento e verificação das plantações de soja

em grande escala. A fim de que essa ocorra de forma rápida e eficiente, sem necessidade de interação física do agricultor com o campo. Ou seja, garante o aumento da produtividade e a melhora das condições de trabalho e manejo no campo.

Com o protótipo de base robótica será possível acoplar um sistema de monitoramento por imagem. Esse captará informações acerca das pragas que se localizam na parte inferior das folhas e vagens, as quais não podem ser vistas por meios aéreos utilizados atualmente.

Ainda a respeito das pragas encontradas nas plantações, pode-se comentar que o protótipo terá contribuição indireta sobre estudo de propagação de insetos, fungos e plantas daninhas.

Cita-se ainda que a preocupação com o meio-ambiente é uma questão abordada em todos os campos do saber. Assim, este projeto procura contribuir para a redução na compactação dos solos, eficiência e eficácia no uso dos defensivos e adubo, reduzindo desperdícios e poluição química.

Por fim, este estudo tem uma importância impar, tanto para a FAHOR no curso de Engenharia Mecânica, que terá um estudo referente ao desempenho de pneus na tração desse tipo de veículo e também de direcionamento por diferença de rotação, quanto para o acadêmico que irá aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo Geral

Construir um protótipo de base robótica móvel com características *off-road* para aplicação em lavouras de soja.

1.6.2 Objetivos Específicos

São definidos como objetivos específicos do trabalho:

- Desenvolver estudo teórico sobre robótica móvel;
- Identificar características e requisitos do projeto pela ferramenta QFD;
- Modelar o robô, e todos os seus componentes utilizando software de desenho;
- Comprar e fabricar componentes necessários para montagem do protótipo;

- Realizar testes de mobilidade em ambientes com características semelhantes aos encontrados nas lavouras de soja;
- Realizar testes de sobreposição de obstáculos e realização de curvas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Buscando esclarecer conceitos importantes para o desenvolvimento do estudo previamente introduzido, este capítulo busca referenciar estudos anteriores referentes a robótica móvel, desdobramento da função qualidade e cultura de soja.

2.1 ROBÓTICA MÓVEL

Desde o princípio da sua utilização, os robôs atraem interesse da sociedade, geram expectativa e mitos relacionados às ficções científicas presentes em peças teatrais, livros e filmes. (ROMANO e DUTRA, 2002). Nos últimos anos, a evolução dos robôs tem recebido grande foco. No entanto, robôs industriais com braços robóticos articulados não fazem parte desse destaque, mas sim robôs móveis, os quais possuem rodas, esteiras e asas. Robôs capazes de se locomover pelo ambiente dinâmico e imprevisível, controlados por um controle remoto ou, até mesmo de forma autônoma (WOLF, et al, 2009). Nesse contexto, os seguintes tópicos da pesquisa bibliográfica, necessária para servir de embasamento ao presente estudo, relatam brevemente a respeito do histórico, definições e características dos robôs móveis.

2.1.1 Histórico

A palavra robô é da origem tcheca *robota*. Essa pode ser traduzida como “trabalhador humilde”. Em relação aos estudos sobre robótica, Romero, et al (2014) relata o episódio ocorrido no ano de 1942, em que cientistas dos EUA que construíram a bomba atômica precisaram de uma forma de manipular os elementos altamente radioativos dentro de um local isolado. Surge então, o primeiro telemanipulador, o qual possuía duas extremidades, fixas no teto e comandadas pelo homem, para fazer a manipulação dos componentes radioativos. Esse equipamento solucionou o problema encontrado pelos cientistas da época quando ao contato com elementos radioativos, porém seu manuseio era demorado e nada intuitivo. Ao fim da Segunda Guerra Mundial, outros países estudaram a energia nuclear e por consequência, novos manipuladores com melhores interfaces homem-máquina foram desenvolvidos, além de veículos dirigidos automaticamente (*automatic guided vehicles* – AGVs) e braços robóticos.

Além dos fatos apresentados, Niku (2011) também traz alguns aspectos importantes para o avanço dos robôs a partir da Segunda Guerra Mundial. Segundo o autor, nesse período, máquinas automáticas foram projetadas com intuito de favorecer a produtividade e qualidade dos serviços, peças e equipamentos fornecidos pela indústria. Para tanto, essas máquinas era controladas numericamente (CN). O autor também comenta sobre o avanço dos robôs desde o seus primórdios em que os mesmos eram controlados por papéis perfurados, até que então essa tecnologia foi substituída pela de fitas magnéticas, dispositivos de memória e computadores.

A respeito da evolução da robótica, Romano e Dutra (2002) explicam que para eles, ao longo dos séculos, as diversas invenções foram muito importantes para servir de base a fim de que, gradualmente, as máquinas substituíssem a mão-de-obra humana. Assim, cada nova tecnologia alcançada foi essencial para que a mesma pudesse ser superada, em consequência de que era gerada a “bagagem tecnológica”.

As pesquisas com robôs móveis começaram em 1968. Esse novo tipo de robô utilizava de conhecimentos tecnológicos da robótica fixa e também de conceitos de mecânica. No começo dos estudos, pensava-se que construir um robô com capacidade de interagir com o ambiente imprevisível era tarefa fácil, no entanto, isso evidenciou grande complexidade e até hoje, o maior desafio dos pesquisadores é utilizar de sistemas que percebam o ambiente à frente dos robôs e tomem ações corretas em relação às informações obtidas (PIERI, 2002).

Nilsson (1969), a partir de um trabalho em conjunto com a *Stanford Research Institute* (SRI), desenvolve em 1972 o primeiro robô móvel, controlado por inteligência artificial, denominado Shakey (apud, PIERI, 2002, p. 03). Na Figura 1, pode-se verificar o robô Shakey ao lado do líder do Centro de Inteligência Artificial na SRI, durante o período em que o robô foi desenvolvido:

Figura 1: Shakey: O primeiro robô móvel



Fonte: Cyberneticzoo

A partir de então, diversos pesquisadores estudaram os robôs móveis, inclusive a NASA, pela primeira vez em 1992, em que desenvolveu o robô chamado Dante I. Esse consistia em uma base móvel hexápode e foi utilizado para explorar vulcões ativos. (PIERI, 2002).

Figura 2: Robô Dante



Fonte: Cyberneticzoo

Com o passar dos anos, e com os avanços tecnológicos adquiridos, a quantidade de robôs móveis assim como o Dante I só aumentou e hoje em dia é possível encontrar robôs dos mais diversos tipos e aplicações (PIERI, 2002).

2.1.2 Definições e características

Definido pela ISO (*International Organization for Standardization*) 10218, um robô é “uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial” (ROMANO e DUTRA, 2002, p.15).

Embora importante, essa definição apresentada pela ISO é bastante abrangente e, de certo modo, vaga. Romero (2014, p.06) busca simplificar e exemplificar essas definições, de maneira a definir um robô, incorporando características e algumas aplicações para a robótica móvel:

“Um robô pode ser uma máquina capaz de executar tarefas repetitivas, sejam elas guiadas (teleoperadas) ou predefinidas (pré-programadas), mas também é capaz de realizar tarefas de modo inteligente (autônomo), sendo capaz de perceber o ambiente, tomar decisões e agir conforme a situação em que se encontra. Um robô pode ser de base fixa (p. ex., braço robótico manipulador industrial), mas também pode ser de base móvel, tendo a capacidade de se locomover no ambiente. Um robô também poderá ter diferentes níveis de percepção, locomoção, ação, decisão e autonomia. Conforme sua capacidade de reagir, de planejar ações, de interagir e de tomar decisões em relação a sua percepção do ambiente, cada robô poderá executar um tipo diferente de tarefas, das mais simples como aspirar pó, às mais complexas, como as que envolvem a navegação autônoma e interação com humanos.” (ROMERO, et al, 2014, p. 06).

Murphy (2000), ao descrever tarefas nas quais robôs são utilizados, faz menção ao termo 3D (Dirty, Dull and Dangerous). Conforme tradução livre pode-se entender então que robôs são bons em executar tarefas insalubres, maçantes e perigosas, ou seja, podem substituir humanos em tarefas repetitivas, em ambientes agressivos ou que expõem risco a vida do ser humano (apud ROMERO, et al, 2014, p. 06).

Romero *et al* (2014, p. 06) cita vantagens e desvantagens dos robôs em geral. Como principais vantagens da robótica aplicadas às fábricas têm-se o aumento da produtividade, eficiência e qualidade dos produtos. Além disso, não existem preocupações com segurança, prevenção a contusões, ergonomia ou conforto ambiental, como iluminação, ventilação e proteção a ruídos excessivos. Uma vez que são máquinas, robôs realizam tarefas repetitivas com altíssima precisão linear sem necessidade de descanso ou férias.

Todavia, a robótica também possui limitações, e essas devem ser ponderadas na busca pela automação dos processos e tarefas. Como principal fator negativo temos o elevado custo de aquisição, manutenção, treinamentos e programação (NIKU, 2011, p. 07). Outras limitações são a capacidade de interação com o ambiente desconhecido e a tomada de decisões em situações imprevisíveis e inesperadas, o que para Romero et al (2014) é o maior desafio no projeto de robôs móveis dos últimos anos.

Ainda a respeito das tarefas desempenhadas pelos robôs, é importante observar a análise feita por Niku (2011), onde ele afirma que ao buscar aplicações para os robôs, vê-se que robôs sozinhos dificilmente são úteis. A melhor forma de utilizá-los é, portanto, em conjunto a outros dispositivos e máquinas que complementam a ação a ser realizada.

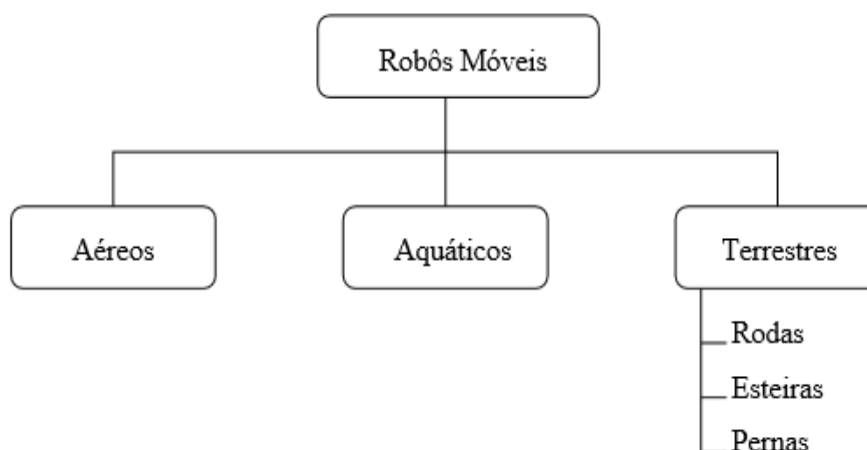
2.1.3 Classificação

Embora existam diversos tipos diferentes de robôs, ainda não existe uma forma padronizada para classificar os robôs móveis. No entanto, o autor Piere (2002) aborda o assunto em “Curso de Robótica Móvel” de forma interessante e bastante válida para o presente estudo. Segundo o autor, podem-se agrupar os robôs móveis quanto a sua: anatomia, funcionalidade e tipo de controle.

2.1.3.1 Quanto a Anatomia

Por sua anatomia, os robôs podem ser classificados em: aéreos, aquáticos e terrestres. A Figura 3, a seguir, ilustra essa classificação:

Figura 3: Classificação quanto à anatomia



Fonte: Piere (2002)

Ao analisar esses tipos de robôs, pode-se observar que os robôs aéreos são equipados com componentes que os permitem voar sobre o ambiente, e que através do acoplamento de câmeras pode-se obter um ótimo conjunto para mapear grandes áreas de forma rápida. Um exemplo desse tipo de equipamento, muito usado hoje em dia, são os *Drones*. Já os robôs aquáticos podem ser equipados com propulsores ou outros tipos de atuadores que os permitam navegarem e mapearem o meio subaquático, como fundo dos mares ou lagos.

Por fim têm-se os tipos terrestres. Esses robôs são os mais populares entre os demais, e podem utilizar de atuadores do tipo roda, esteira ou pernas.

Robôs com rodas, Figura 4, costumam ser os mais simples e comuns entre eles. Segundo Piere (2002), esse tipo de atuador é fácil de ser utilizado, pois não requerem estruturas tão robustas. No entanto, o uso de rodados possui desvantagem quando utilizado em terrenos muito irregulares. O autor informa que a dimensão máxima dos obstáculos a serem transpostos nesse caso deve ser igual ao raio da roda utilizada.

Figura 4: Robôs terrestres com rodas



Fonte: Piere (2002)

Ao contrário dos robôs com rodados, os robôs com esteiras, Figura 5, têm vantagem quanto à utilização em solos irregulares e cheios de obstáculos. Todavia, o movimento da esteira necessita de muita energia, pois se trata de um sistema robusto e pesado. Romero (2014) complementa explicando que os robôs com esse tipo de

atuadores realizam curvas através da diferença de velocidade e sentido de rotação das esteiras, em um movimento deslizante conhecido como *skid steering*.

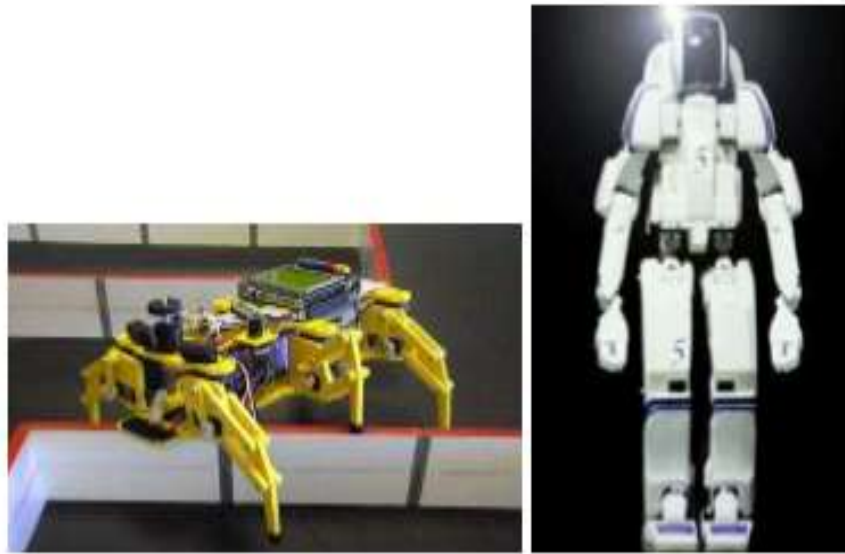
Figura 5: Robô terrestre com esteira



Fonte: Piere (2002)

Por fim têm-se os robôs com pernas, Figura 6. Segundo Piere (2002) esse tipo de robô é utilizado em terrenos peculiares e acidentado, com presença de dinâmica vertical. O projeto desses robôs é de alto custo posto que a estrutura e controle dos atuadores (pernas) são complexos.

Figura 6: Robôs terrestres com pernas



(a) Robô hexápode

(b) Robô humanóide

Fonte: Piere (2002)

O projeto de robôs como esses é de alto custo, pois a estrutura e controle dos atuadores (pernas) são complexos de serem desenvolvidos e postos em prática.

