

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar
Departamento de Agricultura e Engenharia Rural



Dissertação

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE UM VEÍCULO AUTÔNOMO
ELÉTRICO PARA USO EM UNIDADES AGRÍCOLAS DE ESCALA FAMILIAR**

Jean Carlos Isidro Rosales

Pelotas, 2022

JEAN CARLOS ISIDRO ROSALES

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE UM VEÍCULO AUTÔNOMO
ELÉTRICO PARA USO EM UNIDADES AGRÍCOLAS DE ESCALA FAMILIAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia (Linha de pesquisa: Máquinas e mecanização agrícola).

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lilles Tavares Machado

Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistemas de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

R788d Rosales, Jean Carlos Isidro

Desenvolvimento Conceitual de um Veículo Autônomo Elétrico para uso em Unidades Agrícolas de Escala Familiar / Jean Carlos Isidro Rosales ; Roberto Lilles Tavares Machado, orientador ; Antônio Lilles Tavares Machado, coorientador. — Pelotas, 2022.

145 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Agricultura familiar. 2. Máquinas elétricas. 3. Navegação autônoma. 4. Desenvolvimento de produto. I. Machado, Roberto Lilles Tavares, orient. II. Machado, Antônio Lilles Tavares, coorient. III. Título.

CDD : 631.3

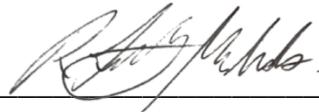
JEAN CARLOS ISIDRO ROSALES

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE UM VEÍCULO AUTÔNOMO
ELÉTRICO PARA USO EM UNIDADES AGRÍCOLAS DE ESCALA FAMILIAR**

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

Data da defesa: 22 de fevereiro de 2022.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Roberto Lilles Tavares Machado (Orientador)
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas



Prof. Dr. Paulo Lilles Jorge Drews Junior
Doutor em Ciências da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais



Prof. Dr. Daniel Albiero
Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas

Agradecimentos

Primeiramente a Deus e a minha família, especialmente minha mãe pelo apoio incondicional.

A Gianna Saavedra e Elka Ojeda pela ajuda e apoio durante minha fase de adaptação na cidade e por me receber no seu lar.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar (PPG-SPAF), pela oportunidade no desenvolvimento desse projeto.

Ao orientador, Prof. Dr. Roberto Lilles Tavares Machado e Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado pelos ensinamentos, orientações e disponibilidade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar (PPG-SPAF) pelos ensinamentos e disponibilidade durante as aulas.

Aos colegas de Curso, Marlon Sigales, Henrique Gonçalves, Matheus Casselato e Elka Ojeda pelo apoio e disponibilidade durante o desenvolvimento do trabalho, especialmente no fornecimento de informações e processo metodológico do trabalho.

Aos bolsistas de iniciação tecnológica, Laís Kroessin e Nathan Fagundes pela disponibilidade e ótimo apoio que sempre ofereceram durante a realização do trabalho.

À Pro-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFPel pela concessão de cota de bolsa CNPq.

Ao Programa Bolsas Brasil PAEC OEA-GCUB por me permitir viver a experiência de estudar no Brasil.

Muito obrigado a todos que de certa forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

My method is different. I do not rush into actual work. When I get an idea I start at once building it up in my imagination. I change the construction, make improvements, and operate the device entirely in my mind (TESLA, 1919).

Resumo

ROSALES, Jean Carlos Isidro. **Desenvolvimento Conceitual de um Veículo Autônomo Elétrico para uso em Unidades Agrícolas de Escala Familiar**. Orientador: Roberto Lilles Tavares Machado. 2022. 132 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

As propriedades rurais familiares no Brasil se caracterizam por serem pequenas unidades agrícolas responsáveis pela segurança alimentar da população nas regiões próximas a sua localização, e ainda, possibilitarem a geração de renda para incentivar a fixação do homem no campo. No entanto, a ausência de implementos e máquinas ergonomicamente adequados, além de causar baixa produtividade no desempenho das atividades agrícolas, afeta diretamente o bem-estar do agricultor, sendo um dos motivos principais pelos quais as pessoas, especialmente os jovens, procuram melhores oportunidades nos grandes centros industriais, evitando o rigor e a dureza do trabalho no campo. Em vista disso, desenvolveu-se o projeto conceitual de um veículo autônomo com propulsão por energia elétrica para utilização em unidades agrícolas familiares com o objetivo de pesquisar, gerar, avaliar e selecionar soluções de engenharia que atendam às necessidades dos clientes envolvidos no ciclo de vida do produto. A metodologia de desenvolvimento de produtos aplicada, permitiu a realização do projeto em duas fases, informacional e conceitual. Na fase informacional, foram listadas 26 necessidades de clientes obtidas junto aos agricultores familiares da região, professores, técnicos e pesquisadores. Posteriormente, as necessidades foram analisadas, desdobradas e hierarquizadas em requisitos de projeto através da aplicação do diagrama de Mudge e a Casa da Qualidade. Como resultado parcial, se estabeleceram 22 especificações com seus valores alvo. Na fase conceitual, se desenvolveu uma estrutura funcional com a finalidade de se contar com um sistema para o deslocamento e posicionamento autônomo do veículo no campo, sendo conformada por quatro subfunções: fonte de energia, sistema de controle e orientação, módulo de tração e módulo de direção. A escolha e o desenho dos princípios de solução que conformam as subfunções foram baseadas em patentes e máquinas desenvolvidas por empresas e universidades, especialmente na Europa. Finalmente, se criaram dois princípios de solução totais em conjunto com três concepções de veículos projetados em Solidworks. Como resultado, foi selecionada a concepção número um, a qual apresenta um sistema de tração e direção elétrico independente para cada roda, receptor GPS e sensores ultrassônicos embarcados para seu posicionamento, carregamento on-grid e auxiliar por painel solar e um desenho estrutural de baixo custo, leve e regulável para sua adaptabilidade a diferentes tipos de layouts de culturas. O trabalho apresentado, devido ao seu caráter multidisciplinar, oferece oportunidades para o desenvolvimento de pesquisas associadas aos subsistemas do veículo, possibilitando futuramente melhorias na concepção proposta inicialmente.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Máquinas elétricas. Navegação autônoma. Desenvolvimento de produto.

Abstract

ROSALES, Jean Carlos Isidro. **Conceptual Development of an Autonomous Electric Vehicle for Smallholders Farmers.** Advisor: Roberto Lilles Tavares Machado. 2022. 132 f. Dissertation (Master in Agronomy) – Agronomy School Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2020.

Family farms in Brazil are characterized by being small agricultural units responsible for the population's food security in the regions near its location, and also enables the generation of income to encourage the fixation of people in rural areas. However, the absence of ergonomically adequate implements and machinery, besides causing low productivity in the performance of agricultural activities, directly affects the farmer's well-being and is one of the main reasons why people, especially young people, seek better opportunities in large industrial centers to avoid the rigor and harshness of work on the field. Given this, was developed a conceptual project of an autonomous vehicle with electric propulsion to be used in family agricultural units, to research, generate, evaluate, and select engineering solutions that meet the customers' needs involved in the product's life cycle. The product development methodology applied allowed the project to be carried out in two stages, informational and conceptual. In the informational phase, 26 customer needs were listed, obtained from family farmers in the region, teachers, technicians, and researchers. Subsequently, the needs were analyzed, unfolded and hierarchized into project requirements by applying the Mudge diagram and the House of Quality. As a partial result, 22 specifications with their target values were established. In the conceptual phase, a functional structure was developed to provide a system for autonomous vehicle travel and positioning in crops, consisting of four sub-functions: power source, control and guidance system, traction, and steering module. The choice and design of the solution principles that conform to the sub-functions were based on patents and machines developed by companies and universities, especially in Europe. Finally, two total solution principles were created in conjunction with three vehicle designs modelled in Solidworks. As a result, design number one was selected, which features an independent electric drive and steering system for each wheel, onboard GPS receiver and ultrasonic sensors for positioning, on-grid and auxiliary solar panel charging, and a low-cost, lightweight, and adjustable structural design for its adaptability to different types of crop layouts. The research presented, due to its multidisciplinary, offers opportunities for the development and research associated with all the subsystems of the vehicle, bringing this in the future, improvements to the conception initially proposed.

Keywords: Smallholders farmers. Electric Machines. Autonomous navigation. Product development.

Lista de Figuras

Figura 1	Valor dos tratores Classe II (até 80cv) disponíveis no mercado	22
Figura 2	Valor dos tratores Classe I (Inferior 50cv) disponíveis no mercado	23
Figura 3	Vista lateral e superior de um trator de rabiça ou micro trator	23
Figura 4	Valor dos micro tratores ou tratores de rabiças disponíveis no mercado	24
Figura 5	Classificação dos EVs de acordo com suas tecnologias e configurações de motores	27
Figura 6	Diagramas com as possíveis configurações de trem de força para veículos elétricos	28
Figura 7	Ilustração de um sistema de propulsão e controle com tração nas 4 rodas	29
Figura 8	Estrutura do sistema de carregamento por painéis solares	34
Figura 9	Diagrama funcional do sistema de carregamento de nível 1 ou 2	36
Figura 10	Comparação da densidade energética específica entre combustíveis e baterias Ion-Lítio	38
Figura 11	Configuração 1: Bateria fixa ao bordo do trator agrícola	38
Figura 12	Configuração 2: conjuntos de baterias intercambiáveis (Battery Swapping)	39
Figura 13	Configuração 3: Sistema de alimentação elétrica por cabos ligado a uma bateria na base	40
Figura 14	Sistema de alimentação por cabos não ligado à base, utilizando um pacote de baterias	41
Figura 15	Trator de condução autônoma e seus sensores	43
Figura 16	Arquitetura do sistema GNSS e seus três segmentos de funcionamento	44
Figura 17	Unidade de medição Inercial (IMU)	45
Figura 18	Máquina de remoção de plantas espontâneas em fileiras ou canteiros	47
Figura 19	Veículo autônomo OZ para operações na entrelinha da cultura	48

Figura 20	Bakus S e o TED: veículos para operações de tratamentos culturais em vinhedos	48
Figura 21	Smart Weeding e AVO Weeding: Pulverizadores para controle de plantas invasoras	49
Figura 22	Veículo Robot One para remoção mecânica de plantas invasoras	50
Figura 23	Plataforma Thorvald em a atividade de preparo do solo	50
Figura 24	Veículo autônomo FarmDroid para semeadura e capina	51
Figura 25	Veículo ETAROB., configuração tipo C, tipo H e modo aberto	51
Figura 26	Field robot BoniRob	52
Figura 27	The Digital Farmhand. Plataforma com painel solar	53
Figura 28	Veículo Burro platform para transporte e monitoramento de produtividade das colheita	53
Figura 29	XAG. Veículo autônomo para transporte e pulverização	54
Figura 30	RAM Veículo Agrícola da Universidade de São Paulo	57
Figura 31	Plataforma elétrica (Robô Mirã 2)	58
Figura 32	Estrutura principal da UFMT	58
Figura 33	Robô autônomo para colheita de amostra do solo	59
Figura 34	Arquitetura do sistema de propulsão elétrica	59
Figura 35	Tractor Robot Swarm Electric (TRSE) Unicamp	60
Figura 36	Quadro do processo de desenvolvimento de produto	61
Figura 37	Fluxograma sobre o desenvolvimento de produto na fase do projeto informacional	62
Figura 38	Fluxograma sobre o desenvolvimento de produto na fase do projeto conceitual	63
Figura 39	Diagrama de bloque da função global e as funções parciais.....	68
Figura 40	Matriz morfológica para o desenvolvimento das diferentes concepções do produto.....	69

Figura 41	Região de localização dos Agricultores familiares envolvidos na pesquisa.....	71
Figura 42	Propriedades agrícolas familiares por faixa de hectares.....	72
Figura 43	Principais produtos produzidos por os agricultores familiares pesquisados	72
Figura 44	Tipo de tração usada nas propriedades agrícolas familiar	73
Figura 45	Classe de trator usado na propriedade agrícola familiar	74
Figura 46	Uso potencial do veículo autônomo elétrico, indicado pelos agricultores	75
Figura 47	Custo possível do veículo de acordo com os agricultores pesquisados	76
Figura 48	Atuação profissional dos engenheiros envolvidos na pesquisa	77
Figura 49	Programa de computador Projec22	83
Figura 50	Diagrama de Mudge dos requisitos dos clientes	84
Figura 51	Quadro com os requisitos dos clientes hierarquizados	85
Figura 52	Quadro dos requisitos do projeto	86
Figura 53	Matriz da casa da qualidade (QFD)	87
Figura 54	Tomada de decisões e ações realizadas por uma máquina agrícola autônoma	92
Figura 55	Função global do sistema técnico	93
Figura 56	Desdobramento da função global em funções parciais	94
Figura 57	Estrutura funcional escolhida para uma máquina autônoma elétrica	97
Figura 58	Matriz morfológica com os princípios de solução parciais para cada estrutura funcional	100
Figura 59	Princípio de solução total A	103
Figura 60	Princípio de solução total B	103
Figura 61	Concepções finais geradas.....	105

Figura 62	Desenho conceitual do veículo autônomo elétrico para fins agrícolas.....	107
Figura 63	Elementos principais do chassi	108
Figura 64	Acoplamento suporte pivô e a viga central	108
Figura 65	Descrição do sistema de bitola variável	109
Figura 66	Sistema de variação do vão livre do solo e distância entre eixos do veículo	109
Figura 67	Módulo de tração-direção e seus graus de liberdade	110
Figura 68	Manobrabilidade do veículo	111
Figura 69	Outras características do veículo agrícola	112

Lista de Tabelas

Tabela 1	Classificação dos tratores agrícolas segundo a sua potência conforme ANFAVEA	22
Tabela 2	Projetos na 3ª Mostra de Máquinas e Invenções para a agricultura familiar	25
Tabela 3	Caraterísticas comparativas dos diferentes tipos de veículos elétricos	28
Tabela 4	Comparação entre motores usados em veículos elétricos	31
Tabela 5	Comparação dos diferentes tipos de baterias disponíveis para os veículos elétricos	33
Tabela 6	Tecnologias fotovoltaicas solares disponível e seus porcentagens no mercado	34
Tabela 7	Níveis de carregamento para veículos elétricos	36
Tabela 8	Níveis da condução autônoma possíveis num veículo	42
Tabela 9	Caraterísticas das tecnologias de sensoriamento para veículos autônomos	46
Tabela 10	Primeiro quadro com as especificações qualitativas e quantitativas das máquinas agrícolas disponíveis no mercado	55
Tabela 11	Segundo quadro com as especificações qualitativas e quantitativas das máquinas agrícolas disponíveis no mercado	56
Tabela 12	Trabalhos de referência quanto ao uso da metodologia PDP	63
Tabela 13	Identificação do cliente/fase do ciclo de vida do produto	65
Tabela 14	Matriz de decisão para a escolha da concepção final	69
Tabela 15	Valor médio aproximado anual em reais da produção das propriedades no ano 2020	76
Tabela 16	Lista das necessidades dos clientes	77
Tabela 17	Lista dos requisitos dos clientes	78
Tabela 18	Valores meta do Terço superior da hierarquização dos requisitos de projeto	82

Tabela 19	Valores meta do Terço médio da hierarquização dos requisitos de projeto	88
Tabela 20	Valores meta do Terço inferior da hierarquização dos requisitos de projeto	89
Tabela 21	Transformação dos requisitos de projeto em informações qualitativas	90
Tabela 22	Relacionamentos da função global com suas entradas e saídas	92
Tabela 23	Construção das estruturas funcionais para uma máquina autônoma elétrica	94
Tabela 24	Descrição das funções parciais e elementares da estrutura funcional selecionada	97
Tabela 25	Matriz de decisão para a escolha da concepção final	105
Tabela 26	Valor mínimo estimado para a fabricação da concepção selecionada	112

Lista de abreviaturas e siglas

PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
NIMEQ	Núcleo de Inovação em Máquinas e Equipamentos Agrícolas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
ESPACENET	European Patent Office
SAE	Society of Automotive Engineers
GNSS	Global Navigation Satellite system
GPS	Global Positioning System
RTK	Real Time Kinematic
IMU	Inertial Measurement Unit
DDT	Dynamic Driving Task
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
EV	Electric Vehicle
HEV	Hybrid Electric Vehicle
BEV	Battery Electric Vehicle
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicles
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
ICE	Internal Combustion Engine
ECU	Electronic Control Unit
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment
BMS	Battery Management System
VRLA	Valve Regulated Lead–Acid
AMG	Absorbent Glass Mat
CA/CC	Corrente alternada/ Corrente Contínua
QFD	Quality Function Deployment
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
GMAW	Gas Metal Arc Welding
AEV	Agricultura Electric Vehicle
EaaS	Equipment as a Service

Sumário

1. Introdução	18
2. Objetivo geral	21
2.1. Objetivos Específicos	21
3. Revisão da literatura	22
3.1. Máquinas de tração mecânica para a agricultura familiar	22
3.2. Veículos elétricos	26
3.2.1. Classificação dos veículos elétricos	27
3.2.2. Configurações de sistemas de transmissão de potência para BEVs	29
3.2.3. Motores elétricos	30
3.2.4. Baterias para veículos elétricos	31
3.2.5. Sistema de carregamento por energia solar	34
3.2.6. Níveis de carregamento para veículos elétricos	35
3.2.7. Autonomia de veículos agrícolas elétricos	38
3.3. Sistemas de condução autônoma	42
3.3.1. Tecnologia de sensores para veículos autônomos	43
3.3.2. Sistemas de navegação Global por satélite (GNSS)	44
3.3.3. Sistema de navegação inercial	45
3.3.4. Sensores LiDAR	46
3.3.5. Câmeras	47
3.4. Veículos autônomos elétricos no mercado global	48
3.5. Projetos experimentais de veículos autônomos elétricos no Brasil	58
3.6. Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)	61
3.6.1. Projeto informacional	62
3.6.2. Projeto conceitual	62
4. Material e métodos	64
5. Resultados e discussões	71
5.1. Estudos das características dos agricultores familiares	71
5.2. Características dos professores, pesquisadores, e pessoal de vendas	77
5.3. Identificação das necessidades dos clientes	78
5.4. Desdobramento das necessidades dos clientes	79

5.5. Hierarquização dos requisitos dos clientes no diagrama de Mudge	80
5.6. Requisitos do projeto	85
5.7. Aplicação da matriz da casa da qualidade	86
5.8. Especificações do projeto	88
5.9. Escopo do problema	90
5.10. Desenvolvimento da estrutura funcional	92
5.11. Princípios de solução	99
5.12. Concepções geradas	104
5.13. Concepção selecionada	106
6. Funcionalidade da concepção selecionada	108
7. Custo estimado da concepção selecionada	112
8. Contextualização sobre o uso dos AEV na Agricultura Familiar.....	114
9. Conclusões	116
10. Recomendações para futuros trabalhos	117
11. Referências bibliográficas	118
Apêndice A	127
Apêndice B	131
Apêndice C	134
Apêndice D	139
Apêndice E	142
Apêndice F	143
Apêndice G	144

1 Introdução

A agricultura familiar se destaca como um dos segmentos que mais crescem na produção de alimentos, sendo de grande importância para a segurança alimentar em muitos lugares do mundo, especialmente no Brasil onde também é definida como uma atividade complementar à agricultura de grande escala. Além disso, tem sido um poderoso aliado da sustentabilidade e da responsabilidade agroambiental (MELO *et al.*, 2019).

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) classifica o tamanho dimensional da propriedade rural, que estabelece um módulo fiscal como uma unidade de medida e depende dos regulamentos e localização do estado no território brasileiro (BERCHIN *et al.*, 2019). Segundo o portal da Embrapa (2021), o módulo fiscal pode variar entre 5 e 110 hectares.

Em conformidade com a LEI Nº 11.326 (2006), considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo simultaneamente, os seguintes requisitos:

Art. 4 - Não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais; utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento e dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (LEI Nº 11.326, 2006).

O sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA), mostra os resultados do último censo agrícola do ano 2017, o qual expressa que o Brasil tem 3.897.408 unidades agrícolas familiares, das quais, 7,54% (293.892 estabelecimentos) estão localizadas no Rio Grande do Sul, representando um pouco mais de 21 milhões de hectares, empregando um total de 992.413 pessoas.

A maioria das propriedades, são administradas por pessoas em idade avançada, entre 55 a 74 anos (45,6%) e mais de 75 anos (7,6%). Por outro lado, 38,6% das unidades agrícolas familiares são administradas por pessoas com idade entre 35 e 54 anos e só 7,9% são administradas por jovens até 34 anos de idade (IBGE, 2017).

Devido à ausência de incentivos alguns jovens decidem não voltar às áreas rurais após concluírem cursos de nível superior, preferindo se estabelecer nas áreas urbanas que apresentam melhores oportunidades de conforto e renda.

Conforme IBGE (2017), no Rio Grande do Sul apenas 168.848 estabelecimentos rurais possuíam tratores, representando 50% das unidades agrícolas. Enquanto outras máquinas tais como semeadoras existiam em apenas 76.717 (23,85%) estabelecimentos, colhedoras em 35.568 (11,06%) e adubadoras ou distribuidoras de calcário em 48.596 (15,09%). Isso indica que provavelmente mais de 50% dos estabelecimentos de agricultura familiar ainda usam implementos agrícolas manuais e meios de tração animal.

A ausência de equipamentos e máquinas ergonomicamente adequados, nas áreas rurais, além de causar baixa produtividade no desempenho das atividades agrícolas, afeta diretamente o bem-estar e o ambiente de trabalho em que o agricultor realiza suas atividades. Moreira *et al.*, (2015), afirmam que as doenças de coluna, dor nas costas, artrite e reumatismo estão associadas à atividade agrícola desenvolvida no Brasil e que esse padrão de moléstias pode decorrer da intensa carga de esforço físico no trabalho.

De acordo com Castro *et al.* (2013), além dos fatores socioeconômicos associados às atividades no meio rural o rigor e a dureza do trabalho no campo são alguns dos principais motivos pelos quais os jovens desejam deixar o campo.

Conforme Lambrecht *et al.*, (2017), as indústrias de máquinas agrícolas, em geral, priorizam o desenvolvimento de equipamentos visando atender a demanda de grandes agricultores, criando uma lacuna no desenvolvimento de máquinas e equipamentos adequados às pequenas propriedades rurais. Como alternativa, esses agricultores realizam de forma empírica adaptações e desenvolvimento de equipamentos tecnologicamente limitados.

Há alguns anos o Ministério do Desenvolvimento Agrário oferece programas que podem beneficiar o jovem rural, tais como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), que garante o crédito rural para agricultores familiares.

O avanço tecnológico da mecanização da agricultura familiar pode significar a sobrevivência da população urbana, através da produção de alimentos na quantidade e qualidade necessárias. Isso significa a fixação do homem no meio rural, especialmente dos jovens que enfrentam o problema da falta de humanização do trabalho rural.

Segundo o portal das Nações Unidas (2017), espera-se um crescimento da população mundial de 8,6 bilhões de pessoas para o ano 2030, portanto, a indústria agrícola precisa de inovações tecnológicas para fornecer a demanda de alimentos da população. Em vista disso, novos desenvolvimentos de alta tecnologia, ergonômicos e sustentáveis, tem surgido com o objetivo de ajudar o agricultor no campo sendo, ao mesmo tempo, socialmente responsável com o meio ambiente (RATNAPARKHI *et al.*, 2020).

No entanto, existe grande expectativa de melhora devido à introdução de novas tecnologias de energia e informação dentro da agricultura, a chamada “Agricultura digital”, além da promoção e investimento em pesquisa dentro das universidades brasileiras para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e que possam cumprir com as necessidades requeridas pelos agricultores.

Com o advento da Agricultura digital nos últimos anos, o desenvolvimento de máquinas agrícolas com sensores e automação tem crescido e as empresas do setor de máquinas agrícolas têm focado os desenvolvimentos em máquinas com características a atender grandes propriedades agropecuárias. O projeto e desenvolvimento de máquinas para agricultura familiar que adotem preceitos de Agricultura digital, pode evitar que mais uma vez a agricultura familiar fique sem oferta de máquinas e equipamentos adequados as suas demandas.

Atualmente, empresas na Europa como Naïo Technologies, Agerris, Saga Robotics e a Ecorobotix e algumas universidades do Brasil, tem desenvolvido tecnologias e inovações para melhorar e aumentar a produção de alimentos, implementando, por exemplo, a criação de máquinas eficientes para planejamento, monitoramento, manutenção e colheita de culturas (BIZIMANA *et al.*, 2019).

2 Objetivo geral

Desenvolver um veículo autônomo multitarefa com propulsão por energia elétrica para utilização em unidades agrícolas familiares.

2.1 Objetivos específicos

Projetar conceitualmente um veículo autônomo de plataforma multitarefa com fonte de potência elétrica e possibilidade de adaptação futura de diferentes tipos de equipamentos agrícolas para atender principalmente as necessidades das unidades produtoras de alimentos de escala familiar.

Estabelecer as necessidades do cliente e transformá-las em requisitos de projeto, levando em consideração atributos como ergonomia, segurança, baixo custo, e confiabilidade.

Definir a estrutura funcional do trem de força e direção do veículo, controles eletrônicos de potência e navegação, assim como da unidade armazenadora de energia elétrica e sua fonte.

Detalhar a concepção projetada, mostrando os atributos geométricos e de funcionamento por meio de ferramentas de desenho assistido por computador (CAD).

3 Revisão da literatura

Neste item abordam-se conceitos referentes aos veículos autônomos elétricos, seus principais componentes e funcionamento. Além disso, apresentam-se os veículos elétricos disponíveis para os agricultores no mercado internacional, assim como alguns desenvolvimentos experimentais realizados no Brasil.

3.1 Máquinas de tração mecânica para a agricultura familiar

A tração mecânica tem sido amplamente utilizada pelos agricultores em suas operações de campo durante o ciclo de vida da cultura como são: preparo do solo, semeadura, tratamentos culturais, colheita, entre outras. Desde há muitos anos, os tratores com motor de combustão interna encontram-se dentro das máquinas agrícolas de tração mecânica mais usadas pelos agricultores no mundo. Nesse sentido, Machado *et al.*, (2010, p.22), definem o trator agrícola como uma “máquina dotada de fonte de potência própria e meios de locomoção (rodas/esteiras) utilizada, principalmente, como sistema de tração e transporte de outros equipamentos”. Além disso, menciona que podem ser classificados por rodas motrizes (duas ou quatro rodas) ou por faixa de potência.

Schlosser *et al.*, (2010), apresentam a classificação dos tratores agrícolas segundo a sua potência conforme a Associação Nacional de Fabricantes de Veículo Automotores (Anfavea), Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos tratores agrícolas segundo a sua potência conforme ANFAVEA.

Classes	Potência	
	cv	kW
I	≤ 50	< 36,9
II	50.1 - 100	37 – 73,9
III	101 – 200	74 – 147
IV	> 200	> 147

Fonte: Adaptado da Schlosser et al., 2010.

No que se refere a agricultura familiar, Ferreira *et al.*, (2019), expressam que os tratores mais indicados para este tipo de segmento da agricultura são aqueles que se encontram na faixa de potência inferior a 58,8kW (80cv), em concordância com o PRONAF Mais Alimentos, onde o limite de potência máxima é o valor antes mencionado.

A Figura 1, mostra valores fornecidos pelo PRONAF (2021), no que se refere ao valor de venda no mercado dos tratores classe II, abaixo da faixa dos 58,8kW (80cv), o qual vai depender da potência do trator e da unidade federativa onde vai ser financiado. Observando-se os dados apresentados, verifica-se a grande disponibilidade de fabricantes e modelos de tratores para a agricultura familiar. No entanto, a escolha se torna difícil devido aos fatores econômicos associados a um custo de aquisição fora da realidade do agricultor, especialmente para aqueles de baixa renda, assim como também os fatores técnicos como o desconhecimento da potência máxima de trabalho necessária dentro da propriedade agrícola. Geralmente, o agricultor familiar leva em consideração, na hora de adquirir um trator, somente características básicas como marca, modelo, potência e preço (FERREIRA *et al.*, 2019).



Figura 1 – Valor dos tratores Classe II até 58,8kW (80cv) disponíveis no mercado.

Fonte: Adaptada de PRONAF,2021¹.

Em alternativa, o agricultor familiar também pode ter acesso a tratores de menor custo dentro da faixa da classe I, inferior a 58,8kW (80cv), com fabricantes como Tramontini, Coyote ou Agritech. Na Figura 2, mostra-se o valor de venda para diferentes fabricantes e modelos de tratores classe I.

¹ Valores fornecidos pela base de dados da PRONAF Mais Alimentos para RS, 19. nov. 2021.

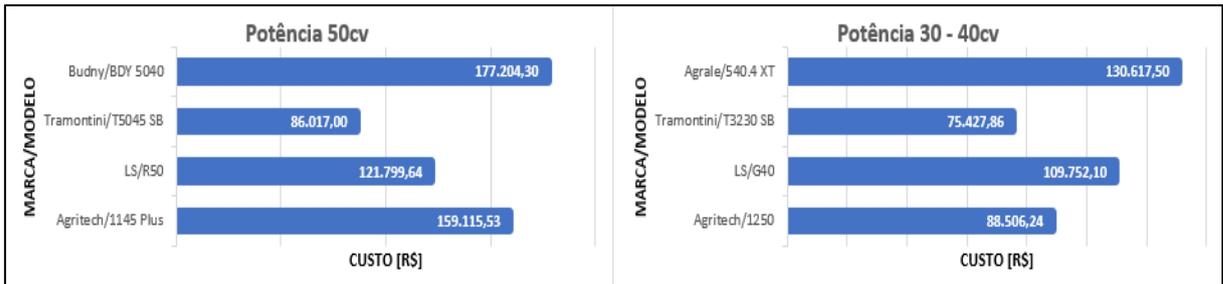


Figura 2 – Valor dos tratores Classe II inferior a 58,8kW (80cv) disponíveis no mercado.
Fonte: Adaptada de PRONAF, 2021².

Complementarmente aos tratores, o agricultor familiar pode dispor de micro tratores (Figura 3). A Norma Regulamentadora 12, no seu Anexo IV define o trator de rabiça como um “equipamento motorizado de duas rodas utilizado para tracionar diversos implementos, desde preparo de solo até colheita, caracteriza-se pelo fato de o operador caminhar atrás do equipamento durante o trabalho” (NR-12, 2019, p.54). Por outra parte, Machado *et al.*, (2010), mencionam que esse tipo de tratores conhecidos como tratores de rabiça, são indicados para trabalhar em estabelecimentos rurais de até 30 hectares. Comumente são disponibilizados com uma enxada rotativa posterior às rodas motrizes, podendo ser substituída por arados, carretas, pulverizadores, perfuradores de solo e outro implementos.



Figura 3 – Vista lateral e superior de um trator de rabiça ou micro trator.
Fonte: Machado *et al.*, (2010).

Igualmente como acontece com os tratores de quatro rodas, o PRONAF também oferece financiamento para aquisição destas máquinas. A Figura 4 apresenta os principais fabricantes e modelos e seus valores de mercado conforme PRONAF (2021).

² Valores fornecidos pela base de dados da PRONAF Mais Alimentos para RS, 19. nov. 2021.

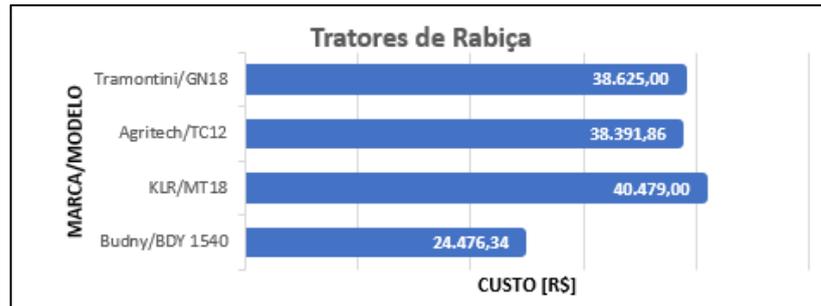


Figura 4 – Valor dos micro tratores ou tratores de rabiças disponíveis no mercado.
Fonte: Adaptada de PRONAF, 2021³.

O NIMEq/UFPel vem estudando e analisando as necessidades dos agricultores familiares com a finalidade de propor produtos de baixo custo e simples operacionalização, e assim, transformar a qualidade de vida de agricultores familiares. Desde sua criação no ano 2012, tem como princípio buscar a excelência no desenvolvimento de inovações na área de máquinas e equipamentos agrícolas, estimulando e prestando apoio às atividades de pesquisa, ensino e extensão da UFPel (NIMEq, 2021).

Para entender as necessidades de mecanização na agricultura familiar, entidades como o Embrapa Clima Temperado em associação com a Emater/RS-Ascar e a UFPEL realizaram a 3ª Mostra de Máquinas e Invenções para a agricultura familiar em 2014. O evento possibilitou mostrar aos agricultores familiares diversas opções de mecanização e, assim, divulgar máquinas que possam facilitar o trabalho diário dos agricultores; possibilitando aumentar a produtividade, diminuir o esforço físico e a penosidade do trabalho no campo (REICHERT *et al.*, 2015). Na Tabela 2, alguns projetos que foram mostrados no evento são nomeados, especialmente os que de alguma forma precisam de um mecanismo de tração.

Tabela 2 - Projetos na 3ª Mostra de Máquinas e Invenções para a agricultura familiar.

Implemento ou máquina	Sistema de propulsão	Objetivos
Roçadeira hidráulica articulada para pomares.	Trator	Diminuir o uso de herbicidas.
Encanteirador	Trator de meia potência.	Necessidade de melhorar a forma de preparar os canteiros.
Valetadeira	Trator	Demanda de um produtor de arroz que precisava drenar áreas de cultivo de arroz.

³ Valores fornecidos pela base de dados da PRONAF Mais Alimentos para RS, 19. nov. 2021.

Micro-trator com adaptação de semeadeira com plantio direto (Milho e feijão)	Trator Tobatta	Redução de custos de produção, economia de tempo e minimização o esforço físico.
Adaptação de barra de pulverização para tomateiro	Trator	Redução da mão de obra e o tempo de exposição aos agrotóxicos.
Arrancador de batata doce	Trator	Proporcionar maior rendimento, rapidez e uniformidade na colheita.
Semeadora de precisão de plantio direto (UFpel-NIMEQ)	Micro-trator	Melhorias no sistema de abertura de sulco e corte da palhada para o plantio direto, visando a redução do tempo de operação, esforço físico e aumento da eficiência energética no processo de semeadura.

Fonte: Adaptado da Reichert *et al.*, 2015.

Por último, o setor das máquinas agrícolas vem incorporando gradualmente as principais tecnologias e inovações, em particular veículos elétricos e autônomos com alta capacidade operacional, incorporando a robótica na produção agrícola e motores mais eficientes em termos de consumo e com redução de emissão de gases de efeito estufa.

3.2 Veículos elétricos

A norma SAE J1715 (2014), define os veículos elétricos como aqueles que usam motores elétricos para tração movido por baterias químicas, células de combustível ou ultra capacitores, dependendo das fontes de energia correspondentes. Neste mesmo sentido, Chan *et al.*, (2001), expressa que comparado aos veículos com motores de combustão interna, a configuração do veículo elétrico é particularmente flexível. Essa flexibilidade se deve a vários fatores exclusivos, tais como, o fluxo de energia no veículo elétrico que se dá principalmente através de fios elétricos flexíveis, em vez de flanges aparafusados ou eixos rígidos.

Quanto ao desenvolvimento dos mesmos, pode-se aplicar facilmente o conceito de fabricação por módulos ou subsistemas com diferentes arranjos de propulsão como são os modos de tração (tração nas 4 rodas, tração traseira ou dianteira), posição dos motores elétricos e os sistemas de fontes de energia que podem envolver diferentes tipos de hardware, software e mecanismos.

Dentro das vantagens dos veículos elétricos, encontram-se a ausência de emissões, alta eficiência e a independência de combustíveis fósseis. Como os veículos com motores de combustão interna, os veículos elétricos modernos possuem

um sistema de trem de força, mas, em vez de elos mecânicos, utilizam elos elétricos e de controle. Com base nas entradas de controle do usuário, o controlador do veículo fornece sinais de controle adequados ao conversor de potência eletrônico, que funciona para regular o fluxo de potência entre o motor elétrico e a fonte de energia (MEHRDAD *et al.*, 2010).

3.2.1 Classificação dos veículos elétricos

Devido à flexibilidade da configuração de diferentes arranjos de propulsão, os veículos elétricos (EVs) podem ser classificados de acordo com a suas principais fontes de energia para gerar força de tração. De modo geral, a maioria dos EVs existentes no mercado são propelidos por um motor de combustão interna (ICE) junto com uma unidade motriz elétrica auxiliar sendo classificados como (HEVs) *Hybrid Electric Vehicles* ou (PHEVs) *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (Mehrdad *et al.*, 2010).

De acordo com Sanguesa *et al.*, (2021), a diferença entre os HEVs e os PHEVs, encontra-se na determinação de qual é a principal fonte de força de tração. No caso dos HEVs, o ICE é usado como fonte principal e só faz uso do motor elétrico quando existem condições de baixa velocidade para reduzir o consumo de combustível. Por outro lado, os PHEVs funcionam da forma contrária mediante o uso de motor elétrico como fonte principal de força de tração, precisando da unidade ICE quando é necessário o aumento da faixa de autonomia de trabalho. Além disso, os PHEVs têm pontos de carregamento no veículo para recarregar a bateria através de estações públicas da rede elétrica comercial, entretanto, os HEVs recarregam a bateria quando o ICE está em funcionamento (modo gerador).

Outra das configurações emergentes para o futuro são os *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEVs) que mediante o uso de reações químicas geram eletricidade dentro de células de combustível, sendo o hidrogênio (armazenado em tanques de alta pressão) a principal escolha para produzir a reação junto ao oxigênio tomado do exterior por meio da sucção. Uma das vantagens dos FCEVs é a geração da sua própria energia reduzindo a emissão de carbono com maior eficiência que todos os demais tipos de EVs, porém, ainda não se tem desenvolvimento de estações de recarga de hidrogênio (UM-NOOR *et al.*, 2017).

Finalmente, Sanguesa *et al.*, (2021) expressaram que companhias como Tesla Motors e Rivian tem desenvolvido tecnologias onde seus veículos elétricos altamente

eficientes são propulidos puramente por baterias químicas, usando como fonte de energia os pontos de carregamento da rede elétrica comercial e sistemas auxiliares de captação e conversão da energia solar. Estes veículos são amplamente conhecidos como Battery Electric Vehicles (BEVs), e seus avanços no futuro dependerão do desenvolvimento de baterias mais eficientes, com maior faixa de autonomia, mais leves e com custos de aquisição aceitáveis.

Na Figura 5, representa-se graficamente a taxonomia dos veículos elétricos (EVs) de acordo com a *International Electrotechnical Commission's Technical Committee 69: Electric Road Vehicles* (UN-NOOR *et al.*, 2017). Complementarmente, mostra-se na Tabela 3 uma comparação dos diferentes tipos de veículos elétricos dentro da classificação.

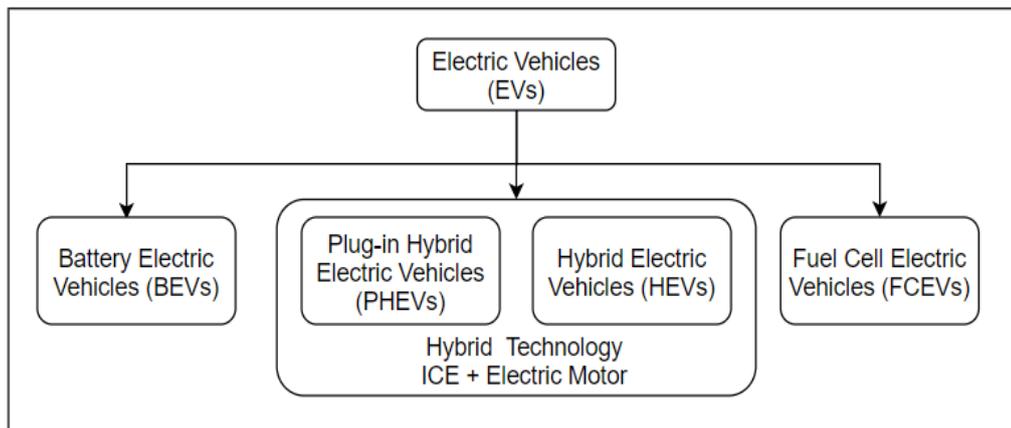


Figura 5 – Classificação dos EVs de acordo com suas tecnologias e configurações de motores.
Fonte: Adaptada de SANGUESA *et al.*, 2021.