2.1.3.2 Quanto ao tipo de controle

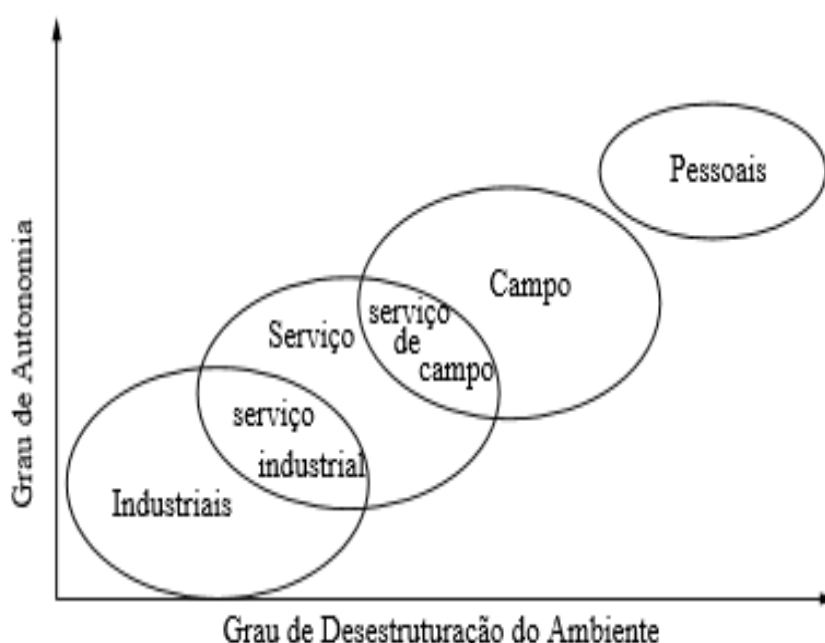
Segundo o autor, os tipos de robôs também podem ser agrupados quanto ao tipo de controle que os mesmo utilizam. Nessa perspectiva, pode-se separá-los em três categorias:

- Teleoperados – são aqueles que o operador é responsável por realizar os movimentos e comandar o robô;
- Semi-operados – são aqueles em que o operador executa uma macroinstrução a qual o robô irá executar de forma autônoma;
- Autônomos – são robôs inteligentes ao ponto de desempenhar sozinhos as tarefas, tomando decisões a partir de informações do ambiente.

2.1.3.3 Quanto à funcionalidade

Piere (2002) também classifica os robôs móveis em alguns grupos de funcionalidades. No total são 4 os grupos: robôs industriais, serviço, de campo e pessoais. Entretanto, os grupos industriais, de serviço e de campo se sobrepõem de forma a melhor separar os ambientes e função de atuação. Essa sobreposição de grupos pode ser vista mais claramente na Figura 7:

Figura 7: Classificação quanto à funcionalidade



Fonte: Piere (2002)

Sabendo que a base robótica proposta nesse estudo será utilizada em ambiente agrícola, propõem-se o estudo da sobreposição dos grupos de serviço e de campo. Entende-se que esses robôs são utilizados para realizar serviços em ambientes externos nos quais são ou não conhecidos pelo operador, como por exemplo, colheitadeiras autônomas em plantações mostrada na Figura 8 e carros autônomos autoestradas.

Figura 8: Colheitadeira autônoma



Fonte: Piere (2002)

A figura acima apresenta um exemplo de aplicação de robô móvel no ramo agrícola, o qual é grande gerador de demanda de desenvolvimento de novas tecnologias.

2.1.4 Componentes de robôs móveis

“A moderna tecnologia da robótica é um novo campo que cruza as fronteiras da engenharia tradicional. Entender sua complexidade e aplicações requerem conhecimento de diversos campos da engenharia, como por exemplo: mecânica, elétrica e de softwares” (SPONG, et al, 2004, tradução nossa).

Niku (2011) também compartilha dessa opinião e acrescenta afirmando que o estudo de robôs é um assunto interdisciplinar que se beneficia de diversos campos do saber, uma vez que seus componentes utilizam os mais variados campos da engenharia.

A partir da sentença acima, e referenciando-as aos componentes utilizados na construção de um robô móvel, temos basicamente o manipulador (explorador) sensores, atuadores e controladores (NIKU, 2011, p. 06). Para o protótipo em questão não se estudará o funcionamento de sensores, pois não se utiliza esse componente para o protótipo.

Segundo Niku (2011), o explorador é o corpo principal do robô. A partir dele são feitas as ligações das articulações, sensores, atuadores ou qualquer outro elemento estrutural do robô. Ainda assim, o autor salienta que o explorador precisa de outros elementos, pois sozinho ele não se caracteriza um robô.

Os controladores são dispositivos que recebem um tipo de comando, transformam e o enviam a alguma parte do robô. Pode-se dizer então que o controlador é responsável por designar e controlar os movimentos realizados pelo robô. Os controladores podem ser simples ou complexos, dependendo do tipo de aplicação (NIKU, 2011, p. 06). Um exemplo de controladores simples são as botoeiras que recebem comando físico e transformam em comandos elétricos para os atuadores.

Os robôs necessitam atuar sobre o ambiente que estão inseridos. Para isso, devem possuir componentes e dispositivos que realizem alguma função ou tarefa, baseado geralmente no sinal emitido pelo controlador. São exemplos de atuadores os motores elétricos e componentes de locomoção (ROMERO, et al, 2014, p. 22).

Visto que já foram conceituados os componentes de locomoção no item 2.2.3.1 do presente estudo, a revisão da literatura segue a relatar os conceitos e características a respeito dos motores elétricos.

Destaca o autor que os motores mais usuais empregados em robôs, que tem finalidade de se locomover no ambiente, são os motores elétricos de corrente contínua, Figura 9.

A respeito desse tipo de motor, comenta o autor:

“Os motores CC, permitem um giro livre nos dois sentidos, e existem diversos parâmetros a serem considerados, em que é importante destacar pelo menos três deles: uso de mecanismo com caixa de engrenagens/redução (N:1), velocidade de rotação (RPMs) e torque/força (N.m) do motor [...]. Os motores CC tem especificada sua velocidade máxima em termos de rpm (rotações por minuto), e, através de uma engrenagem de redução, é possível baixar essa velocidade de giro e realizar um controle mais fino do giro do motor. A velocidade será determinada pela corrente aplicada no motor e a direção de rotação pela polaridade. Os motores, de acordo com sua configuração física, possuem diferentes capacidades de carga, a qual é definida pela medida do torque do motor, medido usualmente em Nm. A capacidade de carga de um motor é importante, pois irá definir a força que ele possui para movimentar o robô, seja girando o eixo de uma roda ou atuando sobre um pedal ou barra de direção.” (ROMERO, et al, 2014, p. 23).

Figura 9: Motor de corrente contínua



Fonte: Catálogo Digital da Bosh (2013)

2.2 QFD – DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE

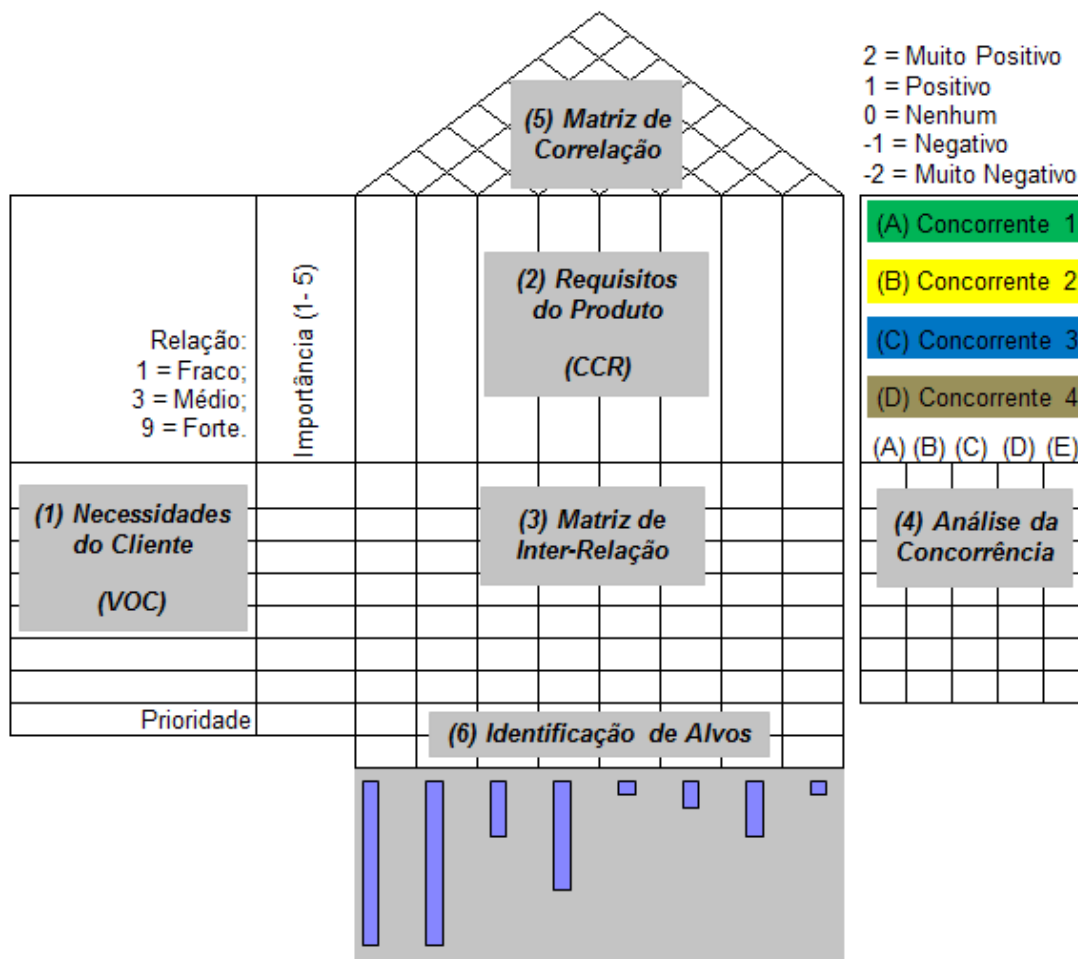
O QFD (Quality Function Deployment), desenvolvido por Yoji Akao, foi o primeiro método sistematizado e estruturado a nortear o desenvolvimento de produtos, a fim de garantir a qualidade e atender as expectativas e desejos dos clientes. Antes de utilizarem o QFD, as empresas visualizavam o processo de desenvolver produtos um esforço criativo, composto de atividades não organizadas, à deriva da aceitabilidade do mercado consumidor (ABREU, 1997, p. 50).

Peixoto e Carpinetti (1998) entendem que a estruturação do QFD ocorre com o levantamento de variáveis qualitativas requeridas para o projeto pelo cliente, tais como função do produto, características, confiabilidade e custo. A partir disso, ocorre o cruzamento desses dados por meio de tabelas verticais e horizontais (matrizes denominadas como casa QFD) e utilizando de procedimentos de extração (relacionamento e conversão de dados qualitativos em quantitativos) são obtidas as informações mais relevantes para o projeto em questão.

Partindo do princípio de extração, relação e conversão, o QFD torna-se uma ótima ferramenta de envolvimento e alinhamento entre desenvolvedor e cliente, tomada de decisões e priorização (PEIXOTO e CARPINELLI, 1998, p. 222). No entanto, essa ferramenta precisa ser usada corretamente. Em seu site, a empresa Kite Mes apresenta uma forma simples de preencher a matriz, conhecida como casa

da qualidade, corretamente. A instrução conta com seis passos que podem ser visualizados na imagem abaixo (SILVA, 2017):

Figura 10: Matriz QFD – Casa da Qualidade



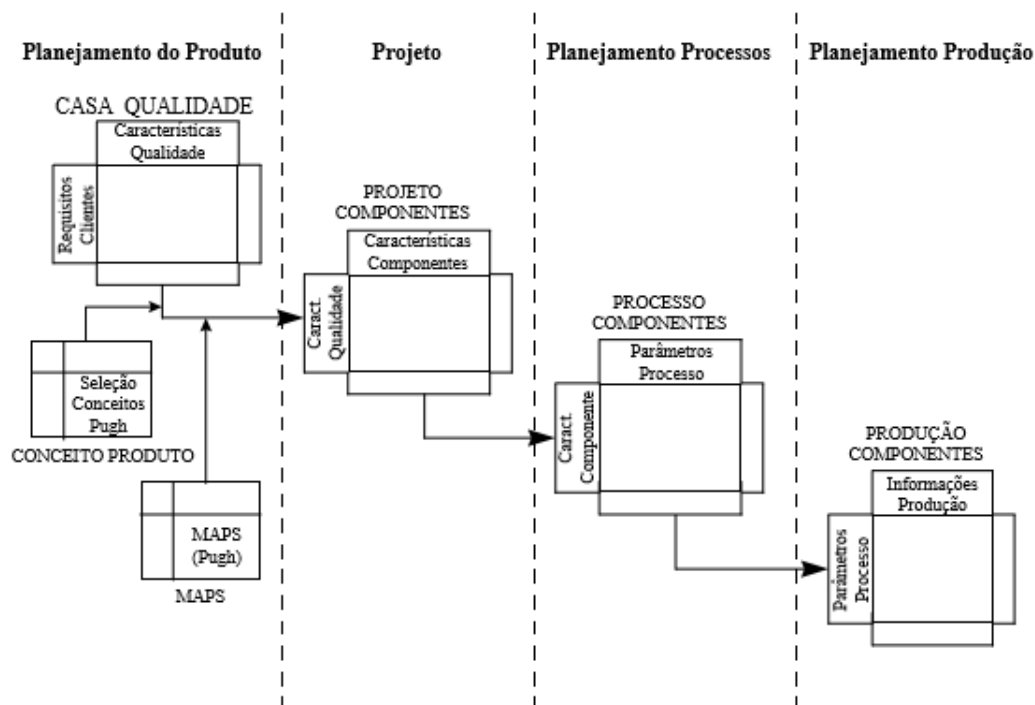
Fonte: Kit Mes (SILVA, 2017)

Durante os anos, o método criado por Yoji Akao na década de 60 foi evoluindo de acordo com as necessidades latentes. Nessa perspectiva foram criados diversos outros métodos de desdobramento como o QFD das Quatro Fases de Makabe, QFD-Estendido e QFD das Quatro Ênfases (PEIXOTO e CARPINELLI, 1998, p. 222).

Para o projeto em questão foca-se no estudo do QFD-Estendido. Esse método conta com quatro fases conforme Figura 11. Essas fases são: planejamento do produto, projeto, planejamento do processo e planejamento da produção. Devido ao presente trabalho não possuir foco no planejamento dos processos ou produção

utilizado na sua realização, e sim no protótipo desenvolvido, foca-se nas duas primeiras fases descritas e evidenciadas na Figura 11 a seguir:

Figura 11: QFD-Estendido



Fonte: Peixoto e Carpinetti (1998).

2.3 CULTURA DA SOJA

A soja caracteriza-se por ser uma planta arbustiva leguminosa. O grão de soja destaca-se por ser um dos mais importantes para a humanidade. Além disso, é uma das principais lavouras do mundo, com produção anual de mais de 100 milhões de toneladas com larga aplicação, desde ração animal até suprimento alimentar para atender às necessidades da população mundial. (HESSE, 1996, p. 18, apud CHRISTENSEN, 2004, p. 34).