Tabela 3 – Características comparativas dos diferentes tipos de veículos elétricos.

Tipo de EV	Accionamento	Fonte de energia	Características
BEV	Motor Elétrico	Baterias Ultra capacitores	Não emissões Não dependem de combustíveis fósseis Autonomia depende do tamanho e capacidade da bateria
HEV	Motor Elétrico ICE	Baterias Ultra capacitores ICE	Baixas emissões Alta autonomia Pode obter energia do abastecimento elétrico e o combustível Estrutura complexa do trem de força
FCEV	Motor Elétrico	Célula de combustível	Baixas emissões Alta eficiência Não depende de abastecimento elétrico Custo elevado

Fonte: Adaptada de Um-Noor *et al.*, 2017

3.2.2 Configurações de sistemas de transmissão de potência para BEV

Em função das características construtivas de um veículo elétrico como são a distribuição do peso no chassi, arranjo das baterias, tipo de fonte de energia, ou a quantidade de motores necessários para gerar força de tração requerida, Mehrdad *et al.*, (2010), apresentam uma variedade de configurações de trem de força possíveis para veículos elétricos. Nos diagramas mostrados na Figura 6, destacam-se seis configurações possíveis, onde M, representa o motor elétrico, C o computador de controle, e finalmente, B como o banco de baterias do veículo.

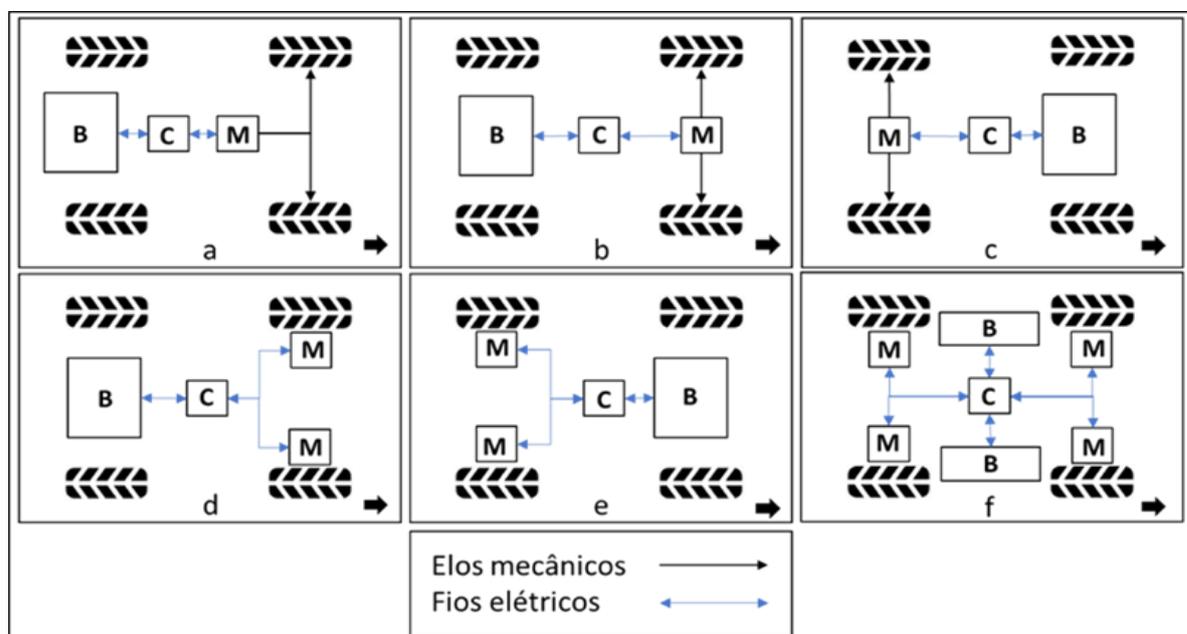


Figura 6 – Diagramas com as possíveis configurações de trem de força para veículos elétricos.
Fonte: Adaptado de MEHRDAD *et al.*, 2010.

Na figura 6a, mostra-se um sistema de trem de força comum onde um motor elétrico central fornece força de tração as rodas dianteiras por meio de elos mecânicos. Do mesmo modo acontece na figura 6b e c, no entanto, o motor elétrico se posiciona diretamente no eixo dianteiro ou traseiro, usando igualmente, elos mecânicos para a transmissão da potência. Por outro lado, na figura 6d, e, ou f, os elos mecânicos não são necessários visto que os motores são instalados diretamente no eixo das rodas, evitando assim, perdas mecânicas por fricção, além de apresentar uma maior facilidade para sua configuração.

Tomando como exemplo a figura 6f, expressa-se uma adaptação sobre a montagem de um sistema de propulsão e controle eletrônico com suas conexões

(Figura 7), com a finalidade de ilustrar como é feita a conversão da energia elétrica em esforço de tração para o deslocamento do veículo (CHENGALVA *et al.*, 2013).

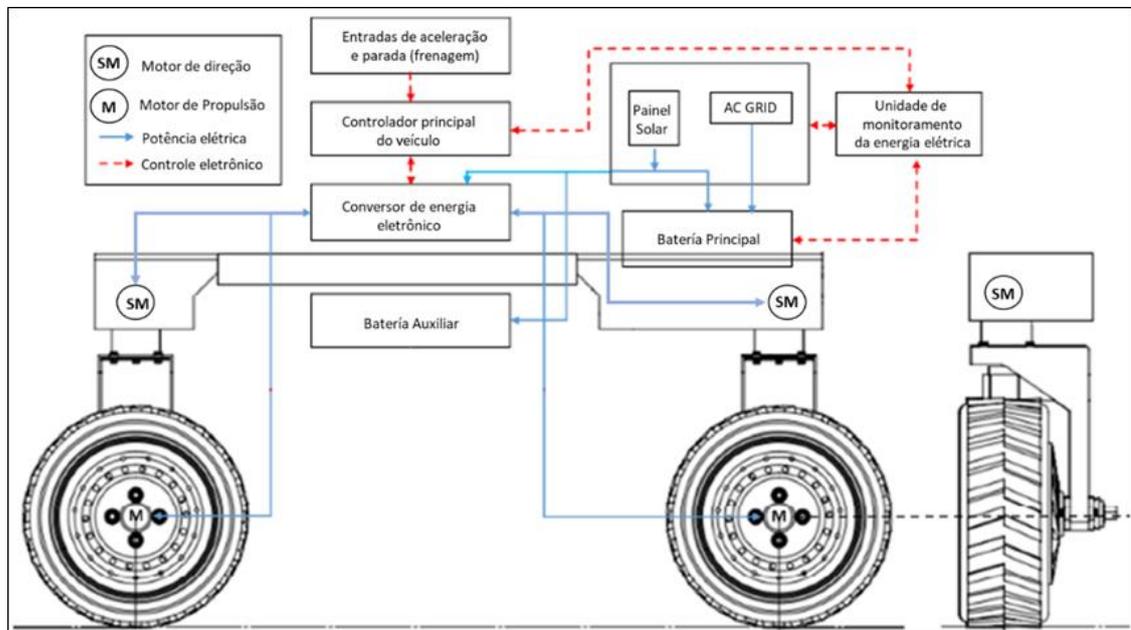


Figura 7 – Ilustração de um sistema de propulsão e controle com tração nas 4 rodas.
Fonte: Adaptado de CHENGALVA *et al.*, 2013.

3.2.3 Motores elétricos

Os motores elétricos representam uma das tecnologias de propulsão mais importantes na indústria do automóvel, oferecendo uma porcentagem de eficiência que pode variar de acordo com seus valores de velocidade e torque, e sua arquitetura de fabricação (ALIASAND *et al.*, 2020). A energia elétrica pode ser convertida em energia cinética de rotação utilizando um motor elétrico cuja operação deve-se à interação entre o campo elétrico do motor e os alargamentos de corrente que geram força na forma de rotação, usando fontes de corrente contínua (CC), tais como baterias, ou por corrente alternada (CA) como uma rede elétrica (HUGHES *et al.*, 2020).

Em veículos elétricos, a potência nominal de um motor é calculada nas condições de uma exigência máxima de potência de uso necessária quando o veículo está funcionando em sua velocidade mais alta, porém, em condições reais de trabalho, os motores trabalham em valores de velocidade e torque que mudam rapidamente com o tempo, tornando-se difícil seu controle a fim de manter uma eficiência de trabalho aceitável (DE CARLO & MANTRIOTA, 2020).

As características básicas que são exigidas do motor elétrico e seu sistema de acionamento associado incluem, uma alta densidade de torque e potência, alto torque em baixa velocidade com capacidade de partida, alta eficiência sobre as faixas de torque e velocidade necessárias, particularmente em baixa rotação, alta confiabilidade e robustez para com o meio ambiente, e custos aceitáveis, especialmente aqueles associados com as baterias (CROWDER, 2020).

Os atributos requeridos antes mencionados, podem ser compatíveis com os diferentes tipos de motores disponíveis no mercado, como por exemplo, motores de corrente contínua com comutador (DC Motor), motores de indução (AC Motors), motores de ímãs permanentes sem escovas (BLDC), ou motores de relutância comutada (SRM). Na Tabela 4, apresenta-se uma comparação dos parâmetros mais importantes a serem levados em consideração no momento da escolha de um motor elétrico entre os motores usados em veículos elétricos.

Tabela 4 - Comparação entre motores usados em veículos elétricos.

Tipo de motor/ Índice de performance	Motor DC (Comutador)	Motor de Indução	Motor de ímãs Permanentes BLDC	Motor de relutância Comutada
Densidade de potência	Baixa	Intermediária	Alta	Muito alta
Eficiência Máxima (%)	<90	90 – 95	95 -97	<90
Controlabilidade	Simple	Difícil	Complexo	Complexo
Confiabilidade	Normal	Ótimo	Excelente	Ótimo
Dissipação de calor	Deficiente	Deficiente	Ótimo	Ótimo
Tamanho/Peso	Grande/pesado	Norma/normal	Pequeno/leve	Pequeno/leve
Desempenho de alta velocidade	Deficiente	Excelente	Ótimo	Excelente
Fabricação	Difícil	Simple	Simple	Simple
Custo do controlador	Baixo	Alto	Alto	Intermédio

Fonte: Adaptado da UMANS *et al.*, 2014.

3.2.4 Baterias para veículos elétricos

Segundo Armand *et al.*, (2012), as tecnologias mais utilizadas para aplicações de baterias estacionárias são baterias de chumbo-ácido e baterias de íon-lítio. Quanto às aplicações em veículos elétricos, as baterias NiCd (Níquel cádmio) e NiMh (Níquel-

hidreto metálico) foram inicialmente usadas, mas devido à sua densidade limitada de energia e baixa autonomia, foram substituídas por baterias de íon-lítio desde 2009.

As baterias chumbo-ácido selada (VRLA), possuem algumas limitações, tais como: uma capacidade utilizável entre 30-50% da capacidade nominal para evitar a degradação excessiva da bateria, vida útil muito baixa de 3-5 anos, número limitado de ciclos de recarga durante a vida útil entre 300-500 e profundidade de descarga de 80%. Independentemente de suas limitações, as baterias VRLA (Valve Regulated Lead Acid) ainda dominam o mercado para aplicações fotovoltaicas fora da rede devido a seus custos acessíveis para grandes capacidades instaladas (GOMES *et al.*, 2020). Há duas tecnologias básicas empregadas nas baterias VRLA, dependendo do tipo de separador utilizado e o estado do eletrólito (TROJAN Battery Company, 2020).

A primeira delas é a Bateria de Tapete de Vidro Absorvido (Absorbed Glass Mat - AGM) a qual é uma bateria selada que se enquadra na categoria de baterias VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Estas baterias são concebidas para que o hidrogênio e o oxigênio sejam recombinados dentro da bateria, em vez de serem ventilados. Uma válvula integrada libera o excesso de gás no caso de uma sobrecarga grave. Construída através da compressão de um tapete de fibra de vidro entre cada prato, o tapete mantém o eletrólito no lugar muito semelhante a uma esponja e ajuda a apoiar as placas, fornecendo assim, uma boa resistência ao choque e vibração.

Por outro lado, as baterias de gel são outro tipo de bateria VRLA e tal como a AGM é selada. Embora a construção interna básica de uma bateria gel seja semelhante à da bateria inundada (Baterias Chumbo-ácido comuns), o eletrólito é imobilizado com a adição de um agente espessante, assumindo o aspecto e a consistência da vaselina. As baterias de gel têm um custo inicial mais elevado, e normalmente não funcionam tão bem em aplicações de energia e o carregador selecionado deve ter uma configuração específica de gel para evitar danos por sobrecarga.

As baterias de íon-lítio, em comparação com outras tecnologias são as mais adequadas para veículos elétricos devido à sua capacidade de proporcionar maior saída de energia e potência por unidade de massa da bateria, tornando-as mais leves e menores do que outras baterias recarregáveis para a mesma capacidade de armazenamento de energia (DIOUF & PODE, 2014). Em termos químicos, três tecnologias diferentes de células catódicas podem ser destacadas: Lítio Níquel-

Cobalto-Alumínio (NCA), Fosfato de Lítio Ferro (LFP) e Lítio Níquel-Manganês-Cobalto (NMC) (GOMES *et al.*, 2020).

As baterias Níquel-Cobalto-Alumínio apresentam um comportamento superior em relação à vida útil, tendo uma maior razão de capacidade específica versus potencial celular, onde sua degradação devido a mudanças na temperatura e estado de carga são baixas. Entretanto, tem um custo elevado de aquisição e o gerenciamento do aumento de temperatura da bateria pode ser um problema.

Nas baterias de Fosfato de Lítio Ferro, a degradação é mais induzida pela temperatura do que o estado de carga, causando uma perda acentuada de energia e capacidade em altas temperaturas. Entre suas vantagens, não precisa de altos investimentos para administrar sua temperatura de operação porque a tecnologia é a mais segura respeito a possíveis fugas térmicas. No entanto, isto vem com um compromisso de redução de energia específica e relação capacidade específica versus potencial celular. Na Tabela 5, apresenta-se uma comparação entre os diferentes tipos de baterias mencionadas acima com as especificações mais importantes e seus valores.

Tabela 5 – Comparação dos diferentes tipos de baterias disponíveis para os veículos elétricos.

Especificações	Chumbo-ácido inundado	VRLA			Íon - Lítio	
		NiCd	NiMh	Cobalto (NCA)	Manganês (NMC)	Fosfato (LFP)
Densidade específica de energia (Wh/kg)	30- 50	45 - 80	60 - 120	150 - 190	100 - 135	90 - 120
Ciclos de recarga (N°)	200 - 300	1000	300 - 500	150 - 300	25 - 75	25 - 50
Tamanho da bateria	12V Pack	6V Pack	6V Pack	7.2V	Por célula	Por célula
Tempo de recarga	8 – 16h	1h	2 – 4h	2 – 4h	1h ou menos	1h ou menos
Auto descarga/mês	5%	20%	30%		<10%	
Manutenção	3 – 6 meses	1 -2 meses	2 -3 meses		Não requerido	
Em uso desde	1900s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicidade	Muito alta	Muito alta	Baixa		Baixa	
Aplicações	Rede elétrica	Rede elétrica	Rede elétrica	Rede elétrica, veículos elétricos e aparelhos eletrônicos		

Fonte: Adaptado de Gomes *et al.*, 2020.

3.2.5 Sistema de Carregamento por energia solar

O sistema de energia de painel solar é composto por uma sequência de componentes interligados que trabalham juntos para converter a energia da luz solar em energia elétrica para armazená-la ou invertê-la. O sistema fotovoltaico (PV) consiste em dois elementos principais: células solares e as tecnologias para a gestão do sistema (BoS). Enquanto as células são responsáveis pela geração de energia elétrica através da radiação solar, os componentes BoS são importantes para a conexão, proteção química e montagem mecânica das células em painéis, bem como para a regulação eletrônica de seus níveis de saída a serem utilizados e armazenados em baterias (SHUBBAK, 2019).

GOMES *et al.*, (2020), define uma célula solar como um dispositivo elétrico que converte diretamente a energia dos fótons em corrente contínua (DC) através de um fenômeno químico/físico chamado efeito fotovoltaico. Sua eficiência de conversão (η) é calculada como a porcentagem da energia luminosa incidente na superfície da célula que é convertida em energia elétrica sob condições padrão. Ademais, estabelece que atualmente no mercado as células solares são classificadas em três gerações de tecnologia (Tabela 6).

A primeira geração, engloba células cristalinas à base de cápsulas de silício, a segunda geração, compreende tecnologias de película fina como o telúrio de cádmio (CdTe), o seleneto de cobre e índio gálio (CiGs), e o silício amorfo (a-Si). Por outro lado, a terceira geração inclui as tecnologias de células emergentes de materiais orgânicos, ainda sob pesquisa.

Tabela 6 - Tecnologias fotovoltaicas solares disponível e seus percentagens no mercado.

Geração Fotovoltaica	1ª			2ª	
	Monocristal (mc-Si)	Multicristal (pc-Si)	Silício amorfo (a-Si)	Seleneto de cobre e índio gálio (CiGs)	Telúrio de cádmio (CdTe)
Eficiência (%)	26.1 – 27.6	22.8	14	23.3 – 23.4	22.1
Vida útil (Anos)	25 - 30	25 - 30	25 - 30	25 - 30	25 - 30
Custo (US\$/Wp) ⁴	0.26 – 0.45	0.21 – 0.29	0.5 – 1.5	1.0 – 1.5	1.0 – 1.5
Participação no mercado (%)	24	69	3	2	2
Aplicações	Civil ⁵	Civil	Civil	Civil	Civil

Fonte: Adaptado da Shubbak, 2019.

⁴ US\$/Wp = Custo em dólares por watt pico.

⁵ Civil = Residencial, comercial e usinas elétricas.

Em relação a sua adaptação num veículo agrícola, Jung (2021), descreve o sistema de carregamento por energia solar como uma estrutura composta pelo painel solar e o conversor solar que se conecta a bateria do veículo. O conversor, encarrega-se de aumentar ou diminuir a tensão da corrente contínua DC, produzida a partir do painel solar.

Dentro do conversor solar, encontra-se o processador, o comunicador e o próprio conversor. O processador recebe a energia elétrica e controla as operações da tensão e corrente de carga e a leitura do estado de carga que provem da BMS da bateria através do comunicador. Com essa informação, o processador regula o passo da corrente elétrica para o conversor encarregado de converter o potencial elétrico para carregar a bateria. Na Figura 8, detalha-se a estrutura do sistema.

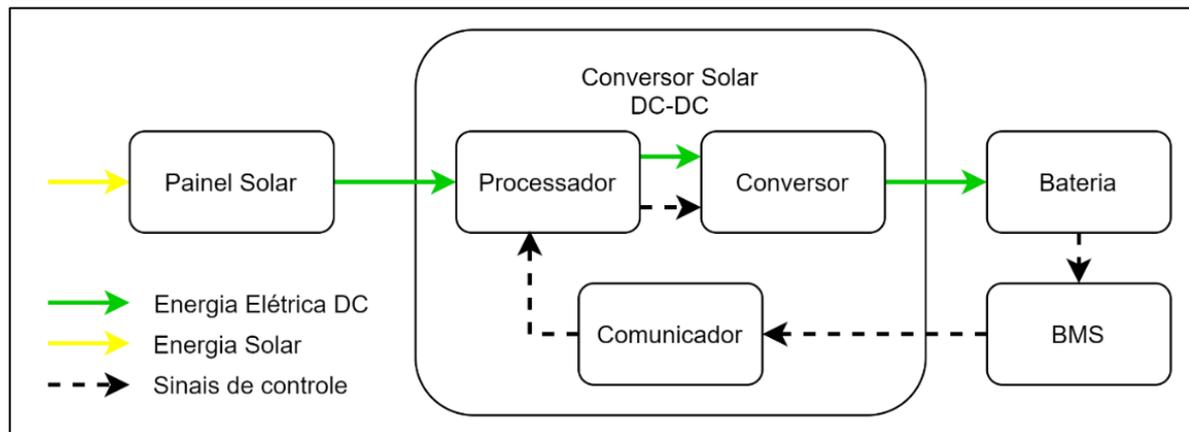


Figura 8 – Estrutura do sistema de carregamento por painéis solares.
Fonte: Adaptado de JUNG, 2021.

3.2.6 Níveis de carregamento para veículos elétricos

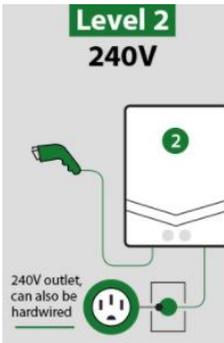
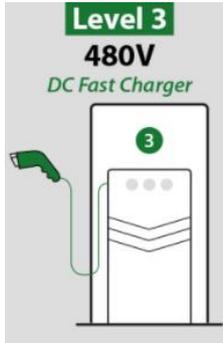
No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica é o órgão encarregado de estabelecer os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos. Segundo a Resolução normativa N° 819, de 19 de junho de 2018, a ANNEL define uma estação de recarga como:

Art. 2 - Conjunto de softwares e equipamentos utilizados para o fornecimento de corrente alternada ou contínua ao veículo elétrico, instalado em um ou mais invólucros, com funções especiais de controle e de comunicação, e localizados fora do veículo (Norma N° 819, 2018).

Apresenta-se na Tabela 7, os três níveis de carregamento com as principais especificações e a infraestrutura necessária para sua implementação.

Tabela 7 – Níveis de carregamento para veículos elétricos.

Especificações	AC Nível 1 (Tomada de parede)	AC Nível 2 (EVSE)	Carregamento rápido DC (EVSE)
Tensão (V)	110-120V, 1 fase AC	208 ou 240V, 1 fase AC	208 ou 480V, 3 fases AC
Amperes (Amps)	12 - 16	12 - 80	<125
Carga de carregamento (kW)	1.4 – 1.9	2.5 – 19.2	<90
Milhas de alcance por hora de carga (RPH)	3 - 5	10 - 20	80% de carga em 20 – 30 minutos
Tempo para carregar totalmente (horas)	16 - 40	3.5 - 8	

Diagrama de instalação	Level 1 120V	Level 2 240V	Level 3 480V DC Fast Charger
			
Tomada padrão	NEMA 5-15 or 5-20 J1772	NEMA 6-50 J1772	Não aplica SAE combo, CHAdeMO Tesla
Tipo de conector para o EV			
Aplicação	Residencial	Residencial e comercial	Comercial
Custo (Amazon)	150 – 300USD	330 – 550USD	-----

Fonte: Adaptada de TEXAS INSTRUMENTS, 2016.

Existem três níveis de carregamento para veículos elétricos: Nível 1, Nível 2 e Nível 3 (TEXAS INSTRUMENTS, 2016). O último (carga rápida DC) não foi alvo de estudo neste trabalho devido a seu alto investimento associado, níveis altos e perigosos de tensão elétrica (480V), requisitos profissionais de instalação e manutenção. Os níveis 1 e 2 são os mais adequados para uso residencial (FGV ENERGIA, 2017). Além disso, ambos os níveis são compatíveis com qualquer veículo elétrico usando o conector e receptor padrão tipo I J1772 (SAE J1772, 2017).

No nível 1; Saída de parede padrão (110V - 120V, AC 1 fase, 12 - 16Amps), um cabo de carga padrão (J1772) pode ser simplesmente conectado a uma tomada doméstica normal (NEMA 5-15 ou 6-20). Mesmo assim, este tipo de conexão

proporciona uma taxa de carga bastante lenta para o veículo elétrico. Em média, leva entre 16 e 40 horas para carregar completamente, dependendo do tamanho da bateria.

No nível 2; Estação de carga (208 ou 240V, AC 1 fase, 12 - 80Amps), um cabo de carga padrão (J1772) é conectado à estação de carga que é conectada a uma tomada Nema 6-50 que deve ser instalada por um electricista profissional. Atualmente os valores variam entre USD200 a USD500 dependendo do fabricante⁶.

A seguir, mostrasse na figura 9 o diagrama funcional para um sistema de carregamento nível 1 ou 2.

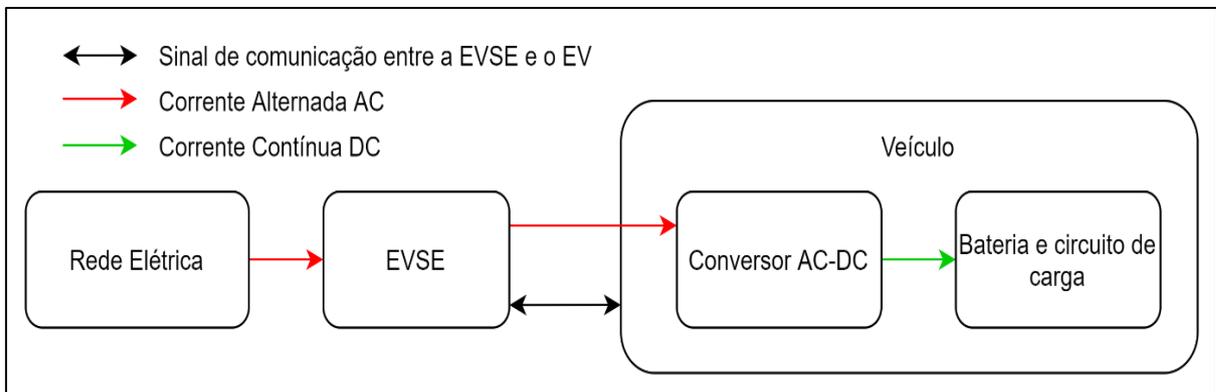


Figura 9 – Diagrama funcional do sistema de carregamento de nível 1 ou 2.
Fonte: Adaptado da TEXAS INSTRUMENTS, 2016.

3.2.7 Autonomia de veículos agrícolas elétricos

A densidade energética é a quantidade de energia que pode ser armazenada num determinado sistema, e pode ser medida em energia por volume ou por massa. Quanto maior é a densidade de energia de um sistema, maior a quantidade de energia armazenada e disponível para o seu uso.

De acordo com Olson, (2018), a baixa densidade energética e os elevados custos das baterias aumentam o custo e reduzem a autonomia de operação dos veículos elétricos em comparação com os veículos de combustão interna (Figura 10).

O estado da arte atual em baterias de Ion - lítio com uma energia específica de 150 Wh/kg, são amplamente utilizadas para veículos de pequena escala, sendo não suficiente para igualar o desempenho dos veículos de combustão interna, como mostra a Figura 10. (DIOUF & PODE, 2015).

⁶ Valores obtidos da AMAZON US, 20. nov. 2021.

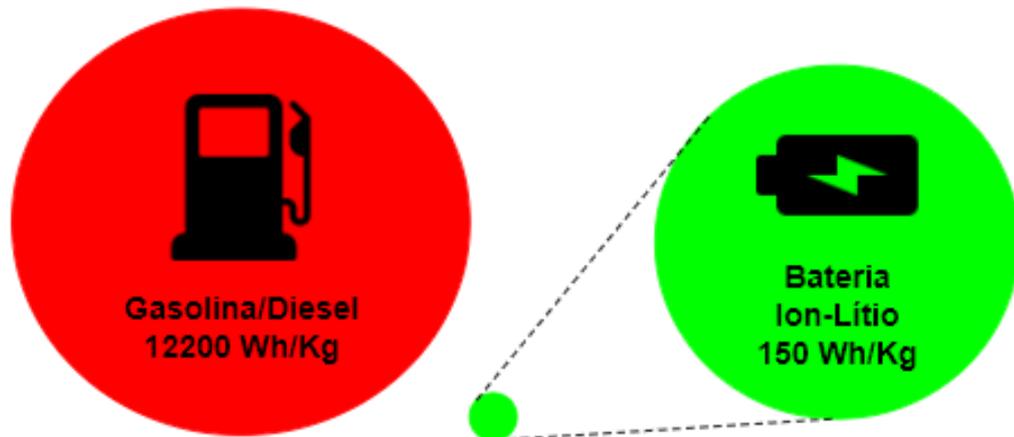


Figura 10 – Comparação da densidade energética específica entre combustíveis e baterias Ion-Lítio.
Fonte: Adaptado de DIOUF & PODE, 2015.

Conforme Vogt et al., (2021), a mecanização na agricultura familiar demanda uma autonomia de 3 a 6 horas, porém, o desempenho atual das baterias não é suficiente, uma vez que está limitado entre 1 e 3 horas de autonomia.

A fim de aumentar a autonomia operacional dos veículos agrícolas no campo, Vogt, (2018), estabeleceu 4 configurações para o carregamento, neste caso, para um trator com um sistema de propulsão elétrico de 9kW.

- Configuração 1: O trator funciona com a sua bateria de bordo (Figura 11), sendo uma configuração semelhante à dos veículos elétricos comerciais. A bateria de bordo do trator está ligada à rede para ser recarregada, de preferência durante a noite. Após o carregamento, o trator executa o trabalho no campo até que a carga da bateria se reduza a um mínimo para um regresso seguro à base de origem. Adicionalmente, um sistema fotovoltaico de pequena capacidade pode ser montado no trator para prolongar o tempo de funcionamento até que o trator tenha de regressar à base ou como dispositivo de carregamento de emergência se o trator ficar sem bateria numa área remota.



Figura 11 – Configuração 1: Bateria fixa ao bordo do trator agrícola.
Fonte: Adaptado de VOGT, 2018.

Com a configuração 1, se tem o baixo custo de investimento em baterias e infraestrutura, porém, a propriedade não deve ser ter mais que 5ha de área; a distância entre o campo de trabalho e a base de carregamento não deve exceder os 2km, a duração do trabalho pesado a 80% de potência de até 6 horas, e capacidade de energia disponível na bateria pode ser reduzida durante o trânsito até a estação de carregamento.

- Configuração 2: é um método inovador apresentado por Vogt, (2018). Neste caso, o trator opera com um conjunto de baterias intercambiáveis (Battery Swapping) as quais estão localizadas numa estrutura rebocada pelo trator. O trator utiliza a sua bateria de bordo para fazer o trabalho de campo, sendo trocada por outra situada no reboque quando estiver descarregada. Consequentemente, o banco de baterias no reboque estará próximo a descarregar, precisando retornar até a base onde aguarda outro banco de baterias completamente carregado.

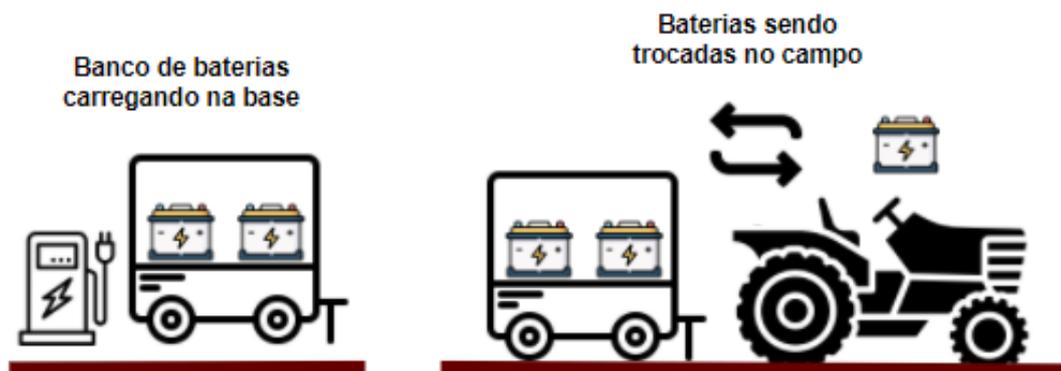


Figura 12 – Configuração 2: conjuntos de baterias intercambiáveis (Battery Swapping).
Fonte: Adaptado de VOGT, 2018.

Nesta configuração, o tempo de operação do trator agrícola poderia aumentar para até 15h, ainda assim, o custo de investimento em infraestrutura e baterias é substancialmente mais elevado. Por outro lado, o consumo de energia na bateria poderia se incrementar pelo fato de o trator puxar o reboque com as baterias.

- Configuração 3: neste cenário, o trator é alimentado por cabos ligados a uma bateria na base doméstica. Inicialmente, o trator utiliza a sua bateria de bordo para transitar. Durante o trabalho de campo, o trator pode funcionar em dois modos: dentro e fora do sistema de alimentação de cabos.

Fora do sistema de alimentação por cabos, o trator opera semelhante a configuração 1, até a bateria descarregar, sendo necessário se conectar com o sistema de alimentação. Dentro do sistema de alimentação por cabos, a energia da bateria de bordo é desligada, e o trator é conectado com o cabo, recebendo a energia diretamente da bateria estacionária na base (Figura 13). Trabalhando ligado ao cabo, a bateria de bordo do tractor pode ser recarregada em paralelo.

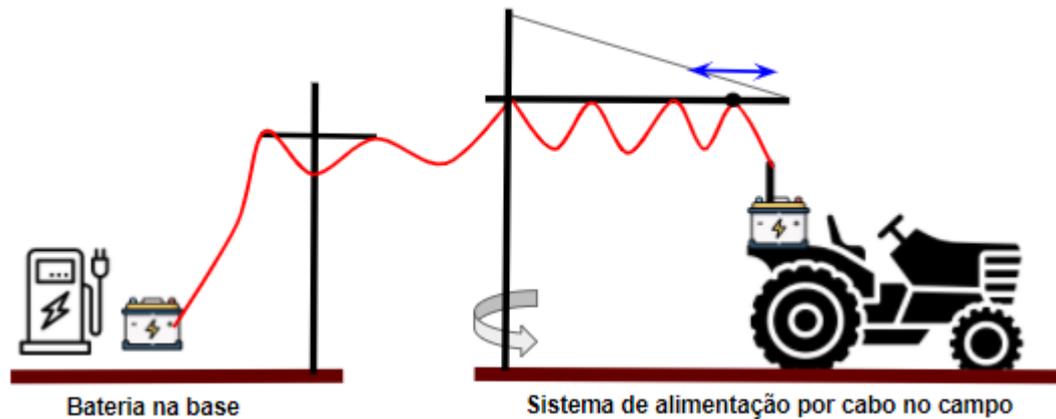


Figura 13 – Configuração 3: Sistema de alimentação elétrica por cabos ligado a uma bateria na base. Fonte: Adaptado de VOGT, 2018.

A configuração 3, adequa-se para operações pesadas no campo devido ao fornecimento contínuo de energia por parte da bateria na base. Ademais, o trator agrícola não depende da capacidade da bateria, não existe perda de tempo na troca das baterias, e tempo de deslocamento entre o campo e a base. No entanto, existem elevados custos de investimento devido à linha de transmissão, ou seja, a distância máxima desde a base até ao campo é limitada.

- Configuração 4: O trator funciona com um sistema de alimentação de cabos ligado a conjuntos de baterias intercambiáveis num reboque. Esta configuração é uma mistura entre as configurações 2 e 3. Tem todas as vantagens de ambas, mas também todas as limitações. Durante o deslocamento para trabalhar no campo, o trator puxa um reboque com um conjunto de baterias sobre o mesmo. No campo, as baterias no reboque são ligadas ao sistema de alimentação por cabos. Além disso, o segundo conjunto de baterias pode simultaneamente ser carregado na base (semelhante à Configuração 2).

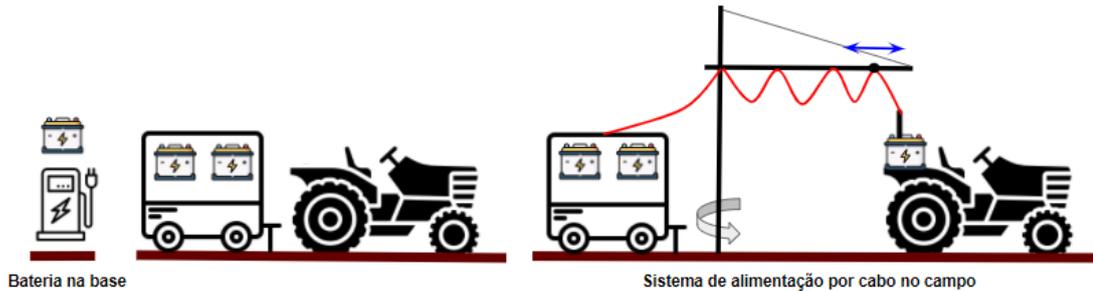


Figura 14 – Sistema de alimentação por cabos não ligado à base, utilizando um pacote de baterias.
Fonte: Adaptado de VOGT, 2018.

Para aplicações agrícolas com acesso à rede elétrica, as quatro configurações apresentadas por Vogt, (2018), oferecem uma opção economicamente viável (especialmente a configuração 2,3,4) para fazer um transição energética entre um trator de combustão interna para um trator elétrico. Além disso, estabelece que as configurações para a gestão da transmissão de energia elétrica são uma excelente solução que pode incrementar a autonomia funcional dos tratores elétricos no momento de operar na agricultura familiar.

3.3 Sistemas autônomos de condução

Em conformidade com a Norma SAE J3016 (2018), um sistema autônomo de condução é composto por software e hardware que coletivamente executam todos os aspectos da tarefa de condução dinâmica de um veículo (*Dynamic Driving Task - DDT*), seja em tempo parcial ou total. As tarefas de condução dinâmica podem ser realizadas por um motorista humano ou por um sistema de modo de condução que é programado para atuar dependendo do cenário de condução (alta velocidade, baixa velocidade, trânsito etc.)

Por outro lado, SAE J3016 (2018), estabelece que as tarefas de condução dinâmica (DDT) são todas as funções em tempo real necessárias para operar um veículo, excluindo a seleção de destinos e pontos de passagem, sendo isto, navegação ou planejamento de rotas. Dentro das funções, listam-se as seguintes:

- Detecção, reconhecimento e classificação de objetos e eventos;
- Resposta a objetos e eventos;
- Planejamento de manobras;
- Direção, viragem, e mudança de faixa;
- Aceleração e desaceleração.

No quadro apresentado na Tabela 8, explica-se os diferentes níveis de automação possíveis dentro da tarefa de condução dinâmica de um veículo, assim como também, da execução da direção, aceleração e desaceleração, e o monitoramento do ambiente de condução. No total, a SAE J3016 (2018) estabelece seis tipos de níveis de autonomia.

Tabela 8 – Níveis da condução autônoma possíveis num veículo.

Nível SAE	Tipos de autonomia	Execução	Monitoramento	Desempenho
		Direção e aceleração/ desaceleração	Ambiente de condução	DDT
0	Sem automação	Motorista	Motorista	Motorista
1	Assistência motorista ao	Motorista e sistema	Motorista	Motorista
2	Automação parcial	Sistema	Motorista	Motorista
	Sistema automatizado monitora o ambiente de condução			
3	Automação condicional	Sistema	Sistema	Motorista
4	Alta automação	Sistema	Sistema	Sistema
5	Automação completa	Sistema	Sistema	Sistema

Fonte: Adaptado da SAE J3016, 2014.

3.3.1 Tecnologia de sensores para veículos autônomos

Velasco-Hernandez *et al.*, (2021), descreve que os sensores são dispositivos que mapeiam os eventos detectados ou as mudanças no ambiente a uma medida quantitativa para processamento posterior. Em geral, os sensores são classificados em duas classes com base em seu princípio operacional. Os sensores proprioceptivos, capturam o estado dinâmico e medem os valores internos de uma variável dinâmica por exemplo, força, taxa angular, velocidade, tensão da bateria, etc. Por outro lado, os sensores exteroceptivos, são usados para sentir e adquirir informações tais como medições de distância ou intensidade de luz a partir do entorno do sistema. A Figura 15, apresenta os diferentes tipos de sensores como o IMU, GNSS, câmeras, radar, e o Lidar, os quais substituem ao usuário nas tarefas de condução dinâmica.

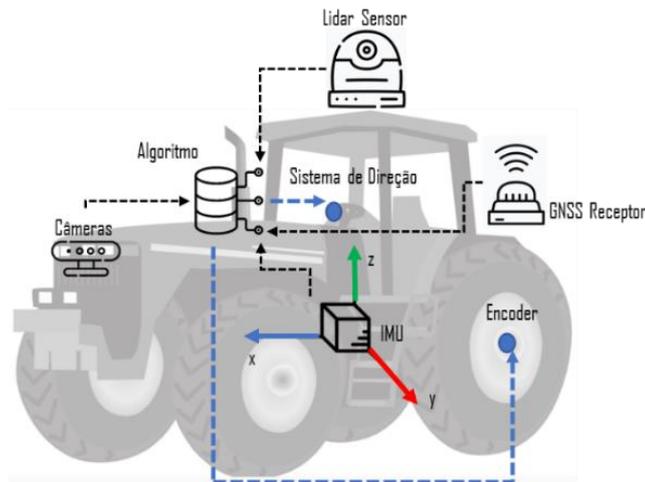


Figura 15 – Trator de condução autônoma e seus sensores.
Fonte: Elaboração própria.

3.3.2 Receptores de Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS)

O conceito de sistema de referência para navegação é essencial, uma vez que todas as aplicações do GNSS são relacionadas com um sistema de coordenadas. A principal aplicação do GNSS está focada em determinar a posição de um objeto no sistema de referência Global a qualquer momento no globo, de maneira simples e rápida (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

O escritório de Assuntos do Espaço Exterior das Nações Unidas descreve que os sistemas GNSS estão conformados por constelações de satélites que transmitem sua localização no espaço e no tempo para redes de estações de controle terrestres e de receptores que calculam as posições. Também explica que são utilizados em todas as formas de transporte como estações espaciais, aviação, marítima, ferroviária, rodoviária, tendo um papel crítico nas telecomunicações, resposta a emergências, agricultura de precisão, mineração, entre outras aplicações (OOSA, 2021).

No momento o GNSS inclui quatro sistemas globais totalmente operacionais fornecidos por agências dos Estados Unidos, a Federação Russa, Europa e China.

- Global Positioning System (GPS) dos Estados Unidos;
- Global Navigation Satellite System (GLONASS) da Rússia;
- European Satellite Navigation System (GALILEO) da União Europeia;
- BeiDou Navigation Satellite System (BDS) da China.

Um parâmetro muito importante nos sistemas GNSS antes mencionados é sua precisão, a qual se define como a diferença entre a posição medida de um receptor e sua real posição, velocidade ou tempo (EUSPA, 2021). O desempenho do sistema

pode ser melhorado pelos sistemas regionais de aumento por satélite (SBAS) que atuam como corretores de sinais para o aumento da precisão. Entre os sistemas SBAS encontram-se:

- Wide Area Augmentation System (WAAS) – Estados Unidos;
- European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) – Europa;
- OmniSTAR – Cobertura particular em todos os continentes.
- RTK corretor de sinal – Real Time Kinematic Positioning.

O GNSS inclui três segmentos principais: um segmento espacial, um segmento de controle, e um segmento de usuário, como ilustrado na Figura 16. (SALHI *et al.*, 2019).

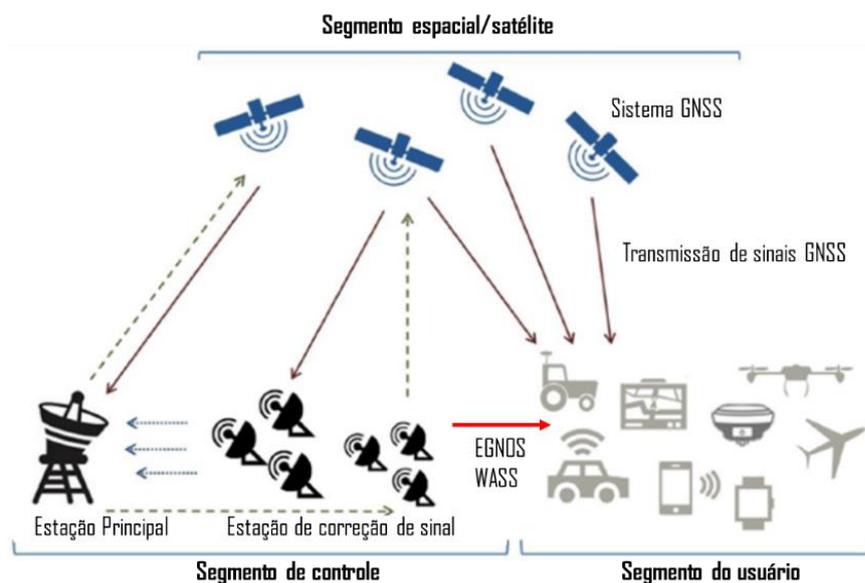


Figura 16 – Arquitetura do sistema GNSS e seus três segmentos de funcionamento.
Fonte: Adaptada de SALHI *et al.*, 2019.

3.3.3 Sistema de navegação Inercial

Os Sistemas de Navegação Inercial (INS) são sistemas capazes de calcular a posição, seja relativa a algum sistema/ponto de referência ou a coordenadas absolutas. O sistema é composto de pelo menos três giroscópios e três acelerômetros ortogonais que permitem a este derivar uma solução de navegação. Esta solução de navegação contém pelo menos a posição (normalmente latitude, longitude). Seu componente mais importante é descrito como a unidade de medida inercial (IMU) a qual mede as mudanças no movimento relativo (através da medição da aceleração) para projetar uma posição de mudança em alguma referência inercial com o passar do tempo (CHRIST *et al.*, 2014).

De acordo com Salhi et al., 2019, uma IMU consiste em uma configuração de 9 sensores (3 sensores em 3 eixos), portanto é geralmente referenciada como uma unidade de medição inercial com 9 graus de liberdade (Figura 17).

- Acelerômetro de 3 eixos: Este dispositivo determina a aceleração adequada do objeto de forma independente em três eixos.
- Giroscópio de 3 eixos: Este dispositivo mede a posição e velocidade angular com respeito a uma estrutura de referência inercial.
- Magnetômetro de 3 eixos: Às vezes chamado de bússola magnética, este dispositivo mede a direção e intensidade do campo magnético terrestre usando o efeito Hall ou efeito magneto-resistivo.

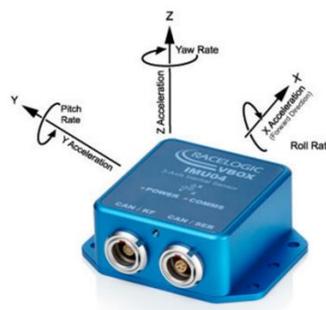


Figura 17 – Unidade de medição Inercial (IMU).
Fonte: RACELOGIC, 2021.

3.3.4 Sensores LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

Conforme Salhi et al., (2019), o LiDAR é um dispositivo eletrônico de medição de distância que utiliza luz laser para medir a distância do sensor até o objeto. Em outras palavras, calcula a distância até objetos através da emissão de luz e medindo indiretamente o tempo que leva para que a luz retorne ao sensor (as ondas eletromagnéticas viajam à velocidade da luz como o RADAR, mas com um comprimento de onda tipicamente infravermelho).

O LiDAR emite pulsos em um plano vertical, recebendo pontos de profundidade. Em seguida, ele gira e repete o mesmo processo novamente até ter uma nuvem de 360° de pontos de todos os lados do veículo (milhões de pontos de dados são coletados por segundo), gerando assim, uma imagem 3D do ambiente.

O mapa de alta resolução do LiDAR encontra suas aplicações em diferentes campos, como a agricultura, sismologia (estudos de risco sísmico), arqueologia, meteorologia, controle (regulação de tráfego, orientação automática), assim como a navegação para veículos autônomos etc.

Entre os benefícios das soluções baseadas no LiDAR estão sua alta precisão na medição da distância (nível de precisão de centímetros para as maiores faixas e nível de precisão de milímetros para os mais curtos), uso possível em diferentes estados de brilho (não são afetados por fontes de luz externas) e aquisição rápida que permite o mapeamento em 3D em tempo real. Entretanto, têm desvantagens tais como sensibilidade às condições climáticas adversas como chuva forte, neve, neblina, ou alta umidade. Além disso, eles ainda são de alto preço e consomem muita energia Velasco-Hernandez *et al.*, (2021).

3.3.5 Câmeras

As câmeras são uma das tecnologias mais adotadas para a percepção do ambiente. Uma câmera trabalha com o princípio de detectar as luzes emitidas do ambiente em uma superfície fotossensível (plano de imagem) através de uma lente de câmera (montada na frente do sensor) para produzir imagens claras do ambiente ao seu redor (CAMPBELL *et al.*, 2018). Os usos comuns dos dados da câmera incluem o reconhecimento de sinais de trânsito, semáforos e detecção de marcação de faixa de rodagem. Como o desempenho da câmera e a criação de imagens de alta fidelidade são altamente dependentes das condições ambientais e iluminação, os dados de imagem são frequentemente cruzados com outros dados do sensor, tais como radar e LiDAR para gerar uma percepção confiável e precisa do ambiente.

Na Tabela 9, mostra-se as características das tecnologias de sensoriamento usadas na condução autônoma e seu desempenho, neste caso, o LiDAR, os radares, as câmeras e os sensores ultrassônicos.

Tabela 9 – Características das tecnologias de sensoriamento para veículos autônomos.

Caraterística	LiDAR	RADAR	Câmera	Sensor Ultrassônico
Tecnologia Primaria	Laser	Ondas de radio	Luz	Ondas de sonido
Faixa	~200m	~250m	~200m	~5m
Resolução	Boa	Regular	Excelente	Deficiente
Afetada por condições climáticas	sim	sim	sim	sim
Afetada por condições de iluminação	Não	Não	Sim	No
Detecção da velocidade	Boa	Excelente	Deficiente	Deficiente
Detecção da distância	Boa	Excelente	Deficiente	Boa
Susceptibilidade a interferências	Boa	Deficiente	Excelente	Boa
Tamanho	Volumoso	Pequeno	Pequeno	Pequeno

Fonte: Adaptada de VARGAS *et al.*, 2021.

3.4 Veículos autônomos-elétricos para a agricultura no mercado global

A seguir são apresentados 14 desenvolvimentos de veículos autônomos elétricos para agricultura feitos por empresas e universidades no mundo, dos quais, a maioria provém de países da União Europeia como a França, Suíça, Noruega, Alemanha, entre outros.

A França destaca-se como um dos países com maior número em desenvolvimentos de máquinas autônomas para atividades agrícolas no mundo. A companhia Nao Technologies tem disponível no mercado três veículos para remoção de plantas espontâneas em diferentes tipos de culturas: o Dino, OZ, e o TED.

O veículo Dino (Figura 18), é propulsado por baterias de lítio que permitem uma autonomia de até 10 horas de trabalho contínuas. Com um sistema de tração nas quatro rodas, conduzido pela linha de plantio usando um sistema de orientação GPS e câmeras de visão. Eficaz para cultivos hortícolas em fileiras ou canteiros como: alface, cenoura ou cebola, possui um sistema de engate para a montagem de implementos como cultivadores giratório, cultivadores de hastes ou cultivadores de hastes flexíveis (NAIO TECHNOLOGIES, 2020).



Figura 18 - Máquina de remoção de plantas espontâneas em fileiras ou canteiros.
Fonte: NAIO TECHNOLOGIES, 2020.

Para trabalhos na entrelinha das culturas, a Nao Technologies desenvolveu o veículo autônomo elétrico OZ (Figura 19) para realizar tarefas de: tratamentos culturais, semeadura ou transporte e assistência ao agricultor. Devido a sua multifuncionalidade, emprega diferentes tipos de implementos adaptados como: semeadoras, cultivadores giratórios, cultivadores de hastes, cultivadores de hastes

flexíveis e pequenos reboques para transporte. Utiliza um sistema de tração nas quatro rodas, orientado por um sistema de navegação RTK GPS (NAIO TECHNOLOGIES, 2020).



Figura 19 – Veículo autônomo OZ para operações na entrelinha da cultura.
Fonte: NAIIO TECHNOLOGIES, 2020.

Por outro lado, a empresa francesa VitiBot desenvolveu o Bakus S, um veículo para tratamento de culturas em vinhedos com características iguais ao veículo TED da Naio Technologies (Figura 20). O primeiro deles, possui um sistema de tração e direção elétrico nas 4 rodas, orientado por um sistema de navegação autônomo que utiliza receptores GPS RTK. Com largura ajustável, permite o alinhamento dos equipamentos mecânicos para o controle de plantas espontâneas, independentemente da largura da fileira (VITIBOT, 2021).

Do mesmo modo, o veículo TED apresenta uma arquitetura de tração, software de posicionamento e largura ajustável semelhante ao Bakus S. Porém, ademais do uso de equipamentos mecânicos para o controle de plantas, tem um sistema para o uso dos herbicidas. (NAIO TECHNOLOGIES, 2020).



Figura 20 – Bakus S e o TED: veículos para operações de tratamentos culturais em vinhedos.
Fonte: NAIIO TECHNOLOGIES, 2020; VITIBOT, 2021.

Na Suíça, a fabricante de veículos pulverizadores Ecorobotix oferece ao mercado agrícola dois veículos, o Smart Weeding e o AVO Weeding (Figura 21), ambos alimentados energeticamente por um conjunto de painéis solares e baterias. Possuem sistema de posicionamento GPS para se deslocar pela linha de plantio, e reconhecimento de imagens para o acionamento do sistema pulverizador. No entanto, ambos têm diferenças na estrutura funcional do sistema de tração. O Smart weeding tem sistema de tração no eixo dianteiro que também atua como sistema de direção por meio do diferencial de rotação nas rodas. As rodas traseiras que giram livremente respeito ao eixo vertical facilitam o raio de giro do veículo. De forma diferente, O AVO Weeding dispõe de um sistema de tração e direção independente para cada roda (ECOROBOTIX, 2020).



Figura 21 - Smart Weeding e AVO Weeding: Pulverizadores para controle de plantas invasoras. Fonte: ECOROBOTIX, 2020.

Outro veículo para remoção de plantas invasoras foi produzido nos Países Baixos pela Startup Pixelfarming. O Robot One (Figura 22), possui 2 linhas de 5 braços com porta-ferramentas universais que suportam implementos padrão, como um cultivador ou enxada para capina mecânica. O sistema de navegação GPS RTK funciona em conjunto com 4 câmeras com alta resolução e precisão, ademais, pode trabalhar por controle remoto. Para o deslocamento pelo campo, dispões de um sistema de tração e direção independente nas 4 rodas alimentado por painéis solares (PIXELFARMING, 2021).

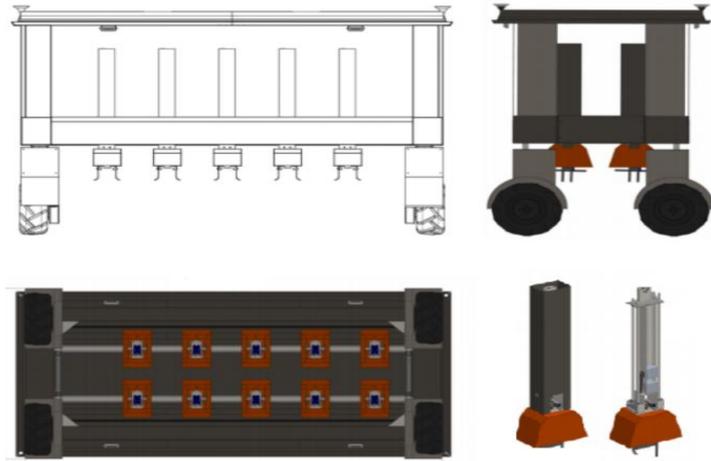


Figura 22 – Veículo Robot One para remoção mecânica de plantas invasoras.
Fonte: PIXELFARMING, 2021.

Quanto a veículos multiuso, a Saga Robotics localizada na Noruega produziu a plataforma Thorvald (Figura 23) destinada a diferentes aplicações agrícolas. Com chassis ajustável, pode ser adaptado para o uso em estufas solares, fileiras/canteiros ou pomares. Totalmente elétrica e com baterias de íon-lítio, dispõe de um sistema de tração e direção independente nas 4 rodas que giram 360 graus com relação ao eixo vertical. A orientação do veículo autônomo es realizada por meio de sensores LiDAR (GRIMSTAD *et al.*, 2017).



Figura 23 – Plataforma Thorvald em a atividade de preparo do solo.
Fonte: GRIMSTAD *et al.*, 2017.

Desde a Dinamarca, a Startup FarmDroid encontrasse na comercialização do seu veículo autônomo elétrico de três rodas para atividades como semeadura e capina mecânica, operando de forma autônoma usando tecnologia GPS de alta precisão

(Figura 24). Destacam-se características como a variação da distância entre linha, entre as plantas, profundidade da sementeira y velocidade, as quais podem ser ajustadas para se adaptarem a várias culturas, vários tipos de solo, ou aos desejos individuais do agricultor (FarmDroid, 2020).



Figura 24 - Veículo autônomo FarmDroid para sementeira e capina.
Fonte: FARMDROID, 2020.

Adicionalmente, a Universidade de Ciências Aplicadas AACHEN na Alemanha e o Instituto MASCOR (Mobile Autonomous System and Cognitive Robotics), projetaram a plataforma ETAROB com chassis modular para diferentes tarefas agrícolas como: controle de plantas concorrentes, fertilização ou colheita. Pode ser configurado em “modo aberto”, para cultivos de grande área, “tipo C” onde é possível acoplar um implemento de grande porte, ou “tipo H” para acoplar dois implementos no veículo (Figura 25). O sistema de tração funciona independentemente nas 4 rodas, contendo câmeras para detecção da cultura e um receptor GPS RTK para seu posicionamento (MASCOR, 2021).

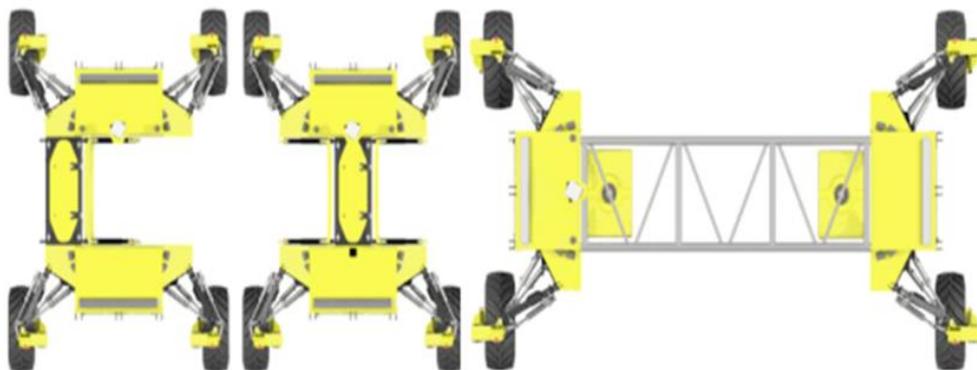


Figura 25 – Veículo ETAROB., configuração tipo C, tipo H e modo aberto.
Fonte: MASCOR, 2021.

Finalmente, apresenta-se o BoniRob, um projeto multidisciplinar iniciado no ano 2008 e financiado pelo Ministério Federal da Alimentação e Agricultura da Alemanha. Desenvolvido pela Universidade de Ciências Aplicadas de Osnabrück em parceria com a fabricante de máquinas agrícolas Amazonen-Werke e a Bosh, foi projetado para transportar diferentes módulos que abrangem uma gama de dispositivos de medição de solo, controle químico e mecânico de plantas concorrentes, assim como para fenotipagem de culturas.

O projeto do chassi possui um sistema com tração e direção independente nas 4 rodas (Figura 26), permitindo que suas dimensões possam ser variáveis, por exemplo: vão livre de solo ajustável entre 40 e 80 cm, y bitola variável entre 75 e 200 cm (AMAZONEN-WERKE, 2022)

Orientado inicialmente por um sistema GPS, atualmente, através do projeto Flourish da União Europeia, o Instituto de Informática da Universidade de Freiburg tem desenvolvido e testado sistemas de planejamento de rota mais eficientes para o posicionamento autônomo do robô no campo (FLOURISH PROJECT, 2022).



Figura 26 – Field robot BoniRob.
Fonte: AMAZONEN-WERKE, 2022.

Fora da União Europeia, encontram-se desenvolvimentos na Austrália, Estados Unidos e a China, com características polivalentes pra diferentes aplicações no campo agrícola.

Na Austrália, a Empresa Agerris em parceria com a Universidade de Sydney desenvolveu a Digital Farmhand (Figura 27), uma plataforma autônoma elétrica com sistemas GPS e câmeras. Semelhante ao Smart Weeding, tem sistema de tração no

eixo dianteiro que também atua como sistema de direção por meio do diferencial de rotação nas rodas. As rodas traseiras que giram livremente em relação ao eixo vertical facilitam o raio de giro do veículo (The University of Sydney, 2020). A estrutura inclui um mecanismo de engate de três pontos que permite a conexão de vários implementos semelhantes a um trator (AGERRIS, 2021).



Figura 27 – The Digital Farmhand. Plataforma com painel solar.
Fonte: AGERRIS, 2021.

Atualmente a plataforma agrícola Burro, fabricada pela empresa Augean Robotics, é comercializada nos Estados Unidos como um veículo de pequeno porte que usa visão computadorizada, GPS de alta precisão, e algoritmos de inteligência artificial para ajudar aos agricultores carregar frutos e determinar produtividade das culturas antes das colheitas (Figura 28). Possui um motor elétrico para tracionar as 4 rodas, se deslocando em 4 modos: seguindo ao usuário; deslocamento entre duas linhas de referência; com rota planejada; ou em modo de rota livre. (AUGEAN ROBOTICS, 2021)



Figura 28 – Veículo Burro platform para transporte e monitoramento de produtividade das colheitas.
Fonte: AUGEAN ROBOTICS, 2021.

Finalmente, apresenta-se o veículo autônomo elétrico R150 fabricado pela empresa chinesa XAG (Figura 29). Em uma primeira configuração, funciona como transportador, com 150kg de capacidade de carga útil e na segunda como um pulverizador, permitindo a pulverização em diferentes direções por meio de motores ajustáveis. Pode ser operado a partir de um sistema de navegação autônoma RTK com precisão centimétrica ou por controle remoto. Além disso, o sistema de tração é composto por dois motores e arranjos de pinhão e corrente para cada roda. (XAG Company, 2021).



Figura 29 – XAG. Veículo autônomo para transporte e pulverização.
Fonte: XAG COMPANY, 2021.

A seguir, nas tabelas 11 e 12, apresentam-se o resumo das características quantitativas e qualitativas dos veículos ou robôs agrícolas apresentados nesta seção.

Tabela 10 – Primeiro quadro com as especificações qualitativas e quantitativas das máquinas agrícolas disponíveis no mercado.

Nome	Thorvald Platform	Digital Farmhand	Avo Weeding	Smart Weeding	XAG R150	Robot One	
Fabricante	Saga Robotics	Agerris	Ecorobotix		XAG	Pixelfarming	
Pais	Noruega	Austrália	Suíça	Suíça	China	Países Baixos	
Caraterísticas	Aplicação	Multifunção	Capina e pulverização	Pulverização	Pulverização	Pulverização e transporte	Capina
	Fonte energia	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica
	Painéis solares	Não	Sim	3 x 380watts	2 x 380watts	Não	Sim
	Navegação	LiDAR + Algoritmo em ROS	GPS RTK / Controle remoto	Visão por câmeras e GPS RTK	Visão por câmeras e GPS RTK	GPS RTK / Controle remoto	Visão por câmeras e GPS RTK
	Baterias	48V Li-ion / 70Ah	Sem informação	48V / 75Ah	48V / 75Ah	Sem informação	48V / 250Ah
	Tração	4 rodas	2 rodas	4 rodas	2 rodas	4 rodas	4 rodas
	Potência (kW)	2	Sem informação	3	1,5	2	2
	Autonomia (h)	10	7 - 10	5	12	4	6
	Velocidade máx. (m/s)	1,5	1,6	1,0	0,4	1,2	1,0
	Peso (Kg)	180	250	750	130	180	1100
	Altura (mm)	825	Sem informação	1300	1300	965	2408
	Comprimento (mm)	1500 - 1750	Sem informação	3750	1700	1515	1860
Largura (mm)	1000 - 3000	Sem informação	2450	2200	1090	3510	

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11 – Segundo quadro com as especificações qualitativas e quantitativas das máquinas agrícolas disponíveis no mercado.

Nome		OZ	TED	DINO	FarmDroid 20	Burro platform	Bakus S
Fabricante		Naio Technologies			FarmDroid	Augean Robotics	VitiBot
País		França	França	França	Reino Unido	Estados Unidos	França
Caraterísticas	Aplicação	Multifunção para entrelinha	Capina em vinhedos	Capina em fileiras ou canteiros	Multifunção	Transporte e predição de colheita	Capina em vinhedos
	Fonte energia	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica
	Painéis solares	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
	Navegação	GPS RTK	GPS RTK	GPS RTK	Visão por câmeras/planejamento de rota em ROS	Visão por câmeras e GPS RTK	GPS RTK
	Baterias	Sem informação	Sem informação	Sem informação	Sem informação	24V / 135Ah	Sem informação
	Tração	4 rodas	4 rodas	4 rodas	2 rodas	4 rodas	4 rodas
	Potência (kW)	Sem informação	Sem informação	Sem informação	Sem informação	3,7	Sem informação
	Autonomia (h)	8	8	8	Sem informação	8	Sem informação
	Velocidade máx. (m/s)	0,5	1,6	2,5	0,305	2,25	3,5
	Peso (Kg)	150	1700	800	1050	190	2350
	Atura (mm)	830	2000	1300	Sem informação	693	2000
	Comprimento (mm)	1300	4500	2500	Sem informação	1389	3500
Largura (mm)	470	1420 - 1850	1500 - 2000	Sem informação	685 - 920	1750	

Fonte: Elaboração própria.

3.5 Projetos experimentais de plataformas elétricas agrícolas no Brasil

Diversas universidades no Brasil vêm desenvolvendo diferentes tipos de soluções quanto a máquinas agrícolas elétricas, porém, a maioria ainda estão em fase experimental.

O primeiro projeto de um veículo elétrico autônomo para a agricultura foi executado entre os anos 2002 e 2010 pela Universidade de São Paulo em parceria com Embrapa instrumentação. Conforme Freitas (2008), o veículo é composto por 4 módulos independentes de propulsão e direção. Tabile *et al.*, (2012) apresentam outras características do veículo; por exemplo, contém 8 baterias de 12V e 70 Ah (ampere-hora) para tração, 4 baterias de 12V e 10 Ah para sistema de direção, e uma bateria (12V, 50 Ah) para os sistemas computacionais (Figura 30).



Figura 30 – RAM Veículo Agrícola da Universidade de São Paulo.
Fonte: FREITAS, 2018; TABILES et al., 2012.

Outro desenvolvimento da Universidade de São Paulo e a Embrapa, teve como finalidade o projeto de uma plataforma autônoma elétrica para colheita de soja (Robô Mirã 2). Entre suas características, possui quatro módulos de direção onde estão localizados os motores de propulsão e direção (Figura 31). O corpo do veículo é uma caixa retangular feita com perfil de alumínio com dimensões: 0,7 m x 0,9 m x 0,3 m (largura, comprimento e altura). Para posicionamento, dispõe de quatro sensores LiDAR, localizados na superfície de cada módulo de direção (HUGUTI *et al.*, 2017).



Figura 31 – Plataforma elétrica Robô Mirã 2.
Fonte: HUGUTI *et al.*, 2017.

No Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Federal de Mato Grosso, foi construído um veículo que possui uma estrutura ajustável (Figura 32), permitindo sua adaptação a qualquer distância entre as linhas da lavoura em que o trabalho é necessário. O peso total da estrutura é de 88 kg com as baterias, sendo projetado para suportar um peso máximo de 200 kg nas rodas. Em relação ao sistema de propulsão, o módulo possui um sistema de tração e direção no mesmo conjunto. Os motores utilizados são de corrente contínua de 12V já com o redutor tipo coroa e rosca sem fim acoplado (GODOY, 2018).



Figura 32 – Estrutura principal da UFMT.
Fonte: GODOY, 2018.

Na Figura 33, apresenta-se um veículo de tração nas 4 rodas movido por energia elétrica desenvolvido pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Guiado e controlado por um sistema computacional instalado em smartphone, foi projetado para a coleta de amostras do solo através do seu braço robótico (DIAS *et al.*, 2015).

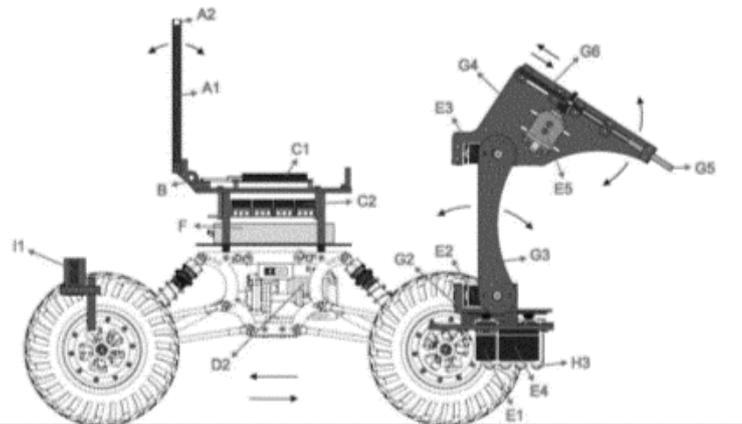


Figura 33 – Robô autônomo para colheita de amostra do solo.
Fonte: DIAS *et al.*, 2015.

Por outro lado, na Universidade Federal de Ceará, foi desenvolvido um trator elétrico com um sistema de propulsão que consiste em dois motores elétricos WEG de 2kW e 34V. O layout eletrônico, (Figura 34), é alimentado por um banco de baterias de chumbo-ácido composto de 4 unidades de 12V e 200 Ah, que por meio de uma conexão em série fornecem uma tensão de entrada de 48V para os dois inversores (MELO *et al.*, 2019).

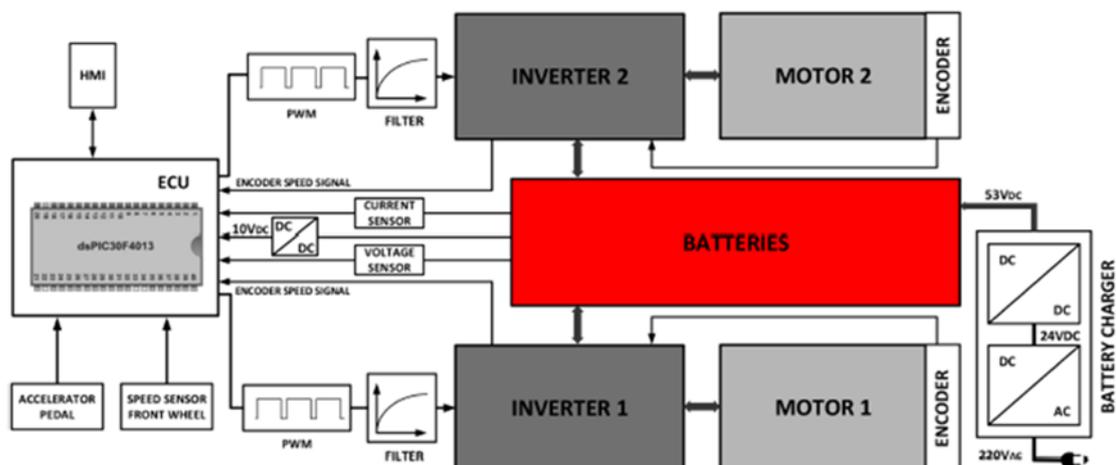


Figura 34 – Arquitetura do sistema de propulsão elétrica.
Fonte: MELO, 2019.

Por último, Albiero et al., (2020), desenvolveram o trator elétrico TRSE de esteiras com dois motores de 10kW acoplados nas rodas traseiras (Figura 35). Como fonte de energia, embarca um pacote de 4 baterias estacionárias de 12v/220Ah cada, facilmente intercambiáveis, oferecendo uma autonomia de 2,5 horas por pacote.

O trator, apresentado pelo Departamento de engenharia agrícola da Universidade Estadual de Campinas foi projetado com o fim de comparar seu custo e a capacidade de campo com um trator de John Deere 8730R de 270kW. (O trator de 270kW foi comparado com um enxame de 10 tratores TRSE). Quanto a sua funcionalidade, possui características como um trator comercial como o sistema de engate de três pontos, barra de tração e a tomada de força (PTO). Para seu recorrido pelo campo usa um sistema de piloto automático Trimble EZ com posicionamento GNSS integrado.

Seu custo de fabricação é de 25.315,00 USD, onde os motores elétricos, seus controladores, e o sistema de navegação representam o (63%) do custo total do trator.

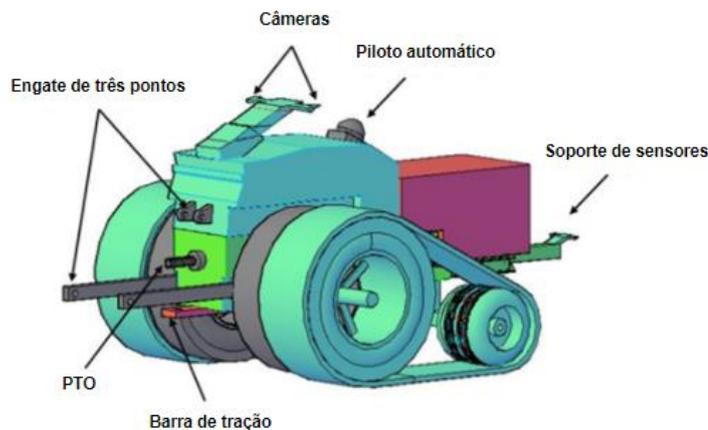


Figura 35 – Tractor Robot Swarm Electric (TRSE) Unicamp.
Fonte: ALBIERO et al., (2021).

Albiero et al., (2020), além de apresentar uma solução inovadora para a substituição dos tratores de combustão interna nas atividades no campo, demonstrou economicamente que um enxame de 10 tratores TRSE tem um custo de aquisição de 102.240,00 USD menor que o trator JD8730R (355.400,00 USD), para uma mesma capacidade de operação no campo por hectares. Por outro lado, cada TRSE produz uma compactação do solo de 7000N em comparação com os 198.050N do trator JD8730R. O anteriormente mencionado, demonstra a viabilidade da configuração de tratores elétricos em enxame para substituir o trator de grande porte.

3.6 Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)

Defina-se o produto como um objeto concebido, produzido com características e estruturas funcionais, que são comercializados pelas pessoas ou organizações, a fim de atender desejos ou necessidades dos seus possíveis clientes (BACK *et al.*, 2008).

Tendo a clareza da definição de produto, Back *et al.*, (2008), descreve o método de desenvolvimento de produtos como o processo de transformação necessária para a identificação da demanda, a produção industrial, e o uso final do produto por parte do usuário. Por outra parte, Rozenfeld *et al.*, (2006), mencionam que o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) encontram restrições maiormente de caráter tecnológico, sendo imprescindível considerar estratégias competitivas para transformar as necessidades dos clientes em especificações de um produto, e estabelecer seu processo de produção. Finalmente, Pahl *et al.*, (2005), citam que as atividades do processo de desenvolvimento iniciam-se de forma qualitativa, tornando-se cada vez mais concretas, e por tanto, quantitativas.

De acordo com Back *et al.*, (2008), e Rozenfeld *et al.*, (2006), divide-se o processo de desenvolvimento de produtos em 4 fases: informacional, conceitual, preliminar e detalhado (Figura 36).

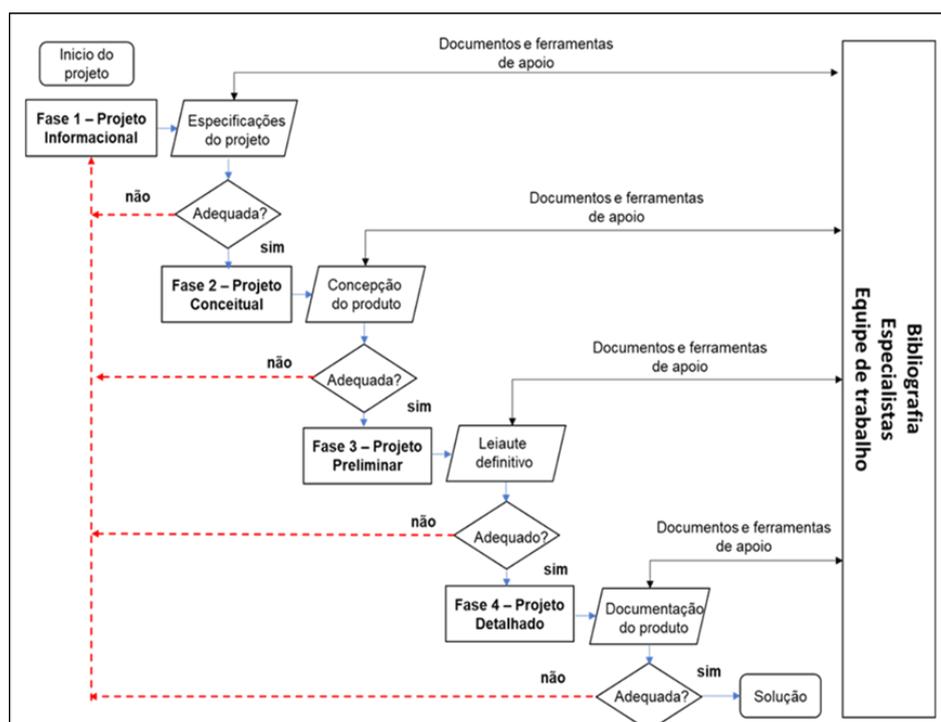


Figura 36 – Quadro do processo de desenvolvimento de produto.
Fonte: Adaptada de REIS, 2003.

3.6.1 Projeto Informacional

Destina-se à definição das especificações de projeto do produto, com o objetivo de planejar uma solução a um problema previamente estabelecido (BACK et al., 2005). Essa solução vem com um conjunto de especificações, que fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisões utilizadas nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento. As especificações devem ser valores meta representados por parâmetros quantitativos e mensuráveis que o produto projetado deverá ter (ROZENFELD *et al.*, (2006). Na Figura 37, mostra-se o fluxograma das tarefas durante o processo informacional, que inicia desde o estabelecimento do problema até as especificações do projeto.

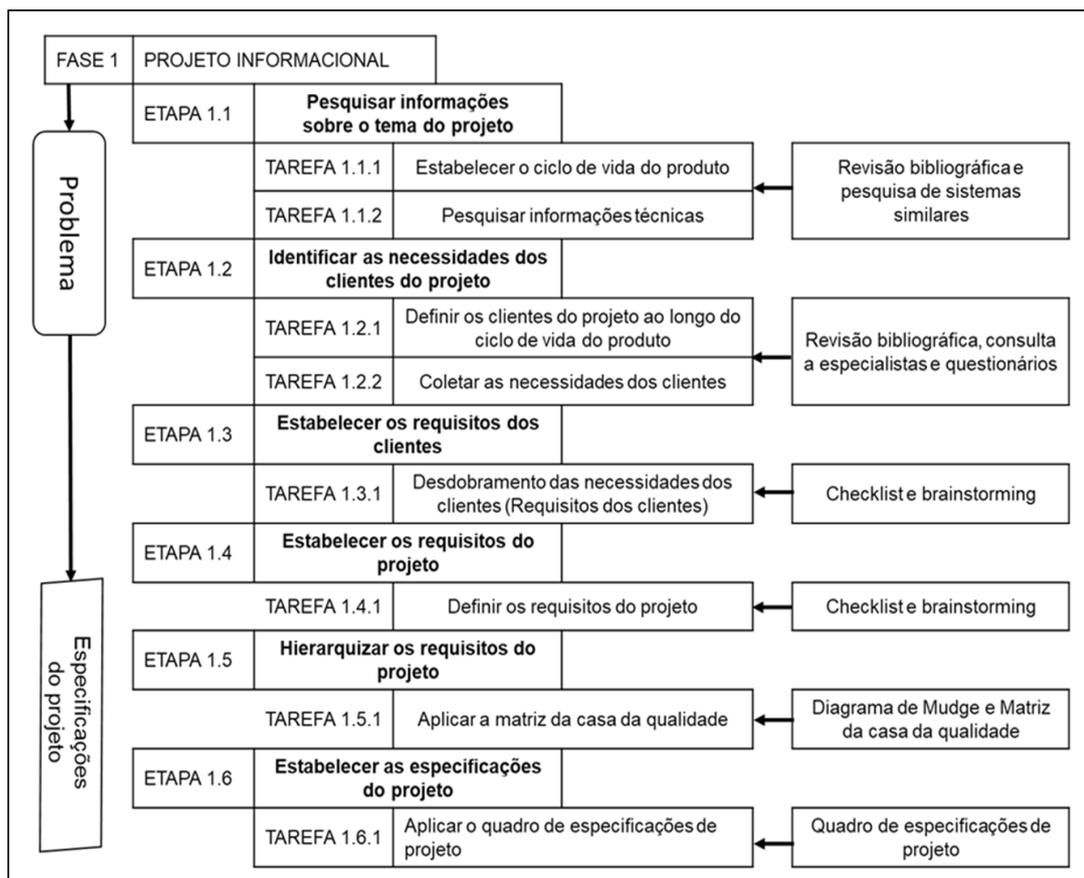


Figura 37 – Fluxograma sobre o desenvolvimento de produto na fase do projeto informacional. Fonte: Adaptada de REIS, 2003.

3.6.2 Projeto conceitual

Conforme Rozenfeld et al., (2006), a fase do projeto conceitual trata-se da busca, criação, representação e seleção de soluções que atendam o escopo do projeto. A representação das soluções é realizada através de esquemas, croquis e desenhos que podem ser manuais ou computacionais.