Segundo Christensen (2004, p. 36), a introdução da cultura da soja no Brasil deu-se na Bahia, no fim do século XIX, porém sem resultados significativos. Por outro lado, na região sul do país o início do cultivo da soja teve notoriedade, visto que a cultura resultou em grande desenvolvimento econômico na época, com destaque à região do município de Santa Rosa, no Rio Grande do Sul.

Com o cultivo de soja dentre outras culturas, visto os crescentes resultados positivos decorrentes do negócio, a agricultura de maneira geral passou a ingressar em uma revolução tecnológica, onde se intensificou o uso de máquinas, equipamentos e insumos mais sofisticados, tendo em vista a maior racionalização do empreendimento. (BRUM,1988, p. 33).

Conforme Lazzarotto e Hirakuri (2009, p. 29), quanto à tecnologia, salienta-se que a cultura da soja exige não somente maquinário, equipamentos e insumos modernos, como também, técnicas adequadas para realizar seu cultivo. Quanto ao manejo e fertilidade do solo, ressalta-se a importância de monitorar constantemente o solo e realizar avaliações de seu equilíbrio nutricional para atuar de forma eficiente na aplicação de corretivos e fertilizantes. Quanto ao manejo de pragas, é necessário o monitoramento constante da lavoura para identificar o momento mais adequado para a utilização de inseticidas.

A lagarta-medideira da Figura 12, por exemplo, mais comum no sul do Brasil, depositam seus ovos na face inferior da folha. Tais pragas, quando lagartas ou mariposas, acometem as folhas deixando apenas as nervuras, tal ataque é capaz de prejudicar a produção da cultura, pois a redução da área foliar pode comprometer o desenvolvimento da planta. (MOREIRA e ARAGÃO, 2009, p. 88).

Figura 12: Lagarta-medideira



Fonte: Moreira e Aragão (2009).

Outros cuidados importantes no manejo são referentes ao controle de doenças, onde se sugere monitorar a lavoura quanto ao surgimento de ferrugem asiática e mofo branco. Quanto ao sistema de plantio, destaca-se que o plantio direto é um método

adequado à cultura da soja e garante certa economia nesse processo, visto que reduz as chances de erosão no solo e reduz custos e tempo com operações de aragem. (LAZZAROTTO e HIRAKURI, 2009, p. 29).

Referente ao sistema de plantio, é válido destacar que o espaçamento entre linhas e a densidade de plantas nas linhas podem ser modificados, a fim de estabelecer o melhor arranjo para obtenção de maior produtividade. O espaçamento entre as linhas de plantio recomendados para o cultivo de soja variam entre 40 a 60 centímetros. (EMBRAPA, 1997, apud TOURINO, REZENDE e SALVADOR, 2002, p. 2).

3 MÉTODOS

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

De acordo com a concepção científica defendida por Roy Bhaskar (1975), o presente estudo baseia-se nos métodos do realismo crítico. Essa filosofia além de distinguir entre o mundo e nossa experiência sobre o mesmo, é regida por três domínios: real, factual e empírico (apud, SAYER, 2000, p. 09)

Cada um dos domínios citados possui características próprias quanto a abordagem de seus estudos, e estes podem ser baseados nos mecanismos, eventos e/ou experimentos. O real refere-se a tudo que existe, e também sobre os objetos, suas estruturas e poderes. Já o factual refere-se ao que acontece assim que estes poderes são ativados. O empírico, por sua vez, trata do domínio da experiência (SAYER, 2000, p. 09 e 10). Esses domínios são relacionados na Figura 13:

Figura 13: Campo de atuação Realismo Crítico

	<i>Domínio do Real</i>	<i>Domínio do Actual</i>	<i>Domínio do Empírico</i>
<i>Mecanismos</i>	✓		
<i>Eventos</i>	✓	✓	
<i>Experimentos</i>	✓	✓	✓

Fonte: Bhaskar (2008, p.02).

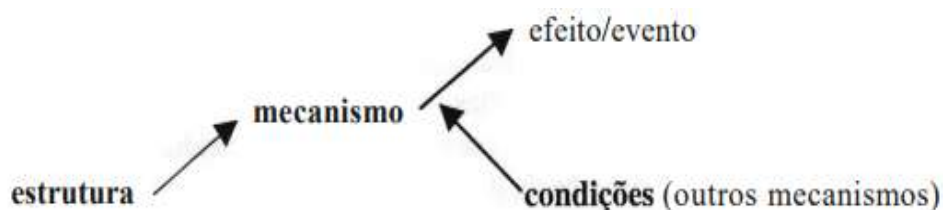
Uma vez que o que impulsiona e valida o presente estudo é são os testes com o protótipo desenvolvido, entende-se que o domínio tende a ser exclusivamente empírico. Assim, toda forma de conhecimento adquirido se dá em virtude de experimentos.

Em relação à observação da causa das ocorrências nos experimentos, faz-se importante salientar sobre os conceitos da causação. Tal qual Sayer:

O que causa a ocorrência de algo não tem nada a ver com o número de vezes em que obervamos sua ocorrência'. A explicação depende da identificação de mecanismos causais, de como eles operam, e da descoberta de se eles foram ativados e sob que condições (SAYER, 2000, p. 13).

Pode-se visualizar a relação entre os mecanismos causais, condições em que eles operam e efeitos através da Figura 14:

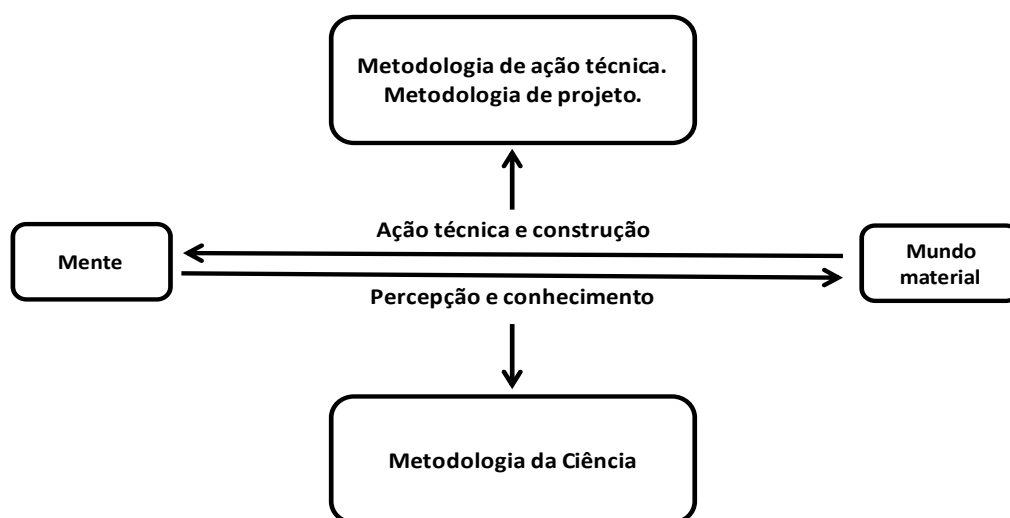
Figura 14: Relação: estrutura, mecanismo, condições e efeito



Fonte: Sayer (2000, p. 14)

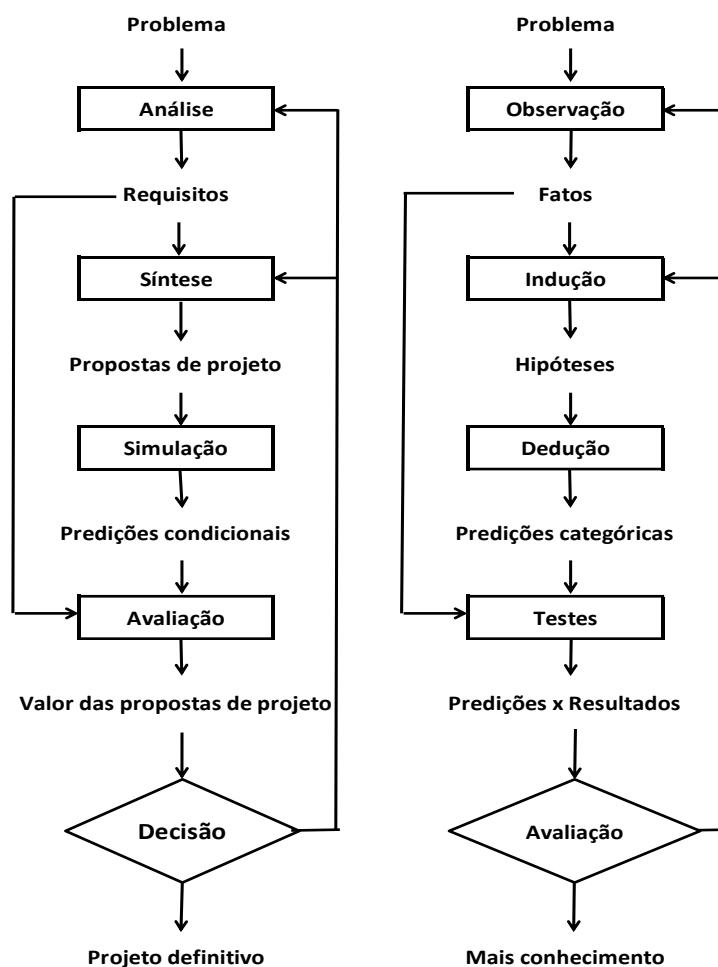
Dado que o presente trabalho trata-se de uma pesquisa, torna-se necessário evidenciar qual é o tipo de pesquisa. Nesse âmbito, pode-se citar a pesquisa científica e projeto de engenharia. Ambos são interativos e interdependentes, ou seja, relacionam objetos e conhecimento sobre a ciência e engenharia moderna. No entanto, cada um possui um vasto número de singularidades, as quais se podem observar através das Figuras 15 e 16 (EEKELS e ROOZENBURG, 1991, p. 198, 199 e 203).

Figura 15: Relação entre Mente e Mundo Material



Fonte: EEKELS e ROOZENBURG (1991, p. 198)

Figura 16: Pesquisa e Projeto: Ciclos básicos



Fonte: EEKELS e ROOZENBURG (1991, p. 198)

Eekels e Roozenburg (1991) salienta que embora os dois métodos possuam um grande número de similaridades e diferenças, o importante é observar o produto de cada um dos estudos em questão. Ao fim do ciclo, a pesquisa científica busca obter mais conhecimento, ora o projeto de engenharia objetiva o projeto definitivo.

Correlacionando o realismo crítico com o projeto de engenharia proposto, tem-se o estudo de três aspectos do projeto: função, comportamento e estrutura.

Quanto à função, o protótipo de base robótica móvel deve se locomover nas lavouras, entre as linhas de soja, carregando componentes e equipamentos de coleta de dados. O protótipo deve possuir comportamento dinâmico e *off-road*, adequando-se aos obstáculos e condições de terreno das lavouras. Além disso, esse deverá ser capaz de realizar curvas de raio aberto e em torno do próprio eixo. A fim de possibilitar tal comportamento, o protótipo possui estrutura forte e de pequenas dimensões. Possui quatro rodas com raio adequado à altura de obstáculos a serem transpostos,

quatro motores elétricos possibilitando tração integral, duas baterias responsáveis pela alimentação de todo o sistema e um conjunto de botoeiras para que seja realizado o acionamento dos atuadores.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento desse projeto foi necessária a construção de um protótipo. Utilizou-se para isso uma série de materiais e equipamentos.

Os materiais utilizados para a construção da base robótica foram adquiridos em sua maioria pelo autor. Também se contou com o auxílio do professor orientador Adalberto Lovato e da instituição de ensino, FAHOR, que forneceram como doação alguns dos materiais.

Os principais materiais utilizados foram:

- Duas chapas de aço SAE 1020, espessura 12,7 mm;
- Duas chapas de aço SAE 1020, espessura 7,96 mm;
- Quatro chapas de aço SAE 1020, espessura 4,18 mm;
- Quatro barras de aço SAE 1020, diâmetro > 30 mm;
- Quatro motores elétricos – Corrente Contínua 12 V;
- Duas baterias 45 A e 12 V;
- Quatro terminais para bateria;
- Cabos elétricos 1,5mm;
- Duas botoeiras de levante de vidro elétrico;
- Quatro rodados pneumáticos 2,5x4;
- Quatro mancais de rolamento esférico, diâmetro interno 17 mm;
- Parafusos sextavados M8;
- Porcas sextavadas M8;
- Parafusos Allen M6;
- Porcas M6.

Quanto ao processo de construção, foram utilizados os laboratórios da FAHOR, em Horizontina, e do colégio Evangélico de Panambi (CEP), em Panambi, os quais disponibilizaram de todos os equipamentos necessários para a construção do protótipo, tais como:

- Torno mecânico convencional;
- Furadeira de bancada;
- Brocas de diversos tamanhos;
- Máquina de solda MIG/MAG;
- Esmirilhadora;
- Disco de desbaste;
- Disco de corte;
- Serra fita;
- Chave de boca;
- Chave allen;
- Alicates.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir de revisão bibliográfica e métodos propostos, o protótipo de base robótica móvel foi desenvolvido e construído. Nesse capítulo serão apresentadas e descritas as etapas desse desenvolvimento e também a análise e resultados dos experimentos realizados com o protótipo.

4.1 QFD – ANÁLISE DOS REQUISITOS

Suportando o desenvolvimento desse trabalho tem-se a necessidade da construção de uma base móvel. Para tanto, são evidenciadas três características importantes, as quais o protótipo deve atender para então ser utilizado com sucesso nas lavouras de soja. Estas são o protótipo possuir pequenas dimensões, ter capacidade *off-road* e possuir um sistema de direção.

As características acima listadas foram denominadas de requisitos iniciais, e serão ponto de partida para o QFD e posterior construção do protótipo.

Os requisitos iniciais podem ser desdobrados em características da qualidade, ou seja, características que agregam valor ao produto, e posteriormente características dos componentes, por sua vez, especificações dos componentes utilizados no projeto, a fim de atender os requisitos listados anteriormente.