As etapas a seguir no projeto conceitual são definidas no fluxograma (Figura 38) conforme Reis (2003).

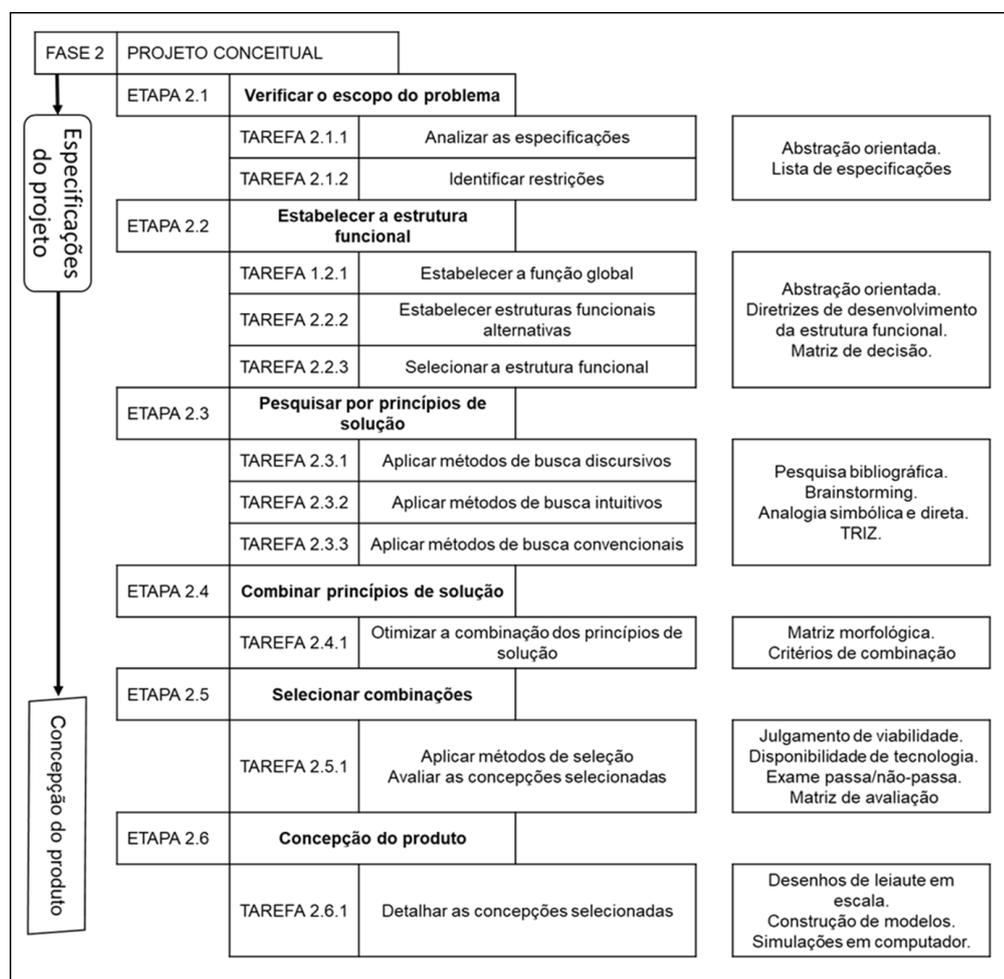


Figura 38 – Fluxograma sobre o desenvolvimento de produto na fase do projeto conceitual.
Fonte: Adaptada de REIS, 2003.

Em resumo, as primeiras duas fases do processo de desenvolvimento de produtos, envolvem métodos para o planejamento, busca e avaliação da solução tais como: questionários para colheita de informações, análise de sistemas técnicos concorrentes, “*brainstorming*”, métodos para a combinação e comparação de soluções, e finalmente, a representação gráfica da concepção gerada.

4 Material e Métodos

O Núcleo de Inovação em Máquinas e Equipamentos Agrícolas (NIMEq) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da UFPEL, tem como objetivo, o desenvolvimento de tecnologias em máquinas agrícolas, independentemente ou em conjunto com instituições públicas e privadas do setor, assim como transferir as tecnologias geradas, ao produtor rural e indústrias. Por esse motivo, na maioria dos desenvolvimentos nos últimos anos, tem-se usado a metodologia de Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). Esta metodologia, também tem sido amplamente desenvolvida, aplicada, e divulgada pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP), do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

Para a toma de decisões durante o processo de desenvolvimento foi necessário a criação de uma equipe de trabalho conformada por dois engenheiros mecânicos, dois engenheiros eletrônico e um engenheiro agrícola, para um total de 5 pessoas.

Como referência quanto a aplicação da metodologia, citam-se os seguintes desenvolvimentos em ordem cronológica na Tabela 12, aplicando-se neste trabalho, as fases informacional e conceitual.

Tabela 12 – Trabalhos de referência quanto ao uso da metodologia PDP.

Autor	ano	Título
REIS, Ângelo.	2003	Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas
TEIXEIRA, Sandro	2008	Projeto conceitual de uma semeadora de milho e feijão voltada para a agricultura familiar de base ecológica
OLDONI, André	2012	Colhedora beneficiadora de cebolas para a agricultura familiar: Projeto informacional e conceitual
NIEMCZEWSKI, Boris	2012	Desenvolvimento de chassi de uma semeadora-adubadora de quatro linhas para tratores de baixa potência
MEDEIROS, Fabrício	2013	Desenvolvimento de uma semeadora adubadora para plantio direto com sistema de sulcador rotativo acoplado em tratores de rabiças
STEFANELLO, Giusepe	2013	Semeadora de tração humana: Projeto informacional e conceitual
SPAGNOLO, Roger	2014	Máquina para o controle de plantas concorrentes
VEGA, Tiago	2015	Encanteirador-depositor de fertilizantes mineral e orgânico para tratores de baixa potência: Projeto informacional e conceitual
OJEDA, Elka	2018	Projeto informacional e conceitual de uma colhedora de alho para áreas declivosas

SILVA, Douglas	2018	Máquina de tração humana para o controle de plantas espontâneas através da aplicação de calor: Projeto Informacional e conceitual
FERNANDES, Fabio	2020	Desenvolvimento de uma Roçadora para Limpeza Mecânica sob a Copa de Pomares

Fonte: Elaboração própria.

O projeto informacional parte do conhecimento de um problema previamente estabelecido, para depois executar o levantamento das informações (necessidades dos clientes) junto aos possíveis clientes do produto, a fim de adquirir conhecimentos sobre o como planejar uma solução para esse problema e suas necessidades. Pahl *et al.*, (2005), sugerem que antes do levantamento das informações, deve-se ter clareza sobre qual é a finalidade que se pretende atender com a solução.

Para a identificação das necessidades dos clientes, inicialmente dois questionários foram elaborados utilizando a plataforma “google forms” com perguntas previamente analisadas pela equipe de trabalho, a fim de obter informações importantes e necessárias para o processo de desenvolvimento do projeto. O primeiro deles (Apêndice A), foi dirigido a agricultores familiares no estado de Rio Grande do Sul, contendo questões de caráter técnico, demográfico e de atividade produtiva. O segundo (Apêndice B), encaminhou-se para professores, técnicos e pesquisadores. Para a estruturação do questionário, adotou-se como referência questionários desenvolvidos e aplicados por Reis (2003); Oldoni (2012); Medeiros (2013); Vega (2015) e Silva (2018).

Em virtude de, no momento da aplicação dos questionários, ano de 2021, encontrara-se sob as restrições impostas pela pandemia da COVID-19, a aplicação dos questionários executou-se no formato online por meio de plataformas na internet adequadas para esse fim. No total, obtiveram-se 75 respostas das quais 45 (60%) foram de professores, técnicos e pessoal de vendas da área de máquinas agrícolas, e o restantes 30 respostas (40%) de agricultores familiares.

Paralelamente, foi imprescindível se familiarizar com o problema a ser resolvido, procurando-se informações orientadas a planejar soluções para o problema. Estas informações, principalmente foram de caráter técnico relacionadas com a pesquisa de produtos similares ou concorrentes. A pesquisa das informações técnicas apoia-se na revisão bibliográfica disponível na seção 3, onde foram abordados aspectos tais como, desenvolvimento de plataformas autônomas elétricas no mundo e no Brasil e componentes funcionais para este tipo de veículo.

Antes do início do desenvolvimento do projeto, foi necessário estabelecer para qual público-alvo é dirigido o produto e quais são as pessoas envolvidas no processo de criação, produção, comercialização e uso. Na Tabela 13, estabeleceram-se os diferentes tipos de clientes classificados segundo a fase de ciclo de vida para um veículo agrícola autônomo alimentado por energia elétrica.

Tabela 13 - Identificação do cliente/fase do ciclo de vida do produto.

Fases do ciclo de vida	Clientes		
	Interno	Intermediário	Externo
Projeto (Dimensionamento, cálculo, desenho e planejamento)	Equipe de projeto multidisciplinar		
Produção (Compras, fabricação, montagem e teste)	Equipe de projeto, Engenheiros e técnicos mecânicos, elétricos e agrícolas		
Comercialização (Marketing, armazenagem, distribuição e venda)	Profissionais de marketing, vendas e pós-vendas de máquinas agrícolas		
Uso (Operação, regulagem, manutenção)	Agricultores familiares		
Retirada (Descarte, reciclagem, reutilização)	Agricultores familiares. Oficinas de revendas		

Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente à identificação das necessidades dos clientes, efetuou-se a conversão dessas necessidades em requisitos dos clientes através do “*brainstorming*” e “*checklists*” com o propósito de expressar numa linguagem de engenharia o que o cliente realmente quer, além de eliminar requerimentos redundantes, e assim reduzir a quantidade de dados a serem usados nas etapas posteriores. Para a conversão, foi necessário o uso de frases curtas, por exemplo; uma frase composta pelos verbos ser, estar e ter seguida de um ou mais substantivos, ou uma frase composta por um verbo que não seja ser, estar ou ter, seguida de um ou mais substantivos, denotando neste caso, uma possível função do produto.

Seguidamente, foram estabelecidos os requisitos de projeto, constituindo-se na primeira decisão física sobre o produto que está sendo projetado. Para isso, os requisitos dos clientes foram confrontados com uma classificação de requisitos de projeto conforme Fonseca (2000), a qual trata-se de uma classificação em atributos gerais e específicos.

Os atributos gerais classificam-se em básicos (aqueles que diferenciam os produtos como funcionamento, ergonômicos, econômicos, confiabilidade etc.) e atributos do ciclo de vida (fabricabilidade, montabilidade, manutenibilidade etc.). Os atributos específicos referem-se ao sistema técnico em questão, dividindo-se em atributos materiais, energéticos e de controle. Conforme Rozenfeld *et al.*, (2006), torna-se necessário que a lista de requisitos do projeto a ser desenvolvido, esteja descrita com características técnicas, as quais devem se mensuradas por algum tipo de sensor.

Definidos os requisitos de projeto, foi aplicado o QFD (*Quality Function Deployment* - Desdobramento da Função Qualidade) para a hierarquização dos requisitos de projeto. No entanto, antes da aplicação do QFD, foram classificados os requisitos dos clientes em ordem de importância por meio de comparações aos pares dos requisitos a fim de que ao final da comparação, fosse obtida a importância relativa de cada um. Portanto, foi aplicado o diagrama de Mudge para a classificação.

Finalmente, na fase informacional, apresentam-se os resultados do QFD conforme a metodologia de Fonseca (2000), a qual estabelece que os requisitos do projeto devem ser mostrados em três quadros nomeados, terço superior, médio e inferior, de acordo com a posição do requisito nas caixas de valores de importância dos requisitos do projeto obtidos da matriz da casa da qualidade. Para cada requisito de projeto, foi estabelecido um valor meta com o qual busca-se atingir os requerimentos dos clientes. A maioria dos valores meta foram obtidos de desenvolvimentos apresentados na revisão bibliográfica, questionário dos agricultores, dos técnicos e pesquisadores, normas técnicas, e um trabalho de “*brainstorming*” entre a equipe de trabalho.

O projeto na sua fase conceitual, partiu com a análise das especificações do projeto para a identificação da função global, e assim, representar de forma hierárquica e estruturada a lista de funções que o produto deve possuir. A definição da função global e as funções parciais, visam buscar princípios de solução adequados para a resolução do problema principal.

Neste caso, foi realizada uma análise de abstração orientada que ajudam na busca dos aspectos gerais do problema e seus atributos essenciais. Como primeiro passo, foi necessário eliminar as preferências pessoais. Com relação a isto, Reis (2003, p.79), expressa que “o uso do QFD no tratamento dos requisitos dos clientes e a hierarquização dos requisitos do projeto por si só desestimula a adoção de

preferências pessoais”. No segundo passo, identificaram-se os requisitos que têm relação com o propósito da máquina, a qual tem como objetivo, funcionar de forma autônoma com um sistema de propulsão elétrico em unidades agrícolas familiares.

Conforme Rozenfeld *et al.*, (2006), para a modelagem funcional, usa-se estruturas de funções as quais relacionam o sistema técnico e a física do problema por meio de diagramas de bloco. Assim, foi estabelecida a função global, a qual é representada graficamente por uma transformação que ocorre em uma caixa com entradas e saídas definidas, sendo estas os estados do sistema. No caso das funções técnicas, a transformação das entradas nas saídas é descrita por energia, material e sinal que fluem (entram e saem) nos contornos do sistema.

O seguinte passo, foi descompor a função global em diferentes propostas de estruturas funcionais que satisfaçam a função global chamadas funções parciais. De um modo geral, busca-se que cada função parcial seja realizada por um diferente subsistema ou componente do produto, visando atender as especificações do projeto.

Após o estabelecimento das estruturas funcionais alternativas, foi selecionada a melhor alternativa dentre as estruturas funcionais geradas por parte da equipe de trabalho. Na figura 39, apresenta-se um diagrama que ilustra como é feito o desdobramento da função global em funções parciais.

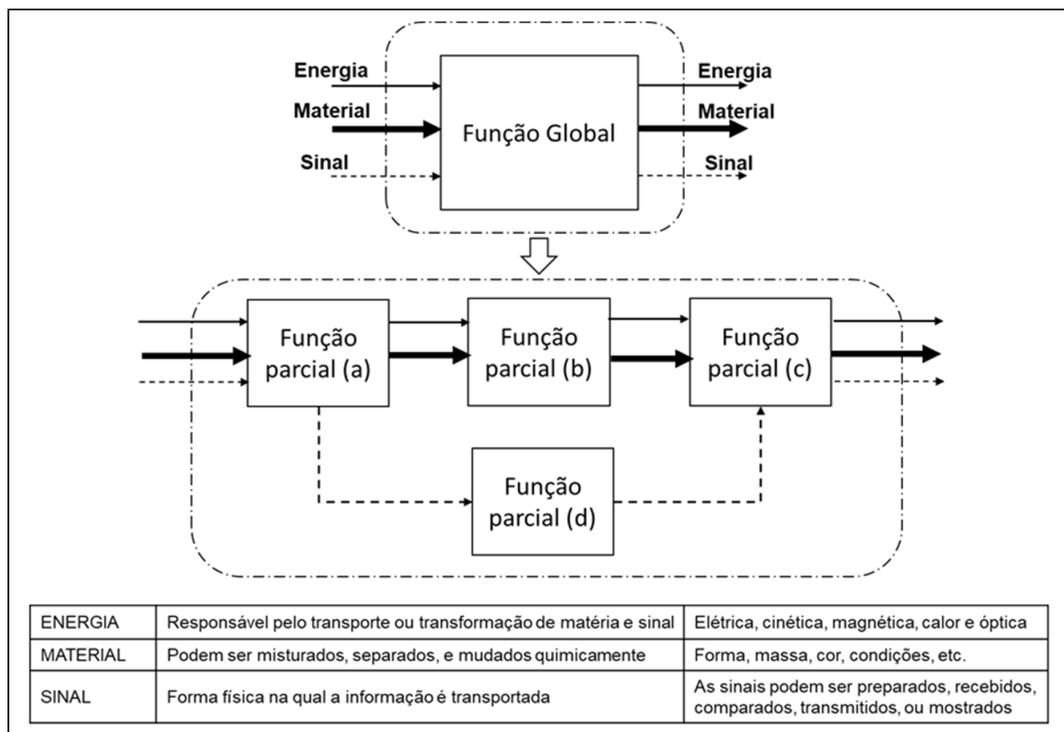


Figura 39 – Diagrama de bloco da função global e as funções parciais.
Fonte: Adaptada de ROZENFELD, 2006.

Selecionadas as funções parciais que compõem a estrutura funcional, o próximo passo foi a elaboração dos princípios de solução individuais para cada uma dessas funções. Posteriormente, se realizou a combinação desses princípios de solução individuais para formar os princípios de solução totais do produto com suas diferentes configurações.

De acordo com Reis (2003), utilizam-se três métodos de criatividade na busca de princípios de solução. Tais métodos podem ser classificados em convencionais, intuitivos e discursivos. Neste trabalho foi abordado, no primeiro lugar, o método convencional referente à pesquisa e análise de sistemas técnicos existentes citados na revisão bibliográfica, principalmente patentes e, finalmente, o método discursivo por meio da aplicação da matriz morfológica (Figura 40). Sua aplicação é amplamente explicada por Reis (2003) e Medeiros (2013).

Funções	Princípios de solução				
	1	2	3	...	j
F1	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	...	S _{1j}
F2	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	...	S _{2j}
F3	S ₃₁	S ₃₂	S ₃₃	...	S _{3j}
...
F _i	S _{i1}	S _{i2}	S _{i3}	...	S _{ij}
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">A</div> <div style="text-align: center;">Combinações</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">B</div> </div>					

Figura 40 – Matriz morfológica para o desenvolvimento das diferentes concepções do produto.
Fonte: Adaptada de REIS, 2003 e MEDEIROS, 2013.

Formadas as diferentes concepções possíveis para o produto na etapa anterior, foi aplicada a matriz de decisão para avaliá-las de acordo com os requisitos de projeto, os quais são listados como critérios técnicos do produto. Na Tabela 14, apresenta-se a matriz de decisão para a seleção de concepção final mais adequada.

Tabela 14 – Matriz de decisão para a escolha da concepção final.

Requisitos técnicos		Concepções		
		A	B	C
Critérios técnicos do produto	PR _{rt}			
Requisito 1				
Requisito 2				
...				
Requisito n				
Índice de desempenho técnico (IDT)				

Fonte: Adaptada de Medeiros, 2013.

A lista dos critérios técnicos do produto e o valor PR_{rt} (Pesos relativos dos requisitos técnicos), são obtidos da hierarquização dos requisitos do projeto obtidos pelo QFD e o diagrama de Mudge. Na avaliação das concepções, quanto ao comportamento relativo aos requisitos, foi atribuído o valor 1 para desempenho fraco, 5 para satisfatório e 10 para excelente. Assim, escolheu-se a concepção que apresentasse o maior IDT, o qual se define como o índice de desempenho técnico.

Para finalizar a fase do projeto conceitual, os princípios de solução foram construídos e ensamblados, empregando o software de desenho por computador Solidworks, sendo possível, representar conceitualmente a concepção gerada. Além disso, se fez uso do software KeyShot para simular através de um render, a possível aparência do veículo agrícola.

5 Resultados e discussão

Neste capítulo, apresentam-se os resultados da metodologia de Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) aplicada, envolvendo todas as fases que abrangem desde a fase informacional, com as especificações de projeto, até o projeto conceitual para um veículo autônomo elétrico para a agricultura familiar.

5.1 Estudo das características dos agricultores familiares

Segundo o censo agrícola do ano 2017, foram contabilizadas 9115 unidades agrícolas familiares nos 5 municípios. No município de Canguçu, localizam-se o 6089 propriedades, 2242 em Pelotas, 388 em Arroio do Padre, 333 em Morro Redondo, e 63 em Capão do Leão⁷. Das 30 respostas obtidas na execução do questionário, constatou-se que 46,7% foram de agricultores localizados no município de Pelotas, e 20% no município de Canguçu. O restante, distribuiu-se nos municípios de Capão do Leão, Morro Redondo e Arroio do Padre conforme apresentado na Figura 41.

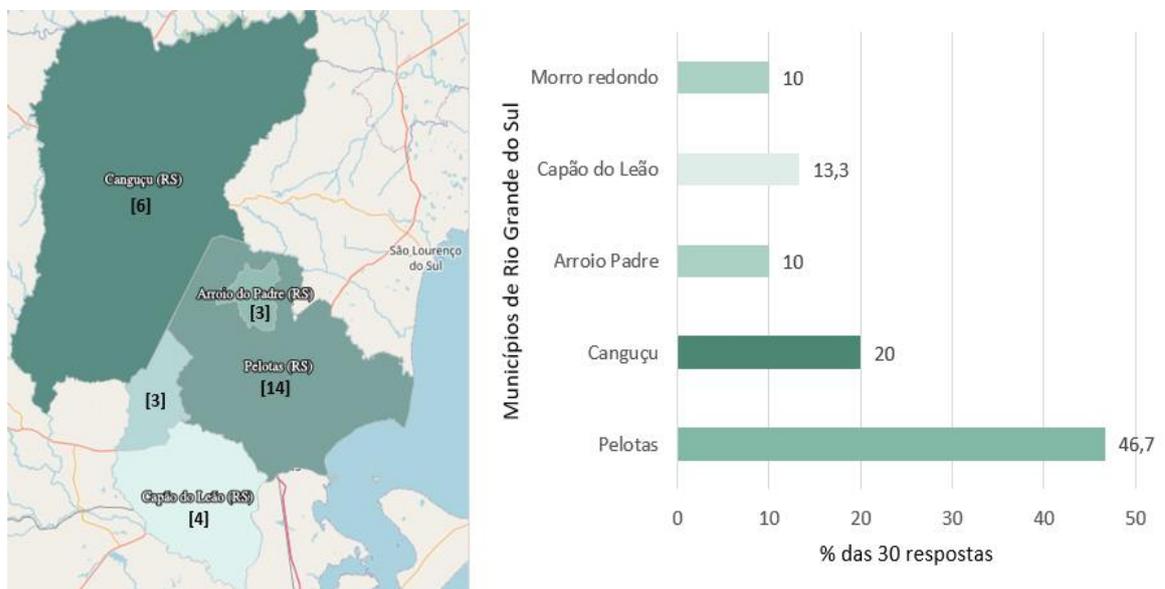


Figura 41 – Região de localização dos Agricultores familiares envolvidos na pesquisa.
Fonte: Elaboração própria.

Com a finalidade de limitar as respostas somente para agricultores familiares, foi perguntada a questão sobre a quantidade de hectares da propriedade agrícola. Nas respostas (Figura 42), 36,6% dos agricultores expressaram que tinham entre 5 e

⁷ Dados fornecidos pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) no censo agrícola 2017. Ver anexo F

10 hectares cultiváveis na propriedade agrícola, sendo que somente um 3,3% estavam dentro da faixa de 41 até 64 hectares (limite de área para se considerar agricultor familiar no Rio Grande do Sul).

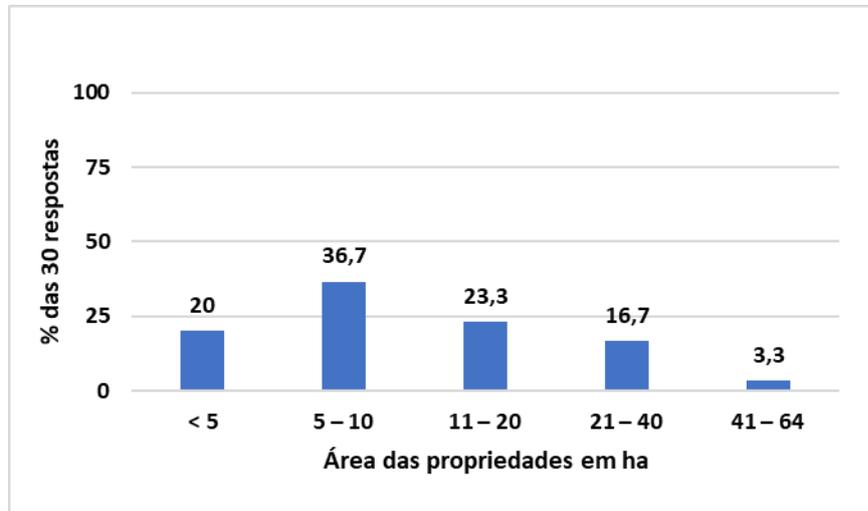


Figura 42 – Propriedades agrícolas familiares por faixa de hectares.
Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos principais alimentos produzidos nesses estabelecimentos agrícolas 56,6% dos agricultores afirmaram que grãos ou cereais são os produtos principais dentro de sua atividade comercial. De acordo com o censo agrícola do ano 2017, o Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores de cereais e grãos do Brasil (IBGE 2017). Assim, apresenta-se na Figura 43 os principais itens produzidos pelos produtores agrícolas pesquisados.

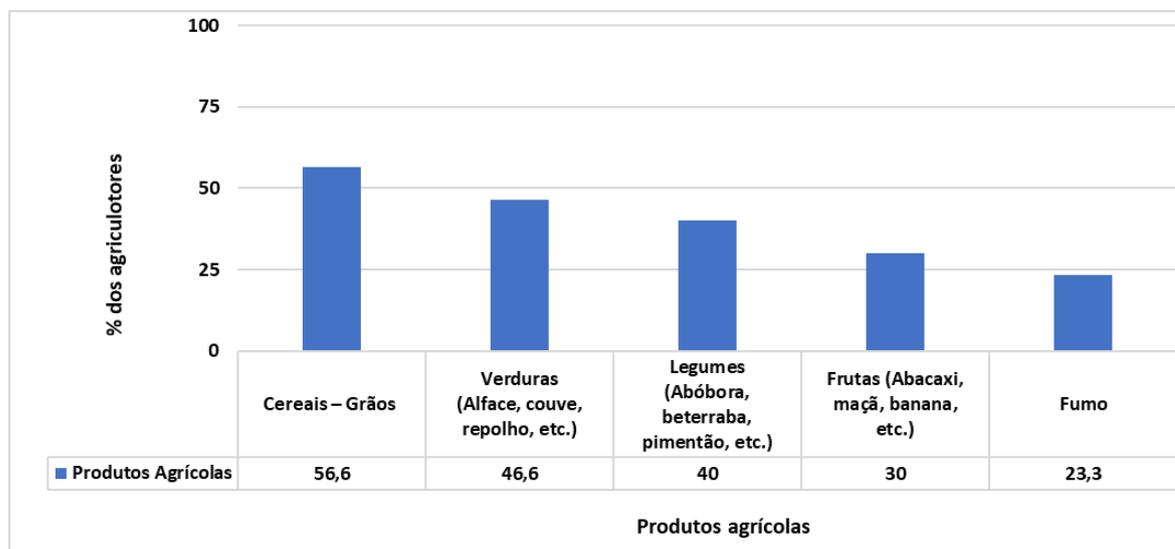


Figura 43 – Principais produtos produzidos por os agricultores familiares pesquisados.
Fonte: Elaboração própria.

Para a produção dos alimentos mencionados na Figura 37 um total de 27 agricultores (84,4%) manifestaram o emprego do trator de 4 rodas como o tipo de tração usado para movimentar os implementos agrícolas nas diferentes etapas do processo da cultura (Figura 44). No entanto, os motocultivadores ou tratores de rabiça são populares entre os agricultores familiares da região devido a sua facilidade de uso e adaptabilidade para diferentes atividades no campo.

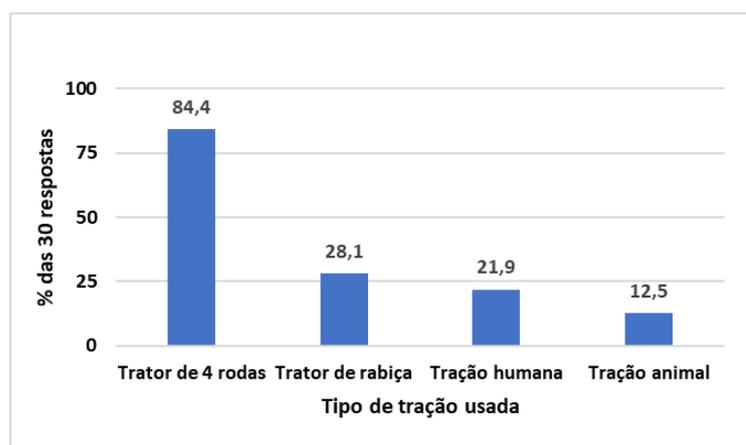


Figura 44 – Tipo de tração usada nas propriedades agrícolas familiar.
Fonte: Elaboração própria.

Para o ano 2014, na região de Pelotas e Morro Redondo, já existiam uma grande quantidade de tratores de 4 rodas dentro das unidades agrícolas familiares devido à aquisição financiada através do programa PRONAF (REIS *et al.*, 2014). Conforme o censo agrícola do ano 2017, nos municípios de Pelotas, Morro Redondo, Canguçu, Capão do Leão e Arroio Padre, foram registrados 6868 tratores de 4 rodas. Somente no município de Canguçu e Pelotas, estão localizados 3723 e 2400 tratores respectivamente, representando aproximadamente o 89,1% do total dos municípios mencionados anteriormente⁸.

Além do auxílio do PRONAF na aquisição do trator, encontram-se outras motivações no agricultor familiar para adquirir um trator. Em primeiro lugar, cita-se a existência da assistência técnica de empresas e organizações governamentais que auxiliam o agricultor na escolha do trator de acordo a suas necessidades de potência. Por outra parte, a constante divulgação técnico-científica tem esclarecido os benefícios que oferece o uso do trator nas unidades agrícolas familiares.

⁸ Dados fornecidos pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) no censo agrícola 2017. Ver anexo G.

Nesse sentido, Reis *et al.*, (2014), desenvolveram um modelo multicritério para a avaliação de tratores a serem usados por agricultores familiares, tomando em consideração critérios como: custo operacional, custo de aquisição, manutenção simples, capacidade do trator, ergonomia e segurança. Soares (2019), vai mais além em termos de ergonomia e segurança, mencionando que o uso adequado do trator promove a saúde ocupacional a atreves do conforto, proteção e facilidade operacional, reduzindo o esforço mental e físico do agricultor familiar.

Na pesquisa, busca-se que esses critérios de avaliação sejam aplicados da mesma forma para um veículo autônomo elétrico, o qual possa atender algumas necessidades dos agricultores familiares cobertas pelos tratores com motores de combustão interna.

Em relação à classe dos tratores, constatou-se que dos 27 agricultores que utilizam tratores de 4 rodas, 18 (66,7%) agricultores utilizam tratores da Classe II (Figura 45) segundo a classificação dos tratores da ANFAVEA (SCHLOSSER *et al.*, 2010). Por outra parte, observa-se que os tratores Classe III e Classe IV não estão dentro das possibilidades de aquisição por parte do agricultor familiar fora da PRONAF, que só oferece financiamento de tratores Classe I e II com limite até (80cv).

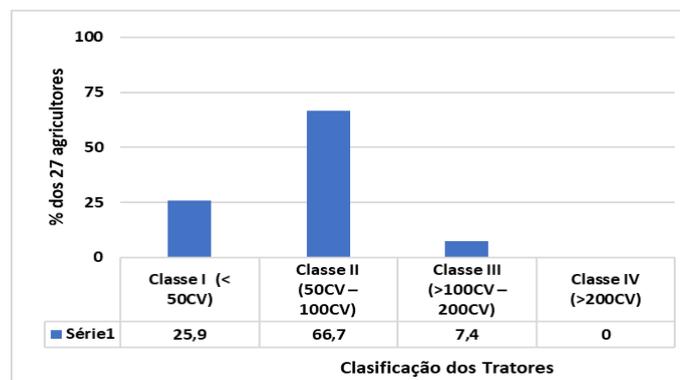


Figura 45 – Classe de trator usado na propriedade agrícola familiar.
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados, demonstram que existe uma concordância percentual com o número de tratores existentes nos municípios apresentados anteriormente e que foram cadastrados no censo agrícola do ano 2017. No total, dos 6868 tratores existentes, 97,8% estão por debaixo da faixa dos 100cv (73,9kW) de potência. O restante 2,2%, são representados por tratores classe III (acima dos 100cv)⁹.

⁹ Dados fornecidos pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) no censo agrícola 2017. Ver anexo G.

Esse maior número de tratores da Classe II utilizados pelos agricultores pode ser em virtude de uma maior oferta de modelos de tratores Classe II do que de Classe I e não devido a uma real necessidade de tratores com maior potência por parte desses agricultores. O mercado brasileiro de tratores apresenta 113 modelos na Classe II e apenas 22 modelos na Classe I (CULTIVAR MÁQUINAS, 2021).

No que se refere a questão de qual poderia ser o uso mais apropriado para um veículo autônomo elétrico dentro da propriedade agrícola familiar, 62,5% dos agricultores acreditam que poderia ser útil para o transporte geral de produtos e implementos agrícolas, no entanto, 53,3% dos agricultores também afirmaram que seria um desenvolvimento ótimo para carregar um sistema de pulverização.

Visto o resultado anterior (Figura 46), é importante ressaltar que os dois primeiros usos para um veículo autônomo elétrico obtidos na pesquisa, são apresentados a modo de exemplos na revisão bibliográfica. Dos 12 desenvolvimentos manufaturados majormente na Europa, 5 são utilizados para transporte e outras atividades (multifunção), 5 especificamente para controle mecânico de plantas concorrentes., e 4 como veículos de pulverização.

Verifica-se nas respostas, que os agricultores se dispõem a utilizar o veículo autônomo em todas as fases do cultivo agrícola, demonstrando não apresentarem preconceito por se tratar de um veículo autônomo elétrico.

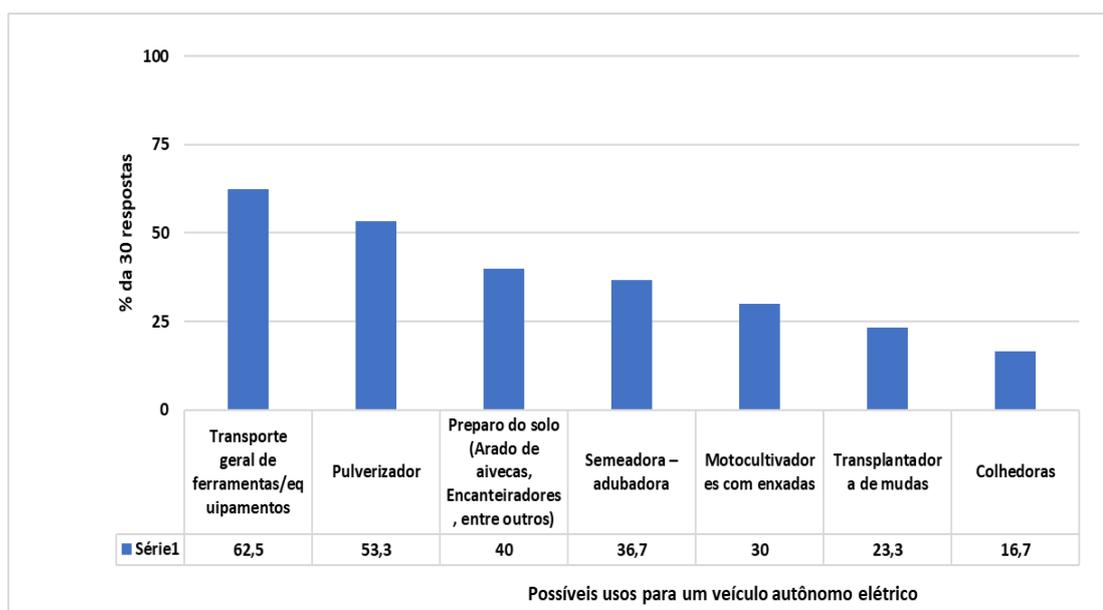


Figura 46 – Uso potencial do veículo autônomo elétrico, indicado pelos agricultores.
Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a análise do custo de aquisição dos tratores no item 4.1 da revisão bibliográfica, o valor mínimo de um trator classe II e classe I são aproximadamente R\$96.000,00 (John Deere 5060EN) e R\$76.000,00 (Tramontini T3230 SB) respectivamente¹⁰. Conforme a Figura 47, apenas 6,7% dos agricultores expressaram que uma máquina agrícola com características autônomas e um sistema de tração elétrica poderia ter um custo maior de R\$40.000,00, um valor realmente distante da faixa de R\$5.000,00 até R\$10.000,00 indicada por 43,3% dos agricultores e do custo de um trator no mercado nacional.

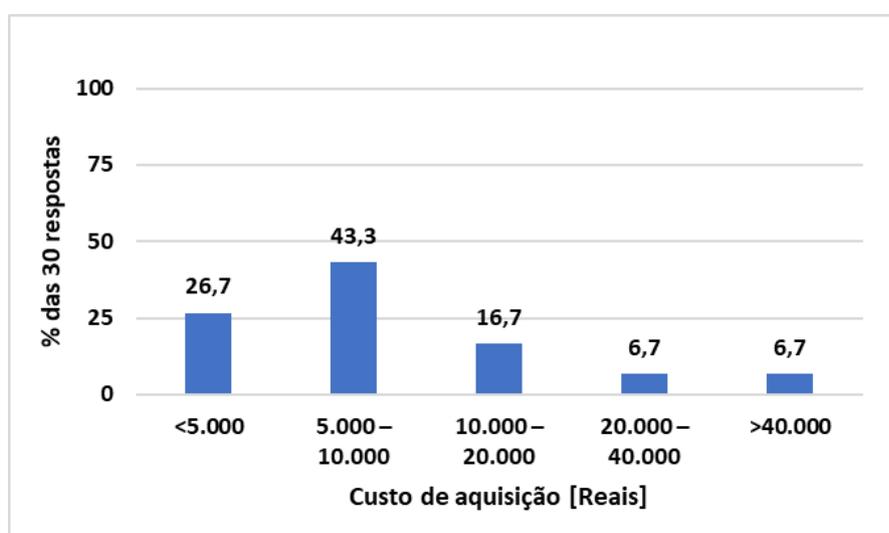


Figura 47 – Custo possível do veículo de acordo com os agricultores pesquisados.
Fonte: Elaboração própria.

Essa discrepância entre o menor valor que os agricultores pagam por um trator Classe I e o que desejam pagar por um veículo autônomo elétrico que substitua o trator convencional, pode ser atribuída aos agricultores não terem relacionado de forma concreta que o veículo será um substituto do trator convencional na propriedade e ao desejo natural de investir o mínimo possível em novas aquisições.

Esse pensamento de investir o mínimo possível tem relação com o valor da produção em reais que a propriedade agrícola familiar pode gerar ao longo do ano, e que porcentagem dessa renda eles poderiam dispor para investimento em máquinas agrícolas. Na Tabela 15, apresentam-se o valor anual médio aproximado em reais da produção produto de lavouras temporárias e permanentes por propriedade, nos municípios envolvidos na pesquisa durante o ano 2020, conforme o IBGE.

¹⁰ Valores fornecidos pela base de dados da PRONAF Mais Alimentos para RS, 19. nov. 2021.

Tabela 15 – Valor médio aproximado anual em reais da produção das propriedades no ano 2020.

Município (RS)	Valor da produção anual total por município (R\$) ¹¹	Nº de propriedades em produção	Valor da produção anual média aproximada por propriedade agrícola familiar (R\$)
Arroio do Padre	25.159.000	388	64.842
Canguçu	350.942.000	6089	57.635
Capão do Leão	76.708.000 ¹²	63	1.217.587
Morro Redondo	11.147.000	333	33.475
Pelotas	216.865.000	2242	96.728

Fonte: Elaboração própria.

O valor da renda anual média produto da produção agrícola nesses estabelecimentos, poderia proporcionar à equipe de trabalho, o valor de custo máximo que o veículo agrícola deveria ter após fabricação. No entanto, o custo de fabricação pode variar consideravelmente dependendo dos sistemas autônomos e elétricos embarcados no veículo.

5.2 Características dos Professores, pesquisadores e pessoal de vendas

No segundo questionário, entrevistaram-se pessoas envolvidas no setor acadêmico e comercial, onde do total das 45 respostas 42,2% identificaram-se como engenheiros agrônomos, 20% como engenheiros mecânicos, 31,1% como engenheiros agrícolas e 6,7% como engenheiros eletrônicos. Entre os profissionais engenheiros 73,3% pertencem a instituições de ensino e pesquisa (Figura 48).