Para melhor organização e visualização, os requisitos iniciais, características da qualidade e características dos componentes foram dispostos conforme Quadro 1:

Quadro 1: Desdobramento Requisitos Iniciais

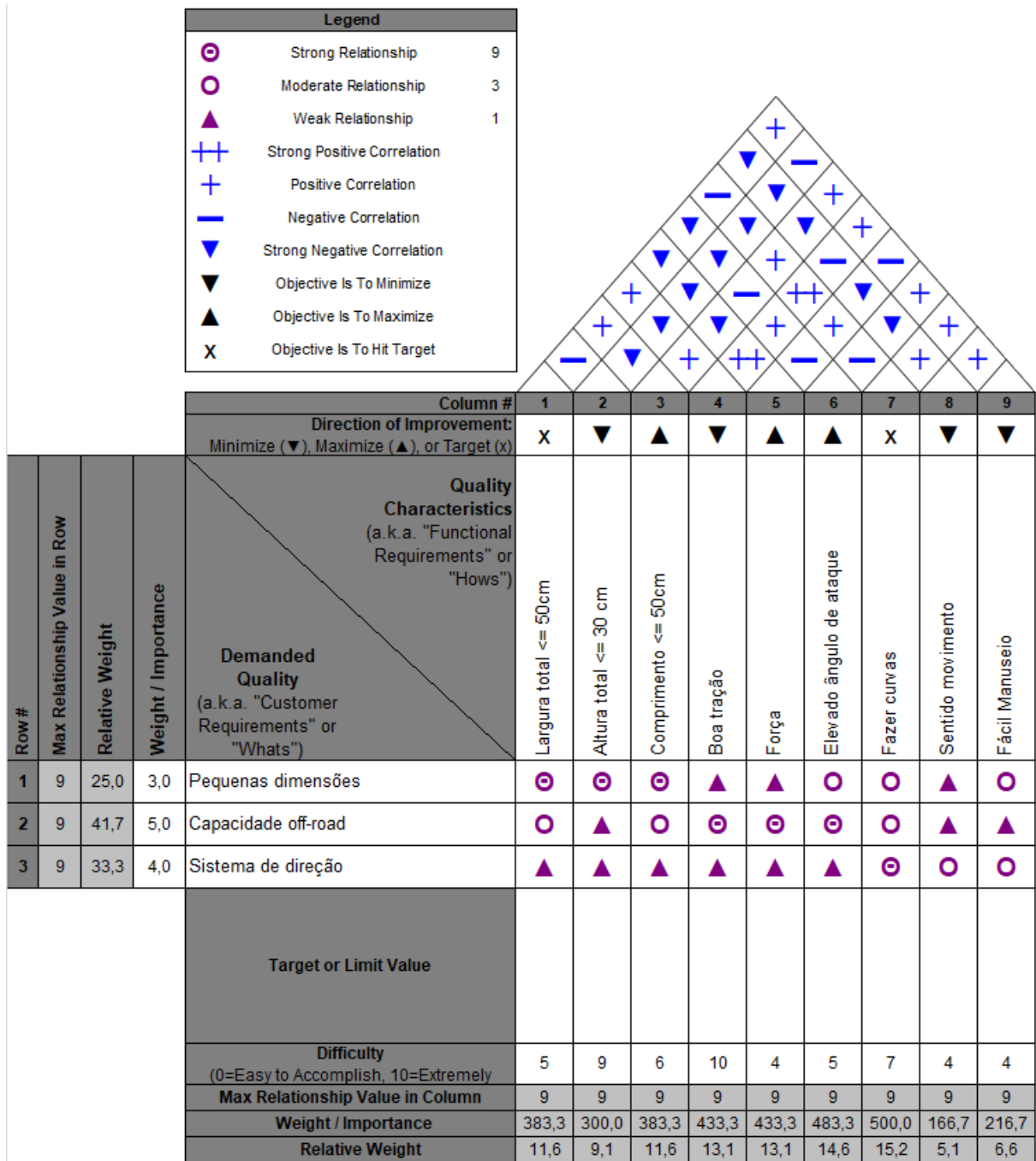
Requisitos do Iniciais	Características da Qualidade	Características Componentes
Pequenas Dimensões	Largura total \leq 50 cm	Chassi estreito Rodas estreitas
	Altura total \leq 30 cm	Baterias Pequenas Motores pequenos
	Comprimento \leq 50cm	Chassi curto Distância entre-eixos reduzida
Capacidade Off-Road	Boa tração	Rodas grandes Tração 4x4
	Força	Alto torque
	Elevado ângulo de ataque	Chassi distante do solo Rodas passando o início e fim do chassi
Sistema Direção	Fazer Curvas	Diferença de rotação Girar no próprio eixo
	Sentido movimento	Andar para os dois sentidos
	Fácil Manuseio	Controle por botoeiras

Fonte: O Autor, 2017.

Dados os requisitos, o próximo passo foi a elaboração do QFD, no qual foi utilizado o método de QFD-Estendido, no entanto, uma vez que esse desdobramento busca apenas classificar os requisitos para que se mantenha o foco nos requisitos iniciais na fase de projeto do protótipo, e ainda, o mesmo não possui fins comerciais, foi utilizado apenas a primeira e segunda fase do QFD-Estendido, denominadas planejamento do produto e projeto, respectivamente.

Sendo assim, segue a primeira matriz QFD na Figura 17, que relaciona os requisitos iniciais e características da qualidade.

Figura 17: Primeiro QFD - Planejamento do Produto



Fonte: O Autor, 2017.

Como se pode observar na matriz QFD, a importância de cada requisito inicial foi posta manualmente pelo autor. A partir dessa importância, a matriz calculou automaticamente o peso relativo (Relative Weight) e temos que a capacidade *off-road* destaca-se como o requisito inicial de maior importância para o protótipo, obtendo 41,7 pontos. Seguido pelo sistema de direção, com 33,3 pontos, ter um sistema de direção caracteriza-se como prioridade número dois. Por último, embora isso não

descaracterize sua importância, tem-se as pequenas dimensões do protótipo, com 25,0 pontos.

Para facilitar a análise das características da qualidade, após a correlação realizada foram dispostos os requisitos e suas notas conforme o Quadro 2:

Quadro 2: Classificação das Características da Qualidade

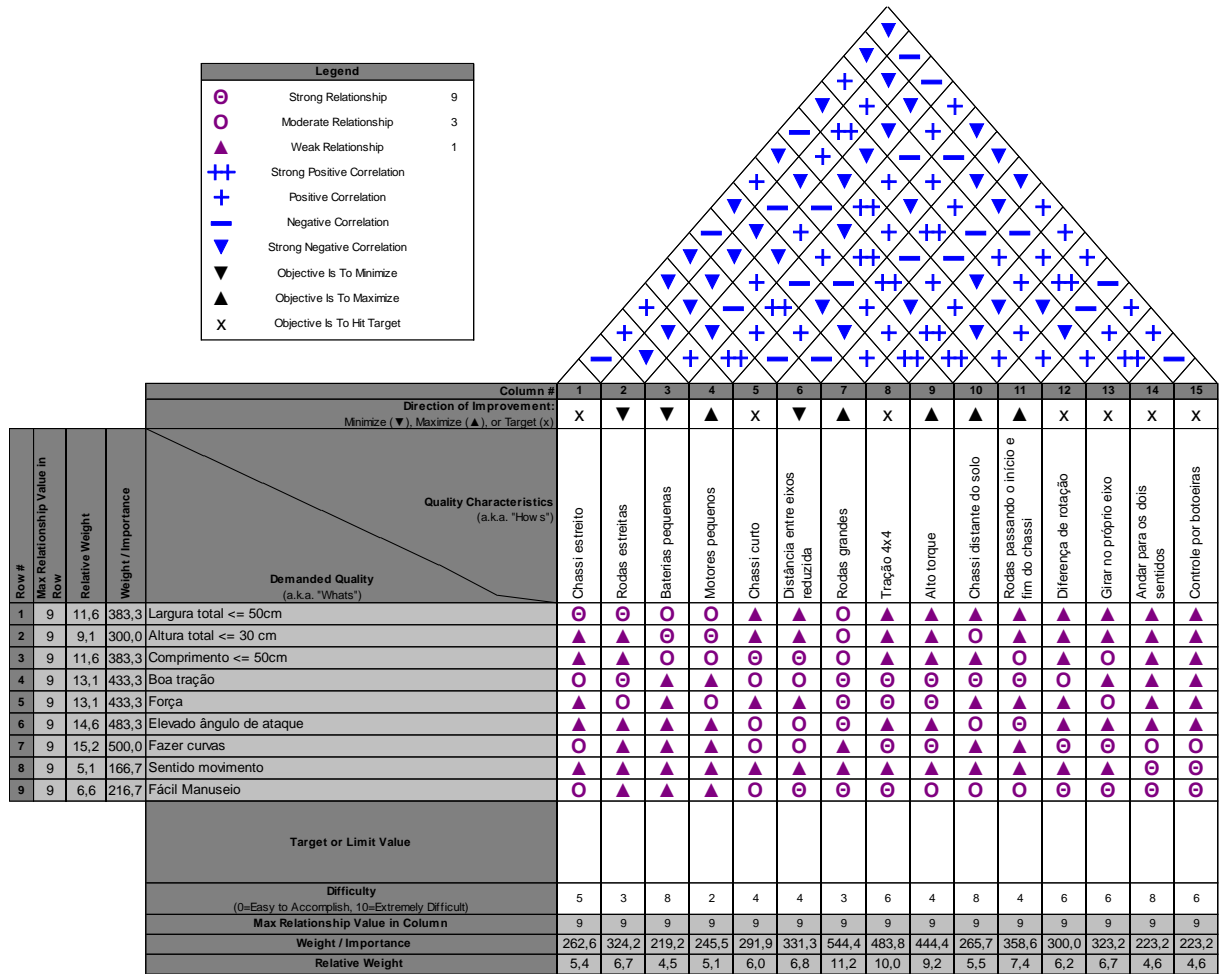
	Características da Qualidade	Importância	Peso Relativo
Mais importantes	Fazer Curvas	500,0	15,2
	Elevado ângulo de ataque	483,3	14,6
	Boa tração	433,3	13,1
	Força	433,3	13,1
	Largura total <= 50 cm	383,3	11,6
Menos importantes	Comprimento <= 50cm	383,3	11,6
	Altura total <= 30 cm	300,0	9,1
	Fácil Manuseio	216,7	6,6
	Sentido movimento	166,7	5,1

Fonte: O Autor, 2017.

Nota-se que após a correlação, fazer curvas aparece como característica de maior importância, seguido pelo elevado ângulo de ataque. Como característica menos importante tem-se o fácil manuseio e sentido de movimento (frente e trás).

Com base nos resultados obtidos no QFD de planejamento do produto, relaciona-se as características da qualidade com as características dos componentes para obter o QFD de projeto. Dessa forma, tem-se a segunda matriz QFD conforme Figura 18.

Figura 18: Segundo QFD - Projeto



Fonte: O Autor, 2017.

Da mesma forma como para a matriz anterior, para facilitar a análise das características dos componentes, foram dispostas as características e suas notas, conforme o Quadro 3:

Quadro 3: Classificação das Características dos Componentes

	Características dos Componentes	Importância	Peso Relativo
Mais importantes	Rodas grandes	544,4	11,2
	Tração 4x4	483,8	10,0
	Alto torque	444,4	9,2
	Rodas passando o início e fim do chassi	358,6	7,4
	Distância entre eixos reduzida	331,3	6,8
	Rodas estreitas	324,2	6,7
	Girar no próprio eixo	323,2	6,7
	Diferença de rotação	300,0	6,2
Menos importantes	Chassi curto	291,9	6,0
	Chassi distante do solo	265,7	5,5
	Chassi estreito	262,6	5,4
	Motores pequenos	245,5	5,1
	Andar para os dois sentidos	223,2	4,6
	Controle por botoeiras	223,2	4,6
	Baterias pequenas	219,2	4,5

Fonte: O Autor, 2017.

Por fim, tem-se como mais importantes os requisitos de: rodas grandes, tração 4x4 e alto torque. Por sua vez, como menos importantes tem-se: andar para os dois sentidos, controle por botoeiras e baterias pequenas.

4.2 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Em concordância com a correlação e classificação das características mais importantes do presente estudo foram escolhidos os materiais e componentes para a construção do protótipo de base robótica móvel, assim como identificadas as formas de atuação de cada componente para que se satisfaçam os requisitos elencados.

Vale ressaltar que os componentes do protótipo foram adquiridos priorizando a questão da relação custo-benefício, então, não se testou o protótipo e seus componentes nas melhores condições de qualidade, e sim, se buscou uma otimização nos custos da construção do protótipo. Ainda salienta-se que a escolha de componentes mais acessíveis não comprometeu a verificação da capacidade do protótipo quanto ao atendimento dos seus requisitos.

4.2.1 Motores Elétricos, Baterias e Botoeiras de Acionamento

Para ser possível realizar movimentação com o robô, foram escolhidos quatro motores de limpador (Figura 19) de parabrisa Bosh, modelo F 006 B20 145. Os motores foram adquiridos usados, no ferro velho, no entanto, foram realizados testes no momento da compra para verificar se os mesmos estavam em boas condições de funcionamento.

Figura 19: Motor de limpador de parabrisa



Fonte: O Autor, 2017.

A escolha desse tipo de motor justifica-se por seu auxílio em satisfazer três características de componentes para a fase de projeto desse protótipo, evidenciado no QFD. Como pontos positivos para o projeto, o motor escolhido possui sentido livre de rotação para os dois lados, logo, através da inversão de polaridade será possível fazer com que as rodas girem nos dois sentidos, levando o robô para frente e para trás. Além disso, uma vez que podemos controlar o sentido de rotação dos motores, pode-se ligá-los dois a dois (em paralelo) e assim efetuar curvas, ou até o giro de 360° em torno do próprio eixo, através diferença de rotação e sentido das rodas. Depois, esse modelo de motor usa um tipo de redução de coroa e sem-fim, o que proporciona elevado torque, 5 Nm, conforme Figura 20.

Figura 20: Dados técnicos do motor elétrico

Technische Daten	
Bestellnummer	F 006 B20 145
Tensão nominal	U_N 12 V
Potência nominal	P_N 10,4 W
Corrente nominal	I_N 5,5 A
Corrente máxima	I_{max} 20 A
Rotação nominal	n_N 50 min ⁻¹
Torque nominal	M_N 5 Nm
Torque de aperto	M_A 18 Nm
Redução	i 63 : 1
Sentido de rotação gegen den Uhrzeigersinn	Drehrichtung
Modo de operação tempo limitado	regime de
Tipo de proteção	IP 23
Peso	1,230 kg
	180 mm
	90 mm
	Connector Housing
TE 180904-0 / Connector Terminal TE 160927-2 for 1,5 - 2,5 mm ²	

Fonte: Bosh.

Ademais, a escolha foi feita por esse apresentar uma apropriada relação de custo-benefício para o protótipo em questão. Além disso, outro ponto que influenciou na escolha, é o fato de ser um motor de corrente contínua 12 V, ou seja, pode ser acionado por baterias, o que facilita sua instalação e utilização.

Quanto às baterias, utilizaram-se duas baterias automotivas 12 V (Figura 21). As baterias possuem capacidade de 45 A cada uma. Dado isso, e levando em consideração a corrente nominal requerida por cada motor, estima-se um tempo de uso do robô de quatro horas até que as baterias sejam descarregadas completamente.

Figura 21: Baterias



Fonte: O Autor, 2017.

Foi necessário utilizar duas baterias para acionar os motores, pois esses possuem duas posições de montagem distintas no chassi. Durante a montagem, testes comprovaram que ao utilizar somente uma bateria, quando acionado os motores para a mesma direção, o protótipo girava em círculos sem sair do lugar. Por outro lado, quando acionados em direção contrária, invertendo a polaridade para tentar corrigir o erro, ocorria curto na bateria.

O sistema elétrico, composto até o momento de baterias e motores é concluído com as botoeiras de acionamento. Para o correto funcionamento do sistema, utilizou-se de botoeiras de acionamento de vidro elétrico (Figura 22).

Figura 22: Botoeiras de Acionamento de Vidro Elétrico



Fonte: O Autor, 2017.

É importante salientar que esse tipo de comando tem característica de inversão de polaridade. Essa característica favorece as necessidades do protótipo de andar para frente e para trás, assim como realizar curvas (de raio aberto e giro 360° sobre o próprio eixo) conforme a combinação de botões pressionados pelo operador do robô. Ainda vale destacar que o controle escolhido permite um fácil manuseio, pois os botões retornam para posição neutra quando não pressionados.