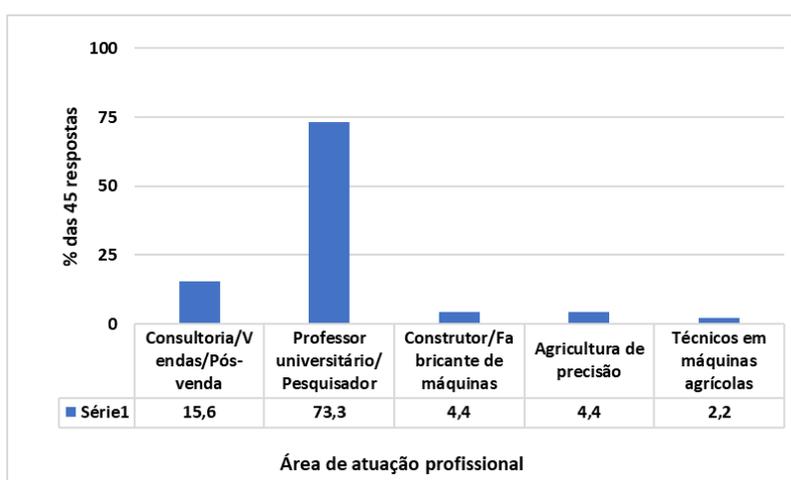


Figura 48 – Atuação profissional dos engenheiros envolvidos na pesquisa.

Fonte: Elaboração própria.

¹¹ Valores fornecidos pelo IBGE. Estatísticas da Produção Agrícola Municipal (PAM) do ano 2020. Ver Anexo H.

¹² Segundo dados do IBGE, no município de Capão do Leão, para o ano 2020 o valor da produção concentrou-se maioritariamente na colheita de arroz com 51 milhões de reais, e soja com aproximadamente 24 milhões de reais.

5.3 Identificação das necessidades dos clientes

A fim de obter as necessidades dos clientes envolvidos na fase do ciclo de vida do produto, a questão “Quais características você acredita que o veículo deveria ter para um ótimo funcionamento durante as atividades agrícolas?” foi perguntada em ambos os questionários utilizados na pesquisa. Esta fase, descreve-se como crítica e importante visto que as informações obtidas terão grande impacto nas próximas etapas e devem ser base para a criação de soluções de engenharia que permitam atingir os objetivos propostos no início do projeto.

Na Tabela 16, apresentam-se as principais necessidades dos clientes após análise das respostas provenientes dos agricultores familiares, professores/pesquisadores e demais entrevistados. No total, obtiveram-se 26 necessidades, algumas delas em forma de linguagem subjetiva.

Tabela 16 - Lista das necessidades dos clientes.

Necessidades dos Clientes
1. Maior autonomia de trabalho e menos interações com as pessoas
2. Alta duração da carga das baterias
3. O veículo deve ser robusto
4. Baixo custo de aquisição
5. Regulável para uso em montanhas
6. Apresente pequenas dimensões
7. Que consiga se mover em um espaço pequeno
8. Sistema de recarga das baterias sem necessidade de conexão a tomadas
9. Baixo tempo de recarga das baterias
10. Capacidade de deslocamento acompanhando a linha de plantio
11. Uso em diferentes tipos de culturas
12. Ajustável conforme canteiros ou fileiras
13. Ter baixo custo de manutenção
14. O equipamento deve ser leve
15. Fácil de manusear
16. Ter fácil manutenção
17. Fácil para o transporte
18. Ser eficiente e viável
19. Sem fio (com bateria) para o caso de não existir energia elétrica próximo a lavoura
20. Resistência a terrenos irregulares
21. Segurança ao usuário
22. Que seja durável e forte
23. Boa velocidade de operação
24. Computador embarcado
25. Fácil de se posicionar no campo
26. Apresente ótima ergonomia

Fonte: Elaboração própria.

Listar as necessidades dos clientes representa a fase mais importante para o início do desenvolvimento. Necessidades tais como: regulável conforme canteiros, alta duração das baterias, boa velocidade de operação, fácil de se posicionar no campo e acompanhar a linha de plantio, serão fundamentais para estabelecer as estruturas funcionais e o projeto do veículo. No entanto, aprecia-se na tabela 15, o fato de que algumas necessidades dos clientes expressadas principalmente pelos agricultores familiares não oferecem informações compreensíveis para a equipe de trabalho na hora de estabelecer as especificações do projeto. Por esse motivo, foi necessário analisar e transformar cada uma dessas necessidades em requisitos com uma linguagem de caráter técnico.

5.4 Desdobramento das necessidades dos clientes

Na Tabela 17, é apresentada a lista com os 24 requisitos dos clientes numa linguagem mais técnica onde a conversão consistiu no uso de frases curtas composta pelos verbos ser, estar e ter, conforme a metodologia PDP.

Tabela 17 - Lista dos requisitos dos clientes.

Cliente/Fase do ciclo de vida	Requisitos dos Clientes
Projeto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ser de fácil montagem 2. Ter sistema de suspensão 3. Ter força de tração suficiente 4. Ter bitola variável 5. Ter baixo consumo de energia elétrica 6. Possuir ótima resistência mecânica ao desgaste 7. Ter estrutura leve 8. Ter boa distribuição do peso 9. Ter altura regulável para diferentes culturas
Produção	<ol style="list-style-type: none"> 10. Ter baixo custo de produção 11. Apresentar métodos simples de fabricação
Operação	<ol style="list-style-type: none"> 12. Gerar energia elétrica própria 13. Ser fácil de regular e operar 14. Ser fácil de transportar 15. Oferecer velocidade de operação requerida 16. Proporcionar segurança ao usuário 17. Ser eficiente na recarga da bateria
Controle	<ol style="list-style-type: none"> 18. Oferecer boa manobrabilidade
Manutenção	<ol style="list-style-type: none"> 19. Ter baixo custo de manutenção 20. Ter reduzido tempo de manutenção 21. Usar ferramentas básicas para manutenção 22. Usar peças de substituição comuns no mercado

Fonte: Elaboração própria.

A modo de comparação, um estudo similar foi realizado no ano 2019 na região federal de Styria (Áustria). Nessa pesquisa, Riedner *et al.*, (2018), conduziram entrevistas com agricultores que já possuíam veículos agrícolas elétricos ou tinham a intenção de adquiri-los para conhecer a percepção dos agricultores quanto ao uso de EVs agrícolas. Como resultados, estabeleceram atributos como: consumo de energia elétrica, tempo de recarga da bateria, boa manobrabilidade e desempenho, alta faixa de autonomia, capacidade para transportar produtos, ser autossuficiente energeticamente, entre outros.

5.5 Hierarquização dos requisitos dos clientes no diagrama de Mudge

Antes da aplicação do diagrama de Mudge, foi necessário a definição de cada um dos requisitos dos clientes com o propósito de entender como esses requisitos influenciam sobre o objetivo principal do veículo, neste caso, que a plataforma possa se deslocar pelo campo e trocar de linha da cultura com a assistência de um sistema de propulsão elétrico e autônomo. A descrição das definições dos requisitos dos clientes são:

- Requisito 1 - Ser de fácil montagem: facilitar a montagem dos componentes e módulos do veículo de forma simples e ergonômica;
- Requisito 2 - Ter sistema de suspensão: amortecedores (hidráulicos, eletrônico, de ar ou mecânico), e geometria da suspensão;
- Requisito 3 - Ter força de tração suficiente: ótima relação peso do veículo – potência dos motores, correta seleção dos pneus, tração nas quatro rodas;
- Requisito 4 - Ter bitola variável: sistema de deslizamento transversal, régua de calibração no sistema, acionamento por atuador eletrônico, eletroválvula ou manual;
- Requisito 6 - Ter baixo consumo da energia elétrica: motores de alta eficiência, condutores com baixo comprimento entre dispositivos, sistema de Fan Cooler próximo a bateria;
- Requisito 7 - Ter estrutura leve: evitar a compactação do solo e empurrar/deslocar o equipamento quando não esteja em funcionamento;
- Requisito 8 - Ter boa distribuição do peso: centro de gravidade coincidente com o centroide, boa distribuição dos módulos no chassi, simetria na estrutura;

- Requisito 9 - Ter altura regulável para diferentes tipos de cultura: Sistema de variação de altura da plataforma para a proteção do cultivo em qualquer etapa do seu crescimento;
- Requisito 10 - Ter baixo custo de produção: acesso a máquina com baixo valor de venda para os agricultores familiares;
- Requisito 11 - Apresentar métodos simples de fabricação: geometria de construção simples, aplicação de processos de manufatura comuns;
- Requisito 12 - Gerar energia elétrica própria: auxiliar na geração de energia elétrica por meio de painéis solares instalados no veículo;
- Requisito 13 - Ser fácil de regular e operar: acoplar, fixar, conectar e ligar todos os sistemas elétrico-mecânicos da máquina de forma simples e sem precisar de extenso treino técnico;
- Requisito 14 - Ser fácil de transportar: baixo peso e pequeno tamanho, fácil acoplamento e desacoplamento das rodas motrizes, sistema de engate com o trator;
- Requisito 15 - Oferecer velocidade de operação requerida: velocidade de rotação dos motores com rpm variável e adaptar seu uso para diferentes tarefas no campo;
- Requisito 16 - Proporcionar segurança ao usuário: componentes elétricos e mecânicos protegidos, instruções de segurança durante a manutenção. Sistema de parada de emergência a distância;
- Requisito 17 - Ser eficiente na recarga da bateria: bateria com alta eficiência, acesso fácil para troca da bateria, sistema de carregamento padrão respeito as normas internacionais;
- Requisito 18 - Oferecer boa manobrabilidade: raio de giro baixo, sistema de controle e configuração. Capacidade de trocar de linha de cultura;
- Requisito 19 - Ter sistema interface homem máquina: desenho simples da interface, lógica dos três clicks por tela, boa luminosidade, multiplataforma (iOS, Android);
- Requisito 20 - Ter sistema de posicionamento no campo: sistema de orientação GPS + câmera, e rota programável;
- Requisito 21 - Ter baixo custo de manutenção: uso de conectores elétricos entre os sistemas, disponibilidade, confiabilidade;

- Requisito 22 - Ter reduzido tempo de manutenção: manutenção preventiva e possuir baixa frequência de manutenção;

- Requisito 23 - Usar ferramentas básicas para manutenção: manutenibilidade, fácil acesso aos módulos do veículo, elos eletromecânicos simplificados, desmontagem simples, uso de ferramentas básicas (chave inglesa, de boca, Philips, etc.);

- Requisito 24 - Utilizar peças de substituição comuns no mercado: diminuir o custo de aquisição e manutenção mediante o uso de peças padrão de outros equipamentos. Evitar a usinagem específica de peças.

Durante a construção do diagrama de Mudge, surgiu o questionamento a respeito da semelhança dos requisitos 18, 19, e 20, os quais abrangem o sistema de controle do veículo. Nesse sentido, a equipe de trabalho concordou em tratar esses três requisitos como um requisito único expressando-o de forma geral para não comparar requisitos que poderiam ter a mesma função.

Os processos de desenvolvimentos de produtos também podem ser adaptados especificamente para o desenvolvimento de circuitos ou seleção de sistemas de controles eletrônicos de forma separada, sempre e quando satisfaçam os requisitos do projeto principal tais como, fixação, encaixes, e posição dentro da estrutura mecânica, assim como a leitura, análise, conversão, e distribuição de sinais para um ótimo controle do veículo.

Em conclusão, os itens 19 e 20 foram retirados da lista de requisitos dos clientes, onde o requisito 18 “oferecer boa manobrabilidade” incorpora os sistemas da interface homem-máquina e do controle de orientação do veículo.

Para o preenchimento do diagrama de Mudge foi necessária a valoração dos requisitos dos clientes por parte da equipe de trabalho. O procedimento descrito a continuação oferece o passo a passo para a juízo crítico avaliativo dos 22 requisitos, começando com o requisito 1 e 2.

- a) Para cada um dos integrantes da equipe foi perguntado. Dos requisitos 1 e 2, Qual é mais importante?
- b) Após todos discutirem suas opiniões e concordarem que o requisito **2** é mais importante do que o requisito 1, o valor foi selecionado na janela.
- c) Depois, foi perguntado: Quanto mais importante é o requisito 2 com respeito ao requisito 1?

- d) Após todos discutirem de novo suas opiniões, foi selecionado na janela muito mais importante (**C**).
- Um pouco mais importante (A = 1)
 - Medianamente mais importante (B = 3)
 - Muito mais importante (C = 5)
- e) A valoração final do requisito expressa-se na interseção de ambos requisitos como **2C**, obtendo o valor de 5.
- f) Assim, realizou-se o processo de comparação aos pares 222 vezes (até a comparação dos requisitos 21 e 22) para obter a hierarquização dos requisitos dos clientes, usando o programa de computador Project22 (Figura 49).

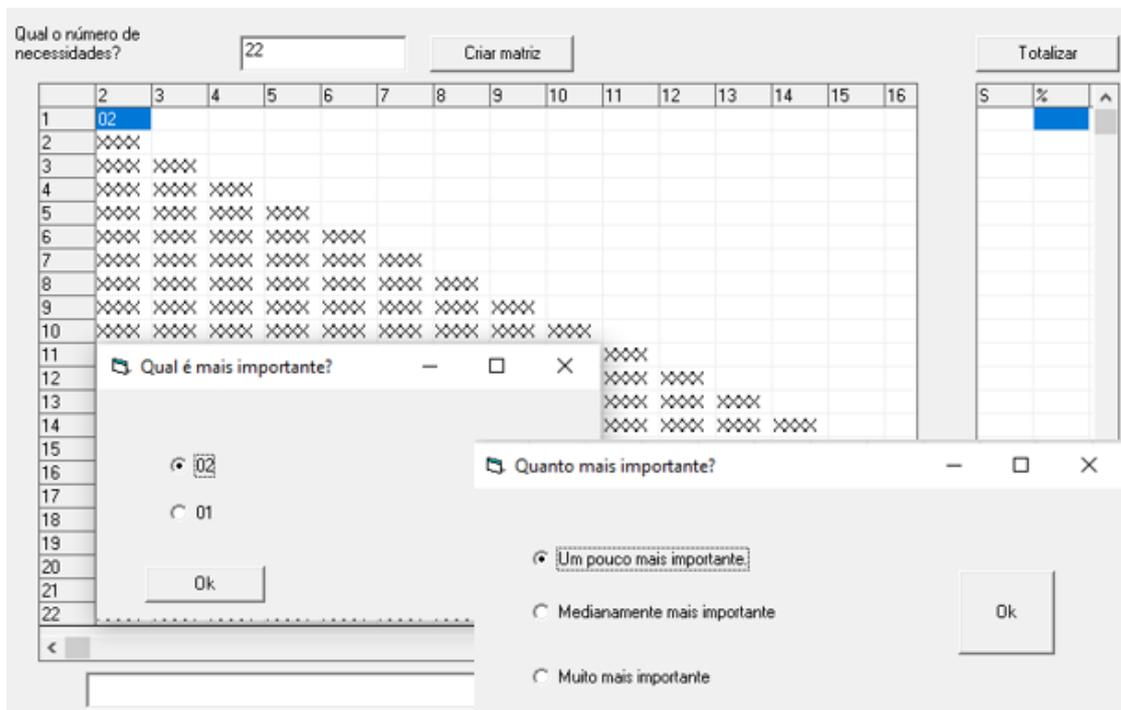


Figura 49 – Programa de computador Projec22.
Fonte: Autor.

Finalmente, na figura 50, apresenta-se a valorização dos requisitos dos clientes realizada através do software anteriormente mencionado, obtendo-se uma lista hierarquizada (ordem de importância) dos requisitos mais importantes.

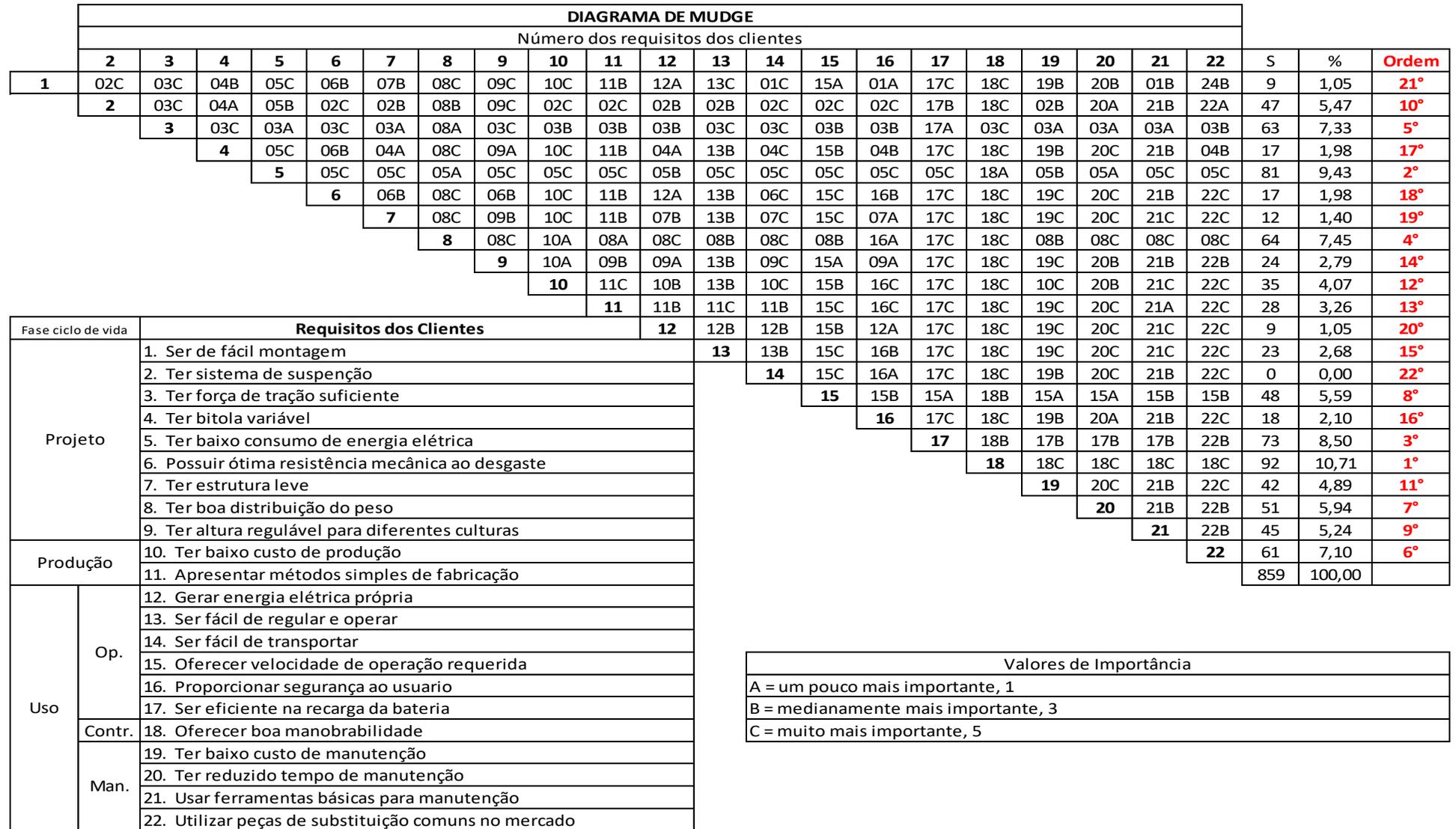


Figura 50 – Diagrama de Mudge dos requisitos dos clientes.

Fonte: Elaboração própria.

A valoração obtida do diagrama de Mudge permitiu determinar que os primeiros sete requisitos dos clientes, um terço do *ranking*, representam 56,46% da valoração total dos requisitos e é conformada por: oferecer boa manobrabilidade (10,71%), ter baixo consumo de energia (9,43%), ser eficiente na recarga da bateria (8,50%), ter boa distribuição do peso (7,45%), ter força de tração suficiente (7,33%), utilizar peças de substituição comuns no mercado (7,10%) e ter reduzido tempo de manutenção (5,94%).

Na Figura 51, apresenta-se a hierarquização dos requisitos dos clientes com o peso relativo de cada um deles obtido por meio da distribuição de frequência de dados agrupados. É importante expressar que o requisito 16, sobre a segurança do usuário, embora tenha ficado no terço inferior é tratado durante todo o projeto como essencial. Por outro lado, o requisito 14, ser fácil de transportar, não foi levado em consideração para análises futuras por ter obtido um valor de zero pontos na etapa de avaliação.

Classificação	Nº Req. C	Requisitos dos clientes	Valor	Imp. (1 - 5)	Intervalos
1	18	Oferecer boa manobrabilidade	92	5	77 - 92
2	5	Ter baixo consumo de energia elétrica	81	5	77 - 92
3	17	Ser eficiente na recarga da bateria	73	4	60 - 76
4	8	Ter boa distribuição do peso	64	4	60 - 76
5	3	Ter força de tração suficiente	63	4	60 - 76
6	22	Utilizar peças de substituição comuns no mercado	61	4	60 - 76
7	20	Ter reduzido tempo de manutenção	51	3	43 - 59
8	15	Oferecer velocidade de operação requerida	48	3	43 - 59
9	21	Usar ferramentas básicas para manutenção	45	3	43 - 59
10	2	Ter sistema de suspensão	44	3	43 - 59
11	19	Ter baixo custo de manutenção	42	2	26 - 42
12	10	Ter baixo custo de produção	35	2	26 - 42
13	11	Apresentar métodos simples de fabricação	28	2	26 - 42
14	9	Ter altura regulável para diferentes culturas	24	1	9 - 25
15	13	Ser fácil de regular e operar	23	1	9 - 25
16	16	Proporcionar segurança ao usuário	18	1	9 - 25
17	4	Ter bitola variável	17	1	9 - 25
18	6	Possuir ótima resistência mecânica ao desgaste	17	1	9 - 25
19	7	Ter estrutura leve	12	1	9 - 25
20	12	Gerar energia elétrica própria	9	1	9 - 25
21	1	Ser de fácil montagem	9	1	9 - 25

Figura 51 – Quadro com os requisitos dos clientes hierarquizados.
Fonte: Elaboração própria.

5.6 Requisitos do projeto

Os requisitos de projeto são as características físicas ou parâmetros da engenharia, sendo estes, referências mensuráveis que o veículo deveria possuir de acordo com o estudo dos atributos dos requisitos dos clientes por parte da equipe de trabalho e o conhecimento adquirido da pesquisa de outros desenvolvimentos.

Cada requisito do cliente foi confrontado um a um com a classificação dos requisitos de projeto estabelecida por Fonseca (2000), para depois serem convertidos em requisitos de projeto distribuídos nos diferentes tipos de atributos que se podem apresentar no desenvolvimento de um produto. A Figura 52, apresenta os requisitos do projeto para um veículo autônomo alimentado pela energia elétrica.

Atributos gerais	Atributos básicos	Funcionamento	Potência dos motores (kW); Autonomia das baterias (h); Consumo de energia elétrica (kW/h); Eficiência do painel solar (%); Tempo de recarga da bateria (h);
		Econômicos	Custo de fabricação (R\$); Custo de manutenção (R\$/ano);
		Segurança	Proteção do sistema elétrico (%); Temperatura dos sistemas elétricos (°C);
		Modularidade	Diferentes modos de recarga (n);
		Montabilidade	Tempo de ajuste e calibração (min); Tempo de montagem/desmontagem dos componentes (min);
		Mantenabilidade	Porcentagem de uso de peças normalizadas (%);
Atributos específicos	Atributos materiais	Geométricos	Dimensões Distância entre eixos (mm); Peso Peso do veículo (kg); Distribuição de massa por eixo (%);
	Atributos energéticos	Cinemática	Velocidade de operação (m/s); Torque do motor elétrico (N.m);
	Atributos de controle	Controle	Faixa de variação da bitola (mm); Altura regulável (mm); Raio de giro do veículo (m); Precisão do sistema de orientação (cm).

Figura 52 – Quadro dos requisitos do projeto.

Fonte: Elaboração própria.

5.7 Aplicação da matriz da casa da qualidade

Na figura 53, é apresentada a matriz da casa da qualidade, onde pode-se observar os relacionamentos entre os requisitos dos clientes obtidos dos questionários e os requisitos de projeto estabelecidos pela equipe de trabalho. Cada um dos requisitos dos clientes têm um valor de importância conforme a Figura 47 da hierarquização. Importante para a correlação com os requisitos de projeto a fim de

obter uma hierarquização final. Além disso, a correlação a pares entre os requisitos do projeto foi feita para conhecer a influência entre cada um deles de acordo com as características mensuráveis desejadas.

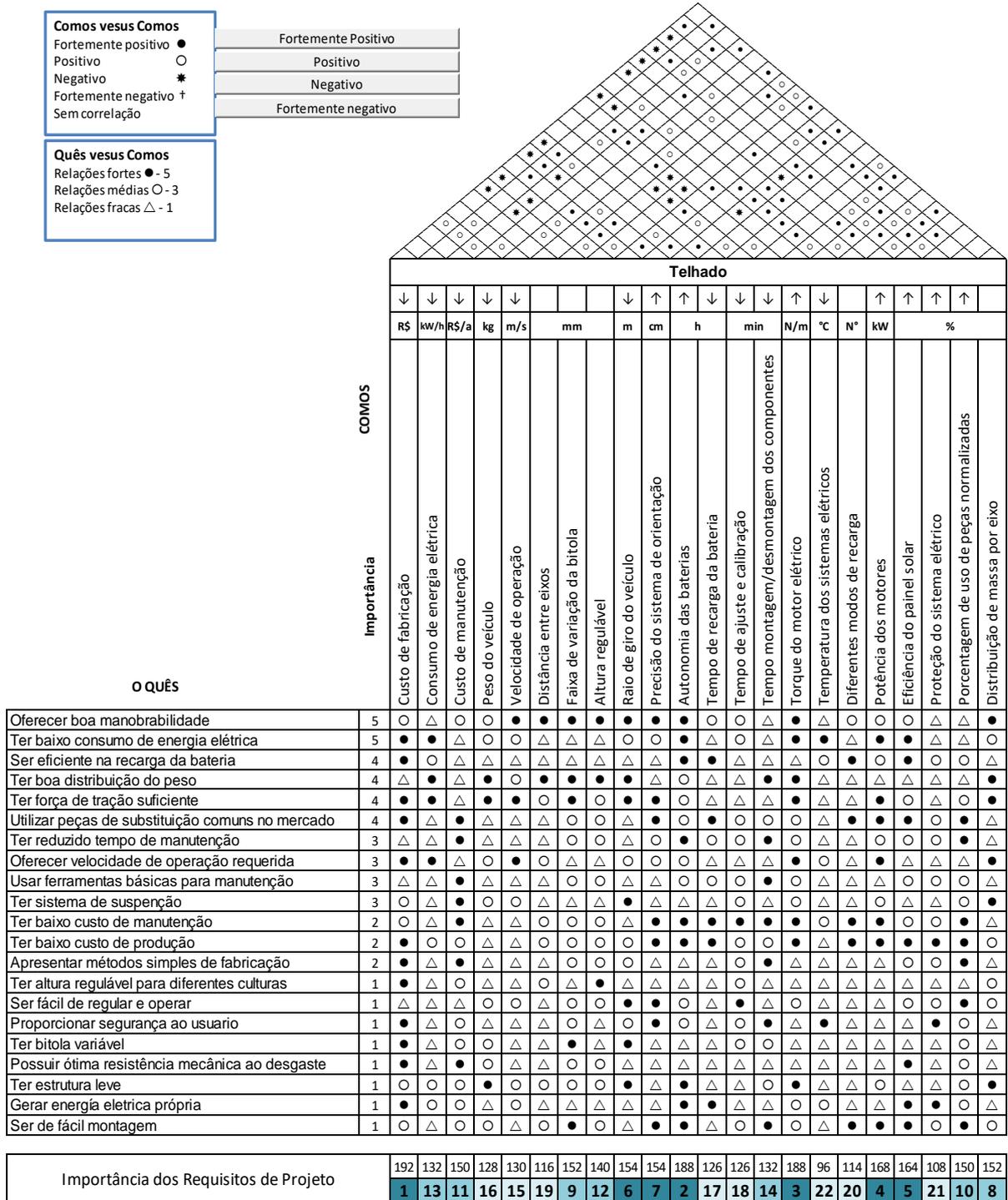


Figura 53 – Matriz da casa da qualidade (QFD).
 Fonte: Elaboração própria.

5.8 Especificações de projeto

No terço superior, localizam-se os requisitos de projeto onde os parâmetros de funcionamento da máquina dependem da escolha no mercado dos principais componentes da máquina como são os motores, baterias, painel solar e sistema de orientação, sistemas que têm um rol importante no funcionamento geral do veículo agrícola elétrico. No entanto, o custo de fabricação surgiu como o requisito mais importante dentro do projeto na avaliação realizada pela equipe de trabalho. Na correlação efetuada no QFD com os requisitos de projeto, observou-se que o custo de fabricação pode ser afetado em grande parte pela escolha de componentes de grande eficiência e desempenho, além da complexidade e modularidade da máquina.

O terço superior que se apresenta na Tabela 18, possibilita à equipe de trabalho entender quais são as prioridades a ser levadas em consideração no momento do estabelecimento das estruturas funcionais, assim como a geração e dimensionamento da concepção.

Tabela 18 - Valores meta do Terço superior da hierarquização dos requisitos de projeto.

Nº	Requisito de projeto	Valor meta	Referência/Avaliação
1º	Custo de fabricação [R\$]	≤ 40000	Baseado no valor da produção agrícola nas propriedades agrícolas (IBGE)
2º	Autonomia das baterias [h]	$1 \leq t \leq 3$	Desenvolvimentos mostrados na revisão bibliográfica.
3º	Torque do motor elétrico [N.m]	$8 \leq T_M \leq 10$	O torque depende exclusivamente da intensidade de corrente fornecida ao motor.
4º	Potência dos motores [kW]	$3 \leq P_M \leq 5$	Desenvolvimentos mostrados na revisão bibliográfica. Oferecer a mesma faixa de potência de um motocultivador.
5º	Eficiência do painel solar [%]	$22 \leq \eta \leq 27$	Células cristalinas de primeira geração à base de cápsulas de silício. Conforme tabela 3.
6º	Raio de giro do veículo [m]	$1 \leq r \leq 2$	ABNT NBR ISO 789-3 Diâmetros de giro e do espaço de giro.
7º	Precisão do sistema de orientação [cm]	$2 \leq \text{Precisão} \leq 30$	Sistema de navegação por satélite: GPS RTK e visão por câmera com algoritmo de planejamento de rota.

Fonte: Elaboração própria.

No terço médio (Tabela 19), situam-se os requisitos relacionados com parâmetros de dimensionamento e regulagens da máquina necessárias para se adaptar aos diferentes requerimentos no campo. Destacam-se, a faixa de variação da bitola e a altura regulável da máquina, permitindo sua adaptação a diferentes tipos e layouts das culturas. Por outra parte, mencionam-se requisitos relacionados com a operação e manutenção do veículo agrícola como: consumo de energia elétrica, tempo de montagem e desmontagem dos componentes, e o custo de manutenção, no entanto, esses requisitos somente poderão ser avaliados na fase do teste após fabricação da concepção.

Tabela 19 - Valores meta do Terço médio da hierarquização dos requisitos de projeto.

N°	Requisito de projeto	Valor meta	Referência/Avaliação
8°	Distribuição de massa por eixo [%]	50% por eixo	Questionário dos agricultores, professores e pesquisadores. ABNT NBR ISO 16231-2 (Estabilidade estática). Vai depender da quantidade e posicionamento dos motores.
9°	Faixa de variação da bitola [mm]	$900 \leq L \leq 1200$	Encanteiradores SR Implementos ¹³ ABNT NBR ISSO 4004:2018 - Bitolas
10°	Porcentagem de uso de peças normalizadas [%]	50	Porcentagem esperado pela equipe de trabalho.
11°	Custo de manutenção [R\$/ano]	≤ 2000	Dependerão da manutenção dos motores, baterias, hardware e software da máquina.
12°	Vão livre do solo regulável [mm]	$500 \leq h \leq 700$	Medidas de canteiros e fileiras obtidas no questionário. Desenvolvimentos concorrentes.
13°	Consumo de energia elétrica [kW/h]	$0.40 \leq E_{EL} \leq 0.80$	Medida e avaliada na fase do teste.
14°	Montagem/desmontagem dos componentes [min]	$25 \leq t \leq 30$	Questionário dos agricultores, professores e pesquisadores.

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, no terço inferior (Tabela 20), apresentam-se os requisitos que contêm parâmetros que são mesuráveis após seleção, operação e eficiência dos componentes, em sua maioria do sistema elétrico. Tempo de recarga da bateria e sua forma de carregamento, destacam-se como importantes para uma faixa de autonomia estendida do veículo agrícola. Do mesmo modo, embora a proteção e o monitoramento do sistema elétrico tenham ficado em último lugar entre as prioridades

¹³ <https://www.srimplementos.com/>

da equipe de trabalho, o projeto da máquina deve-se desenvolver sempre pensando na segurança do usuário e dos sistemas.

Tabela 20 - Valores meta do Terço inferior da hierarquização dos requisitos de projeto.

Nº	Requisito de projeto	Valor meta	Referência/Avaliação
15º	Velocidade de operação [m/s]	$1.0 \leq v \leq 2.5$	Desenvolvimentos mostrados na revisão bibliográfica.
16º	Peso do veículo [kg]	$500 \leq W \leq 700$	Peso total esperado pela equipe de trabalho em base aos desenvolvimentos mostrados na revisão bibliográfica.
17º	Tempo de recarga da bateria [h]	$2 \leq t \leq 4$	Banco de baterias em base a lítio ou níquel. Conforme tabela 4.
18º	Tempo de ajuste e calibração [min]	$t \leq 10$	Questionário dos agricultores, professores e pesquisadores.
19º	Distância entre eixos [mm]	$1200 \leq d \leq 1500$	Desenvolvimentos mostrados na revisão bibliográfica.
20º	Diferentes modos de recarga [Nº]	2	Connector SAE J1772 (Type 1) 120V~250V AC - 16/32/63A. Painel solar incorporado.
21º	Proteção do sistema elétrico [%]	100%	ABNT NBR ISO 16230-1 (Segurança de componentes e sistemas elétricos e eletrônicos de alta-tensão. Requisitos gerais)
22º	Temperatura dos sistemas elétricos [°C]	$-5 \leq T \leq 35$	ABNT NBR ISO 789-9:2020 (Procedimento de ensaio em tratores agrícolas). ABNT NBR ISO 14269-3 (Determinação de aquecimento, ventilação e condicionamento do ar)

Fonte: Elaboração própria.

5.9 Escopo do problema

Após estabelecimento das especificações de projeto, a fase conceitual foi iniciada através da análise dos requisitos de projeto listadas nas especificações. Inicialmente, identificaram-se os requisitos que guardam relação direta com o funcionamento operacional de um veículo agrícola elétrico autônomo. Assim, listam-se a seguir, os requisitos de projeto em ordem de importância conforme a tabela de especificações de projeto:

- Autonomia das baterias;
- Torque do motor elétrico;
- Potência dos motores;
- Eficiência do painel solar;
- Raio de giro do veículo;
- Precisão do sistema de orientação;
- Faixa de variação da bitola

- Vão livre do solo regulável;
- Consumo de energia elétrica;
- Velocidade de operação;
- Peso do veículo;
- Tempo de recarga da bateria;
- Diferentes modos de recarga.

Posteriormente, cada um dos requisitos listados anteriormente foram transformados em informações qualitativas, sendo reduzidas ao essencial. Na Tabela 21, apresenta-se a transformação.

Tabela 21 – Transformação dos requisitos de projeto em informações qualitativas.

Consumo de energia elétrica	Autonomia de trabalho
Autonomia das baterias	
Torque do motor elétrico	
Potência dos motores	Ter força de tração suficiente
Velocidade de operação	
Peso do veículo	
Raio de giro do veículo	Precisão no posicionamento
Precisão do sistema de orientação	
Eficiência do painel solar	
Tempo de recarga da bateria	Eficiência na recarga
Diferentes modos de recarga	
Faixa de variação da bitola	Regulável conforme a cultura
Vão livre do solo regulável	

Fonte: Elaboração própria.

O passo seguinte, consistiu em generalizar os requisitos qualitativos da tarefa anterior, obtendo-se os seguintes:

- Posicionar-se com precisão na linha do plantio;
- Deslocar-se com tração suficiente;
- Regulável conforme fileiras ou canteiros;
- Autonomia de trabalho.

Assim, o problema estabelecido inicialmente foi reformulado a partir da generalização dos requisitos qualitativos, sendo este, o ponto de partida para o estabelecimento da função global.

Neste caso, o objetivo principal a ser atingido no desenvolvimento do veículo autônomo elétrico é: Posicionar-se e deslocar-se com precisão pela linha do plantio com suficiente autonomia de trabalho.

5.10 Desenvolvimento da estrutura funcional

Depois da formulação do escopo do problema, foi possível para a equipe de trabalho declarar a função global como: **Posicionar-se e deslocar-se pela linha de plantio**. O verbo posicionar, representa a ação na qual a máquina autônoma recebe informação dos sistemas de informação (GNSS e sensores) e as regulagens do usuário, para se situar no ponto de partida. Por outro lado, o verbo deslocar representa a ação em que a máquina percorre a linha de plantio até o ponto final de trabalho.

Apresenta-se graficamente na Figura 54, o layout de trabalho e o conjunto de ações realizadas por uma máquina autônoma numa tarefa agrícola.

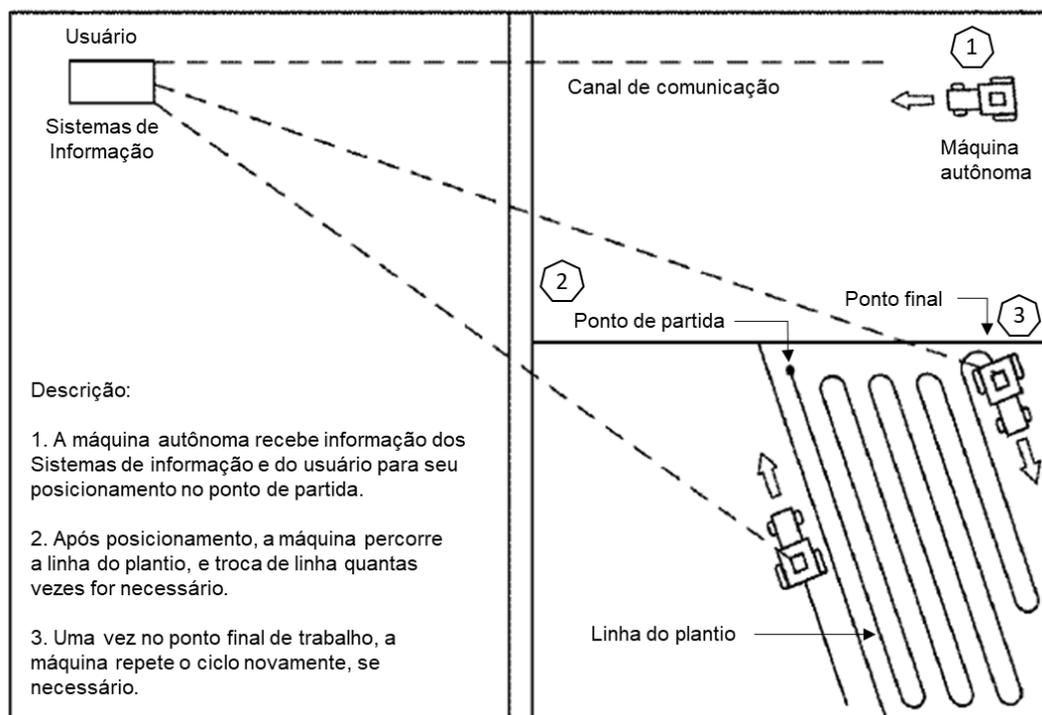


Figura 54 – Tomada de decisões e ações realizadas por uma máquina agrícola autônoma.
Fonte: Adaptada de GERRISH, 2019.

Para estabelecer esquematicamente a função global do sistema técnico (FG), foi necessário identificar os demais sistemas que interagem com a função principal e quais são as variáveis (entradas e saídas) de relacionamento (Tabela 22). Na figura 55, descreve-se S_1 como o sistema representado pelo usuário, o qual executa ações como: ligar, desligar, monitorar e regular o equipamento. O sistema S_2 é representado pelo ambiente de trabalho onde a máquina efetuara as atividades. Por outra parte, o sistema S_3 é constituído pelos sistemas de informação baseados em computador dos

quais a máquina recebe os dados para o posicionamento no campo. Finalmente, representa-se S₄ como o sistema que fornece a energia elétrica ao sistema técnico para seu funcionamento.