Os detalhes dos motores elétricos e das baterias estão disponíveis nos Apêndices A e B, respectivamente.

4.2.2 Rodados, Mancais e Eixo

A escolha dos rodados visou atender aos requisitos do protótipo de possuir rodas grandes e também de ter boa tração, como requisitos diretos. Além disso, a escolha dessas rodas interfere no requisito de distância entre o chassi e o solo e também no ângulo de ataque. Para tanto, optou-se por rodados pneumáticos 2,50x4 (Figura 23) utilizados em carrinhos de carga.

Figura 23: Rodados Pneumáticos 2,5x4



Fonte: O Autor, 2017.

As dimensões das rodas favorecem a aplicação desejada, pois possuem 21 centímetros de diâmetro e 5 centímetros de largura. Outro fato que se pode mencionar sobre os rodados, é que eles possuem um mancal de rolamentos (Figura 24) acoplado no interior da roda de aço zincada. Esse mancal foi desmontado da roda e será utilizado para servir de suporte de deslizamento para os eixos, no chassi. O mancal é composto por dois rolamentos de esfera, o diâmetro do eixo admitido é de 16 milímetros e possui furação para fixação com parafusos M8.

Figura 24: Mancais de Rolamento



Fonte: O Autor, 2017.

Para transmitir a rotação dos motores para as rodas, usinou-se (no laboratório de usinagem do Colégio Evangélico de Panambi) quatro eixos a partir de barras redondas de aço 1020, de forma com que esses se ajustem ao diâmetro de acoplamento nos mancais. Para impedir a livre rotação dos eixos em relação às rodas, soldaram-se quatro discos com diâmetro de 92 milímetros no eixo. Esses discos possuem furos M8 para serem parafusados no aro dos rodados, conforme pode ser visualizado na Figura 25 pelo conjunto do eixo e disco.

Figura 25: Conjunto eixo e disco



Fonte: O Autor, 2017.

Os detalhamentos dos eixos, assim como das rodas e mancais de rolamento estão disponíveis nos Apêndices C, D e E, respectivamente.

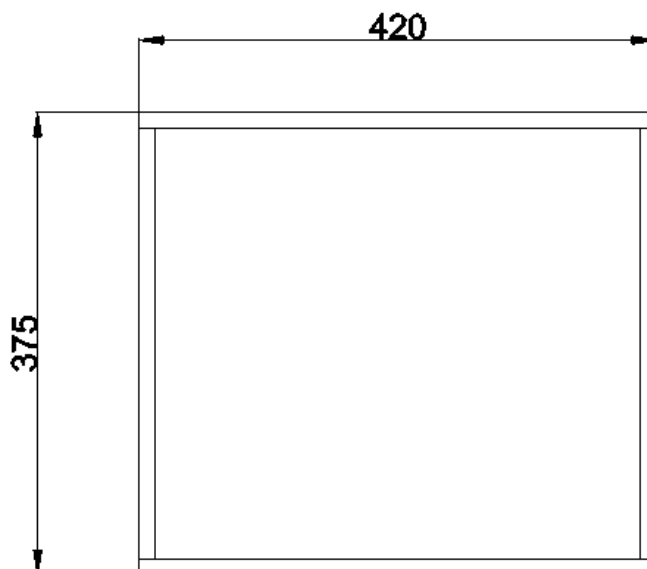
4.2.3 Chassi e Suportes

O principal ponto a ser observado no chassi do protótipo são as suas dimensões, dado que o espaçamento entre linhas nas plantações de soja pode variar de 40 a 60 centímetros.

Ao analisar o peso e tamanho dos itens básicos já descritos, e que devem ser montados no chassi, assim como o sua orientação no interior do mesmo, optou-se por um chassi forte e com dimensões de 375 milímetros de largura e 420 milímetros de comprimento. Com isso, foram escolhidas quatro chapas de aço SAE 1020 de espessura $\frac{1}{2}$ ", disponibilizados pela FAHOR.

Essas chapas foram soldadas através do processo MAG (processo mais utilizado para solda materiais ferrosos) de forma juntá-las formando o chassi retangular conforme as dimensões, em milímetros, especificadas na Figura 26.

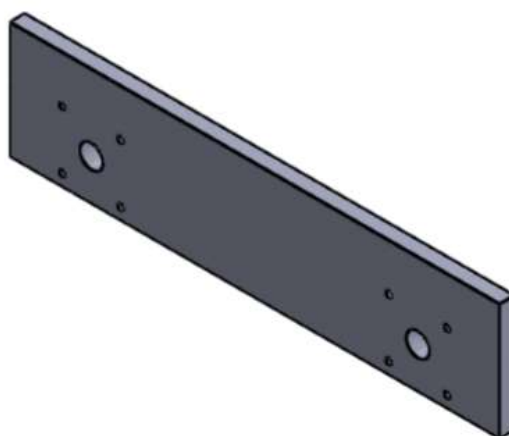
Figura 26: Chassi Soldado



Fonte: O Autor, 2017.

Em cada chapa do chassi de 420 milímetros ainda foram feitos dois furos de 38,5 milímetros de diâmetro para alocar os mancais de rolamento e também oito furos menores para fixação com parafusos e porcas M8, conforme Figura 27. Os furos foram feitos utilizando a furadeira de bancada e brocas disponíveis na FAHOR. Vale lembrar que nesses mancais serão dispostos os eixos e rodas, então o posicionamento destes foi analisado para contribuir com o ângulo de ataque e distância entre o chassi e o solo.

Figura 27: Furos para Mancal na Chapa Chassi



Fonte: O Autor, 2017.

Para que fosse possível a fixação dos motores no interior do chassi, fabricou-se um suporte (Figura 28) a partir de chapas de aço SAE 1020 espessura 5/16". Essa chapa somente impede a rotação do motor, desse modo, a mesma não é soldada a estrutura do chassi, justamente para que se permita a existência de folgas que compensem o desalinhamento da solda do chassi e eixo das rodas.

Cada suporte possui dois furos de 20 milímetros de diâmetro, por onde passa o eixo do motor, e seis furos para fixação dos motores com parafusos M6.

Figura 28: Suporte Motores



Fonte: O Autor, 2017.

Também se utilizou de suportes para fixar as baterias. Esses suportes foram feitos com chapas de aço SAE 1020 que já estavam previamente dobradas em um ângulo de 90°. Dessa forma, foi necessário apenas cortá-las na medida desejada e soldá-las na posição correta.

Nos Apêndices F, G, H, I e J seguem, respectivamente, os desenhos detalhados das chapas do chassi, chapa de suporte para motores e chapas de suporte para baterias. Por fim, tem-se o protótipo de base robótica móvel montado e detalhado no Apêndice K.

4.3 REALIZAÇÃO DE TESTES PRÁTICOS

Para verificar se os componentes definidos no capítulo anterior fornecem ao protótipo a capacidade de atender aos requisitos definidos para a base robótica móvel,

foi necessário realizar testes práticos a fim de verificar sua aplicação em diferentes condições de uso.

Devido ao fato deste estudo ser desenvolvido em época não condizente com o período de cultivo de soja na região, realizou-se os testes práticos em diferentes ambientes, os quais serão abordados nos itens seguintes.

4.3.1 Análise da mobilidade da base robótica móvel em diferentes ambientes

Definiu-se testar o protótipo em diversos ambientes partindo do princípio de que as lavouras de soja são ambientes dinâmicos, e ao longo de seu cultivo pode-se encontrar diversas condições de solo: terra úmida, terra seca, solo pedregoso, solo com cobertura vegetal. Além disso, para avaliar as condições de mobilidade geral do protótipo também definiu-se avaliar seu desempenho em solo asfaltado.

4.3.1.1 Ambiente de asfalto/cimento

Os testes iniciais do protótipo deram-se em ambientes de asfalto e cimento. Em princípio, o objetivo principal do teste nesse tipo de solo (Figura 29) foi de verificar a condição da mobilidade da base no sentido de haver necessidade de trânsito entre um local e outro via asfalto ou cimento.

Figura 29: Movimentação em ambiente de asfalto



Fonte: O Autor, 2017.

Ainda, esse teste inicial foi utilizado para verificar seu comportamento durante utilização, antes de iniciar testes em ambientes *off-road*. Durante o teste a base robótica mostrou condições satisfatórias de mobilidade em terreno de asfalto, visto que apresentou boa aderência ao terreno e que não houve dificuldade em mover-se em asfaltos acivos.

4.3.1.2 Ambiente com cobertura vegetal

Ao testar a base robótica móvel em ambiente com cobertura vegetal, percebe-se que a mesma não apresentou grandes dificuldades de mobilidade quando em terreno plano. Porém, quando analisado o seu comportamento em acive (aproximadamente 30°) e com a vegetação ligeiramente úmida (Figura 30), verificou-se falta de aderência das rodas ao solo, resultando na redução de sua eficiência de mobilidade.

Figura 30: Movimentação em acive com vegetação úmida



Fonte: O Autor, 2017.

Por outro lado, vale salientar que ao testar o protótipo em um ambiente semicoberto por vegetação (Figura 31), a base apresentou condições de força e aderência ao solo suficientes para se mover sem maiores dificuldades.

Figura 31: Movimentação em ambiente semicoberto por vegetação



Fonte: O Autor, 2017.

Nesse sentido, um ponto positivo que vale ressaltar quanto à cobertura vegetal, é de que o que mais se assemelha ao ambiente de lavoura de soja é o terreno semicoberto, e este apresentou melhores resultados que nos testes realizados em vegetação.

4.3.1.3 Ambiente com terra úmida

Os testes da base robótica móvel em terra úmida apresentaram resultados positivos quanto à análise da tração promovida pelo conjunto rodado-motor utilizado no protótipo. Visto que se encontra em condições de terreno úmido até lamacento (Figura 32), a base permaneceu em mobilidade sem ocorrer seu atolamento.

Figura 32: Movimentação em ambiente lamacento



Fonte: O Autor, 2017.

Em contrapartida, o desnível irregular do ambiente comprometeu sua mobilidade, visto que em certos momentos a base não apresentava todas as rodas em contato com o solo (Figura 33).

Figura 33: Terreno irregular: rodas sem contato com o solo



Fonte: O Autor, 2017.

A partir desse resultado, considera-se que em terreno de lavouras de soja, quando houver terra úmida a lamacenta, o robô será capaz de mover-se, desde que seja possível permanecer com todas as rodas em contato com o terreno.

4.3.1.4 Ambiente de terra seca a pedregosa

Em ambientes de terra seca a pedregosa de maneira geral, a base robótica apresentou capacidade de locomover-se. Porém, seu comportamento variou na condição de alicive. Quando testado na presença de grande irregularidade de desniveis, o protótipo teve dificuldade em mover-se, visto que devido às rodas serem fixas ao chassi, quando posto sobre certos desniveis, não havia contato de todas as rodas com o solo (Figura 34), o que acarretou na redução de tração e consequentemente, reduziu-se a capacidade de mobilidade nessa condição.

Figura 34: Forte acive de terra seca e pedregoso



Fonte: O Autor, 2017.

Ainda na condição de ambiente de terra seca e pedregosa, verificou-se que em acive ligeiramente nivelado, a base robótica apresentou condições de mobilidade.

Figura 35: Aclave pedregoso ligeiramente nivelado



Fonte: O Autor, 2017.

Nota-se que, conforme apresenta a Figura 35 acima, na condição de pouco desnível, mesmo que em aclive, o protótipo é capaz de mover-se nesse tipo de ambiente.

4.3.2 Análise de velocidade, manobras e sobreposição de obstáculos

A análise de velocidade, manobras e sobreposição ocorreram simultaneamente aos testes de mobilidade. De maneira geral, o protótipo apresentou facilidade em manobras, seja para mudar a direção de movimento (para frente, para trás e curvas de raio aberto) e para realizar giros de 360°. Porém, é importante ressaltar que independente do tipo de ambiente, ao se tratar de aclives a base robótica reduziu sua eficiência no giro devido ao deslizamento lateral do robô ocasionado pela diferença de tração na condição de inclinação de quase 13°.

Quanto à sobreposição de obstáculos, verificou-se através dos testes que o protótipo é capaz de ultrapassá-los quando existe o contato das rodas com o obstáculo propriamente dito, como por exemplo, o teste realizado ao subir o paralelepípedo conforme mostra a Figura 36.

Figura 36: Protótipo subindo paralelepípedo



Fonte: O Autor, 2017.

No entanto, quando o obstáculo está posicionado também entre as rodas, de modo a tocar o chassi, ou ainda, quando o obstáculo trata-se de plantas mais robustas, por exemplo, a base robótica tende a parar, de acordo com evidências da Figura 37.

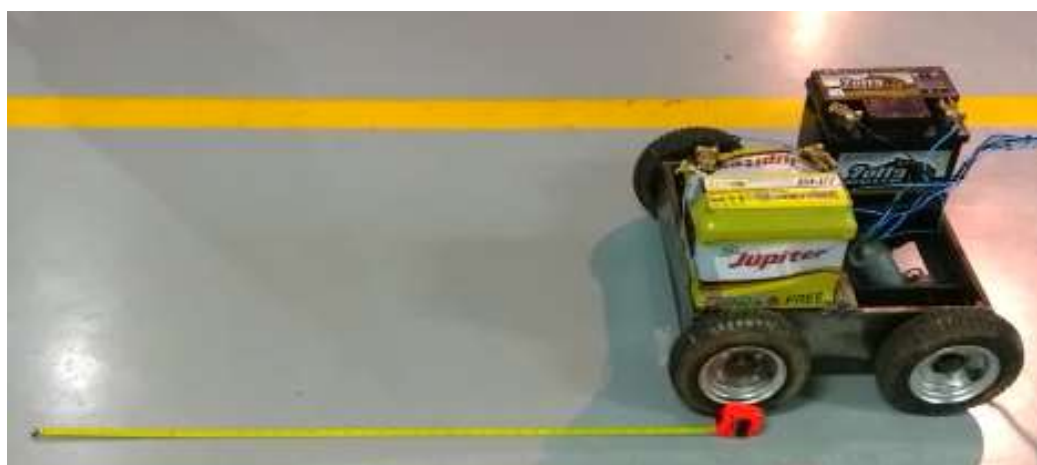
Figura 37: Obstáculos em interferência com chassi



Fonte: O Autor, 2017.

Em relação à velocidade de movimento do protótipo, realizou-se teste em terreno de cimento através da medição de tempo em segundos para mover-se ao longo de um metro de distância (Figura 38). Obtém-se que para andar um metro, o robô gasta dois segundos.

Figura 38: Teste de velocidade média



Fonte: O Autor, 2017.

A velocidade média de 0,5 m/s, resultante do teste realizado, é um dado importante no sentido de viabilizar alguns estudos como, por exemplo, tempo necessário para percorrer certa distância em uma verificação da lavoura de soja.

Embora o protótipo pareça lento, destaca-se que para a aplicação para a qual desenvolveu-se a base robótica móvel, a sua velocidade média caracteriza-se como adequada, pois facilita o controle da base pelo operador do robô, bem como, não tende a prejudicar a tração do protótipo, uma vez que o tipo de motor utilizado foca em torque e não em RPM.

5 CONCLUSÃO

Visando facilitar o trabalho dos produtores, de forma com que estes não mais adentrem as lavouras para coletar dados, e ainda, garantam informações mais precisas, o presente estudo teve como objetivo construir um protótipo de base robótica móvel, de pequenas dimensões, e capacidade *off-road* adequada, a fim de garantir sua mobilidade em plantações de soja, enquanto transporta instrumentos de verificação e análise do solo, plantas e pragas nestas presentes.

Ademais, os resultados dos testes, na seção 4 mostram que o objetivo pode ser considerado como atingido.

A utilização da ferramenta QFD mostrou-se adequada quanto a sua função de classificar e priorizar as características necessárias para a construção do protótipo. Além de demonstrar-se uma ferramenta fácil e de simples utilização, possui papel notável na quanto ao cumprimento dos requisitos iniciais elencados, uma vez que estes são desdobrados em características que podem ser incorporadas pelo projeto.

Em consideração aos resultados obtidos nos testes que simularam as principais condições encontradas em uma lavoura, pode-se concluir que os objetivos desse trabalho foram alcançados. Salieta-se que o robô apresentou bom desempenho em todos os ambientes propostos, bem como na maioria das situações adversas que o mesmo foi exposto. Vale ainda destacar que o sistema de direção, controlado pela diferença de rotação das rodas comportou-se de maneira adequada, e proporcionou ao protótipo realizar curvas tanto de raio aberto, como em torno do próprio eixo.

Os quatro motores e, conseqüentemente a tração nas quatro rodas, disponibilizaram a força necessária para superar obstáculos uma vez que todos os rodados encontraram-se em contato com o chão. No entanto, existiram situações em que o desempenho do protótipo foi reduzido, como em casos de terrenos com grandes desníveis, ou ainda, de obstáculos posicionados entre as duas rodas, tendendo a chocar-se com o chassi. Nesses casos, as rodas do protótipo tenderam a perder tração, girar em falso e parar a movimentação.

Por fim, ressalta-se a importância desse estudo como um primeiro protótipo, o qual poderá servir de base para futuros aperfeiçoamentos, até chegar ao patamar de produto pronto para ser comercializado como equipamento realmente útil para os agricultores.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização dos testes, o robô apresentou problemas de tração quando enfrentou terrenos desnivelados. Nessa condição, algumas das rodas deixaram de ter contato com o solo, o que prejudicou a mobilidade do protótipo. Isso se deve ao fato de que as rodas estão fixas no chassi, não possibilitando que estas se adaptem verticalmente às irregularidades e desníveis.

Para melhorar essa condição, sugere-se a adaptação de um sistema de suspensão individual para cada uma das rodas, de modo que quando o robô avançar sobre um grande desnível, esse seja compensado pela suspensão ligada às rodas. Além disso, a suspensão nesse caso faria o trabalho de aumentar a distância entre o chassi e o solo, favorecendo a sobreposição de obstáculos.

Sugere-se também estudar a viabilidade de troca do tipo de rodado utilizado no protótipo, uma vez que os motores utilizados possuem torque suficiente para fazer os rodados de borracha perderem tração. Uma opção seria o uso de esteiras, uma vez que essas possuem grande área de contato com o chão.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. de. S. **QFD – Desdobramento da Função Qualidade**: Estruturando a satisfação do cliente. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v37n2/a05v37n2.pdf>> Acesso em: Outubro de 2017.

BHASKAR, R. **A realist Theory of Science**. Nova Iorque: Routledge, 2008. Disponível em: <http://uberty.org/wp-content/uploads/2015/09/Roy_Bhaskar_A_Realist_Theory_of_Science.pdf> Acesso em: Outubro de 2017.

BOSH. **Catálogo Digital 2013**. Disponível em: <http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/motores_eletricos/Catalogo_Motores_Eletricos_lowres_6_008_CT1_248_2013.pdf> Acesso em: Outubro de 2017.

BRUM, A. J. **Modernização da Agricultura**: Trigo e soja. Petrópolis: Vozes Ltda, 1988.

CHRISTENSEN, T. N. S. de; BINDÉ, C. J. R. **Soja 80 anos de produção**: 1924 – 2004. Santa Rosa: Lucano Cultura e Marketing, 2004.

CYBERNETICZOO. **O primeiro robô móvel**. Disponível em: <<http://cyberneticzoo.com/cyberneticanimals/1967-shakey-charles-rosen-nils-nilsson-bertram-raphael-et-al-american/>> Acesso em: Outubro de 2017.

CYBERNETICZOO. **Robô Dante**. Disponível em: <<http://cyberneticzoo.com/walking-machines/1992-4-dante-dante-ii-john-e-bares-william-red-whittaker-american/>> Acesso em: Outubro de 2017.

EEKELS, J.; ROOZENBURG, N. F. M. **A methodological comparison of the structures of scientific research and engineering design**: their similarities and differences. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014-2694X9190031Q>> Acesso em: Outubro de 2017.

KIT MES. **QFD**: Os 6 passos para preencher e analisar a casa da qualidade. Disponível em: <<http://www.kitemes.com.br/2017/05/02/qfd-os-6-passos-para-preencher-e-analisar-a-casa-da-qualidade>> Acesso em: Outubro de 2017.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro**. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/Doc-319_3ED.pdf> Acesso em: Outubro de 2017.

MOREIRA, H. J. C.; ARAGÃO, F. D. **Manual de Pragas da Soja**. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_de_pragas_de_soja%20\(1\).pdf](https://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_de_pragas_de_soja%20(1).pdf)> Acesso em: Outubro de 2017.

NIKU, S. B. **Introdução à robótica**: Análise, controle, aplicações. 2 ed. Trad. de S. G. Taboada. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PEIXOTO, M. O. da C.; CARPINETTI, L. C. R. **Aplicação de QFD integrando o modelo de akao e o modelo QFD estendido.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v5n3/a05v5n3.pdf>> Acesso em: Outubro de 2017.

PIERE, E. R. de. **Curso de Robótica Móvel.** Disponível em: <http://www.adororobotica.com/CURSO_DE_ROBOTICA_MOVEL.pdf> Acesso em: Outubro de 2017.

ROMANO, V. F.; DUTRA, M. S. **Introdução à Robótica Industrial.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAF1c-AG/robotica-industrial>> Acesso em: Setembro de 2017.

ROMERO, R. A. F. (Org.). et al. **Robótica Móvel.** Rio de Janeiro: LTC, 2014.

SAYER, A. **Características chave do realismo crítico na prática:** um breve resumo. [artigo científico]. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revsocio/index.php/revista/article/view/293/250>> Acesso em: Outubro de 2017.

SILVA, V. **QFD:** Os 6 passos para preencher e analisar a casa da qualidade. Disponível em: <<http://www.kitemes.com.br/2017/05/02/qfd-os-6-passos-para-preencher-e-analisar-a-casa-da-qualidade/>> Acesso em: Outubro de 2017.

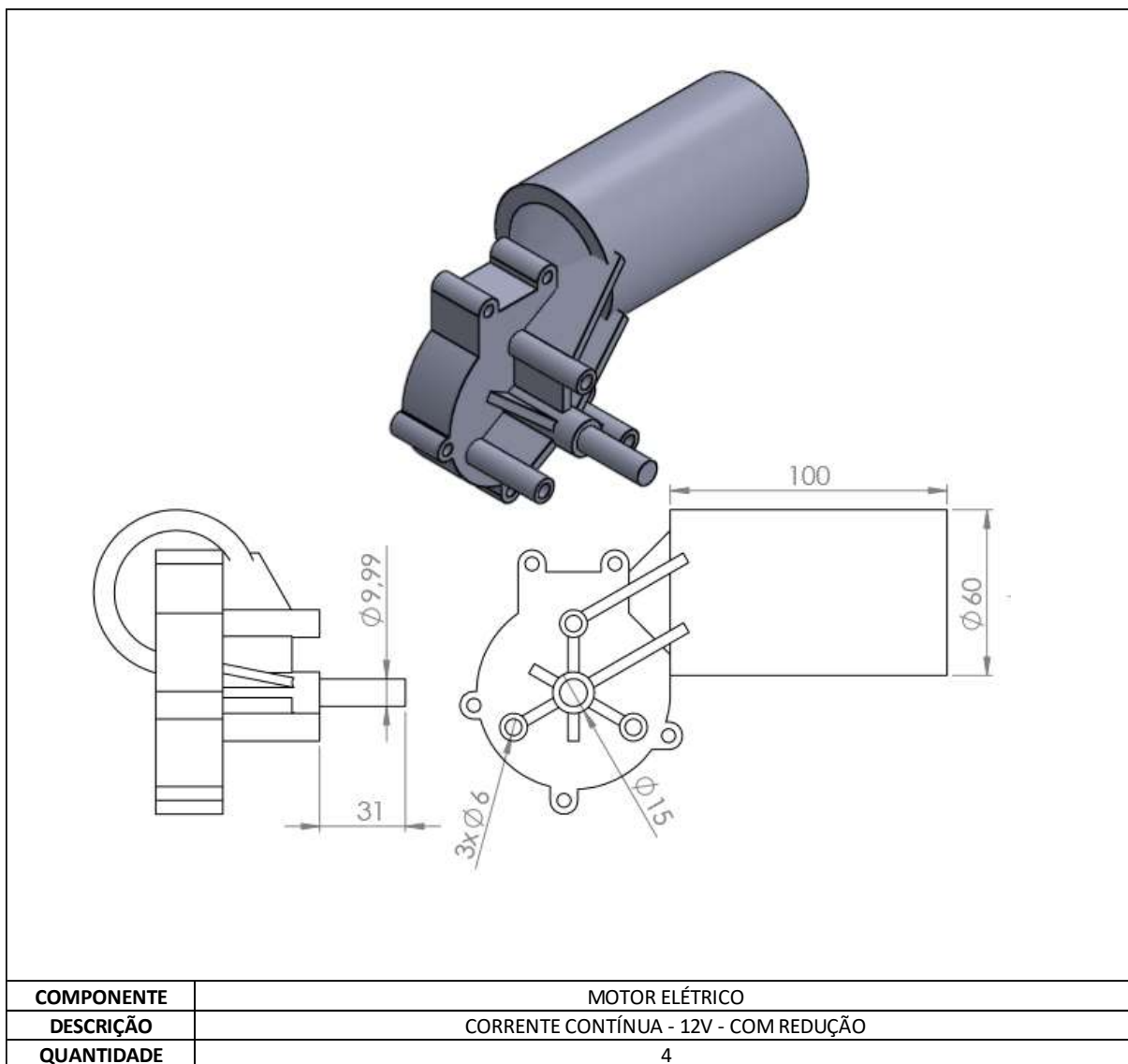
SPONG, M. W.; et al. **Robot Dynamics and Control.** Disponível em: <http://files.marciobazani.webnode.com/20000001623eab25e83/Spong_Textbook%5B1%5D.pdf> Acesso em: Outubro de 2017.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M. de; SALVADOR, N. **Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n8/11666>> Acesso em: Outubro de 2017.

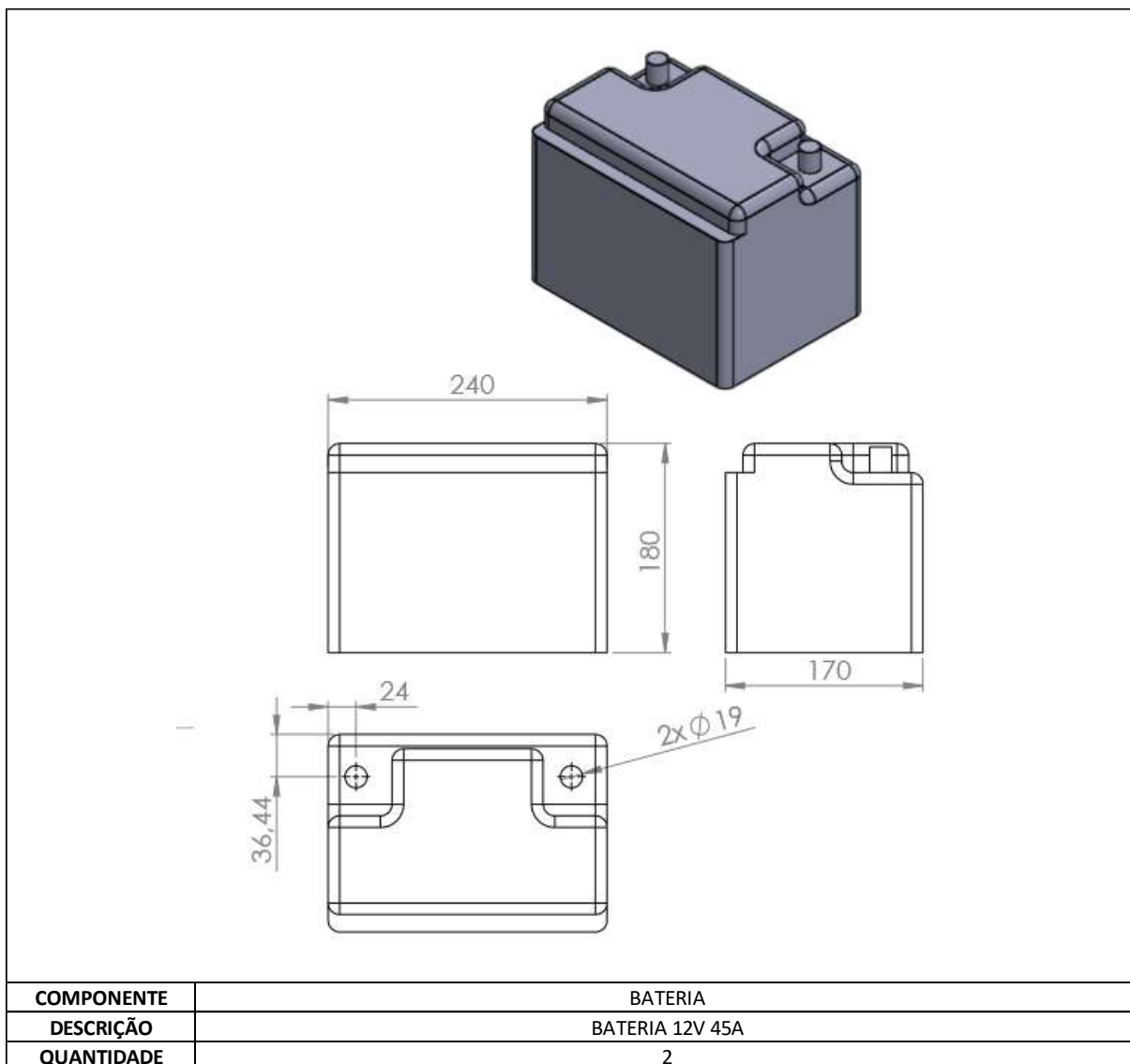
WOLF, D. F.; et al. **Intelligent Robotics: From Simulation to Real World Applications.** Disponível em: <<http://inctsec.icmc.usp.br/actrep/sites/default/files/highlights/Tutorial-JAI.pdf>> Acesso em: Setembro de 2017.

APÊNDICES

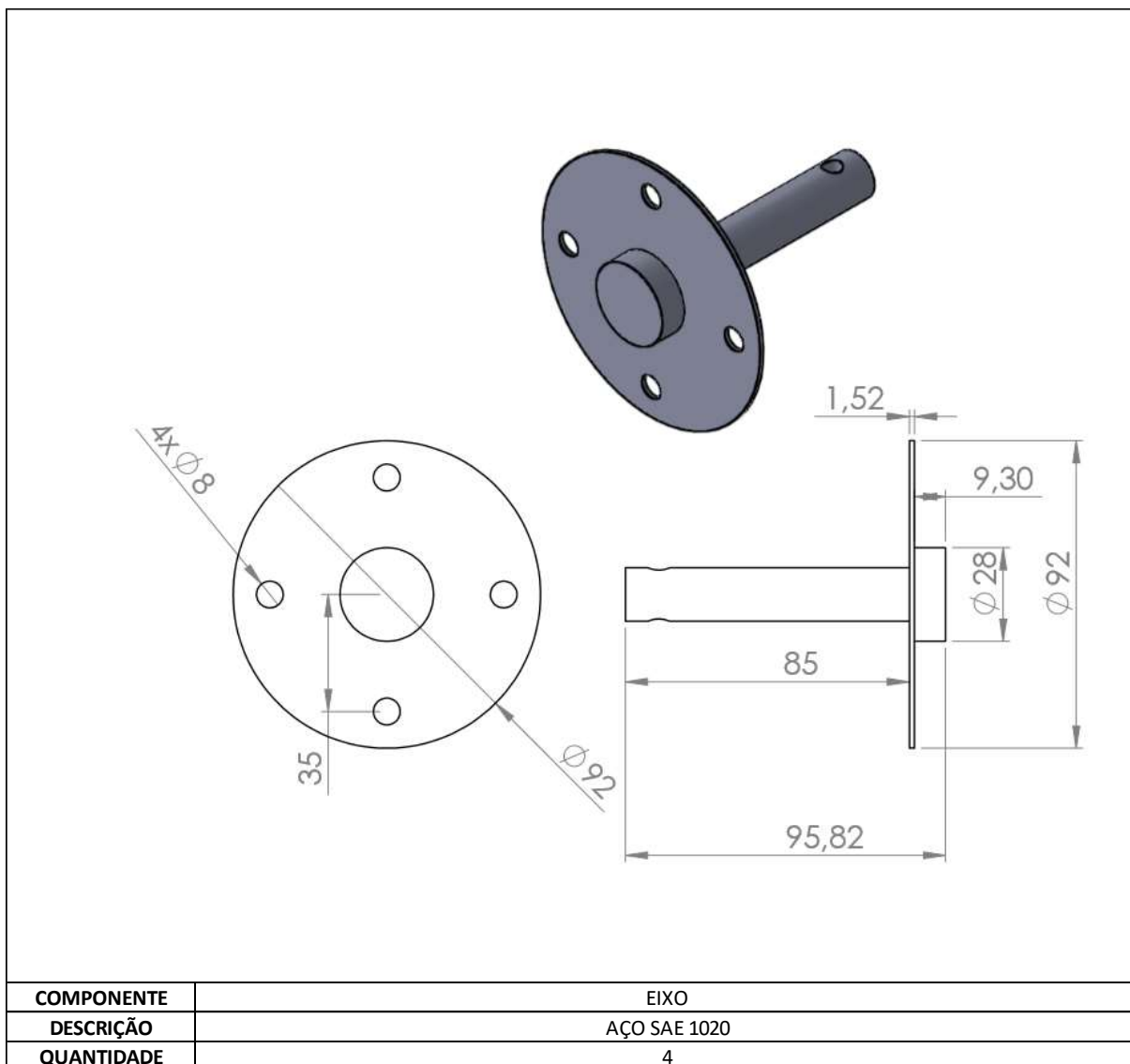
APÊNDICE A



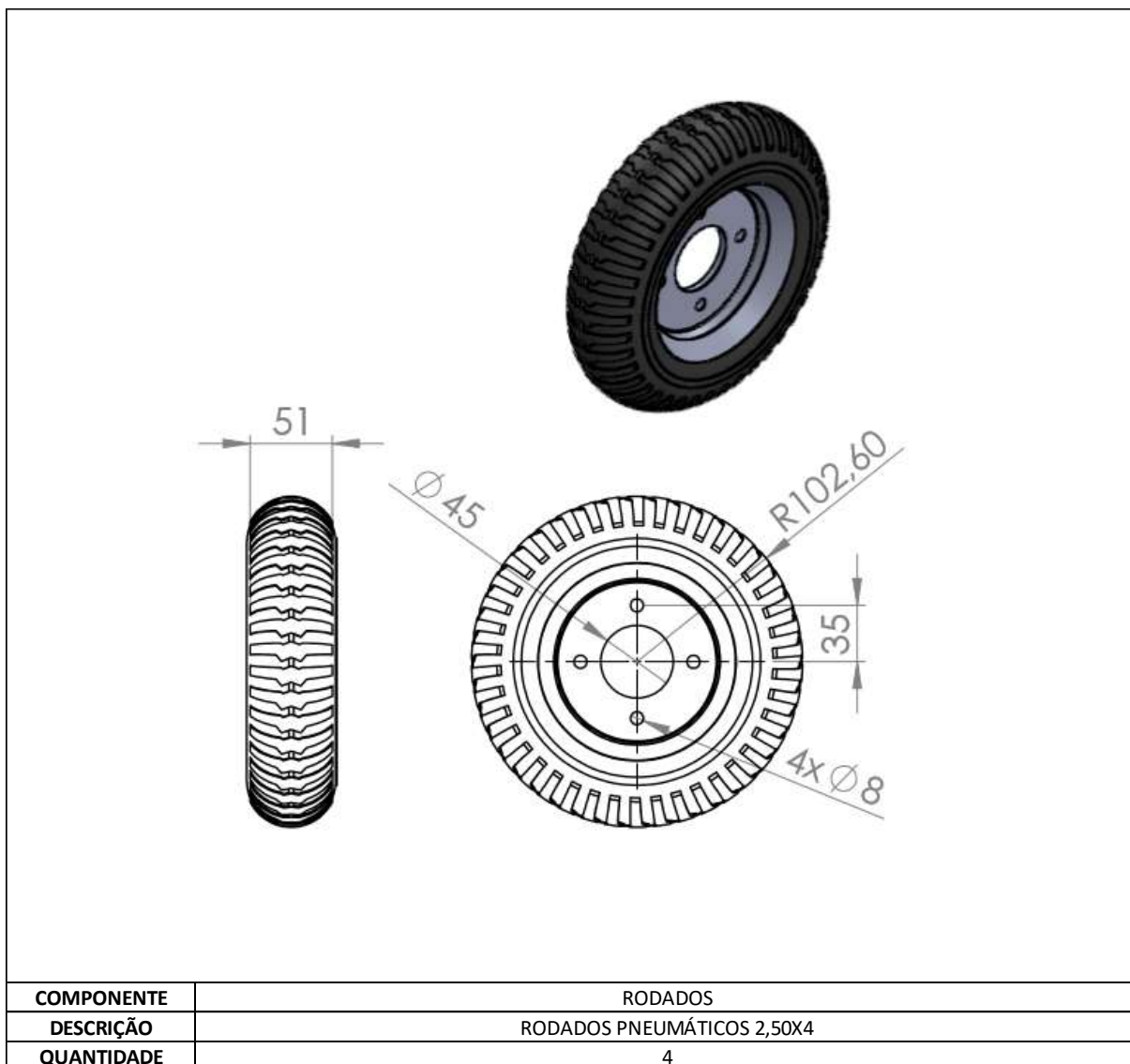
APÊNDICE B



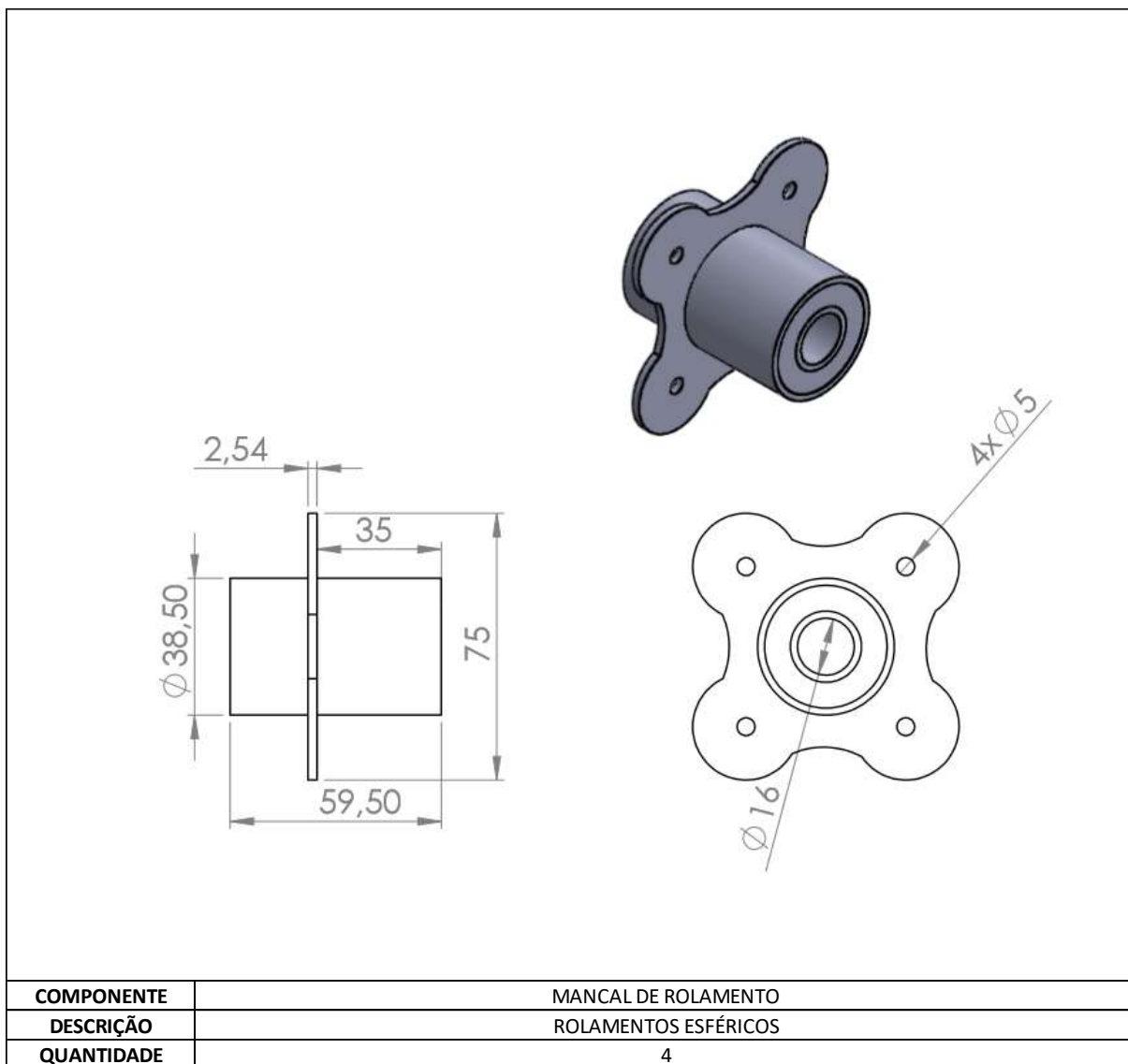
APÊNDICE C



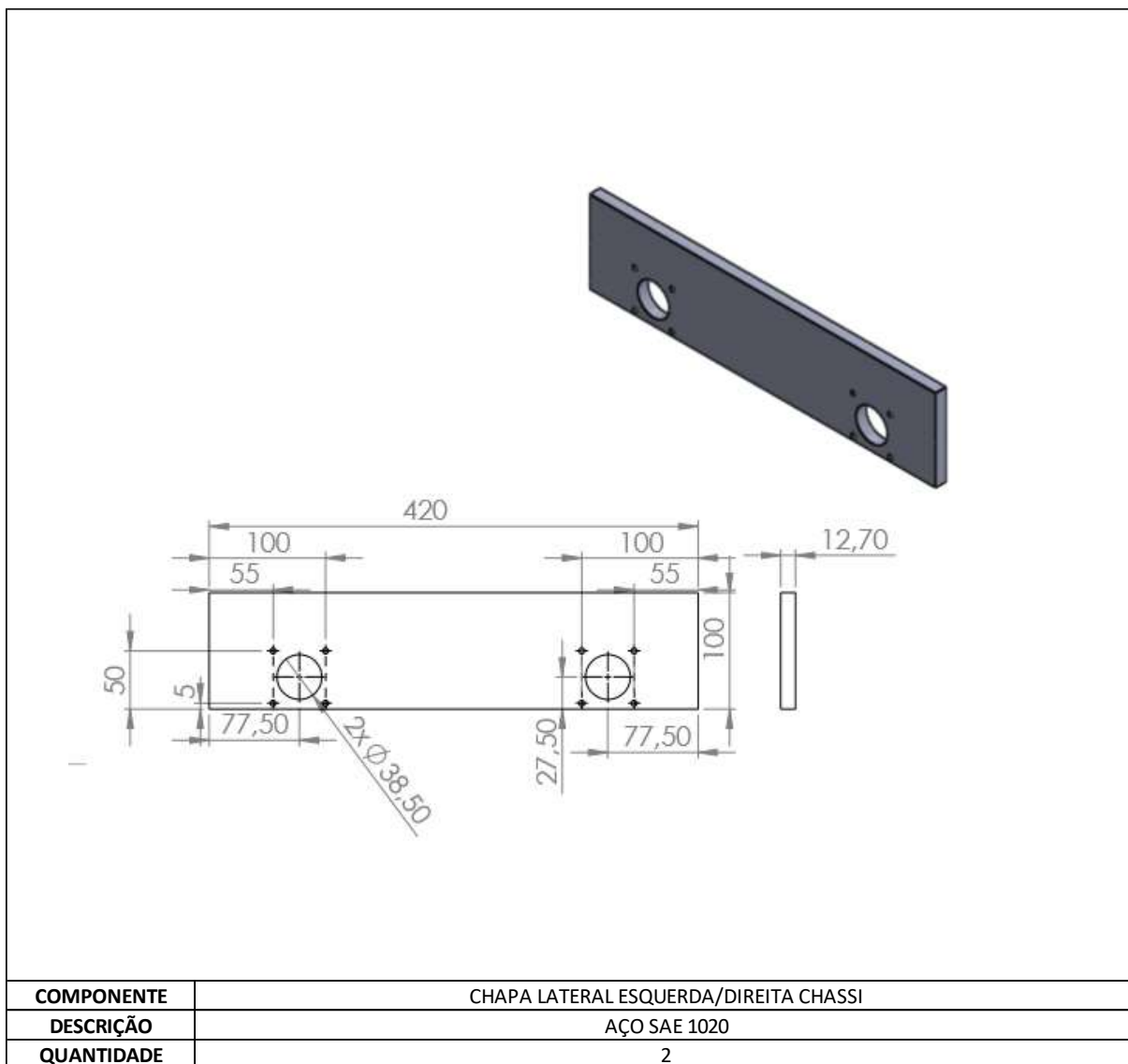
APÊNDICE D



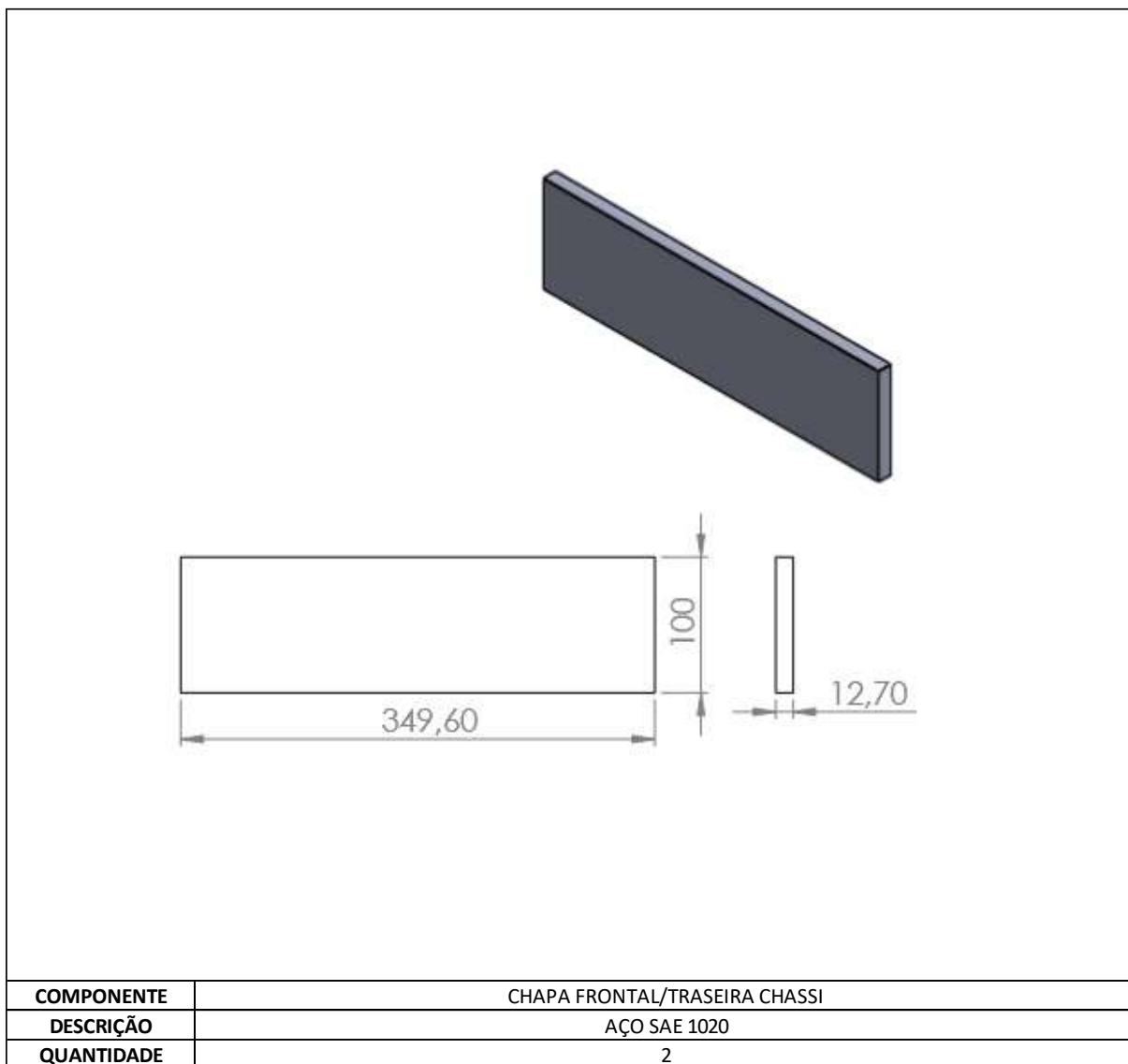
APÊNDICE E



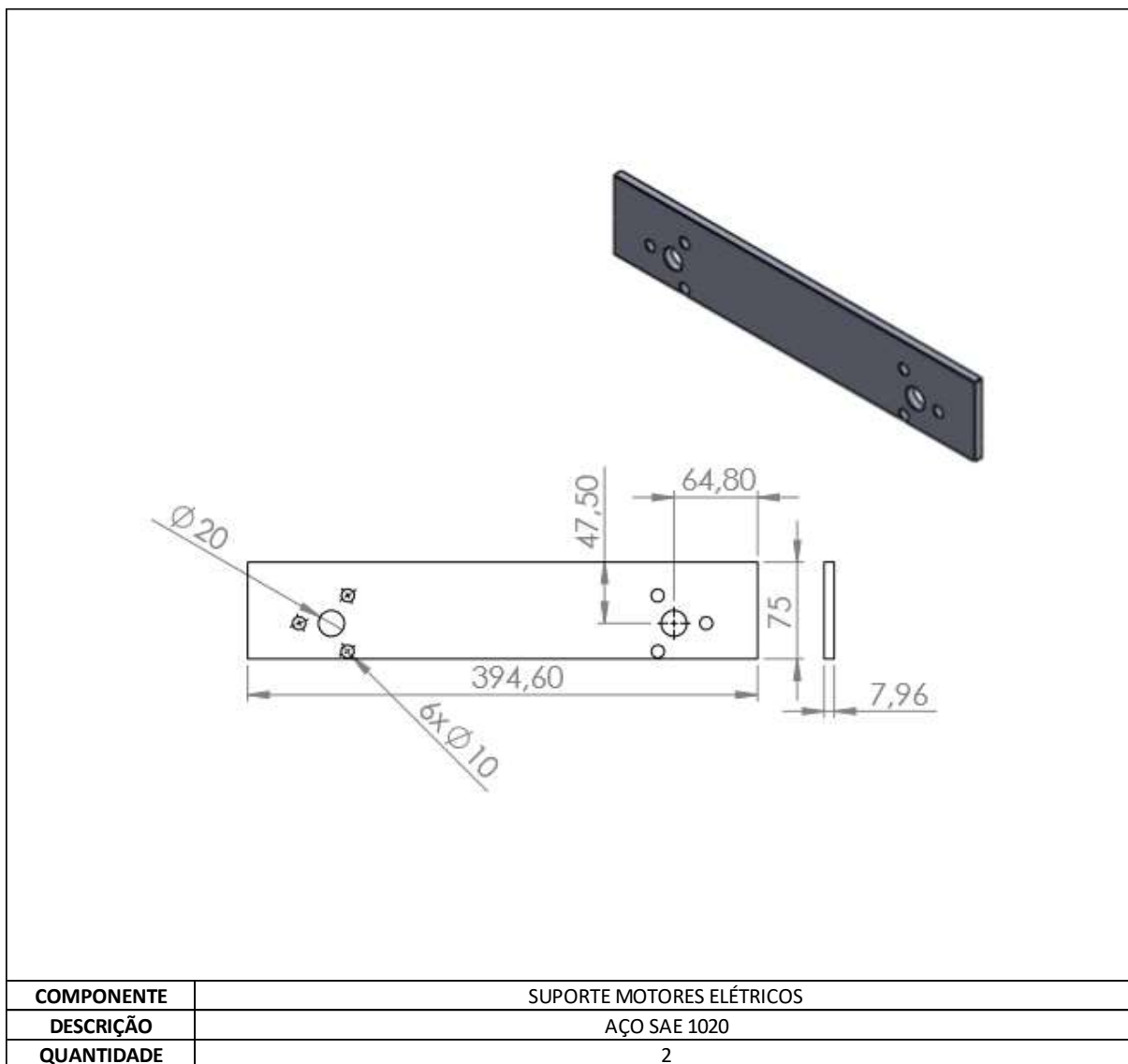
APÊNDICE F



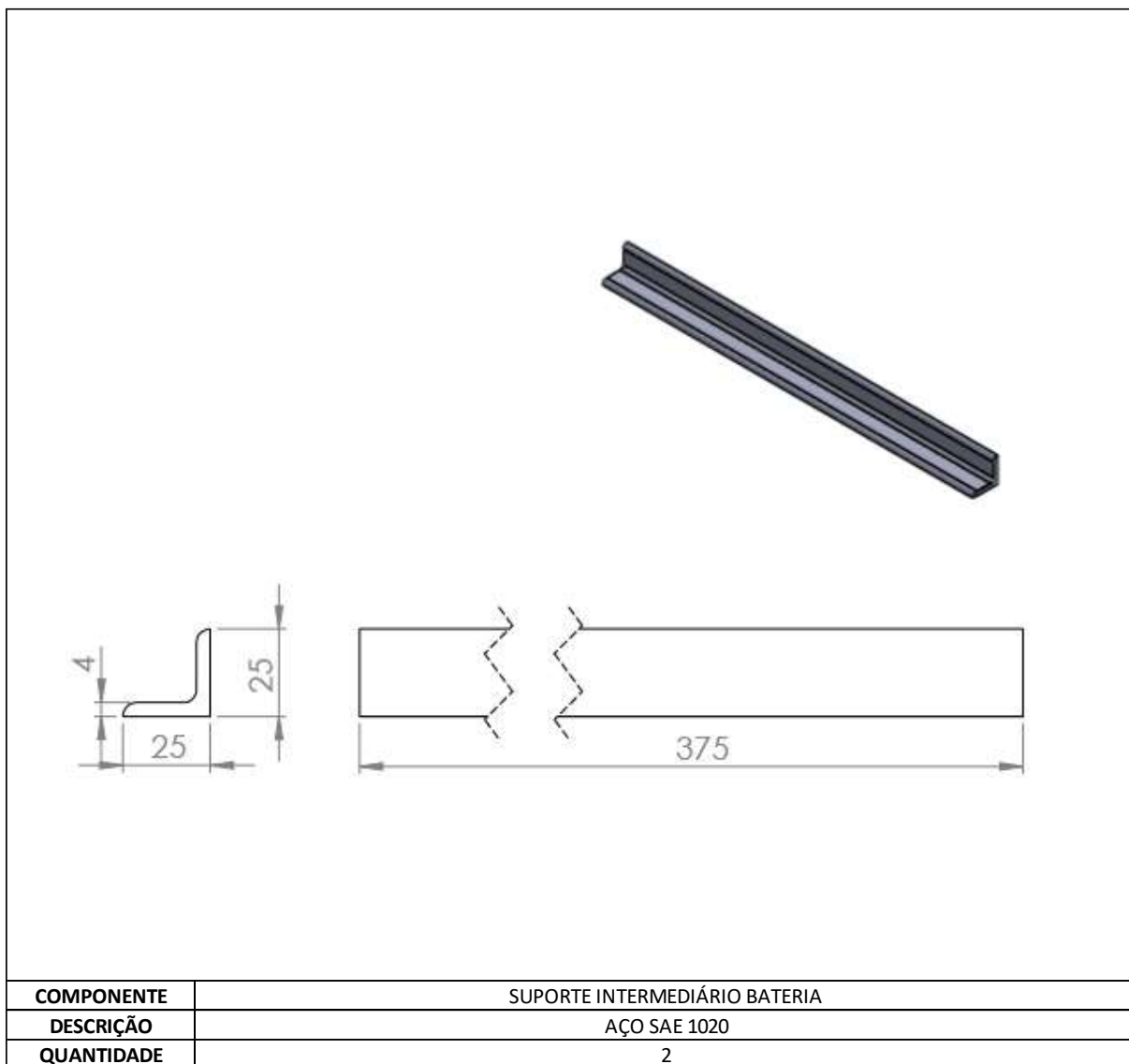
APÊNDICE G



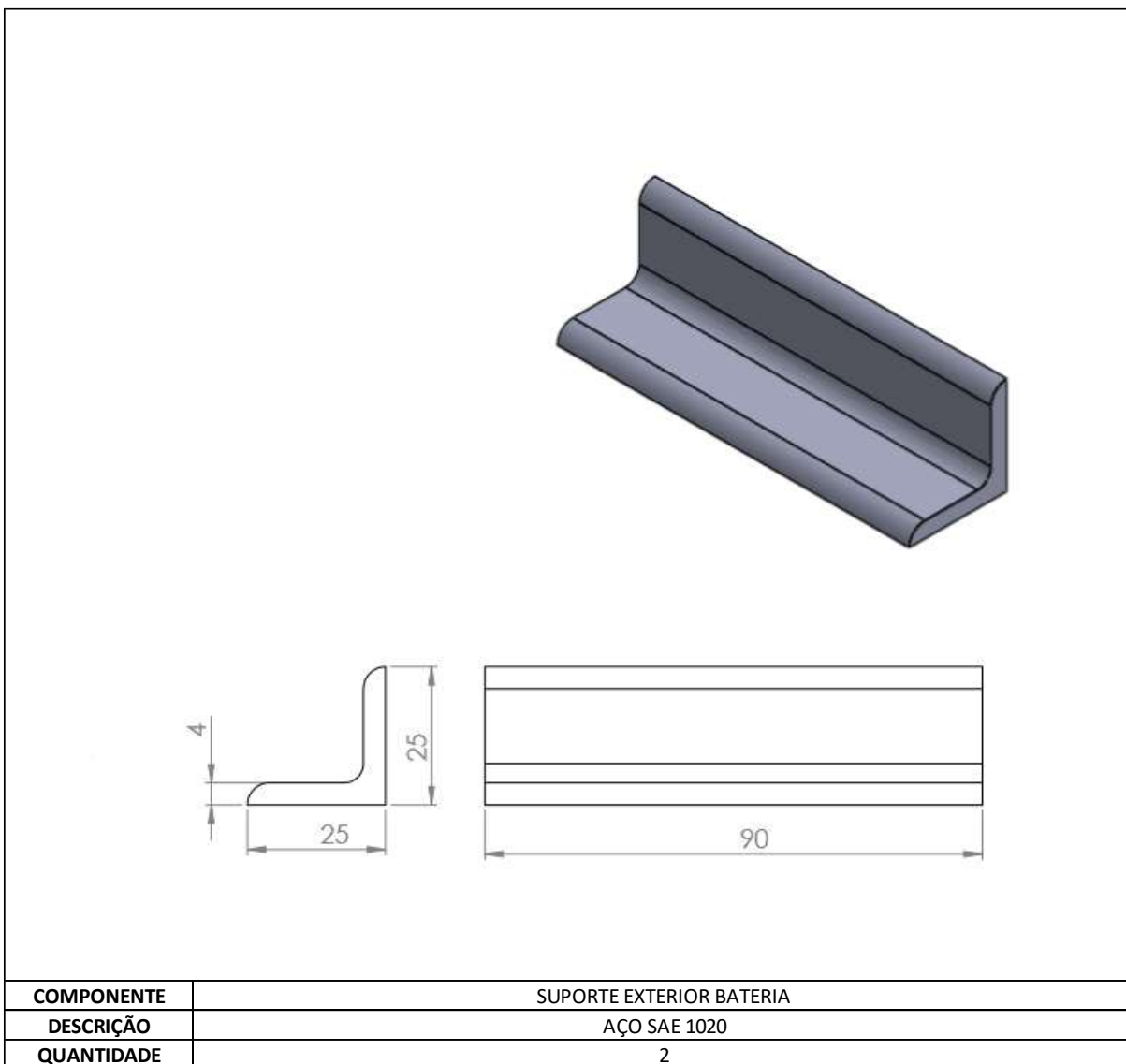
APÊNDICE H



APÊNDICE I



APÊNDICE J



APÊNDICE K