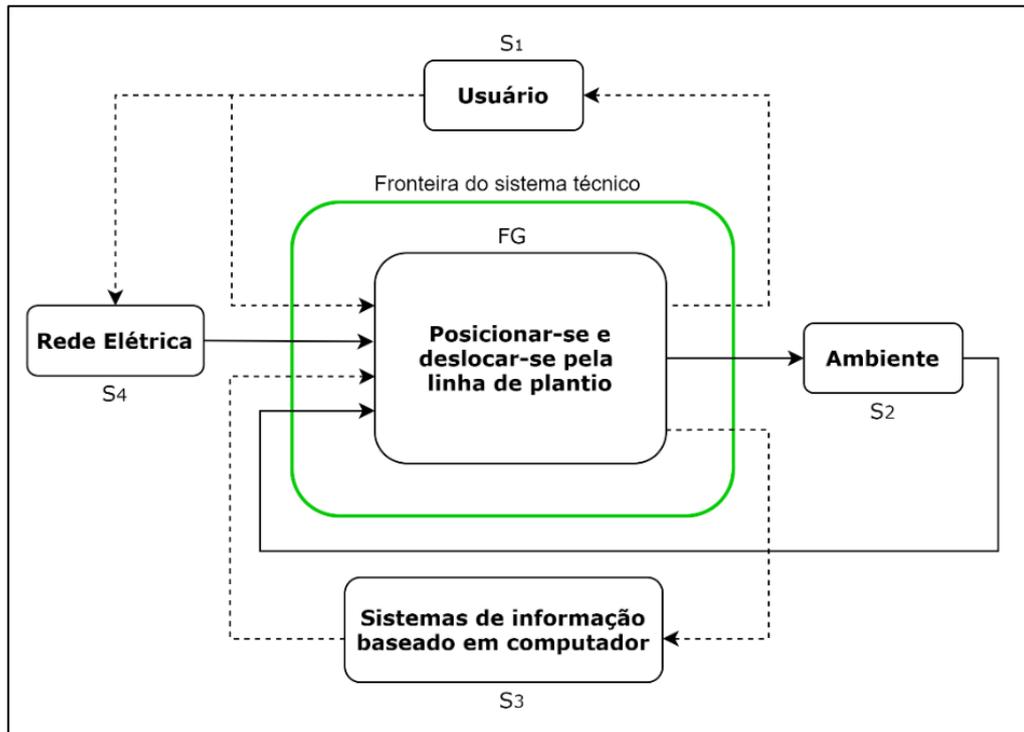


Figura 55 – Função global do sistema técnico.
 Fonte: Elaboração própria.

Tabela 22 – Relacionamentos da função global com suas entradas e saídas.

Link	Entradas	Função Global	Saídas	Link
S ₁ – FG	Regulagens do usuário	FG Posicionar-se e deslocar-se pela linha de plantio	Informação do estado da máquina	FG – S ₁
S ₂ – FG	Energia solar		Energia cinética de translação e rotação	FG – S ₂
S ₃ – FG	Sinais do sistema de informação		Sinais de retorno para os sistemas de informação	FG – S ₃
S ₄ – FG	Energia elétrica			

Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente, realizou-se a decomposição da função global em quatro funções parciais, FP1 (Função Parcial 1), FP2 (Função Parcial 2), FP3 (Função Parcial 3) e a FP4 (Função Parcial 4). O estabelecimento das funções parciais foi apoiado pela análise das informações fornecidas pelas máquinas autônomas elétricas disponíveis no mercado.

A FP1 tem como propósito, obter, converter, armazenar e fornecer energia elétrica para o funcionamento dos demais sistemas da máquina. A FP2 é composta pelo hardware e software os quais recebem, processam e facilitam os sinais, para a tomada de decisões e o controle dos sistemas. A função FP3 representa o módulo de tração responsável da locomoção da máquina. Por último, a FP4 representa o módulo de direção do veículo. Na figura 56, é apresentado o diagrama do desdobramento da função global em quatro funções parciais.

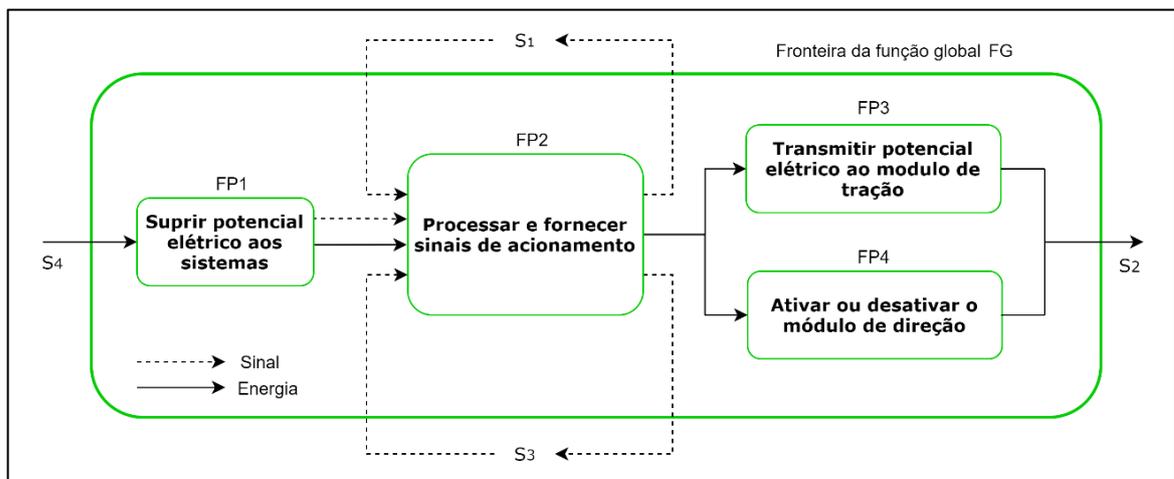


Figura 56 – Desdobramento da função global em funções parciais.
Fonte: Elaboração própria.

A continuação, listam-se os desdobramentos das funções parciais e os códigos das diferentes alternativas:

- Função parcial FP1 – Suprir potencial elétrico aos sistemas.
 - FP1a: Carregamento CC (Corrente contínua);
 - FP1b: Carregamento CA (Corrente alternada);
 - FP1c: Carregamento CA e CC (Corrente alternada e contínua);
 - FP1d: Carregamento auxiliar (Células solares);
 - FP1e: Carregamento por troca da bateria.
- Função parcial FP2 – Processar e fornecer sinais de acionamento.
 - FP2a – Fusão de sensores e modelo algorítmico para planejamento de rota;
 - FP2b – Sistema de controle remoto auxiliar.
- Função parcial FP3 – Transmitir potencial elétrico ao módulo de tração.
 - FP3a: Módulo de tração com motor de corrente alternada (CA);
 - FP3b: Módulo de tração com motor de corrente contínua (CC).

- Função parcial FP4 – Ativar ou desativar o módulo de direção.
 - FP4a: Módulo de direção com motor elétrico;
 - FP4b: Módulo de direção com atuador elétrico linear.

No apêndice C, detalham-se os diagramas e a definição dos desdobramentos de cada uma das funções parciais e suas alternativas descritas na lista anterior.

Para a construção da estrutura funcional, foi realizada uma sessão de brainstorming entre a equipe de trabalho onde as funções parciais e suas alternativas foram analisadas com o fim de agrupar e organizar as combinações mais compatíveis. Durante a análise foram abordados fatores como: disponibilidade no mercado, facilidade de implementação, uso, compatibilidade entre os sistemas e o custo associado.

Na Tabela 23, tem-se o estabelecimento das três estruturas funcionais, que foram feitas de forma individual por cada membro da equipe de trabalho, sem a interferência dos demais membros.

Tabela 23 – Construção das estruturas funcionais para uma máquina autônoma elétrica.

Estrutura Funcional	Engenheiro Eletrônico – Doutorando SPAF UFPel			
	FP1	FP2	FP3	FP4
1°	FP1b + FP1d	FP2a	FP3b	FP4b
2°	FP1b + FP1d	FP2a + FP2b	FP3b	FP4b
3°	FP1a	FP2b	FP3a	FP4b
Estrutura Funcional	Graduando em Engenharia eletrônica – Engenharia UFPel			
1°	FP1b + FP1d	FP2a + FP2b	FP3b	FP4b
2°	FP1a	FP2a + FP2b	FP3a	FP4b
3°	FP1e	FP2a	FP3a	FP4b
Estrutura Funcional	Engenheiro Mecânico – Mestrando SPAF UFPel			
1°	FP1b + FP1d	FP2a	FP3a	FP4a
2°	FP1b + FP1d	FP2a + FP2b	FP3b	FP4b
3°	FP1b + FP1d	FP2a	FP3b	FP4b
Estrutura Funcional	Engenheiro Mecânico – Doutoranda SPAF UFPel			
1°	FP1c	FP2b	FP3b	FP4b
2°	FP1b + FP1d	FP2a + FP2b	FP3b	FP4b
3°	FP1c + FP1d	FP2a	FP3b	FP4b
Estrutura Funcional	Engenheiro Agrícola – Mestrando SPAF UFPel			
1°	FP1d	FP2a	FP3b	FP4a
2°	FP1a	FP2a	FP3b	FP4a
3°	FP1b	FP2b	FP3b	FP4b
Estrutura selecionada	FP1b + FP1d	FP2a	FP3b	FP4b

Fonte: Elaboração própria

Analisando-se a Tabela 23, observa-se a convergência nas respostas entre os membros da equipe de trabalho em relação aos sistemas selecionados. Em primeiro lugar, como fonte de energia elétrica, optou-se por um sistema de carregamento por corrente alternada (Nível 1 ou 2 segundo a SAE) por ser um sistema padrão de

recarga extensamente usado e disponível no mercado com custos aceitáveis. Os pontos de carregamento DC além do custo elevado, requerem eletricitas profissionais devido à alta tensão presente nesse sistema. Do mesmo modo, determinou-se a necessidade do uso de um sistema auxiliar mediante o uso de painéis solares para garantir maior autonomia da máquina durante as atividades no campo.

No que se refere ao sistema de controle, em primeira instância, considerou-se o uso de um sistema por fusão de sensores e planejamento de rota em conjunto com um sistema de auxiliar de controle remoto, porém, o uso destes sistemas poderia tornar difícil a utilização da máquina por parte do agricultor. Portanto, escolheu-se o sistema de fusão de sensores (Receptores GNSS, receptores inerciais, e sistemas de visão por computador) amplamente a disposição no mercado.

Finalmente, decidiu-se pelo uso de motores de corrente contínua (CC) para o sistema de tração devido a seu fácil controle, baixo custo do sistema controlador-motor e a não necessidade do uso de um conversor para transformar a corrente que provém da bateria. Por outra parte o atuador elétrico linear se situou como a melhor opção para acionar o sistema de direção. Além de ter um baixo custo em comparação com um motor de passo ou um servo motor, são eficientes em termos de consumo de energia, possuindo uma vida útil estendida que requer pouca ou nenhuma manutenção.

A Figura 57, apresenta a estrutura funcional selecionada pela equipe de trabalho, especificando-se esquematicamente as funções elementares que conformam as funções parciais e suas ligações. Além disso, descreve-se cada uma das funções elementares com suas entradas e saídas na Tabela 24.

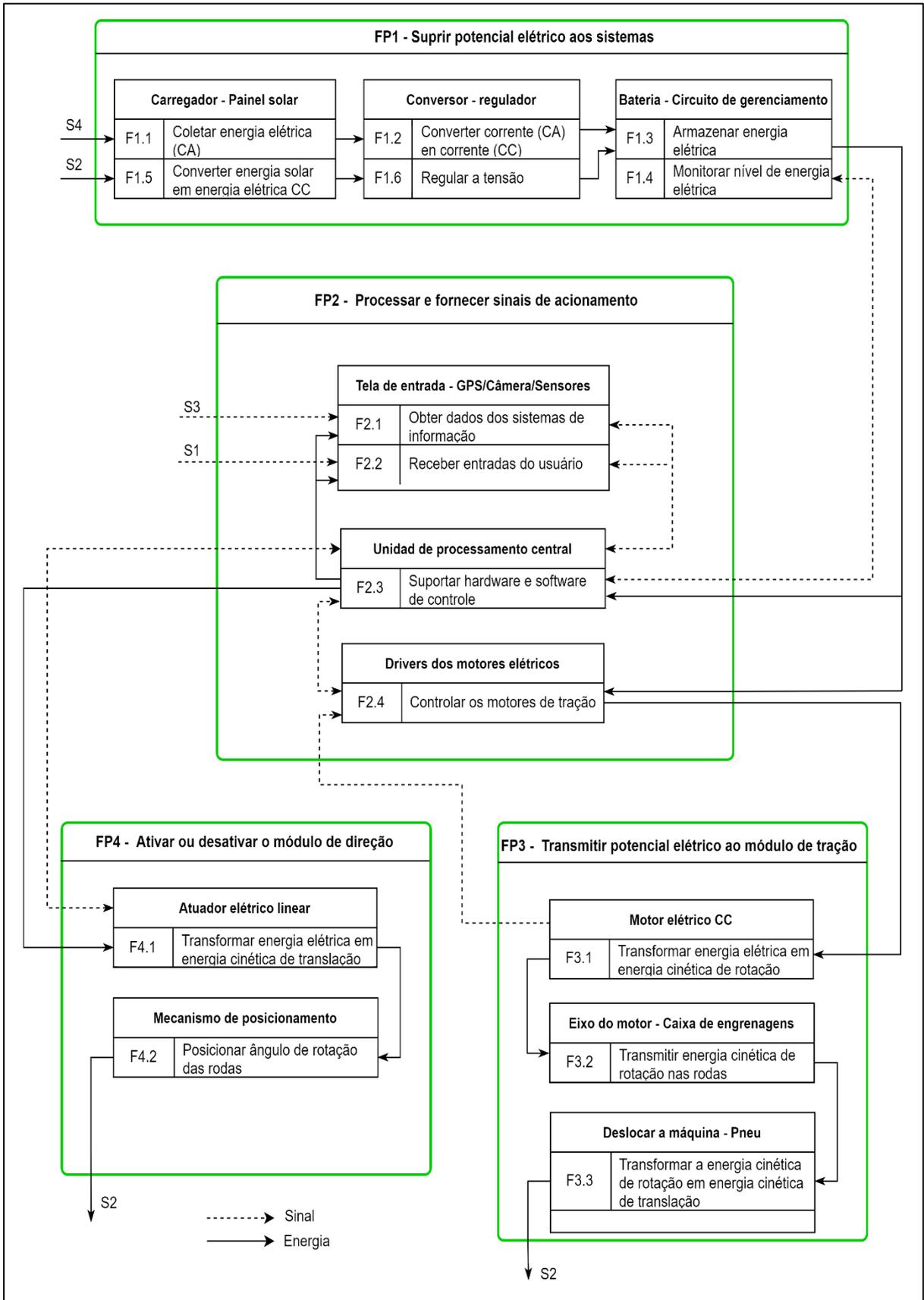


Figura 57 – Estrutura funcional escolhida para uma máquina autônoma elétrica.
 Fonte: Elaboração própria.

Tabela 24 – Descrição das funções elementares da estrutura funcional selecionada.

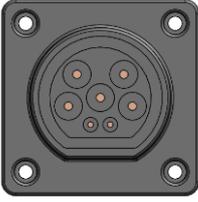
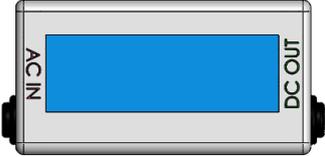
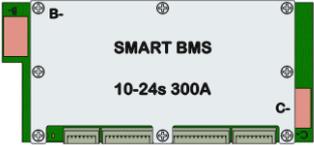
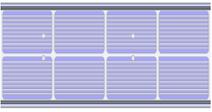
Função	Descrição	Entradas	Saídas
F1.1	Obter energia elétrica desde a rede elétrica comercial por meio de um ponto de recarga (Carregador ao bordo)	-Energia elétrica (CC) da rede elétrica comercial	-Energia elétrica (CA) para o conversor de corrente
F1.2	Converter a corrente elétrica alternada em corrente elétrica contínua	-Energia elétrica (CA) desde o carregador ao bordo do veículo	-Energia elétrica (CC) para a unidade de armazenamento de energia
F1.3	Armazenar e fornecer energia elétrica aos sistemas elétricos da máquina	-Energia elétrica (CC) desde o conversor de corrente. -Energia elétrica (CC) desde o regulador de tensão do painel sola	-Energia elétrica (CC) para a unidade de processamento central, controladores dos motores e a unidade de monitoramento da bateria
F1.4	Monitorar o estado da bateria (Estado de carga e consumo de energia elétrica)	-Energia elétrica (CC) desde a bateria	-Informação dos valores de entrada e saída de energia elétrica na bateria para a unidade de processamento central
F1.5	Converter a energia solar em energia elétrica (CC)	-Intensidade de irradiação solar incidente no painel	-Energia elétrica (CC) para o regulador de tensão
F1.6	Adequar energia elétrica aos níveis necessários	-Energia elétrica (CC) desde o painel solar	-Energia elétrica (CC) regulada para a unidade de armazenamento
F2.1	Obter dados dos sistemas de informação baseados em computador	-Entrada de dados dos sistemas de informação (GNSS) ou sensores (Câmeras, IMU, Sensores ultrassônicos, LiDAR, etc.) -Energia elétrica desde a CPU. -Retorno de variáveis de controle calculadas na unidade de processamento central	-Saída de dados processados por os receptores ou sensores para a unidade de processamento central. -Dados de saída para a iteração com os sistemas de informação ou o ambiente
F2.2	Receber entradas de controle do usuário (Tela do usuário)	-Entradas do usuário como: sinais de acionamento (ligar/desligar) e configuração. -Energia elétrica desde a unidade de processamento central. -Retorno de variáveis de controle calculadas na unidade de processamento central	-Ações do usuário para a unidade de processamento central. -Saída de dados para o usuário sobre o estado da máquina (Posição, orientação, velocidade, aceleração, distância e imagens)
F2.3	Suportar hardware e software de controle (Unidade de processamento central, algoritmo e periféricos para obtenção de dados)	-Energia elétrica (CC) desde a unidade de armazenamento. -Informação dos controladores dos motores. -Dados dos sistemas de informação processados por os receptores ou sensores. -Ações do usuário desde a tela de configurações. -Informação dos valores de entrada e saída de energia elétrica na bateria	-Energia elétrica (CC) para os receptores ou sensores. -Sinais de controle e acionamento para os controladores dos motores elétricos (velocidade e torque). -Saída de dados para a tela do usuário sobre o estado da máquina

F2.4	Controladores dos motores elétricos (Drivers)	-Energia elétrica (CC) desde a unidade de armazenamento. -Sinais de controle e acionamento desde a unidade de processamento central. -Receber informação desde os sensores dos motores elétricos	-Energia elétrica (CC) para os motores elétricos. -Informação sobre o estado dos motores para a unidade de processamento central (Velocidade, torque, corrente, tensão, etc.)
F3.1	Transformar energia elétrica em energia cinética de rotação (Motor elétrico CC)	-Energia elétrica (CC) desde o controlador (Driver)	-Energia cinética de rotação para o sistema de transmissão. -Informação dos sensores no motor para o controlador
F3.2	Transmitir a energia cinética de rotação para as rodas.	-Energia cinética de rotação produzida pelo motor elétrico.	-Energia cinética de rotação transformada pelo sistema de transmissão.
F3.3	Deslocar a máquina (Roda: Transformar energia cinética de rotação em energia cinética de translação)	-Energia cinética de rotação -Resistência ao rolamento	-Energia cinética de translação
F4.1	Transformar energia elétrica em energia cinética de translação (Motor linear)	-Energia elétrica (CC) desde o controlador do motor elétrico linear	-Energia cinética de translação para o sistema de direção. -Informação dos sensores no motor para o controlador
F4.2	Posicionar ângulo de rotação das rodas	-Energia cinética de rotação -Resistência ao giro.	-Energia cinética de rotação

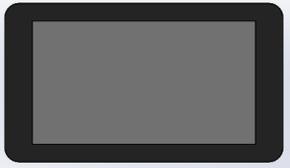
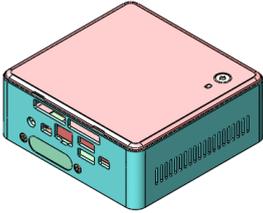
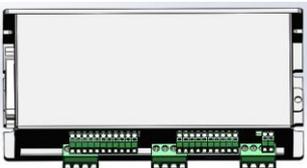
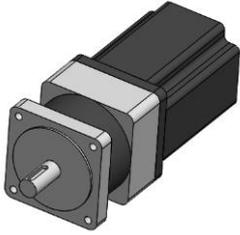
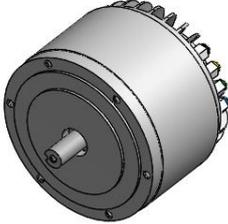
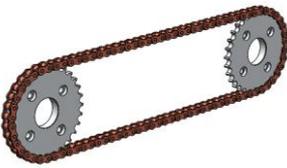
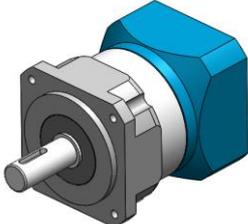
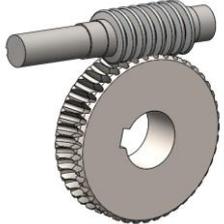
Fonte: Elaboração própria.

5.11 Princípios de solução

Constituída a estrutura funcional, procedeu-se ao estabelecimento dos princípios de solução para cada uma das funções elementares. A figura 58, apresenta a matriz morfológica para o veículo autônomo elétrico, onde se representa de forma construtiva os princípios de solução gerados através da revisão de patentes e desenvolvimentos de veículos similares. A maioria dos esboços dos princípios de solução foram obtidos de bibliotecas digitais (ex. GRABCAD™ ou DASSAULT SYSTEMES™ 3D Content). No entanto, outras estruturas foram desenvolvidas pelo autor no software SOLIDWORKS™.

<p>F1.1 – Coletar energia elétrica CA</p>	 <p>(a) Tomada de entrada SAE J1772 nível 1 *</p>	 <p>(b) Tomada de entrada SAE J1772 nível 2 *</p>	
<p>F1.2 – Converter corrente CA em CC</p>	 <p>(a) Conversor CA/CC *</p>		
<p>F1.3 – Armazenar a energia elétrica</p>	 <p>(a) Bateria chumbo-ácido selada (VRLA) **</p>	 <p>(b) Conjunto de baterias de íon-lítio **</p>	
<p>F1.4 – Monitorar nível de energia elétrica</p>	 <p>(a) Sistema de gerenciamento da bateria (BMS) **</p>		
<p>F1.5 – Converter a energia solar em energia elétrica CC</p>	 <p>(a) Painel solar *</p>		
<p>F1.6 Regular a tensão</p>	 <p>(a) Controlador de carga para painel fotovoltaico **</p>		
<p>F2.1 – Obter dados dos sistemas de informação</p>	 <p>(a) Receptor GPS **</p>	 <p>(b) “Computer Vision” – Câmeras ou sensores ultrassônicos **</p>	 <p>(c) Fusão de sensores **</p>

Continuação do quadro anterior

<p>F2.2 Receber entradas usuário</p> <p>do</p>	 <p>(a) Notebook **</p>	 <p>(b) Tablet **</p>	 <p>(c) Smartphone **</p>
<p>F2.3 Suportar hardware software de controle</p>	 <p>(a) Unidade central de processamento (CPU) **</p>		
<p>F2.4 Controlar os motores de tração</p>	 <p>(a) Controlador do motor elétrico CC **</p>	 <p>(b) Controlador do motor NEMA **</p>	
<p>F3.1 Transformar energia elétrica em energia cinética de rotação</p>	 <p>(a) Motor CC NEMA (carcaça quadrada) **</p>	 <p>(b) Motor CC sem escovas (carcaça circular) *</p>	
<p>F3.2 Transmitir a energia cinética de rotação para as rodas.</p>	 <p>(a) Sistema de corrente e roda dentada **</p>	 <p>(b) Caixa de engrenagens planetários **</p>	 <p>(c) Redução engrenagem sem-fim **</p>
<p>F3.3 Deslocar a máquina.</p>	 <p>(a) Roda agrícola 4.00 – 8 *</p>	 <p>(b) Roda de bicicleta 20 polegadas **</p>	

Continuação do quadro anterior

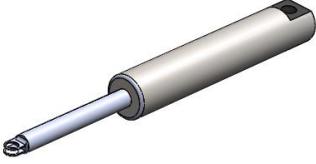
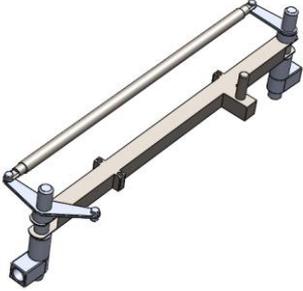
F4.1 - Transformar energia elétrica em energia cinética de translação	 (a) Atuador elétrico linear *		
F4.2 - Posicionar ângulo de rotação das rodas	 (a) Mecanismo de 4 barras *	 (b) Mecanismo Pistão – Biela*	

Figura 58 – Matriz morfológica com os princípios de solução parciais para cada estrutura funcional.
 Fonte: Elaboração própria.

* Princípios de solução desenvolvidos pelo autor em SOLIDWORKS™ STUDENT VERSION.

** Princípios de solução tomados de Livrarias digitais como GRABCAD e DASSAULT SYSTÈMES.

Os princípios de solução totais A (Figura 59) e B (Figura 60) foram gerados pela equipe de trabalho a partir dos princípios de soluções parciais (Figura 58) levando em consideração a valoração em conjunto de requisitos como: adaptabilidade à estrutura funcional selecionada, disponibilidade no mercado, custo de aquisição, facilidade de fabricação, e a montagem e manutenção simples dos componentes.

A escolha dos princípios de solução parciais foi discutida principalmente nas soluções que envolviam o sistema de tração. Nesse aspecto, não foi considerado o uso de rodas dentadas e correntes por ser um sistema sujeito a falhas contínuas como desalinhamento, ruptura ou deformação da corrente, e desgastes nos dentes da roda, que poderia causar uma porcentagem alta de perda de potência entre a saída do eixo do motor e o eixo da roda. Por outro lado, se estabeleceu que o eixo do motor elétrico e o eixo da roda fossem colocados de forma colinear, não sendo necessário o uso do sistema de engrenagem sem fim.

Em resumo, ambas estruturas funcionais apresentam semelhanças no sistema de carregamento elétrico, sistema de controle e orientação, sendo os sistemas de tração e direção as grandes diferenças.

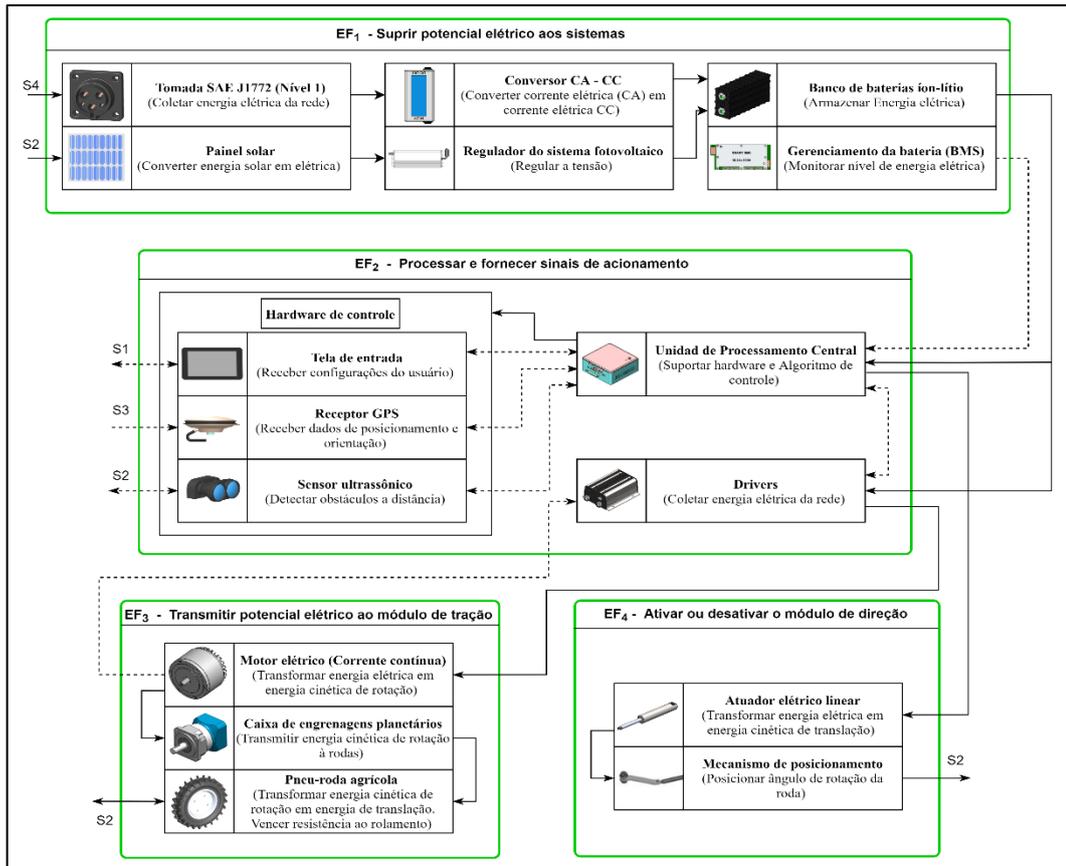


Figura 59 – Princípio de solução total A.
Fonte: Elaboração própria.

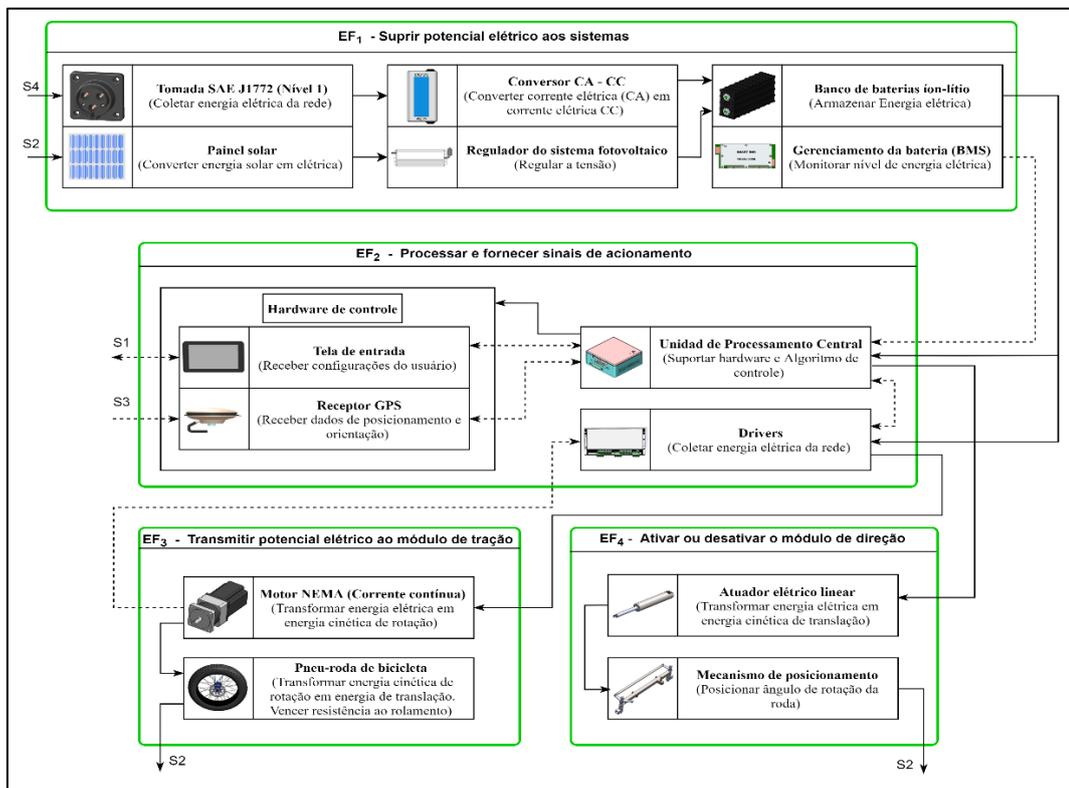


Figura 60 – Princípio de solução total B.
Fonte: Elaboração própria.

Os princípios de solução totais apresentados anteriormente, representam exclusivamente à estrutura funcional estabelecida na Figura 58, sendo esta gerada após o estudo das especificações de projeto na reformulação do problema que o veículo agrícola busca atender. No entanto, o objetivo principal do trabalho consiste em apresentar o desenho conceitual do veículo em forma de esboço 3D, onde além da estrutura funcional, é necessária a criação de uma estrutura mecânica de suporte (chassi) para expressar os atributos geométricos do veículo.

Para o desenvolvimento de uma estrutura mecânica compatível com os dois princípios de solução totais gerados, levou-se em consideração alguns requisitos dos clientes como: ser leve, apresentar métodos simples de fabricação, montagem e desmontagem simples dos componentes, ou ser regulável conforme a cultura.

Durante a concepção do chassi foi levado em consideração o uso de perfil estrutural e chapa de aço, sendo este tipo de material utilizado comumente na fabricação de máquinas agrícolas ou rodoviárias.

Neste caso, foi desenvolvido um chassi em forma de estrutura de escada (Ladder frame), porém, ao invés de duas vigas, foi usada só uma viga estrutural de grande porte, podendo esta oferecer boa rigidez torcional em relação aos chassis tubulares, *space-frames* ou Monocoque. Entre suas vantagens estão: baixo custo de produção, fabricação simples, além de suportar cargas pesadas.

5.12 Concepções geradas

As concepções geradas foram codificadas como AEVs (*Agricultural Electric Vehicle*) e são representados na Figura 61 em três diferentes versões. Entre suas diferenças tem-se, a faixa de variação da bitola e do vão livre do solo (AEV – 01 e AEV – 03), o arranjo do módulo de tração, a forma em que o sistema de direção foi projetado e o princípio de solução embarcado. No apêndice D, apresentam-se os esboços em 2D com detalhes das dimensões e especificações das concepções geradas.

Concepção 3D gerada	Identificação do princípio de solução
	<p>AEV – 01* (Versão com dimensões reguláveis – Embarca o princípio de solução A)</p>
	<p>AEV – 02* (Versão de baixo custo - Embarca o princípio de solução B)</p>
	<p>AEV – 03* (Versão com dimensões reguláveis – Embarca o princípio de solução A)</p>

Figura 61 – Concepções finais geradas.
Fonte: Elaboração própria.

* Princípios de solução desenvolvidos pelo autor em SOLIDWORKS™ STUDENT VERSION.

Finalmente para a escolha da concepção final, foi necessária a avaliação das três alternativas com base nos requisitos dos clientes obtidos no projeto informacional. Para levar a cabo a seleção, se aplicou a planilha de avaliação mostrada na Tabela 25, a qual após avaliação com a equipe de trabalho apresentou a concepção AEV – 01 como a que melhor se adapta aos objetivos do trabalho através do índice de desempenho técnico (IDT).

Tabela 25 – Matriz de decisão para a escolha da concepção final.

AVALIAÇÃO CONFORME OS CRITÉRIOS TÉCNICOS DAS CONCEPÇÕES DOS DIFERENTES VEÍCULOS AGRÍCOLAS GERADOS				
Avaliadores: Eng. Eletrônicos (2) Eng. Mecânicos (2) Eng. Agrícola (1)		Faculdade: UFPEL Programa: SPAF Departamento: NIMEq		
Critérios técnicos (Requisitos dos clientes) Para avaliar, use escala: 1 – (DF) desempenho fraco 5 – (DS) desempenho satisfatório 9 – (DE) desempenho excelente	PRrt	Modelos de máquinas		
		AEV - 01	AEV - 02	AEV - 03
Oferecer boa manobrabilidade	5	DE	DS	DF
Ter baixo consumo de energia elétrica	5	DS	DE	DS
Ser eficiente na recarga da bateria	4	DS	DS	DS
Ter boa distribuição do peso	4	DE	DS	DS
Ter força de tração suficiente	4	DE	DF	DS
Utilizar peças de substituição comuns no mercado	4	DS	DS	DS
Ter reduzido tempo de manutenção	3	DS	DS	DS
Oferecer velocidade de operação requerida	3	DS	DS	DS
Usar ferramentas básicas para manutenção	3	DS	DE	DS
Ter sistema de suspensão	3	DS	DF	DF
Ter baixo custo de manutenção	2	DS	DE	DS
Ter baixo custo de produção	2	DS	DE	DS
Apresentar métodos simples de fabricação	2	DE	DE	DE
Ter altura regulável para diferentes culturas	1	DE	DF	DE
Ser fácil de regular e operar	1	DS	DF	DS
Proporcionar segurança ao usuário	1	DE	DF	DS
Ter bitola variável	1	DE	DF	DE
Possuir ótima resistência mecânica ao desgaste	1	DS	DS	DS
Ter estrutura leve	1	DS	DE	DS
Gerar energia elétrica própria	1	DE	DE	DE
Ser de fácil montagem	1	DS	DS	DE
Índice de desempenho técnico (IDT)		336	280	252

Fonte: Elaboração própria.

5.13 Concepção selecionada

A concepção selecionada (Figura 62) apresenta inovações que atualmente são tendências no desenvolvimento de veículos agrícolas autônomos elétricos.

No sistema de tração, escolheram-se motores de 3kW, os quais são posicionados por um atuador elétrico linear para gerar o ângulo de direção do módulo (tração e direção). Cada módulo é independente por roda permitindo uma ótima manobrabilidade do veículo para se deslocar e se posicionar no campo. Seu desenho estrutural visa oferecer uma estrutura simétrica, leve, de montagem simples, de baixo

custo, e com a capacidade de se adaptar em diferentes culturas por meio de regulagens das dimensões. As regulagens da largura e da altura são feitas de forma manual (tubo quadrado concêntrico fixado com pinos) e mecânica (dois atuadores hidráulicos) respectivamente.

Entre outras das inovações, o veículo exibe dois métodos de carregamento das baterias íon-lítio. O primeiro para ter uma maior eficiência na recarga (Carregamento on-grid) com uma tomada SAE nível 1, e o segundo, para funcionar de forma auxiliar (painel solar de 130W) com o fim de aumentar a autonomia de trabalho do veículo.

Finalmente, para seu controle autônomo dentro do campo o veículo embarca um sistema receptor GPS, existindo hoje uma grande disponibilidade de dispositivos que variam o seu custo dependendo da sua precisão. Para o sensoriamento do ambiente, possui sensores ultrassônicos para detecção de obstáculos.



Figura 62 – Desenho conceitual do veículo autônomo elétrico para fins agrícolas*.
Fonte: Elaboração própria.

* Render realizado pelo autor em KEYSHOT™ 10 STUDENT VERSION.

6 Funcionalidades da concepção selecionada

- Chassis: Composto por tres seções principais, a viga central, os suportes pivô, e os suportes móveis (Figura 63).

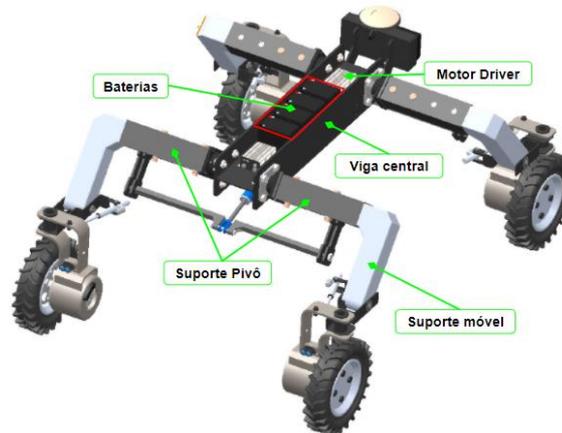


Figura 63 – Elementos principais do chassi.
Fonte: Elaboração própria.

A viga central foi projetada em forma de “H” conforme os perfis estruturais disponíveis no mercado, com o fim de servir de suporte para o banco de baterias, demais componentes eletrônicos, carenagem e o painel solar na sua parte superior.

O suporte pivô acopla-se através de uma união giratória (Figura 64) composta por um eixo aparafusado na viga central, e um rolamento com base aparafusado na estrutura do suporte pivô, permitindo sua livre rotação e a dos componentes fixados nela.

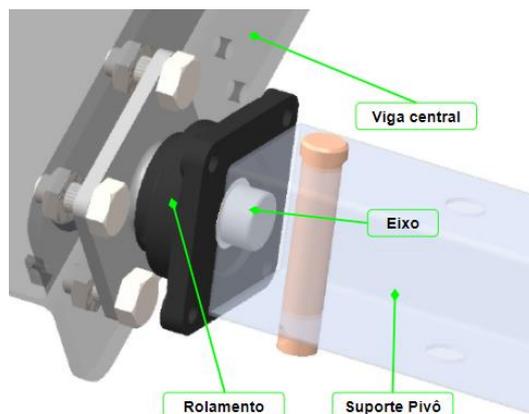


Figura 64 – Acoplamento suporte pivô e a viga central.
Fonte: Elaboração própria.

Por outro lado, o chassi dispõe de um sistema manual para a variação do comprimento da bitola do veículo. Neste caso, o elemento suporte móvel desliza internamente de forma manual dentro da estrutura do suporte pivô (Figura 65),

conformados por dois tubos de seção quadrada concêntricos. Ambos suportes têm cavidades para o ajuste da largura, onde dois pinos são inseridos para fixação. Cada cavidade tem uma distância de 100mm entre si, permitindo a variação da bitola de um valor mínimo de 960mm até 1350mm (Apêndice D1).

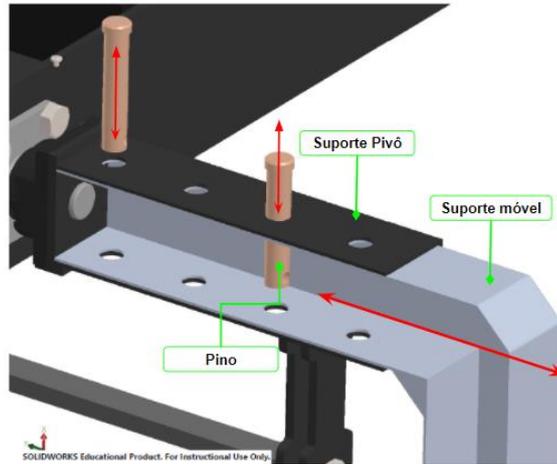


Figura 65 – Descrição do sistema de bitola variável.
Fonte: Elaboração própria.

Por último, na parte inferior do chassi, localizam-se os apoios dos atuadores hidráulicos para a regulação das dimensões do veículo.

Os atuadores hidráulicos mencionados anteriormente, formam parte do sistema da regulação do vão livre do solo, e conseqüentemente da regulação da distância entre eixos do veículo (Figura 66). O cilindro do atuador hidráulico atua sobre a barra de acionamento (Detalhe A), que ao mesmo tempo está acoplada ao suporte pivô (Detalhe B). Assim, é possível elevar ou baixar mecanicamente a viga central.

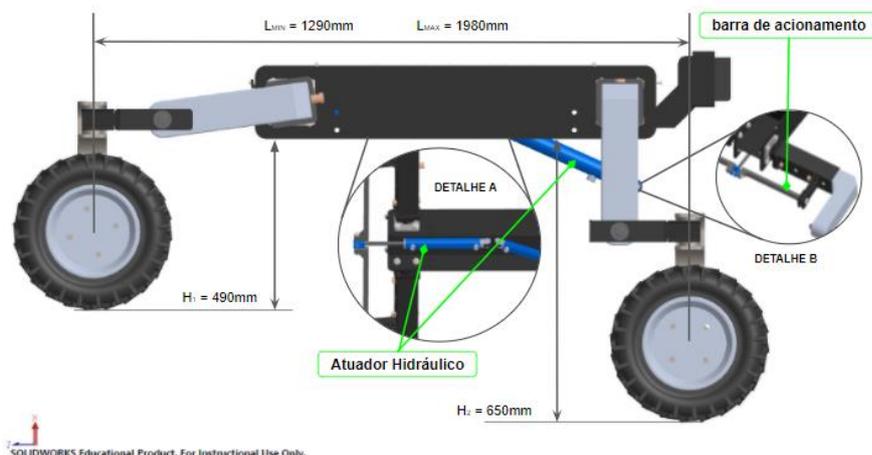


Figura 66 – Sistema de variação do vão livre do solo e distância entre eixos do veículo.
Fonte: Elaboração própria.

Em resumo, o chassi apresenta uma estrutura tipo ponte que dispõe de regulagens manuais para a variação das suas dimensões, possibilitando sua flexibilidade para trabalhos em diferentes tipos de cultura e permitindo que implementos agrícolas possam ser acoplados embaixo da sua estrutura, aproximando-se dessas características a veículos como o Digital Farmhand (Agerris, 2021) e a plataforma Thorvald (Grimstad et al., 2017).

- Sistema de tração e direção.

O sistema é composto pela conexão pivô conectada através de um acoplamento giratório com o suporte móvel do chassi (P_2). A conexão, sustenta o módulo tração-direção, que ao mesmo tempo suporta a unidade motriz e o pneu. Para o melhor entendimento da suas funcionalidades, analisa-se os graus de liberdade do módulo tração-direção. O módulo possui 4 graus de liberdade no ponto P_1 (Figura 67):

1. D_z – Translação do sistema devido à resistência ao rolamento entre o pneu e a superfície de trabalho.
2. D_y – Translação causada pela variação manual da bitola no suporte móvel do chassi.
3. R_{yz} – Rotação do pneu acionado pelo atuador elétrico linear (Sistema de direção).
4. R_{xz} – Rotação do pneu agrícola causado pelo acionamento do motor elétrico (Sistema de tração).

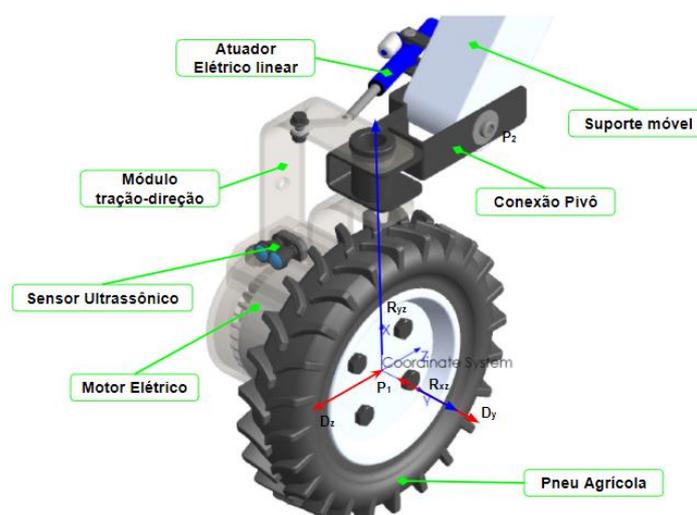


Figura 67 – Módulo de tração-direção e seus graus de liberdade.
Fonte: Elaboração própria.

A configuração do sistema de tração-direção independente nas 4 rodas, oferece grandes vantagens ao veículo agrícola. Além de tornar possível a regulagem das dimensões mencionadas anteriormente, proporciona uma ótima distribuição da massa do veículo (Figura 68), se localizando no centro do chassi (simetria).

Encontra-se este tipo de configuração como a de maior aplicação nos desenvolvimentos disponíveis no mercado. Além do BoniRob (AMAZONEN-WERKE, 2022), 9 dos 12 veículos apresentados na Tabela 10 e 11 apresentam o sistema de tração e direção nas 4 rodas.

Quanto a sua mobilidade, o sistema de direção fornece ao pneu uma faixa de rotação com relação ao eixo vertical de 90° . Por outro lado, o veículo tem a capacidade de rotação sobre seu próprio centro de massa (Figura 68), sendo possível sua manobrabilidade em espaços reduzidos.

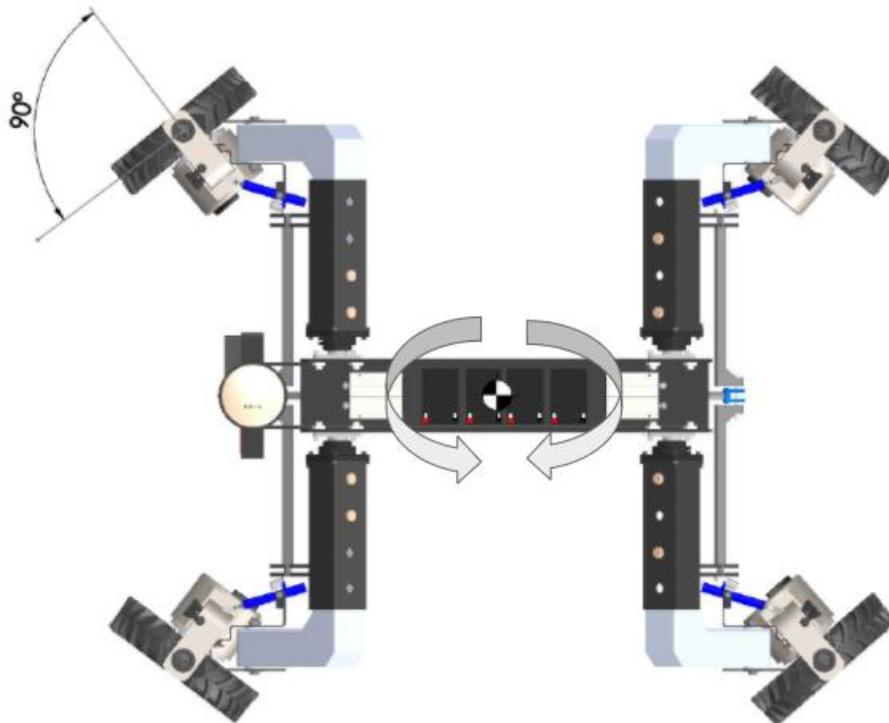


Figura 68 – Manobrabilidade do veículo.
Fonte: Elaboração própria.

- Outras características:

Em relação à segurança, o veículo dispõe de sensores ultrassônicos em cada módulo de tração para a detecção de possíveis obstáculos no caminho do veículo. Além disso, possui um interruptor manual secundário caso o veículo não possa ser desligado automaticamente.

Para seu carregamento, incorpora um ponto de carregamento SAE J1772 amplamente compatível com carregadores disponíveis no mercado. Complementarmente, apresenta um painel solar na parte superior do veículo para aproveitar a energia solar disponível durante o dia.

Finalmente, o veículo embarca uma antena GPS (sensor inercial incorporado) para o posicionamento do veículo no campo (Latitude, longitude, direção, velocidade e aceleração), uma CPU para o processamento dos dados obtidos através de um algoritmo de controle, e uma tela de entrada ao usuário para a configuração e regulação do veículo.

Apresentam-se as características antes mencionadas na Figura 69.

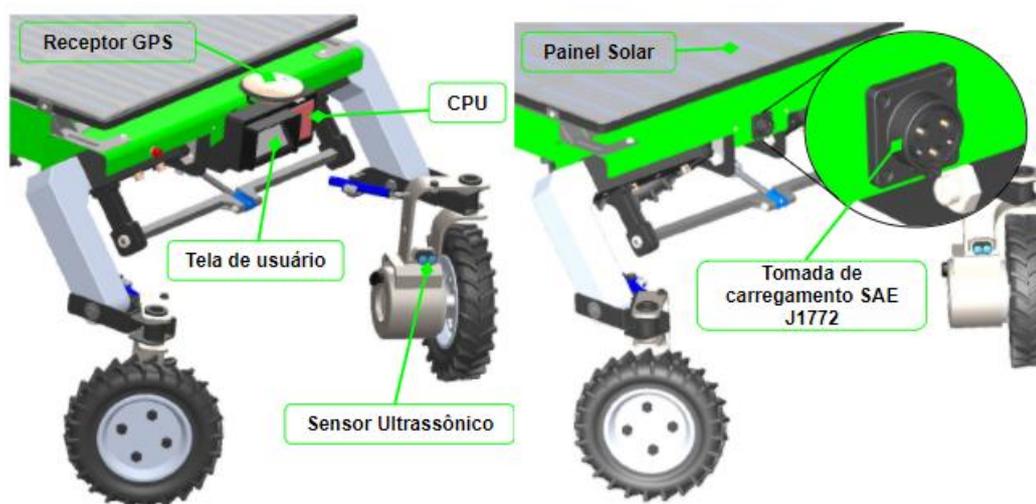


Figura 69 – Outras características do veículo agrícola.
Fonte: Elaboração própria.

As características apresentadas na concepção selecionada atingem 6 dos 22 requisitos de projeto definidos nas tabelas 19, 20 e 21, entre os quais se tem: raio de giro do veículo, distribuição da massa por eixo, faixa de variação da bitola, vão livre do solo regulável, distância entre eixos variável e diferentes modos de recarga do veículo. Acredita-se que os demais requisitos do projeto poderão ser atingidos ao se prosseguir no desenvolvimento do projeto além da Fase Conceitual a qual foi o objetivo desse estudo.

7 Custo estimado da concepção selecionada

A seguir na Tabela 27, descrevesse o custo estimado do veículo agrícola levando em consideração unicamente os elementos descritos na estrutura funcional

do veículo agrícola, e os materiais selecionados para projetar o chassi do veículo. O custo expressado representa o que poderia ser o valor mínimo para sua fabricação, porém, não leva em consideração os custos relacionados com:

- Mão de obra (Corte, torneamento, soldagem, fresagem, e outros processos de manufatura)
- Desenvolvimento e programação do algoritmo de controle do veículo.
- Parafusos e porcas.
- Cabeamento e enlases elétrico.
- Rolamentos, acoplamentos e caixas redutoras, etc.

Os itens mencionados anteriormente poderiam elevar consideravelmente o custo de fabricação do veículo agrícola, em função da disponibilidade no Brasil ou a necessidade de importação desde o exterior.

Tabela 26 – Valor mínimo estimado para a fabricação da concepção selecionada.

Itens	Elementos	Custo (USD)*	Custo (R\$)	Nº	Total (R\$)
1	Tomada + Conversor + BMS + Bateria	2.280,00	11.454,15	2	22.908,30
2	Painel solar + controlador de carga	--	909,15	2	1.818,30
3	CPU	--	2.521,00	1	2.521,00
4	Tela de usuário		1.399,00	1	1.399,00
5	Receptor GPS	2.199,00	11.047,23	1	11.047,23
6	Sensor Ultrassônico	--	3.500,03	4	14.000,12
7	3kW Motor Driver	260,00	1.306,17	4	5.224,68
8	3kW Motor	288,00	1446,84	4	5.787,36
9	Roda Aro 4.00 - 8	--	156,38	4	625,52
10	Pneu Tobatta 4.00 - 8	--	214,20	4	856,80
11	Atuador elétrico linear	149,99	753,51	4	3.014,04
12	Viga W 200 x 46,1 (6mts)	--	2.068,26	1	2.068,26
13	Tubo Quadrado 110 x 110 (6mts)	--	726,70	1	726,70
14	Tubo Quadrado 110.6 x 110.6 (6mts)	--	726,70	1	726,70
15	Chapa Grossa. e=8.00mm	--	1.348,39	2	2.696,78
16	Chapa Fina. e=1.50mm	--	557,77	2	1.115,54
				Total	76.536,33

Fonte: Elaboração própria.

* Taxa de câmbio Dólar Americano para Reais = R\$5.02. Data: 19, março. 2022.

O valor total apresentado na Tabela 29, supera em aproximadamente 92% o valor de R\$40.000 estabelecido como o custo de fabricação nas especificações de projeto (Tabela 18). Esse elevado custo em parte deve-se a dependência de importação de alguns componentes, mas talvez no futuro esse custo se reduza com

a maior disseminação de desenvolvimento e utilização desses componentes em outros veículos agrícolas e urbanos.

8 Contextualização do uso dos AEVs na Agricultura Familiar.

No Brasil, socialmente e economicamente existe uma grande desigualdade quanto à renda dos agricultores familiares, onde fatores como a categoria de propriedade (arrendada ou própria), seu tamanho (pode variar entre 5 e 110 hectares) e o tipo de atividade agrícola que desempenha, influenciam sobre as finanças do responsável por gerenciar a unidade agrícola familiar.

Com base nisso, é pouco provável que um agricultor familiar no país consiga adquirir o veículo proposto neste trabalho ou os listados na revisão da literatura, porque o veículo somente será utilizado durante o período de safra ou por poucos meses durante o ano, ficando fora de serviço no período de entressafra, representando um alto custo para as finanças do agricultor familiar em relação ao ROI (Retorno do investimento). No entanto, existem modelos comerciais que poderiam superar esse problema.

Antes de entrar nos modelos comerciais, é importante esclarecer que tecnicamente, os veículos listados na revisão e o projetado nesse estudo apresentam algumas das funcionalidades desejadas pelos agricultores familiares as quais foram obtidas nos questionários aplicados.

Conforme as Tabelas 11 e 12, e a descrição na seção 6 da proposta selecionada, os veículos oferecem características de engenharia como: adaptabilidade a diferentes tipos de culturas através da regulagem das suas dimensões, oferecem ótima manobrabilidade (e.g.: sistema de tração e direção independente para cada roda), trem de força elétrico, são leves e robustos, e com “hardware” e “software” embarcados para o seu posicionamento. Porém, quanto maior automação e regulagens, maior é a quantidade de subsistemas que devem ser desenvolvidos e instalados, fazendo com o custo do produto fique fora da capacidade financeira de alguns agricultores.

As empresas fabricantes dos veículos, listados na revisão de literatura dispõem de recursos financeiros e investidores os quais podem arcar com os custos de implementação de alta tecnologia nos seus veículos. Todos eles, são veículos oferecidos no mercado Europeu, onde a agricultura em pequena escala possui um

alto valor de retorno de renda e existem modelos comerciais que tornam possível a aquisição ou uso por parte do agricultor.

Devido ao seu alto valor, a maioria dos veículos são comercializados no modelo de comodato (Equipment as a Service — EaaS), onde o usuário aluga o serviço através de pagamentos mensais ou por safra, para depois ser retornado ao fabricante, ou ser enviado para outro agricultor, sendo esse modelo comercial amplamente usado para oferecer serviços que envolvem a indústria 4.0 na agricultura, possibilitando aos agricultores o acesso a tecnologias e ferramentas sem a necessidade de adquirir a propriedade do veículo.

O modelo EaaS faz mais sentido desde o ponto de vista econômico porque transfere o risco de manutenção e atualização do veículo para o fornecedor e elimina as despesas iniciais de capital para o agricultor, pois o serviço é adquirido no modelo comercial OPEX¹⁴ (Operating expenses). A seguir, explicam-se suas vantagens:

- Custos: no modelo de negócio EaaS, os clientes finais pagam uma assinatura mensal pelo uso do veículo. Além disso, o preço pode depender do nível de utilização e incluir custos de serviço e apoio ao agricultor, pelo que as unidades agrícolas familiares não precisam contratar pessoal altamente qualificado.
- Manutenção OEM: quando se compra um equipamento ou maquinaria de uma OEM (Original Equipment Manufacturer), geralmente vem com um programa de serviço de manutenção anexado a ela. Os técnicos de manutenção utilizarão peças e componentes OEM, que se alinhem com as normas de garantia que acompanhem o equipamento. Em resumo, a manutenção é realizada pelo fornecedor.
- Flexibilidade de uso e aplicação: Os serviços EaaS são escaláveis e podem ser facilmente ajustados à medida da necessidade do agricultor, recebendo constantes atualizações do veículo em relação a sua estrutura, implementos, “hardware” ou “software”, sem adicionar custo ao usuário.

Finalmente, se o objetivo é introduzir tecnologias ou máquinas agrícolas como a projetada neste estudo, o modelo EaaS é ótimo para propriedades agrícolas familiares, lhe permitindo se concentrar no crescimento dos seus negócios, ao invés de fazer grandes investimentos em máquinas e serviços especializados.

¹⁴ Despesas operacionais (OPEX): São as despesas do dia-a-dia que uma empresa realiza para manter o seu negócio operacional, incluindo-se o aluguel de máquinas e equipamentos entre esse tipo de despesas.

Principalmente em se tratando de tecnologias novas e em fase de desenvolvimento, aprimoramento e consolidação. Atualmente, tecnologias emergentes tais como a Inteligência Artificial e a Internet das Coisas tornam um modelo EaaS economicamente viável.

9 Conclusões

A metodologia de Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), permitiu obter, analisar, e hierarquizar as necessidades dos clientes em relação a um veículo autônomo elétrico para a agricultura familiar na região de Pelotas e localidades vizinhas, sendo possível, a posterior definição das especificações de projeto e seus valores meta. Destacam-se especificações como autonomia das baterias, custo de fabricação, potência dos motores elétricos e precisão do sistema de orientação como as mais relevantes. As especificações de projeto definidas, possibilitaram o estabelecimento da estrutura funcional do veículo conformada por funções parciais como, o sistema de colheita, armazenamento e transmissão de potencial elétrico, o sistema de controle, o sistema de direção e finalmente, o sistema de tração.

Conclui-se que a concepção gerada através da ferramenta CAD Solidworks atingiu o objetivo de desenvolver o projeto conceitual de um veículo autônomo para adaptação futura de diferentes tipos de equipamentos agrícolas para uso em unidades agrícolas familiares, na qual, detalham-se os atributos geométricos e de funcionamento.

Devido a ser a etapa inicial do desenvolvimento (projeto conceitual), ainda se tem incertezas sobre a performance de algumas especificações de projeto estabelecidas no trabalho. Requisitos como autonomia das baterias e seu tempo de recarga, consumo de energia elétrica, velocidade de operação, raio de giro e precisão da navegação do veículo; só poderão ser avaliados durante a fase de teste do protótipo do veículo e dependerão principalmente da velocidade e eficiência dos motores elétricos selecionados, tipo e capacidade das baterias, precisão do sistema de navegação, e o método computacional de controle do veículo. No entanto, a estrutura funcional da concepção selecionada oferece uma solução inicial sobre a forma de como os componentes poderiam ser arranjados para atingir o objetivo da função global, neste caso, se posicionar e se deslocar pela linha de plantio com suficiente autonomia de trabalho.

Finalmente, conclui-se que o trabalho é o início de um projeto de longo prazo focado no desenvolvimento de sistemas autônomos para agricultura familiar, seguido da construção do protótipo (Projeto preliminar e detalhado) e produção de pesquisas associadas.

10 Recomendações para trabalhos futuros

O veículo autônomo elétrico, sendo parte de um desenvolvimento multidisciplinar que envolve engenheiros mecânicos, eletrônicos e agrícolas, apresenta uma grande oportunidade para a realização de diferentes trabalhos de pesquisa com o fim de integrar soluções na concepção gerada no trabalho. A seguir listam-se sugestões de trabalhos futuros que deveriam ser desenvolvidos.

- Desenho, validação e fabricação de um chassi regulável; geração da estrutura do veículo e sua carenagem mediante o uso de software CAD (ie. Solidworks, Inventor, etc.). Validação do desenho aplicando ferramentas CAE como ANSYS ou ABAQUS para o dimensionamento e a seleção de materiais através da análise de tensões e deformações sobre a estrutura, usando o método dos elementos finitos (FEA). Fabricação da estrutura usando processos de manufatura.
- Cálculo da potência requerida para o funcionamento do veículo, seleção dos motores e demais componentes elétricos, cálculo e dimensionamento do banco de baterias, desenho ou seleção dos circuitos de controle dos motores e de carregamento das baterias.
- Projeto de navegação autônoma do veículo para seu posicionamento; avaliação sobre a arquitetura de navegação autônoma que melhor se adapte as necessidades dos clientes e aos requisitos do projeto. Seleção do sistema de navegação (GPS, visão por câmeras, sensores ultrassônicos, sensores inerciais, etc.). Estabelecimento do método computacional para o processamento de dados (Filtro Kalman, transformada de Hough, segmentação de imagens, etc.) com o fim de calcular o posicionamento, direção e estado do veículo. Escolha da metodologia de navegação autônoma (Localização e Mapeamento Simultâneos, planejamento de rotas, detecção da linha da cultura, detecção de obstáculos, ou *dead reckoning*) para o controle dos motores de tração e o sistema de direção.
- Desenvolvimento ou adaptação de implementos agrícolas; pesquisa de campo sobre o uso potencial do veículo autônomo elétrico, preferivelmente para tratamentos culturais (mecânico ou térmico) ou a aplicação de produtos fitossanitários. Criação detalhada da estrutura funcional do implemento.
- Estratégias para a adoção e aquisição do veículo por parte dos agricultores; estudo de viabilidade econômica, benefícios e oportunidades para os agricultores e métodos de aquisição ou concessão para seu uso no campo.

11 Referências

AGERRIS. **The Digital Farmhand**. Disponível em: <https://agerris.com/the-digital-farmhand/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

ALBIERO, D.; GARCIA, A.; KIYOSHI, C.; LEME, R. Swarm Robots in Mechanized Agricultural Operations: Roadmap for Research. In: **Brazilian Congress of Automatic**. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.06732>. Acesso em: 16 março 2022.

AUGEAN ROBOTICS. **Burro Platform**. Disponível em: <https://burro.ai/robots/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ALIASAND, A.; JOSH, F. Selection of Motor for an Electric Vehicle: a review. **Materials Today: Proceedings**, V. 24, p. 1804-1815, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.605>. Acesso em: 22 março. 2021.

AMAZONEN-WERKE. **BoniRob**. Disponível em: <https://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=13763>. Acesso em: 26 fev. 2022.

BACK, N.; OGLIARI, A. DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008. 648 p.

BERCHIN, I.; NUNES, N.; SILVA, W.; ALVES, G.; RODRIGUES, F.; FORNASARI, V.; SIMA, M.; OSÓRIO, J. The contributions of public policies for strengthening family farming and increasing food security: The case of Brazil. **Land Use Policy**, v. 82. p. 573-584, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.043>. Acesso em: 18 julho. 2020.

BERTOLDI, T. **Projeto informacional e conceitual de uma máquina para aplicação localizada de fertilizantes em pomares**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agricultura familiar) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/123456789/2381>.

BIZIMANA, J.; RICHARDSON, J. Agricultural technology assessment for smallholder farms: An analysis using a farm simulation model (FARMSIM). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 156, p. 406-425, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.038>. Acesso em: 18 julho. 2020.

Brasil. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasília: Presidência da República, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm. Acesso em: 16 nov. 2020.

Brasil. **Portaria SIT nº197, de dezembro de 2010**. Norma Regulamentadora - 12. Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Brasília: Presidência da República, 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt->

[br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12.pdf](https://www.aneel.gov.br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12.pdf).

Acesso em: 04 jul. 2021.

Brasil. **Resolução Normativa nº 819, de 19 de junho de 2018**. Procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEEL), 2018. Disponível em:

<https://www.aneel.gov.br/estacoes-de-recarga-de-veiculos-eletricos>. Acesso em: 04 jul. 2021.

CASTRO, A.; VALLE, S.; MORAES, S. **Juventude rural, agricultura familiar e políticas de acesso à terra no Brasil**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2013. Disponível em: <https://mst.org.br/download/juventude-rural-agricultura-familiar-e-politicas-de-acesso-a-terra-no-brasil/>. Acesso em: 14 fev. 2021.

CHAN, C.C., CHAU, K.T. **Modern Electric Vehicle Technology**. New York: Oxford University Press, 2001.

CHENGALVA, M., BLETSIS, R., MOSS, B. Low-Cost Autonomous Vehicles for Urban Environments. **SAE International Journal of Commercial Vehicles**, v.1, n. 1, p. 516-526, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4271/2008-01-2717>. Acesso em: 5 set. 2020.

CHRIST, R; WERNLIN, R. Navigational Sensors. In: CHRIST, R; WERNLIN, R. **The ROV Manual. A user guide for remotely vehicles**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. 17, p. 454 – 474. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098288-5.00017-8>. Acesso em: 15 jun. 2021.

CULTIVAR MÁQUINAS. **Anuário de Tratores 2021/22**. Pelotas, n. 5, 2021. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/acervo/ler/650>.

CROWDER, R. **Electric Drives and Electromechanical Systems: applications and control**. Southampton: Butterworth-Heinemann, 2020.

DE CARLO, M.; MANTRIOTA, G. Electric vehicles with two motors combined via planetary gear train. **Mechanism and Machine Theory**, v. 148, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103789>. Acesso em: 18 março. 2022.

DIOUF, B.; PODE, R. Potential of lithium-ion batteries in renewable energy. **Renewable Energy**, v. 76, p. 375-380, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.058>. Acesso em: 16 março. 2021.

ECOROBOTIX. **AVO Weeding Robotic Platform**. Disponível em: <https://www.ecorobotix.com/en/avo-autonomous-robot-weeder/>. Acesso em: 23 maio. 2020.

ECOROBOTIX. **Smart Weeding**. 2020. Disponível em: <https://www.ecorobotix.com/en/autonomous-robot-weeder/>. Acesso em: 23 maio. 2020.

EMBRAPA. **Módulos Fiscais**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl/modulo-fiscal>. Acesso em: 20 junho. 2020.

EUSPA. **What is GNNS**. Disponível em: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnns>. Acesso em: 01 jul. 2021.

FARMDROID. **The Product Sheet FD20**. Disponível em: <https://farmdroid.dk/en/product/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

FERNANDES, F. **Desenvolvimento de uma Roçadora para Limpeza Mecânica sob a Copa de Pomares**. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

FERREIRA, M., MACHADO, A., REIS, Â., MEDEIROS, F., MACHADO, R. O trator adequado à sua realidade. **Revista A Granja**, p. 33-35, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337103729_O_trator_adequado_a_sua_realidade. Acesso em: 04 jul. 2021.

FGV ENERGIA. **Electric Vehicles**. Centro de Estudos de Energia da Fundação Getulio Vargas, v.4, n. 7, 2017. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/en/publicacao/electric-vehicles-booklet>. Acesso em: 10 out. 2020.

FLOURISH PROJECT. **University of Freiburg**. Disponível em: <http://flourish-project.eu/>. Acesso em: 28 fev. 2022.

FONSECA, J. **Sistematização do Processo de Obtenção das Especificações de Projeto de Produtos Industriais e Sua Implementação Computacional**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis.

FREITAS, R. **Estudo de uma estrutura em pórtico para utilização em um veículo agrícola autônomo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Manufatura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18145/tde-19012011-131359/pt-br.php>. Acesso em: 06 jun. 2020.

GODOY, E. **Projeto e construção de um veículo terrestre autônomo para uso na agricultura**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas. Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis. Disponível em: <https://www1.ufmt.br/ufmt/un/secao/15151/pgeagri>. Acesso em: 02 jun. 2020.

GOMES, I.; PEREZ, Y.; SUOMALAINEN, E. Coupling small batteries and PV generation: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 126, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109835>. Acesso em: 22 março. 2021.

GRIMSTAD, L.; FROM, P. Thorvald II – a Modular and Re-Configurable Agricultural Robot. **IFAC-PapersOnline**, v. 50, n. 1, p. 4588 – 4593, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1005>. Acesso em: 5 set. 2020.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems. GPS, GLONASS, Galileo and more**. New York: Springer, 2008.

HUGHES, A.; DRURY, B. **Electric Motors and Drives: fundamentals, type and applications**. Oxford: Newnes, 2019.

HIGUTI, V.; VELÁSQUEZ, A.; VALVERDE, G.; OLIVEIRA, G.; CARRASCO, C.; RISARDI, J.; MAGALHÃES, D.; BECKER, M.; MILORI, D. **Robotic Platform with Passive Suspension to Be Applied on Soybean Crops: Initial Results**. In: 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering. 2017, Curitiba. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323207520_Robotic_Platform_with_Passive_Suspension_to_Be_Applied_on_Soybean_Crops_Initial_Results. Acesso em: 05 set. 2020.

IBGE. **Censo agro 2017. Resultados definitivos**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 02 maio. 2021.

JUNG, Sung Geun. **Solar Charging System and Method for Vehicle**. Depositante: Hyundai Motors Company; KIA Motors Corporation. US N° 2021/0078428-A1. Depósito: 4 de março de 2020. Concessão: 18 de março de 2021.

LAMBRECHT, E.; FERREIRA, M.; ARDAIS, F.; VIEIRA, A. Desenvolvendo uma estrutura funcional de linha de adubação para semeadora de plantio direto. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 6, p. 509-516, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/710/pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

MACHADO, A.; VIEIRA, A.; & MACHADO, R. **Tratores para agricultura familiar: guia de referência**. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/19083770-Tratores-para-agricultura-familiar-guia-de-referencia.html>. Acesso em: 05 jul. 2021.

MASCOR. **Etarob - Field Robot for ecological weed management in vegetable production**. Disponível em: <https://maskor.fh-aachen.de/en/projects/ETAROB/>. Acesso em: 10 fev. 2021.

MEDEIROS, F. **Desenvolvimento de uma semeadora adubadora para plantio direto com sistema de sulcador rotativo acoplado em tratores de rabiças**. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/2964>.

MELO, R.; ANTUNES, L.; DAHER, S.; VOGT, H.; ALBIERO, D.; TOFOLI, F. Conception of an electric propulsion system for a 9-kW electric tractor suitable for family farming. **IET Electric Power Applications**, v.13, n.12, p. 1993-2004, 2019.

Disponível em: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-epa.2019.0353>. Acesso em: 21 jan. 2021.

MEHRDAD, E., YIMIN, G., ALI, E. **Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory, and Design**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2010. Disponível em: <http://ceb.ac.in/knowledge-center/e-book.php>. Acesso em: 5 set. 2020.

MOREIRA, J.; CARNEIRO, B.; DRUMOND, C.; FIGUEIREDO, C.; BRITO, A.; RAGGIO, R. A saúde dos trabalhadores da atividade rural no Brasil. **Cadernos da Saúde Pública**, v. 31, n. 8, p. 1698-1708, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/csp/v31n8/0102-311X-csp-31-8-1698.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

NAIO TECHNOLOGIES. **Dino - Weeding robot for large-scale vegetable crops**. Disponível em: <https://www.naio-technologies.com/en/dino/>. Acesso em: 23 maio. 2020.

NAIO TECHNOLOGIES. **OZ - The farming assistant for time-consuming and arduous tasks**. Disponível em: <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>. Acesso em: 23 maio. 2020.

NIMEQ. **Núcleo de Inovação em Máquinas e Equipamentos Agrícolas. Quem somos**. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/nimeq/quem-somos/>. Acesso em: 01 jul. 2021.

NIEMCZEWSKI, B. **Desenvolvimento de chassi de uma semeadora-adubadora de quatro linhas para tratores de baixa potência**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/123456789/2378>.

OLDONI, A. **Colhedora beneficiadora de cebolas para a agricultura familiar: Projeto informacional e conceitual**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/123456789/2378>.

OLSON, E. Lead market learning in the development and diffusion of electric vehicles. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3279-3288, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.318>. Acesso em: 18 março. 2022.

OJEDA, E. **Projeto informacional e conceitual de uma colhedora de alho para áreas declivosas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

PIXELFARMING ROBOTICS. **Robot One Platform**. Disponível em: <https://pixelfarmingrobotics.com/assets/documents/robot-one.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PRONAF. **Sistema Informatizado Mais Alimentos**. Disponível em: <http://www.maisalimentos.mda.gov.br/consulta-publica/resultado-pesquisa-avancada>. Acesso em: 01 jun. 2021.

RACELOGIC VBOX AUTOMOTIVE. **Inertial Measurement Unit**. Disponível em: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/inertial-measurement-unit>. Acesso em: 20 jun. 2021.

RATNAPARKHI, S.; KHAN, S.; ARYA, C.; KHAPRE, S.; SINGH, P.; DIWAKAR, M.; SHANKAR, A. Smart agriculture sensors in IOT: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 33, n. 8, p. 5734-5739, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.138>. Acesso em: 18 junho. 2021.

REICHERT, L.; REIS, Â.; DEMENECH, C. **Máquinas para agricultores familiares. Ideias, inovações e criações apresentadas na 3ª Mostra de máquinas e inventos**. Brasília: Embrapa, 2015.

REIS, Â. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – CTC-EMC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

REIS, Â.; MACHADO, A.L.T.; GOMES, M.; ANDERSSON, N.; MACHADO, R.L.T. A multicriteria model to assess tractors used in family agriculture. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p.127-137, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400012>. Acesso em: 10 dez. 2021.

RIEDNER, L.; MAIR, C.; SIMEK, W.; BRUDERMANN, T.; STERN, T. E-mobility in agriculture: differences in perception between experienced and non-experienced electric vehicle users. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, p. 55-67, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1615-2>. Acesso em: 22 set. 2021.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.; AMARAL, D.; TOLEDO, J.; SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D.; SCALICE, R. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAE J1715. **Hybrid Electric Vehicle (HEV) and Electric Vehicle (EV) Terminology**. 2014. Ground Vehicle StandardJ1715_201410. Disponível em: https://saemobilus.sae.org/content/J1715_201410/. Acesso em: 5 set. 2020.

SAE J3016. **Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles**. 2018. Ground Vehicle StandardJ3016_201806. Disponível em: https://saemobilus.sae.org/content/J3016_201806/. Acesso em: 15 jun. 2021.

SAE J1772. Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler. 2017. Ground Vehicle StandardJ1772_201710. Disponível em: https://www.sae.org/standards/content/j1772_201710/preview/. Acesso em: 5 set. 2020.

SALHI, I.; POREBA, M.; PIRIOU, E.; GOUET-BRUNET, V.; OJAIL, M. Multimodal Localization for Embedded systems: A review. In: YANG, M.; ROSENHAHN, B.; MURINO, V. **Multimodal scene understanding. Algorithms, Applications and Deep Learning**. Cambridge: Academic Press, 2019. 8, p. 199 – 278. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128173589000147>. Acesso em: 15 jun. 2021.

SANGUESA, J.; TORRES-SANZ, V.; GARRIDO, P.; MARTINEZ, F.; MARQUEZ, J. A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. **Smart Cities**, v. 4, n. 1, p. 372-404, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>. Acesso em: 10 julho. 2021.

SILVA, D. **Máquina de tração humana para o controle de plantas espontâneas através da aplicação de calor: Projeto Informacional e conceitual**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SHLOSSER, J.; DORNELLES, M.; DALLMEYER, A.; MATTAR, D. Conformidade de acessos e de saídas de postos de operação em tratores agrícolas segundo norma NBR/ISO 4252. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 74-81, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/DZLNXKWVKMJFDFDKrzGNJrp/?lang=pt>. Acesso em: 15 set. 2020.

SHUBBAK, Mahmood. Advances in solar photovoltaics: technology review and patent trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 115, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109383>.

SCHMIDT, Steffen. Use of battery swapping for improving environmental balance and price-performance ratio of electric vehicles. **eTransportation**, v.9, n. 3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2021.100128>. Acesso em: 10 julho. 2021.

SOARES, A. **Tratores para agricultura familiar: Proposta de um modelo multicritério de avaliação considerando os requisitos de ergonomia e segurança**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

SPAGNOLO, R. **Máquina para o controle de plantas concorrentes**. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas

STEFANELLO, G. **Semeadora de tração humana: Projeto informacional e conceitual**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

TABILE, R.; GODOY, E.; PEREIRA, R.; TANGERINO, G.; PORTO, A.; INAMASU, R. Design and development of the architecture of an agricultural mobile robot.

Engenharia Agrícola, v. 31, n. 1, pp. 130-142, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n1/v31n1a13.pdf>. Acesso em: 02 maio. 2020.

TEXAS INSTRUMENTS. **TI Designs. Level 1 and Level 2 Electric Vehicle Service Equipment (EVSE) Reference Designs**. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/pdf/tidub87>. Acesso em: 10 julho. 2021.

TEIXEIRA, S. **Projeto conceitual de uma semeadora de milho e feijão voltada para a agricultura familiar de base ecológica**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

The University of Sydney. **Digital Farmhand**. Disponível em: <https://www.sydney.edu.au/engineering/our-research/robotics-and-intelligent-systems/australian-centre-for-field-robotics.html>. Acesso em: 24 maio. 2020.

TROJAN BATTERY. **Selecting the Proper Lead-Acid Technology**. Disponível em: http://www.trojanbattery.com/pdf/Trojan_AGMvsFloodedvsGel_121718.pdf. Acesso em: 22 março. 2021.

UM-NOOR, F.; PADMANABAN, S.; MIHET-POPA, L.; MOLLAH, M.; HOSSAIN, E. A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. **Energies**, v. 10, n. 8, p. 1287-1369, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/8/1217>. Acesso em: 18 jun. 2021.

UMANS, STEPHEN. **Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. New York: Mc Graw Hill Education, 2014.

VARGAS, J.; ALSWEISS, S.; TOKER, O.; RAZDAN, R.; SANTOS, J. Overview of Autonomous Vehicles Sensors and Their Vulnerability to Weather Conditions. **Sensors**, v. 21, p. 5397, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21165397>. Acesso em: 18 jun. 2021.

VEGA, T. **Encanteirador-depositor de fertilizantes mineral e orgânico para tratores de baixa potência: Projeto informacional e conceitual**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/spaf/dissertacoes-e-teses/2015-2/>.

VELASCO-HERNANDEZ, G.; YEONG, J.; BARRY, J.; WALSH, J. Sensor and sensor fusion technologies in autonomous vehicle: A review. **Sensors**, v. 21, n. 6, p. 2140, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/6/2140>. Acesso em: 18 jun. 2021.

VIANNA, L. **Projeto de dosador de sementes com dupla saída para milho e feijão**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/123456789/2378>.

VOGT, H.; MELO, R.; DAHER, S.; SCHMUELLING, B.; ANTUNES, F.; ALVES, P.; ALBIERO, D. Electric tractor system for family farming: Increased autonomy and economic feasibility for an energy transition. **Journal of Energy Storage**, v. 40, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102744>. Acesso em: 10 julho. 2021.

VOGT, H.; SCHMUELLING, B; ALBIERO, D. Electric tractor propelled by renewable energy for small-scale family farming. **IEEE - 2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies**, p. 1-4, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8362344>. Acesso em: 18 março. 2022.

VOGT, HANS HEINRICH. **Electric tractor system propelled by solar energy for small-scale family farming in semiarid regions of the northeast of brazil**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrícolas. Universidade Federal de Ceará. Pelotas.

UNOOSA. **Global Navigation Satellite Systems (GNSS)**. Disponível em: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/gnss/gnss.html>. Acesso em: 15 jun. 2021

World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100. **UNITED NATIONS**, New York, 21 junho. 2017. Department of Economic and Social Affairs. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>. Acesso em: 30 junho. 2021.

VITIBOT. **Bakus S – Vineyard Robot**. Disponível em: <https://vitibot.fr/vineyards-robots-bakus/vineyard-robot-bakus-s/>. Acesso em: 10 fev. 2021.

XAG COMPANY. **XAG R150 Unmanned Ground Vehicle**. Disponível em: https://www.xa.com/en/xauv_r150. Acesso em: 01 março. 2021.

Apêndice A

Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar Núcleo de Inovação em Máquinas e Equipamentos Agrícolas	No
Discente Pós-graduação Jean Carlos Isidro Rosales Dr. Prof. Roberto Lilles Tavares Machado Dr. Prof. Antônio Lilles Tavares Machado	__ / __ / ____

DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO AUTÔNOMO ALIMENTADA PELA ENERGIA ELÉTRICA PARA USO EM UNIDADES AGRÍCOLAS DE ESCALA FAMILIAR

Objetivo: A pesquisa a seguir tem como objetivo obter informações específicas sobre as necessidades dos agricultores familiares em relação ao uso de um veículo elétrico autônomo para fins agrícolas e, assim, projetar e construir a máquina adequada que atenda a essas necessidades.

1. Localização:

Cidade: _____ UF: _____ CEP: _____

2. Número de hectares cultiváveis:

- 01 - 05 hectares 06 - 10 hectares 11 - 20 hectares
 21 - 40 hectares 41 - 64 hectares

3. Principais alimentos produzidos:

- Cereais – grãos Verduras (Alface, couve, repolho, etc.)
 Legumes (Abóbora, beterraba, pimentão, etc.)
 Frutas (Abacaxi, maçã, banana, etc.) Fumo Cana de açúcar
 Outros _____

4. Você cultiva em:

- Fileiras Canteiros
 Outros métodos: _____

5. Quais são as dimensões dos canteiros e espaçamentos entre linhas?

6. Qual o tipo de tração utilizada na sua propriedade?

- Humana
 Animal Espécie: _____ Quantidade: _____
 Trator 4 rodas Trator de rabiças (Tipo Tobatta)
 Outras formas de tração _____

() Colhedora. Especifique: _____

() Outro uso: _____

15. Levando em consideração o esforço de tração necessário para o deslocamento pelo campo, o plataforma elétrica deve ter:

() Tração nas 4 rodas

() Tração no eixo dianteiro

() Tração no eixo traseiro

() Sistema de esteiras de borracha

16. Quanto tempo você consideraria ótimo com relação à montagem, ligamento da máquina e a configuração inicial antes das operações?

() < 5 mín

() 5 -10 mín

() 11 - 20 mín

() > 20 mín

17. Na sua opinião, para que a máquina elétrica tenha um ótimo funcionamento para os agricultores, é preciso de: (assinalar um máximo de 5 alternativas).

- Ser fácil de trocar partes
- Ter manutenção simples
- Ser fácil de manusear e regular
- Ter ótima resistência mecânica
- Ter boa proteção contra poeira e chuva
- Ter baixo consumo de energia elétrica
- Ter força de tração suficiente
- Ter baixo custo de produção
- Ser fácil de transportar
- Ter boa manobrabilidade
- Ter alta autonomia de trabalho (Baterias)
- Proporcionar segurança ao usuário

18. Quais outras características você acredita que uma plataforma elétrica autônoma deveria ter para um ótimo funcionamento durante as atividades agrícolas

19. Levando em consideração o custo das máquinas e implementos agrícolas disponíveis no mercado, qual faixa de preço você considera que a máquina deveria ter?

() < 5.000

() 5.000 - 10.000

() 10.000 - 20.000

() 20.000 - 40.000

() > 40.000

20. Faixa de idade do proprietário da unidade agrícola familiar:

() 18 - 30 anos

() 31 - 40 anos

() 41 - 60 anos

() > 60 anos

21. Você tem filhos? Qual é a escolaridade deles?

- ensino Fundamental I (1ª à 4ª série)
- ensino Fundamental II (5ª à 9ª série)
- ensino Médio
- ensino superior

22. Caso o seu filho(s) tenha mais de 18 anos, quais das seguintes atividades ela ou ele auxilia na propriedade?

- Administração Compras e vendas Pesquisador(a)
- Manutenção ou operador de máquinas
- Outras atividades _____

23. Qual é sua renda mensal aproximada em reais (R\$)?

- 5.000 - 10.000 11.000 - 20.000 20.000 - 40.000
- 40.000 - 50.000 > 50.000

Apêndice B

Universidade Federal de Pelotas.
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar
Núcleo de Inovação em Máquinas e Equipamentos Agrícolas

Mestrando: Jean Carlos Isidro Rosales
Orientador: Dr. Prof. Roberto Lilles Tavares Machado
Coorientador: Dr. Prof. Antônio Lilles Tavares Machado

DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO AUTÔNOMO ALIMENTADO POR ENERGIA ELÉTRICA PARA USO EM UNIDADES AGRÍCOLAS DE ESCALA FAMILIAR

Objetivo: A pesquisa a seguir tem como finalidade obter informações específicas sobre as características construtivas que um veículo elétrico autônomo multifuncional deve ter para fins agrícolas e, assim, desenvolver o projeto informacional e conceitual de uma máquina que atenda às necessidades dos agricultores familiares.

1. Informação básica

1.1. Nome: _____

1.2. Cidade: _____ Estado: _____

1.3. Formação Acadêmica: _____

1.2. Atuação Profissional: _____

1.3. Empresa/Universidade: _____

1.4. Departamento: _____

2. Perguntas técnicas sobre algumas características construtivas importantes para o desenvolvimento de um veículo elétrico autônomo multifuncional para os agricultores familiares.

2.1. No momento da escolha de uma máquina para atividades agrícolas. Qual seria sua preferência de escolha quanto ao sistema de propulsão?

- Elétrico
- Combustão interna (ICE)
- Gás natural
- Híbrido (ICE - Elétrico)

2.2. Na sua opinião, quais são os principais inconvenientes que você pensa na hora de escolher uma máquina elétrica para tarefas agrícolas?

2.3. Dentro do segmento da agricultura familiar. Quais as operações durante a linha do tempo das culturas que precisariam do incremento de uso de veículos elétricos autôpropelidos?

- Preparo do solo
- Semeadura e adubação
- Tratamentos culturais (capina, pulverização, etc.)
- Colheita
- Transporte

2.4. Levando em consideração o esforço de tração necessário para o deslocamento pelo campo, o veículo autônomo deveria ter:

- Tração nas 4 rodas
- Tração no eixo dianteiro
- Tração no eixo traseiro
- Sistema de esteiras de borracha

2.5. Quanto ao raio de giro que o veículo poderia enfrentar no campo. Qual o sistema de direção seria mais preciso?

- Sistema de direção nas 4 rodas (Motores elétricos)
- Sistema de direção nas rodas dianteiras (Arquitetura Ackermann)
- Sistema de direção nas rodas traseiras (Arquitetura Ackermann)
- Outro: _____

2.6. Qual dos seguintes sistemas de carregamento elétrico seria o melhor para ambientes agrícolas?

- Estação de painel solar (Off Grid)
- Estação de ponto de carga conectada à rede comercial.
- Estação de carregamento híbrido (On Grid / Off Grid)
- Painéis solares integrados na máquina

2.7. Com qual dos seguintes sistemas para orientação e controle de rota de uma máquina autônoma você acredita seria o mais conveniente para a agricultura familiar.

- Unidades de medição inercial (IMU) e sistemas de posicionamento global (GPS)
- Medidor de distância a laser (LiDAR)
- Sistema de guia por câmeras
- Controle remoto (Comunicação pelo WIFI ou Bluetooth)

2.8. Qual hardware de entrada para a configuração do veículo elétrico autônomo multifuncional seria mais fácil de usar para os agricultores.

- Smartphone
- Tablet ou notebook
- Painel de controle com botões na máquina
- Outro: _____

2.9. Quanto tempo você consideraria ótimo com relação à montagem, ligamento da máquina e a configuração inicial antes das operações

- < 5 min
- 5 -10 min
- 11 - 20 min
- > 20 min

2.10. Qual a periodicidade de manutenção que você acredita que deve ter uma máquina elétrica agrícola?

- Diariamente após a operação
- Semanal
- Mensal
- Trimestral
- Semestral

2.11. Na sua opinião, para que o veículo elétrico autônomo multifuncional tenha um ótimo funcionamento para os agricultores, é preciso de: (assinalar um máximo de 5 alternativas).

- Ser fácil de trocar partes
- Ter manutenção simples
- Ser fácil de manusear e regular
- Ter ótima resistência mecânica
- Ter boa proteção contra poeira e chuva
- Ter baixo consumo de energia elétrica
- Ter força de tração suficiente
- Ter baixo custo de produção
- Ser fácil de transportar
- Ter boa manobrabilidade
- Ter alta autonomia de trabalho (Baterias)
- Proporcionar segurança ao usuário

2.12. Quais outras características que você acredita que o veículo elétrico autônomo multifuncional deveria ter para um ótimo funcionamento durante as atividades agrícolas?

2.13. Levando em consideração o custo das máquinas e implementos agrícolas disponíveis no mercado, qual faixa de preço você considera que o veículo elétrico autônomo multifuncional deveria ter?

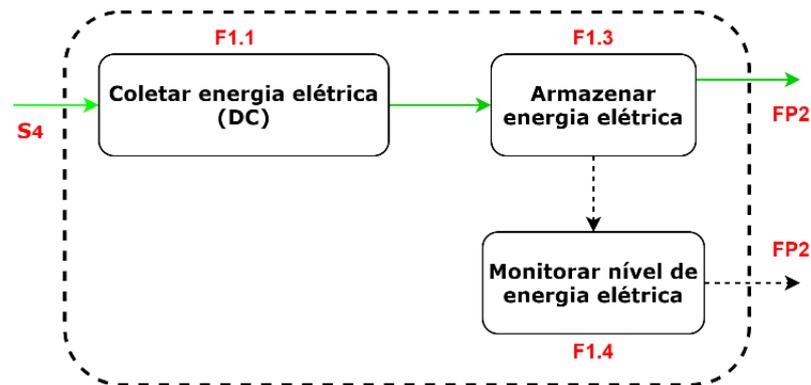
- < R\$5.000
- R\$5.000 – R\$10.000
- R\$10.000 – R\$20.000
- R\$20.000 – R\$40.000
- > R\$40.000

Apêndice C

Função parcial FP1 – Suprir potencial elétrico aos sistemas.

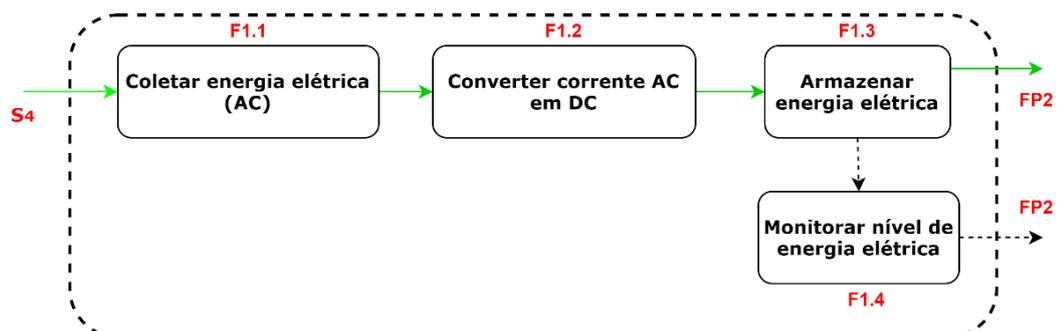
- FP1a – Carregamento DC (Corrente contínua)

O carregador encontra-se fora do veículo, especificamente na EVSE (Estação de recarga) a qual encarga-se de converter a corrente alternada (AC) da rede elétrica comercial em corrente contínua (CC) para o armazenamento na bateria (F1.3) por meio da tomada (F1.1) instalada no veículo. Neste caso, o veículo só pode ser carregado em estações que forneçam corrente contínua. Por outra parte, a bateria deve conter um sistema (BMS) para sua gestão e monitoramento (F1.4) onde são obtidos os valores de entrada e saída de energia da bateria e assim, determinar o consumo de energia elétrica.



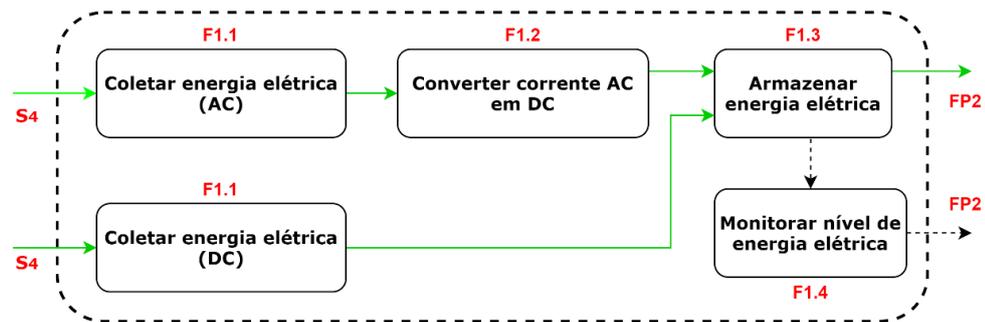
- FP1b – Carregamento AC (Corrente alternada)

Neste caso, a estrutura da função é semelhante à FP1a, porém, o carregador localiza-se dentro do veículo (F1.2). A função do “*onboard charger*” é converter a corrente alternada (AC) da rede elétrica comercial em corrente contínua (CC) para o armazenamento na bateria (1.3).



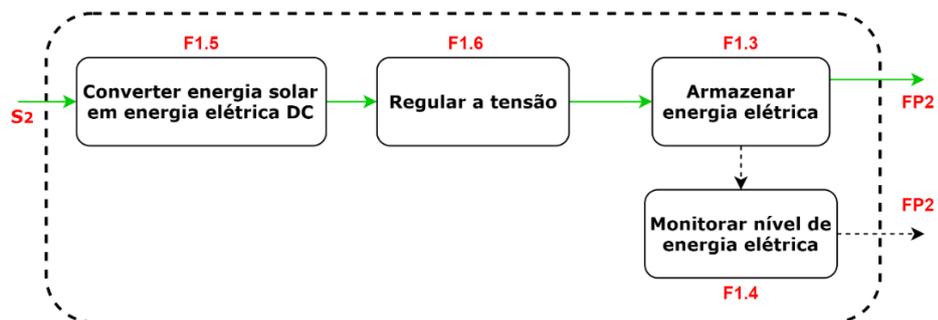
- FP1c – Carregamento AC e DC (Corrente alternada ou contínua)

A FP1c descreve a combinação das funções parciais FP1a e FP1b, apresentando-se assim, uma forma de carregamento mais flexível em referência ao tipo de EVSE disponível. No entanto, o veículo deve incorporar os dois sistemas por separado.



- FP1d – Carregamento auxiliar (Células solares)

A função FP1d descreve um sistema de carregamento auxiliar para as funções parciais anteriormente descritas. O sistema é conformado por um arranjo de células solares (F1.5) que transforma a energia solar em energia elétrica (corrente contínua), e um conversor DC/DC (F1.6) para a regulação da tensão de entrada na bateria (F1.3).

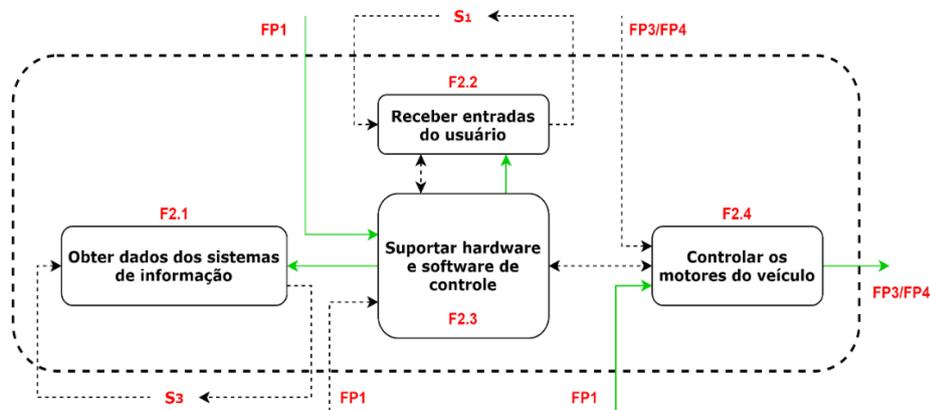


Função parcial FP2 – Processar e fornecer sinais de acionamento

- FP2a – Fusão de sensores e modelo algorítmico para planejamento de rota.

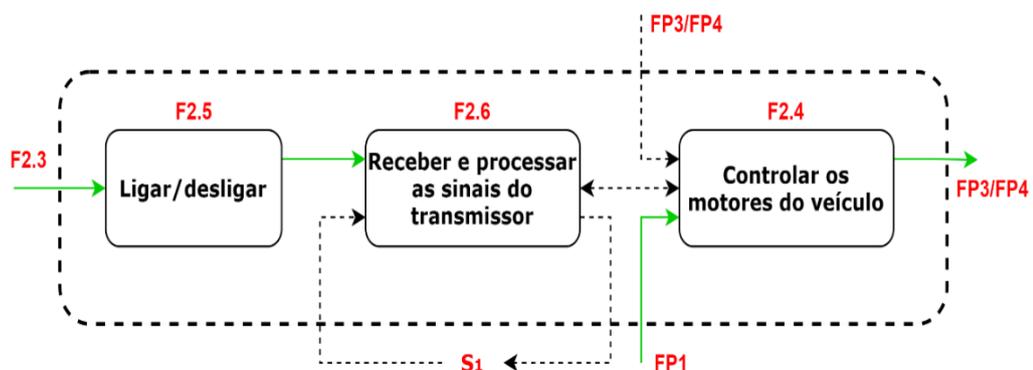
A função FP2a descreve um sistema conformado pela fusão de sensores para a obtenção e interpretação de dados (F2.1) obtidos dos sistemas de informação. Para a entrada desses dados, é necessário o uso de sensores como:

câmeras, radares, sensores ultrassônicos, lasers, receptores GNSS ou sistemas de medição inercial. Além disso, a função (F2.2) encarga-se de receber as entradas do usuário por meio de uma tela ou painel de controle. A função F2.3, é representada pelo hardware que contém a unidade de processamento central (CPU), que ao mesmo tempo integra o software com o algoritmo encarregado de processar as variáveis e criar uma rota segura até o ponto objetivo. Por último, o algoritmo fornece sinais de saída para os drivers (F2.4) responsáveis pelo acionamento e a regulação da corrente dos motores elétricos.



- FP2b – Sistema de controle remoto auxiliar

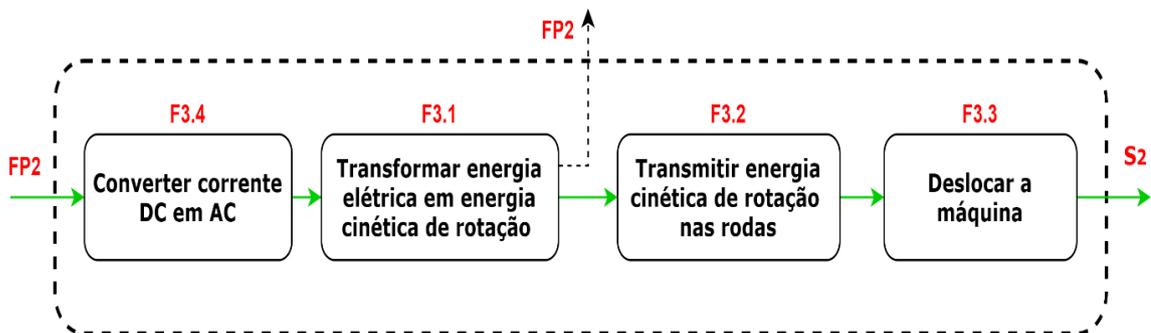
A função FP2b pode-se usar como um sistema único de controle do veículo, ou como um sistema auxiliar da função parcial FP2a por meio da ligação do sistema (F2.5). É composto por um receptor localizado no veículo (F2.6) que recebe sinais de um rádio controle externo. Finalmente, o receptor fornece a sinais de controle aos drivers (F2.4) para a operação do veículo.



Função parcial FP3 – Transmitir potencial elétrico ao módulo de tração

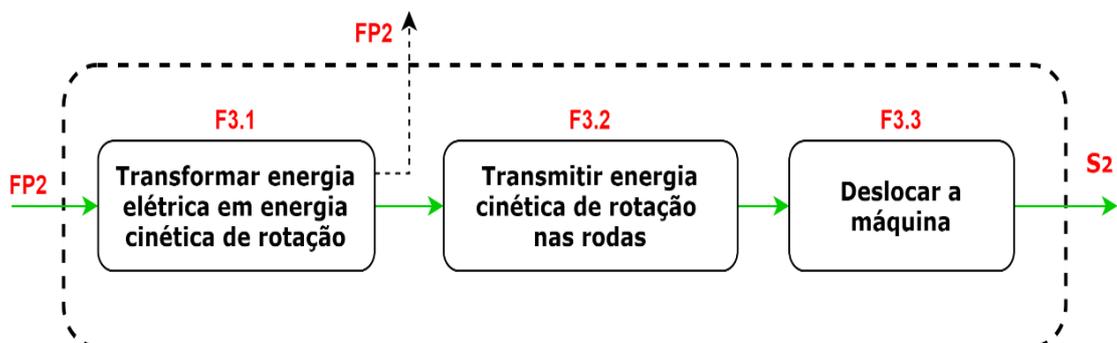
- FP3a – Módulo de tração com motor de corrente alternada (AC)

O módulo de tração é composto por um Inversor (F3.4) responsável de converter a corrente direta que provem da bateria em corrente alternada necessária para o funcionamento do motor elétrico (F3.1). A energia cinética de rotação resultante da transformação é conduzida por meio de um sistema de transmissão de potência (F3.2) constituído por eixos de transmissão, caixa de engrenagens, correias ou polias, e finalmente transferidas ao sistema de rodas ou esteiras (F3.3) responsáveis de gerar a energia cinética de translação que permite o deslocamento da máquina.



- FP3b – Módulo de tração com motor de corrente contínua (DC).

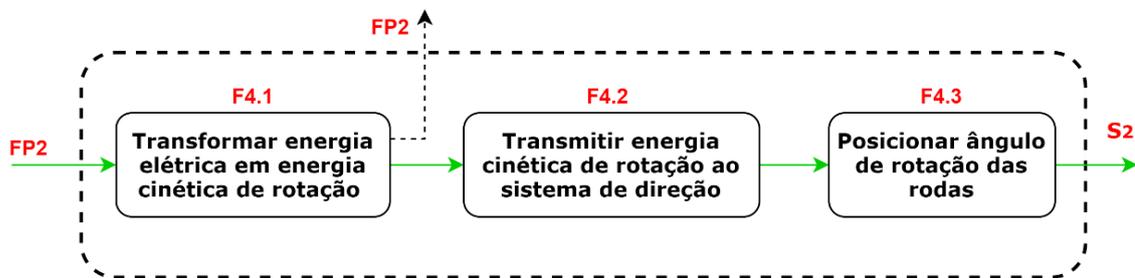
O funcionamento da função FP3b é semelhante à função FP3a, porém, devido ao uso dos motores de corrente contínua, o módulo de tração não precisa do inversor (F3.4) e a energia elétrica é fornecida diretamente desde a bateria ao motor elétrico (F3.1).



Função parcial FP4 – Ativar ou desativar o módulo de direção

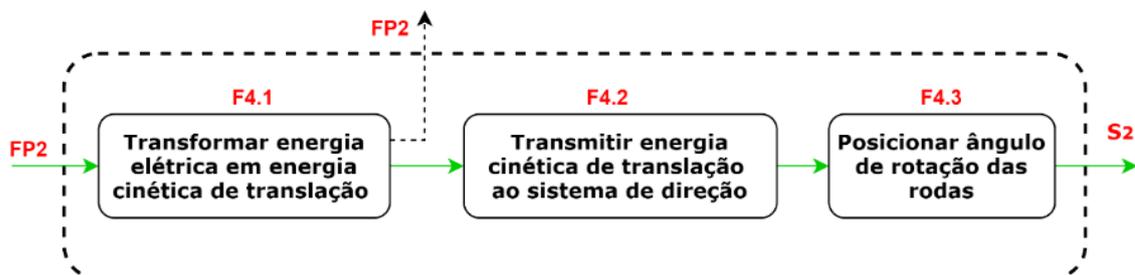
- FP4a – Módulo de direção com motor elétrico.

O módulo de direção é acionado por um motor elétrico, de preferência motor de passos ou um servo motor (F4.1). A energia cinética de rotação gerada pelo motor elétrico é reduzida ou aumentada por um sistema de transmissão mecânico conformado por uma caixa de engrenagens ou um sistema pinhão-correias (F4.2). Finalmente, essa energia de rotação é transmitida para o posicionamento angular requerido nas rodas (F4.3).



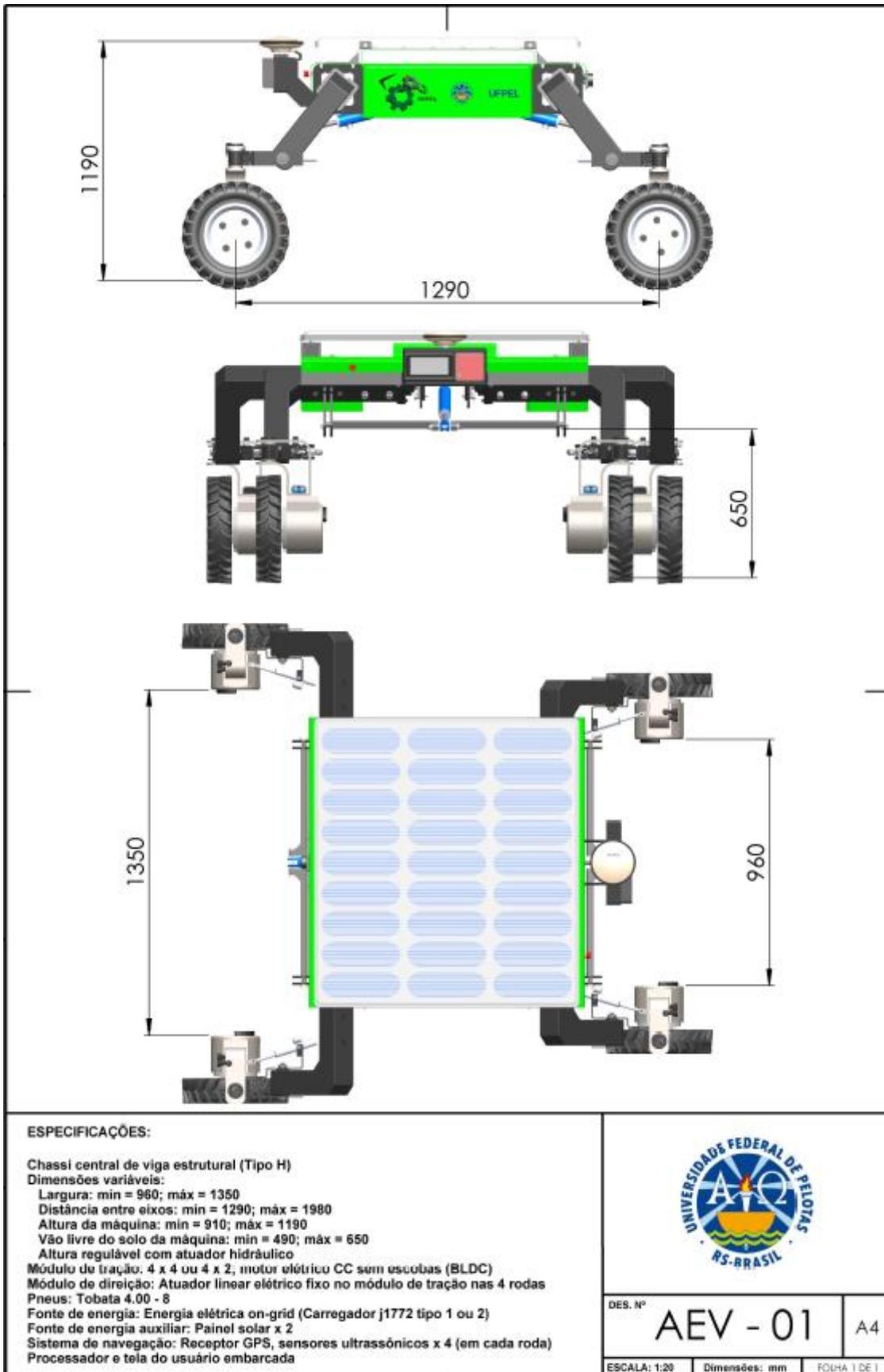
- FP4b – Módulo de direção com atuador elétrico linear.

Neste caso, o módulo de direção é acionado por um atuador pistão eletromagnético ligado por solenoide (F4.1). A energia cinética de translação gerada é transmitida por meio de um sistema de transmissão mecânico (F4.2) para as rodas (F4.3).

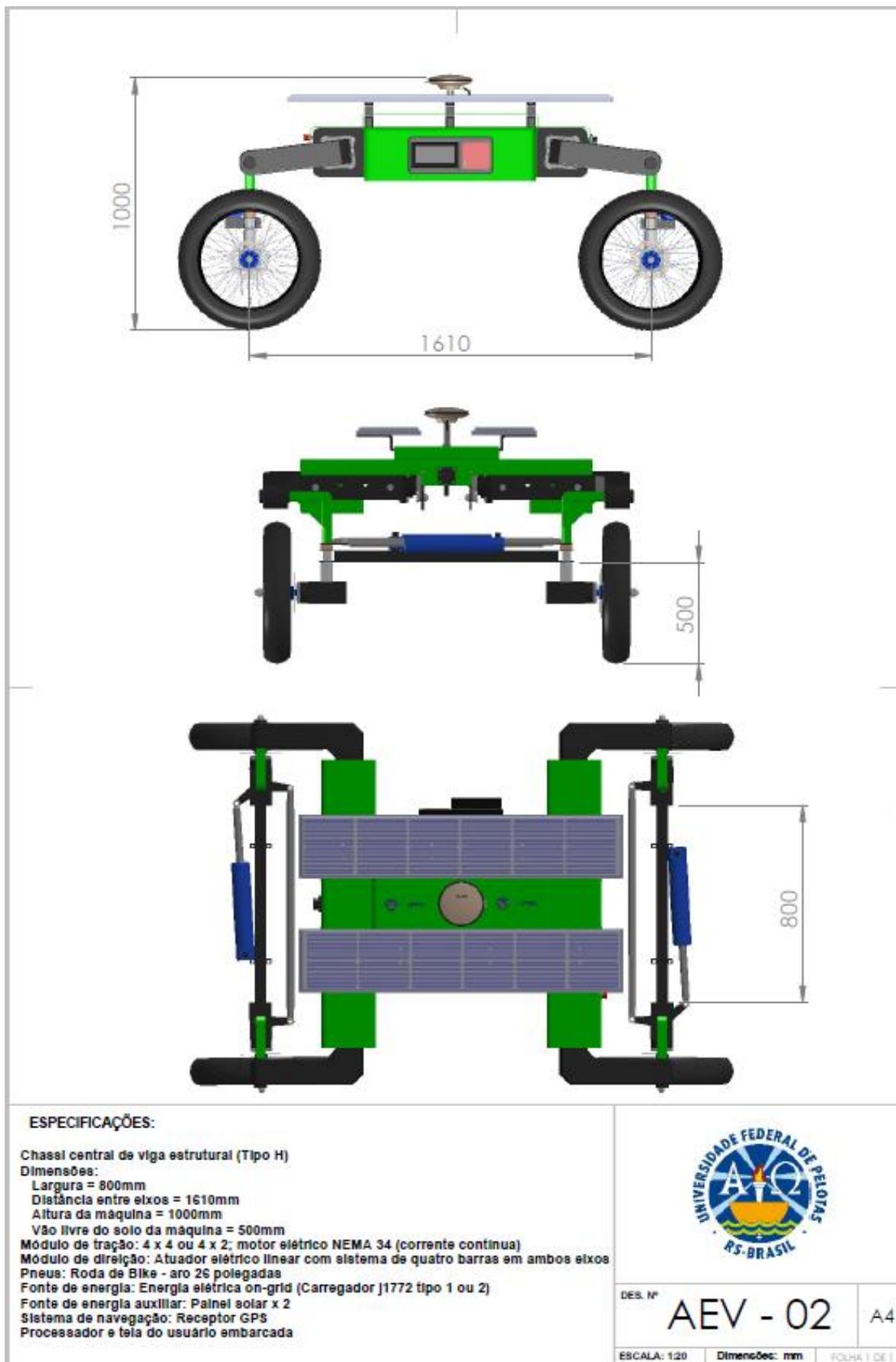


Apêndice D

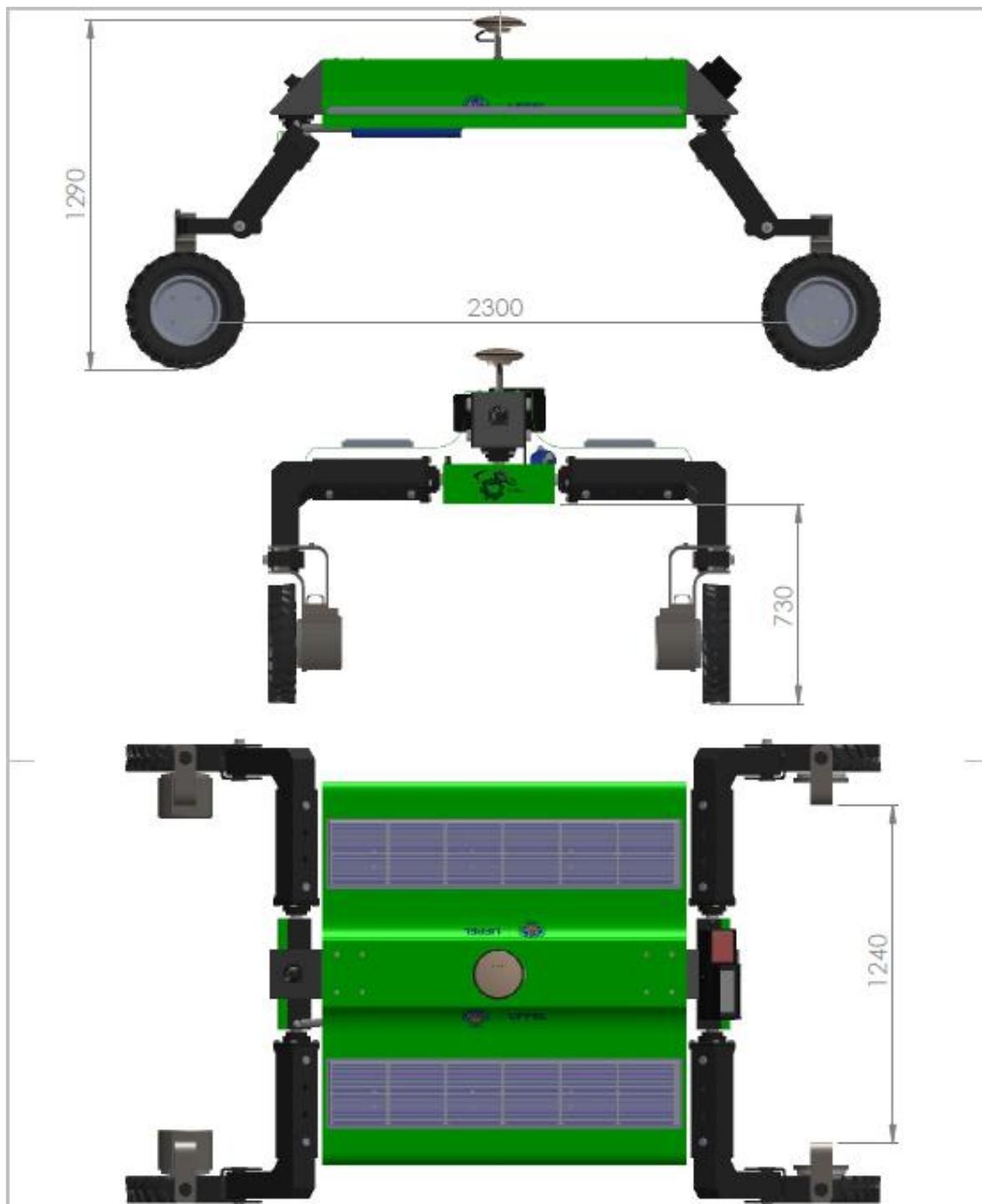
D1. Detalhes da concepção AEV - 01



D2. Detalhes da concepção AEV – 02



D3. Detalhes da concepção AEV – 03

**ESPECIFICAÇÕES:**

Chassi central de viga estrutural (Tipo H)

Dimensões variáveis:

Largura: min = 1240; máx = 1500

Distância entre eixos: min = 2300; máx = 2550

Altura da máquina: min = 1050; máx = 1290

Vão livre do solo da máquina: min = 550; máx = 730

Módulo de tração: 4 x 2 (Motor CC BDLC - Tração dianteira)

Rodas traseiras giram livremente sobre o eixo vertical

Módulo de direção: Atuador elétrico linear no eixo dianteiro

Pneus: Tobatta 4.00 - 8

Fonte de energia: Energia elétrica on-grid (Carregador j1772 tipo 1 ou 2)

Fonte de energia auxiliar: Painel solar x 2

Sistema de navegação: Receptor GPS

Processador e tela do usuário embarcada



DES. Nº

AEV - 03

A4

ESCALA: 1:20

Dimensões: mm

FOLHA 1 DE 1

Apêndice E

Tabela 6898 - Número de estabelecimentos agropecuários com produção e Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, tipo de produção, classes de valor da produção e grupos de área total				
Variável - Número de estabelecimentos agropecuários com produção (Unidades)				
Classes de valor da produção - Total				
Grupos de área total - Total				
Ano - 2017				
Tipologia - Agricultura familiar - sim				
Município	Tipo de produção			
	Vegetal	Vegetal - lavouras permanentes	Vegetal - lavouras temporárias	Vegetal - horticultura
Arroio do Padre (RS)	388	11	365	130
Canguçu (RS)	6.089	410	5.979	184
Capão do Leão (RS)	63	-	61	4
Morro Redondo (RS)	333	81	304	62
Pelotas (RS)	2.242	559	1.828	516
Fonte: IBGE - Censo Agropecuário				

Apêndice F

Tabela 6869 - Número de estabelecimentos agropecuários com tratores e Número de tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, potência dos tratores, sexo do produtor e classe de idade do produtor		
Variável - Número de tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários (Unidades)		
Sexo do produtor - Total		
Classe de idade do produtor - Total		
Ano - 2017		
Tipologia - Agricultura familiar - sim		
Município	Potência dos tratores	
	Menos de 100 cv	De 100 cv e mais
Arroio do Padre (RS)	419	6
Canguçu (RS)	3.636	87
Capão do Leão (RS)	58	9
Morro Redondo (RS)	249	4
Pelotas (RS)	2.355	45
Fonte: IBGE - Censo Agropecuário		

Apêndice G

Tabela 5457 - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes	
Variável - Valor da produção (Mil Reais)	
Ano - 2020	
Produto das lavouras temporárias e permanentes - Total	
Município	
Arroio do Padre (RS)	25.159
Canguçu (RS)	350.942
Capão do Leão (RS)	76.708
Morro Redondo (RS)	11.147
Pelotas (RS)	216.865
Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal	