



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**JOSÉ VAGNER LOURENÇO MONTEIRO**

**DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE UMA COLHEDORA AUTOMOTRIZ**  
**PARA ERVAS MEDICINAIS**

**FORTALEZA**

**2020**

JOSÉ VAGNER LORENÇO MONTEIRO

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE UMA COLHEDORA AUTOMOTRIZ PARA  
ERVAS MEDICINAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Carlos Alessandro Chioderoli.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M777d Monteiro, José Vagner Lourenço.  
Desenvolvimento do protótipo de uma colhedora automotriz para ervas medicinais / José Vagner Lourenço Monteiro. – 2020.  
73 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.
1. Ervas medicinais. 2. Colhedora automotriz. 3. Protótipo. I. Título.

CDD 664

---

JOSÉ VAGNER LOURENÇO MONTEIRO

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE UMA COLHEDORA AUTOMOTRIZ PARA  
ERVAS MEDICINAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção ao Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Flávio Hiroshi Kaneko  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

*Ofereço aos meus pais José Braz Monteiro e Maria Valdeci Lourenço da Silva Monteiro que abdicaram de muitos desejos para que eu seguisse os caminhos da educação.*

*A minha esposa Stefânia Pereira Fernandes que sempre apoiou em minhas decisões e que sempre esteve ao meu lado nas horas mais difíceis.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me protegido durante essa jornada. Sua presença sempre foi alento e força para prosseguir.

Aos meus pais José Braz Monteiro e Maria Valdeci Lourenço da Silva Monteiro por terem ensinado a ser honesto e entender que o caminho é a educação. E que com muitas dificuldades me fizeram ser um grande homem.

Aos meus irmãos por todo carinho e experiências vividas, em especial ao meu irmão Francisco Belmino Monteiro Neto que por muitas vezes acordou na madrugada para me dar carona para casa, e que ajudou diretamente na construção do protótipo.

A minha esposa Stefânia Pereira Fernandes, amor da minha vida, pela parceria, paciência e compreensão, pois não foi fácil estar ausente nesses últimos anos.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

Ao Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli, meu orientador, pessoa simples e cuidadosa, que soube depositar sua confiança, obrigado por partilhar seus conhecimentos e amizade.

Ao professor Dr. Daniel Albiero, homem de grande sabedoria e que abriu as portas para o aprendizado, obrigado por tudo.

Aos Profs. da área de concentração em Engenharia de Sistemas Agrícolas (ESA) Drs. Carlos Alessandro Chioderoli, Leonardo Almeida Monteiro, Daniel Albiero e Danilo Roberto Loureiro pelos conhecimentos transmitidos nas aulas e fora delas.

Aos Profs. Luís de França Camboim Neto, Thales Vinícius de Araújo Viana e Fernando Bezerra Lopes pelos ensinamentos nas aulas.

A Fazenda Amway Nutrilite do Brasil por disponibilizar todos os recursos técnicos, humanos e financeiros para o desenvolvimento do protótipo. Um lugar espetacular para desenvolvimento das habilidades profissionais e humanas.

A grande parceira que tenho a honra de trabalhar ao lado Ana Talita Adeodato Carvalho Pontes, obrigado por oportunizar os caminhos da vida acadêmica em minha história.

Ao amigo Antônio Rubens Oliveira Junqueira pela compreensão e pelas orientações ao longo de minha carreira profissional, obrigado pela confiança durante o desenvolvimento desse projeto.

Aos amigos do Núcleo Integrado de Mecanização e Projetos Agrícolas (NIMPA) em especial a Elivânia Maria Sousa Nascimento e Marcelo Queiroz Amorim que desde o início foram pessoas muito especiais, obrigado por tudo.

Aos demais amigos que estiveram em algum momento nos trabalhos experimentais e aulas: Cássia Peres, Walisson Silveira, Diniz Vieira, Aline Praciano, Isabela Lima, Jean Oliveira, Márcio Porfírio, Wilson Sousa, Leonardo Brito, Luis Santos, Fidel Barroso, Albertina Monteiro e Evanaldo Lopes.

Aos amigos da última disciplina, Alessandro Maia, Beijamim de Assis, Arimatéia Oliveira, Kênio Lima e Nítalo Machado, pelas conversas e piadas na cantina da tia Graça.

Ao Técnico em eletroeletrônica Francisco Jeyson de Oliveira Sá pela sua contribuição no desenvolvimento do protótipo, obrigado meu amigo.

Ao operador de máquinas agrícolas, João Batista Damasceno de Lima que contribuiu na construção do protótipo.

E a todos que de alguma forma contribuíram diretamente e indiretamente nesse projeto.

*Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.*

*Airton Senna*

## RESUMO

A utilização das ervas medicinais é bastante antiga, sendo que muitos desses vegetais são utilizados de forma empírica, passada de geração em geração. Com o aumento do consumo desses vegetais, grandes empresas estão investindo na produção e extração de fitoquímicos utilizados na prevenção e cura de enfermidades. Tendo como principal limitante o processo de colheita manual. Pretende-se com esse estudo desenvolver um protótipo de uma colhedora automotriz para ervas medicinais. A metodologia do projeto para o desenvolvimento do protótipo foi constituída de quatro fases: projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Para identificação das necessidades no desenvolvimento do protótipo foi utilizado como parâmetro à ausência de tecnologias para colheita de ervas medicinais no mercado brasileiro. O desenvolvimento do protótipo da colhedora foi conduzido no departamento de manutenção mecânica da Fazenda Amway Nutrilite do Brasil LTDA, localizada na cidade de Ubajara, Ceará. Como metodologias para direcionar o desenvolvimento de protótipo foi utilizado o Diagrama de Mudge e a Matriz da Casa da Qualidade (QFD). Para análise das possíveis estruturas do protótipo foi utilizada a matriz morfológica com o uso da análise de sistemas conhecidos e utilizado o software *Solidworks*® para análise estrutural do equipamento. Com todas as fases do projeto concluídas o resultado foi à obtenção um protótipo funcional que atende aos requisitos e necessidades dos clientes.

**Palavras-chave:** Ervas medicinais. Colhedora automotriz. Protótipo.

## ABSTRACT

The use of medicinal herbs is quite old, and many of these plants are used empirically, passed down from generation to generation. With the increase in consumption of these plants, large companies are investing in the production and extraction of phytochemicals used in the prevention and cure of diseases. The main limitation is the manual harvesting process. The aim of this study is to develop and evaluate a prototype of a self-propelled harvester for medicinal herbs. The project methodology for the development of the prototype was composed of four phases: informational, conceptual, preliminary and detailed project. To identify the needs in the development of the prototype it was used as a parameter the absence of technologies for medicinal herbs harvesting in the Brazilian market. The development of the harvester prototype was conducted at the mechanical maintenance department of Fazenda Amway Nutrilite do Brasil LTDA, located in the city of Ubajara, Ceará. The Mudge Diagram and the Quality House Matrix (QHM) were used as methodologies to direct prototype development. For the analysis of the possible structures of the prototype it was used the morphological matrix with the use of the analysis of known systems and *Solidworks*® software was used for the structural analysis of the equipment. With all phases of the project completed the result was a functional prototype that meets the requirements and needs of customers.

**Keywords:** Medicinal herbs. Automotive harvester. Prototype.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Colhedora tracionada automotriz.....	28
Figura 2	– Automotriz agrícola.....	29
Figura 3	– Colhedora tracionada automotriz.....	29
Figura 4	– Colhedora automotriz multifuncional.....	30
Figura 5	– Área do desenvolvimento do protótipo.....	32
Figura 6	– Fluxograma para desenvolvimento o projeto.....	33
Figura 7	– Representação da função global.....	35
Figura 8	– Diagrama de Mudge.....	40
Figura 9	– Matriz da casa da qualidade.....	42
Figura 10	– Estrutura de funções para colheita de ervas.....	44
Figura 11	– Colhedora automotriz em vista frontal.....	48
Figura 12	– Colhedora automotriz em vista lateral.....	48
Figura 13	– Colhedora automotriz em perspectiva isométrica.....	49
Figura 14	– Tensão de Von Misses chassi e reservatório.....	50
Figura 15	– Fator de segurança do chassi e reservatório (vista frontal).....	51
Figura 16	– Fator de segurança do chassi e reservatório (vista inferior).....	51
Figura 17	– Tensão de Von Misses do suporte e plataforma recolhadora.....	52
Figura 18	– Fator de segurança do suporte e plataforma recolhadora.....	53
Figura 19	– Desenvolvimento do chassi do protótipo.....	54
Figura 20	– Desenvolvimento do acoplamento para instalação do motor.....	55
Figura 21	– Plataforma recolhadora e suporte de sustentação e elevação.....	56
Figura 22	– Sistema de rodados.....	56
Figura 23	– Sistema de absorção de impactos.....	57

Figura 24 – Sistema de transporte.....	58
Figura 25 – Sistema de armazenamento.....	58

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Equipe de projeto.....	33
Tabela 2 – Identificação das necessidades dos clientes ao longo do ciclo de vida.....	37
Tabela 3 – Lista de atributos globais do projeto.....	39
Tabela 4 – Classificação dos requisitos dos clientes.....	41
Tabela 5 – Especificações meta do produto.....	43
Tabela 6 – Descrição geral das entradas e saídas de cada função.....	43

## **LISTAS DE QUADROS**

Quadro 1 – Matriz morfológica preliminar da colhedora automotriz.....	45
Quadro 2 – Matriz morfológica detalhada da colhedora automotriz.....	46

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	Ervas medicinais.....	19
2.2	Colheita mecanizada de ervas medicinais .....	21
2.3	Inovação tecnológica em máquinas agrícolas .....	22
2.4	Projetos de máquinas agrícolas.....	23
2.5	Patente da colhedora automotriz.....	27
2.5.1	<i>Fundamentos da invenção</i> .....	27
2.5.2	<i>Descrição da patente</i> .....	30
2.6	Análise de elementos finitos de máquinas.....	30
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Desenvolvimento do projeto.....	32
3.2	Metodologia de projeto.....	33
3.2.1	<i>Esclarecimento da tarefa</i> .....	34
3.2.2	<i>Projeto conceitual</i> .....	34
3.2.3	<i>Projeto preliminar</i> .....	36
3.2.4	<i>Projeto detalhado e construção do protótipo</i> .....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1	Esclarecimento da tarefa.....	37
4.1.1	<i>Necessidades dos clientes</i> .....	37
4.1.2	<i>Requisitos dos clientes</i> .....	37
4.1.3	<i>Requisitos do projeto</i> .....	39
4.1.4	<i>Especificação de projeto</i> .....	42
4.2	Projeto conceitual.....	43
4.2.1	<i>Matriz morfológica preliminar</i> .....	44
4.2.2	<i>Matriz morfológica detalhada</i> .....	45
4.3	Projeto preliminar.....	47
4.3.1	<i>Desenhos conceituais</i> .....	47
4.3.2	<i>Análise de tensão e deformação do protótipo</i> .....	49
4.4	Projeto detalhado.....	53

4.4.1	<i>Detalhamento dos serviços e materiais utilizados.....</i>	53
4.4.2	<i>Construção do protótipo.....</i>	54
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	59
6	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	60
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	61
	<b>APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	65
	<b>APÊNDICE B – DESENHO TÉCNICO DO CHASSI DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	66
	<b>APÊNDICE C – RESERVATÓRIO DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	67
	<b>APÊNDICE D – DESENHO TÉCNICO DA PLATAFORMA DE CORTE DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	68
	<b>APÊNDICE E – DESENHO TÉCNICO DO SUPORTE DA PLATAFORMA DE CORTE DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	69
	<b>APÊNDICE F – DESENHO TÉCNICO DA ESTEIRA LONGITUDINAL DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	70
	<b>APÊNDICE G – DESENHO TÉCNICO DA ESTEIRA TRANSVERSAL DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	71
	<b>APÊNDICE H – MASSA DA PLATAFORMA RECOLHEDORA E ESTEIRA LONGITUDINAL.....</b>	72
	<b>APÊNDICE I – MASSA DO CHASSI E RESERVATÓRIO DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	73
	<b>APÊNDICE J – MASSA DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	74
	<b>APÊNDICE K – CENTRO DE MASSA DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ.....</b>	75

## 1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola depende de muitos fatores, sendo custeada de forma bastante onerosa diante do mercado. Embora existam oscilações, nem tudo converge para a otimização dos resultados. Um dos fatores de maior custo é a colheita, que diante da pouca mão de obra requer decisões bem acertadas, favorecendo ou não a rentabilidade do negócio.

A colheita é o final de todo processo produtivo no campo. Nos primórdios da agricultura, toda operação de colheita era realizada manualmente. O processo de colheita manual, assim como os outros processos manuais são de baixa capacidade operacional e, exclusivamente viáveis em propriedades de pequeno porte.

A colheita manual depende na maioria das vezes grande quantidade de pessoas e também requer maior tempo despendido, sendo que algumas culturas requererem rapidez na sua colheita. Muitos desses trabalhos manuais também requerem posturas inadequadas que durante a jornada podem causar sérios riscos ao trabalhador.

No cultivo de ervas esses fatores ergonômicos também são apresentáveis de forma clara, fato que também gera percalços na condução dessas culturas. A grande maioria dessas ervas são produzidas tradicionalmente em vasos, quintais, pequenas unidades familiares, bem como nascem espontaneamente em lavouras causando impacto negativo na produção da cultura principal.

O cultivo de ervas medicinais em larga escala depende da otimização dos processos produtivos. Sendo que a colheita mecanizada pode demonstrar grande participação nos resultados dentro da unidade de produção. Com isso os sistemas de produção veem demonstrando maior concordância com o uso de processos mecanizados ao longo do desenvolvimento das culturas. Sendo que com o uso de uma colhedora a obtenção desses resultados torna-se quase que imediata.

É imprescindível o desenvolvimento e melhoramento de máquinas para otimização do processo produtivo. Diante de contextos econômicos mais desafiadores fazem-se necessários produtos que atendam o mercado e que diminuam os custos de produção. Aliado à mecanização agrícola a produção de ervas medicinais em larga escala, principalmente para o mercado farmacêutico pode ser algo promissor em vista dos novos conceitos e cuidados à saúde.

Muitas empresas estão expandindo mercados no ramo dos fármacos em detrimento à essa nova demanda de consumo e cuidados com o uso dos produtos naturais. Algumas espécies de ervas medicinais estão sendo produzidas no Brasil em maior escala. Empresas do

segmento estão investindo nessas culturas para essa nova tendência dos produtos saudáveis com base na extração dos seus princípios ativos ou fitoterápicos.

Empresas de médio e grande porte estão realizando pesquisas para a produção em larga escala desses vegetais e com isso a utilização de máquinas agrícolas é essencial para rentabilidade do negócio. Existem tecnologias agrícolas que possibilitaram nos últimos anos um acréscimo essencial ao perfeito funcionamento das cadeias produtivas. Com a implantação de processos mecanizados o produtor pode considerar maiores resultados.

Portanto, as inovações tecnológicas propiciam um novo cenário de rentabilidade, produção e produtividade. Sendo que o desenvolvimento de máquinas agrícolas torna-se imprescindível ao cenário atual. Desta forma, melhorias em máquinas principalmente em colhedoras de pequeno e médio porte, poderão representar um avanço significativo na redução de mão de obra e problemas de ordem ergonômica e trabalhista ao empregador.

As colhedoras são equipamentos que tem por função realizar o corte, alimentação, trilha, separação, limpeza e em algumas, armazenamento. Assim, o ganho de produção e produtividade pode ser positivo em relação ao processo de colheita manual na maioria das empresas do ramo nutracêutico e demais empresas que atuem no cultivo de vegetais de pequeno porte.

Há várias pesquisas voltadas para o desenvolvimento de máquinas agrícolas que possam minimizar os custos das propriedades agrícolas, principalmente máquinas que realizem o processo de colheita. Tendo em vista maior eficiência operacional, menores custos e maior segurança.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento e construção do protótipo de uma colhedora para ervas medicinais em atendimento à demanda de uma multinacional. Como objetivos específicos, espera-se: publicar a patente do protótipo, desenvolver as metodologias de projeto do protótipo da colhedora para ervas medicinais, avaliar as estruturas do protótipo por meio de software e construir o protótipo do projeto desenvolvido.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Ervas medicinais

A utilização de plantas medicinais faz parte da prática da medicina popular, constituindo um conjunto de saberes internalizados nos diversos usuários e praticantes (BRUNNING; MOSSENGI; VIANA, 2012). Nos últimos anos estudos com ervas medicinais oportunizaram grandes avanços do ponto de vista farmacológico.

Muitos desses estudos contribuíram com a ascensão desse mercado, possibilitando que grandes empresas investissem nesse segmento, principalmente pela extração dos fitoterápicos desses vegetais, normalmente encontrados na natureza ou cultivados em domicílios.

A utilização das mais variadas espécies vegetais, sobretudo com fins de tratamento, sintomas e cura de enfermidades, está associada desde o início da civilização, a partir do instante que a raça humana despertou para a consciência e iniciou um longo caminho de manipulação, modificação e adaptação dos recursos que o meio oferecia para seu próprio benefício (DI STASI *et al.*, 1996).

Permeando pela cultura popular, pelo misticismo e pela medicina folclórica, as ervas sempre estiveram como centro de cura de várias enfermidades. Isso ainda é presente nos mais variados contextos socioeconômicos, principalmente onde não existem condições mais favoráveis, sendo que muitos utilizam esses vegetais como forma de sanar tais enfermidades.

O Brasil é o país que concentra grande parte da biodiversidade mundial, em torno de 15% a 20%. Dentro dessa biodiversidade estão os vegetais que compõem a matéria-prima para produção dos fitoterápicos e demais medicamentos. Além disso, as plantas são utilizadas como medicina tradicional por grande parte de população.

Mesmo com o avanço da medicina mundial, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), muitos países em desenvolvimento recorrem a medicina tradicional para atenção primária, sendo que 80% da população recorrem às práticas tradicionais nos seus cuidados básicos, e que 85% utilizam plantas medicinais para o tratamento e sintomas de enfermidades (BRASIL, 2006).

Muitas dessas ervas são utilizadas dentro de determinado contexto social e cultural, principalmente em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, tendo essas plantas como uma grande oportunidade para sanar os problemas de saúde, por meio de sua sistemática produção, comercialização e uso de fitoterápicos de forma padronizada (DI STASI *et al.*, 1996).

Segundo a RDC nº 26/2014, são considerados medicamentos fitoterápicos os obtidos com emprego exclusivo de matérias-primas ativas vegetais cuja segurança e eficácia sejam baseadas em evidências clínicas e que sejam caracterizados pela constância de sua qualidade. São considerados produtos tradicionais fitoterápicos os obtidos com emprego exclusivo de matérias-primas ativas vegetais cuja segurança e efetividade sejam baseadas em dados de uso seguro e efetivo publicados na literatura técnico-científica e que sejam concebidos para serem utilizados sem a vigilância de um médico para fins de diagnóstico, de prescrição ou de monitorização (BRASIL, 2014).

A produção de ervas medicinais, principalmente, para o mercado farmacêutico pode ser algo promissor em vista dos novos conceitos e cuidados à saúde. Segundo a IMS health/OMS, estima-se que em 2050 o mercado global de fitoterápicos atingirá US\$ 5 trilhões, sendo que o mercado global de medicamentos de base sintética cresceu em média cerca de 4% ao ano, enquanto que o mercado dos medicamentos fitoterápicos cresceu cerca de 15%. São números que expressam um potencial ainda em processo de exposição e que muitas empresas estão investindo nesse segmento.

Apesar de o cultivo de ervas medicinais ser entendido como uma das etapas que mais podem influenciar na produção dos fitoquímicos, tendo como base os pontos de vista qualitativo e quantitativo, as pesquisas para esse setor ainda estão em fase inicial (DI STASI *et al.*, 1996). Empresas do meio privado estão conduzindo estudos com muitas dessas ervas a fim de potencializar a utilização dos princípios ativos em seus produtos. Ervas que não são consumidas pela maioria da população, mas que demonstram grande potencial diante do novo cenário da busca e do consumo de produtos naturais.

Investimentos têm sido realizados a fim de potencializar o processo de produção em larga escala dessas ervas. Principalmente por meio da inserção de novas tecnologias que otimizem a condução e o processo de colheita dessas ervas, pois no Brasil a colheita desses vegetais é totalmente de forma manual.

Nesse enfoque, pesquisas estão sendo realizadas no que se refere a condução dessas culturas para extração de fitoquímicos. Além disso, com a possibilidade de expansão do mercado dos fármacos e a crescente demanda e consumo de produtos naturais, a dissertação traz o conceito de uma máquina para o processo de colheita, transporte e armazenamento de ervas medicinais.

## 2.2 Colheita mecanizada de ervas medicinais

Com a expansão demográfica e o aumento do consumo de alimentos a agricultura tem ampliado e renovado suas tecnologias e concentrando esforços no desenvolvimento de máquinas eficazes e que consigam ganhos em produtividade e produção. Outro fator importante além da produção agrícola para o consumo direto, temos outra grande perspectiva que é a demanda agrícola para produção de insumos para agroindústrias. Assim, mecanismos de colheita cada vez mais avançados estão sendo desenvolvidos de modo a aperfeiçoar as tarefas que o homem faz no campo.

A colheita de ervas medicinais no Brasil é totalmente braçal, pois o mercado desses vegetais ainda é pouco explorado. Apesar de existirem várias pesquisas sobre ervas no Brasil e no mundo, não existem estudos mais aprofundados no Brasil sobre o desenvolvimento de máquinas que possam colher plantas medicinais de pequeno porte.

Existem alguns estudos voltados para o desenvolvimento de sistemas para colheita mecanizada de ervas aromáticas e medicinais, e que estudar esses sistemas e a forma de condução das ervas medicinais pode ser a melhor estratégia para o desenvolvimento de equipamentos que propiciem uma forma eficaz de colheita mecanizada (HEGAZY; MOLARI; EL-SHEIKHA, 2011).

Poucos são os produtores no Brasil que conduzem o cultivo de ervas medicinais, sendo cultivados principalmente em domicílios ou em pequenas propriedades. Muitos estudos são conduzidos principalmente nos continentes asiático, seguido do continente americano, europeu e brasileiro. Segundo Hegazy *et al.* (2011) os chineses são os líderes desse setor tendo 20% a mais de área plantada em relação aos EUA que é o segundo maior fornecedor. Além da República da Coreia, Chile, Índia, Brasil e Tailândia.

Alguns estudos voltados para o desenvolvimento de máquinas para colheita de ervas medicinais estão sendo realizados principalmente no mercado europeu e indiano. Sendo que existem vários protótipos e equipamentos desenvolvidos especialmente para colheita mecanizada dessas ervas.

Segundo Faies (1976), uma nova máquina deve sempre aparecer quando existe a necessidade imaginária ou real, normalmente é uma consequência que uma pessoa idealizou, traduzindo um determinado fim em mecanismo, uma combinação de teorias, experiências e práticas resultantes do bom-senso.

A maioria das colhedoras desenvolvidas para ervas medicinais tem pequeno porte, principalmente em decorrência da arquitetura desses vegetais. Normalmente são utilizadas em

sistemas de acoplamento montados, semi-montados e autopropelidas. Neste sentido é necessário que os projetos de máquinas para colheita de ervas sejam configurados de acordo com as características da cultura a ser explorada, pois a estrutura da planta pode determinar a eficácia do projeto. Assim como as regulagens da máquina podem influenciar no processo de colheita.

Segundo Balastreire (1987), os fatores que influenciam nas perdas durante a colheita são àqueles próprios das características da cultura e os fatores relacionados aos ajustes da máquina. Com isso supõe-se que as máquinas para colheita de ervas devem estar dentro de um padrão aceitável do ponto de vista do projeto e tendo parâmetros que possam atender as culturas que se deseja colher.

### **2.3 Inovação tecnológica em máquinas agrícolas**

A inovação tecnológica pode ser compreendida como a introdução de produtos e processos tecnológicos novos ou como melhorias que tenham sido implementadas em produtos e processos existentes (LORENZETTI *et al.*, 2012). O desenvolvimento de novos produtos é uma atividade complexa, envolvendo uma série de necessidades e interesses (NICKEL *et al.*, 2010).

De acordo com a Lei de Inovação Tecnológica (Lei Federal nº 10.973/2004) que estabelece os incentivos relacionados à inovação, pesquisa científica e incremento tecnológico no ambiente de produção e estrutura-se no desenvolvimento de parcerias adequadas, aliado a um ambiente favorável, sobretudo entre universidades, empresas e demais setores para que sejam obtidos investimentos à inovação tecnológica no país.

Assim, a inovação pode ser evidenciada pelo fato das mudanças das tecnologias, podendo ser de bens ou serviços, direcionados para sociedade, ou pelo formato que os produtos são desenvolvidos e disponibilizados à sociedade, normalmente citada de inovação no processo (PLONSKI, 2005). Ainda segundo o mesmo autor, a inovação tecnológica significa a maximização da produtividade, seja da terra ou do trabalho, sendo que tais mudanças podem ser induzidas por novos conhecimentos no meio público ou privado.

A inserção tecnológica no meio rural tem sido uma opção para que os produtores aumentem sua produtividade sem alterar os custos imediatos da produção, constatando que que o mesmo sempre incorpora as inovações tecnológicas e conseqüentemente, o progresso técnico (VIEIRA FILHO; SILVEIRA, 2012). O uso de máquinas que otimizem e que tragam

rendimento operacional ao produtor pode ser uma alternativa sustentável desde que o mesmo realize uma gestão prática e ao mesmo tempo eficiente.

De acordo com Pereira e Kruglianskas (2005) o estímulo à inovação disponibiliza além de produtos e serviços, renda e desenvolvimento, gera estímulo ao setor produtivo e empregos diretos. Assim, a Lei de Inovação Tecnológica tem como principal alvo a inovação, e que não necessariamente um país é feito de Ciência e Tecnologia (C&T) e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), pois é necessária a transformação de novos processos, produtos e principalmente realizar melhorias no que já existe para que os produtos possam ser desejados tanto no mercado nacional como internacional.

A inovação nas empresas é fundamental, visto que por ela muitos produtos e processos são melhorados e encaminhados para o mercado nacional e internacional. Outro ponto forte no que se refere à inovação em empresas, é que por meio dela o processo produtivo de uma empresa poderá a gerar lucros e ter a possibilidade de ser sustentável.

Diante disso, as universidades têm papel importantíssimo, pois consegue transferir conhecimento científico e tecnológico para o mercado. Assim, a inovação desenvolve-se um produto proveniente de uma melhoria ou invenção, ocorrendo assim a transferência de tecnologias das universidades para empresas, tornando-se fundamental para qualquer sistema de inovação (FINEP, 2006).

Portanto, não podemos pensar em inovação tecnológica como sendo um processo estático, ou como um jogo que seus resultados são considerados e conhecidos previamente. Pelo contrário, pois é um processo totalmente dinâmico, com muitas incertezas, construído dentro da sociedade e que normalmente está envolvido em muitas controvérsias, por assim tratar-se por definição de algo novo, sendo que a controvérsia é inerente à inovação tecnológica (FUCH; VILHA, 2012).

Como há a necessidade de desenvolvimento tecnológico no mercado agrícola brasileiro e mundial, muitas pesquisas têm sido realizadas para que o progresso desse setor não passe despercebido. Principalmente no que se refere às máquinas agrícolas, pois existe uma especificidade para cada processo em que essas máquinas estão inseridas, o que requer a adequação do que já existe no mercado.

## **2.4 Projetos de máquinas agrícolas**

Os projetos de engenharia estão sofrendo diversas modificações ao longo dos últimos anos no que se refere as formas de desenvolvimento e concepção promovendo uma

série de teorias e metodologias para que possam ser executados. Muito são os autores que propõem formas de sistematizar esses conhecimentos a fim de criar um método na busca do desenvolvimento e que atenda os critérios de tempo, custo e qualidade. Estes que podem ter implicações diretas no mercado competitivo das empresas, bem como no grau de inovação tecnológica dos produtos desenvolvidos (ANDRADE, 2008).

O projeto pode ser definido como um empreendimento planejado que consiste num conjunto de atividades correlacionadas e coordenadas, com o fim de alcançar objetivos específicos dentro dos limites de um orçamento e de um determinado período de tempo (ANDRADE, 2010).

Assim, um equipamento poderá ser projetado, construindo, adaptado ou modificado de acordo com o interesse da indústria e com a exigência do mercado consumidor, devido a isso a fase de definição de projeto torna-se de suma importância, já que é nesse momento que é definido o custo, o tempo de realização do projeto, a qualidade e a eficiência do equipamento que irá ser projetado (FREIRE, 2011).

De acordo com Back (1983) para que um projeto seja iniciado deve haver uma necessidade. Podendo ser real ou hipotética e que em muitos casos, sua identificação é bastante nebulosa, sendo sua realidade baseada em observações com poucas provas, podendo ser resultado originado da mente de alguém com resposta de um avanço científico, tecnológico ou econômico.

Segundo Albiero *et al.* (2011) afirmam que o conceito de uma nova máquina poderá ser desenvolvido por meio de modificações de máquinas e equipamentos já existentes no mercado, sendo que estas melhorias são necessárias para que se busque um ponto consensual entre eficiência operacional e respeito ao ambiente.

Ao se iniciar um projeto de uma máquina ou seus elementos é preciso considerar a sua função, sua operação e sua manutenção, além das características dos materiais e questões relativas à sua fabricação, ao se pesar a importância de cada um destes fatores e como eles se influenciam é que se pode atingir o resultado ótimo e equilibrando a relação custo-benefício da máquina (NIEMANN, 2006).

Assim, na engenharia um problema pode ser caracterizado por três componentes: I - uma situação inicial indesejada; II - uma situação final desejada; e III - obstáculos que impedem a transformação da situação inicial, indesejada, na situação final desejada (PAHL *et al.*, 2005).

De acordo com Back e Forcellini (2002) até o momento da execução de um projeto, o mesmo passa por um conjunto de processos interligados e necessários podendo ser dividido

distintamente em quatro fases a serem executadas na seguinte sequência: a definição da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Para que uma máquina ou produto possa chegar à produção em escala comercial, o mesmo passa por uma sequência de atividades: projeto preliminar, detalhamento, análise, planejamento da produção, produção, controle de qualidade e assistência ao usuário (FORCELLINI, 2002; BACK; OGLIARI; DIAS, 2008).

Pahl e Beitz (1996) divide o processo de desenvolvimento do produto em quatro etapas: planejamento e esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. O esclarecimento da tarefa analisa a situação do mercado, da empresa e da conjuntura e é onde serão levantadas as necessidades a serem atendidas, ao final desta etapa, busca-se elaborar uma lista detalhada de requisitos que contenha as restrições e os objetivos a serem alcançados, além de uma descrição do desejo ou exigências requeridas pelo cliente (PAHL; BEITZ, 1996).

Para Stefanello (2003) a fase de esclarecimento da tarefa corresponde ao projeto informacional, nessa fase realiza-se pesquisa por informações técnicas e de mercado para o produto a ser projetado. É definido o ciclo de vida do produto que engloba, além das fases de projeto, fabricação, montagem, embalagem, armazenagem, transporte, distribuição, comercialização, utilização, manutenção e retirada ou descarte do produto (FONSECA, 2000). O autor ainda cita que são identificados os clientes do produto, que são pessoas, órgãos ou instituições que têm interesse no produto e podem expressar exigências e necessidades com relação às características ou atributos do produto.

Realizado o levantamento das necessidades dos clientes, essas informações são transformadas para requisitos dos clientes, numa linguagem mais adequada (FONSECA, 2000), assim utilizando no método da casa da qualidade (QFD) que tem por objetivo a garantia da qualidade dos produtos e serviços conforme as necessidades dos clientes, hierarquizando os requisitos de projeto, obtendo um conjunto de especificações de projeto, ordenadas quanto a sua importância e quantificadas (SLANK *et al.*, 2009).

O projeto conceitual consiste em decompor o problema integral (global) em problemas parciais (ou parâmetros do sistema) e identificar e definir o maior número de possíveis alternativas ou soluções para satisfazer os requisitos do problema em questão, posteriormente, combinam-se as soluções parciais, obtendo-se várias soluções construtivas para o problema global.

Após a elaboração do escopo é necessário o estabelecimento da função global (PAHL; BEITZ, 1996). A função global é aquela que corresponde à função mais ampla que o produto deve desempenhar, indicando entradas e saídas de energia, material e sinal em relação

a um sistema periférico que serve de limite entre a máquina e suas interfaces (BACK; OGLIARI; DIAS, 2008).

Assim durante a fase de concepção de um produto novo, podem-se utilizar várias metodologias para definição de ideias, podendo citar: método da instigação de questões, método da listagem de atributos, análise de sistemas técnicos conhecidos, brainstorming, matriz morfológica, analogia direta, método de Deplhi entre outros (BAXTER, 2000; ROZENFELD *et al.*, 2006; BACK; OGLIARI; DIAS, 2008).

Segundo Pahl *et al.* (2005) podemos citar como uma das metodologias mais utilizadas para sistematizar e selecionar as hipóteses do projeto é a matriz morfológica, que por sua vez consiste em tabelar as funções necessárias ao produto e ao lado das referidas funções é evidenciado em forma de esboço as possíveis soluções para que seja suprida aquela função.

De acordo com Dandy e Warner (1983 *apud* ALBIERO *et al.*, 2007), a intenção usual do método morfológico é propiciar uma ordenação de uma situação de problema difuso, e descobrir combinações de fatores que não seriam ordinariamente desenvolvidos por um processo normal.

O método da matriz morfológica pode ser conceituado como a divisão do problema em duas ou mais dimensões, tendo como base as funções solicitadas do sistema a ser projetado, em seguida lista-se o maior número de possíveis percursos para se chegar em cada uma das dimensões funcionais, estas listas são elencadas em uma matriz de uma maneira simples que as diversas combinações de soluções possam ser verificadas (BACK, 1983). Albiero *et al.* (2007) utilizou esta metodologia para propor uma colhedora de babaçu para as matas de babaçu da Amazônia.

De acordo com Pahl e Beitz (1996) o projeto preliminar passa da fase de concepção ao leiaute final. Portanto segundo Back, Ogliari e Dias (2008) nessa fase é utilizada uma lista de verificação que preconiza os princípios a serem verificados e os métodos de projetos para atendimento às necessidades específicas.

O projeto detalhado tem como propósito a aprovação do protótipo. Nesse momento o protótipo é construído e avaliado, dando início à especificação e certificação dos componentes, especificação dos componentes, especificação dos materiais e avaliação da viabilidade do produto (BACK; OGLIARI; DIAS, 2008; OGLIARI *et al.*, 2013).

## 2.5 Patente da colhedora automotriz

### 2.5.1 Fundamentos da invenção

A mecanização agrícola é essencial na agricultura moderna. Atividades como o preparo de solo, adubação, pulverização e colheita, que eram realizadas somente com o trabalho manual e animal, hoje são desenvolvidas com o auxílio de máquinas. Isso ajuda a garantir melhores produtividades e permite o cultivo de maiores áreas (CUNHA *et al.*, 2009). Com a mecanização agrícola o produtor consegue extrair o máximo da terra com o menor esforço, juntamente com diversos implementos facilitando a realização de várias atividades que vão desde o preparo do solo, semeadura até transporte do produto final (BARBOSA FILHO, 2013).

O surgimento as máquinas e implementos para a agricultura no século XIX possibilitou ganhos de produtividade agrícola e do trabalho, mudando definitivamente a trajetória das técnicas de produção e elevando a oferta de produtos agrícolas n o mundo. Por outro lado, este processo reduziu a necessidade de envolvimento de mão de obra na produção (VIAN *et al.*, 2014).

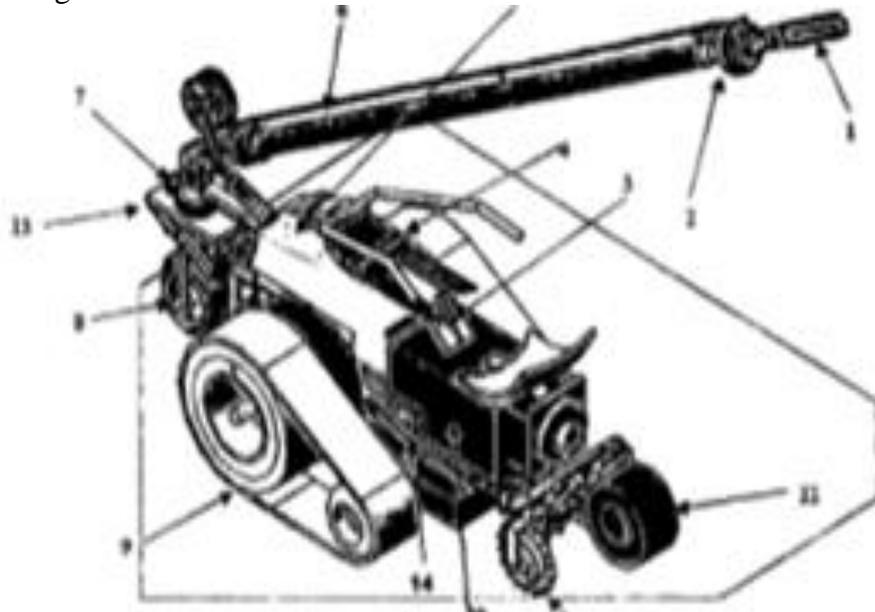
A colheita é um dos fatores que mais oneram a cadeia produtiva, tendo elevados custos em virtude da mão de obra, normalmente contratada para tal período. A colheita mecanizada é um dos fatores que pode contribuir para que o empreendimento possa ser rentável e sustentável ao longo da cadeia produtiva. Dependendo dos recursos financeiros do produtor, ele poderá aperfeiçoar o processo de colheita por meio de maquinários, adaptados para a cultura a que se deseja colher.

A inserção de máquinas em substituição ao trabalho braçal está se tornando uma necessidade cada vez maior devido ao êxodo rural e ao aumento na demanda de produção de alimentos. Deste modo, tratores e máquinas agrícolas são adquiridos e acabam exercendo a maior parte das funções no ramo agropecuário, como preparo de solo, tratos culturais, colheita e até transporte de produtos (MARCON, 2013). Nas últimas décadas, à medida que as áreas agrícolas do Brasil se expandiram cresceu a necessidade da modernização do parque de máquinas (PORTELLA, 2000).

Muitas patentes foram estudadas para o desenvolvimento desse trabalho, contudo, não existe uma colhedora específica que realize a colheita de ervas medicinais. Temos adiante as mais relevantes, argumentadas de forma específica, encontradas e descritas no documento de patente de invenção, registro PI 0000113-9 A2, denominada “máquina capinadeira rotativa com braços de aproximação” depositada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

A patente de invenção PI 0906204-1 B1 referencia uma colhedora automotriz de babaçu constituída com um sistema de pistão hidráulico telescópico onde na extremidade existe um cabeçote de corte por corrente acionado por uma fonte de potência (Figura 1). Todo esse sistema é montado em um motocultor convencional, sendo que na estrutura dianteira do chassi é montado um sistema de pistão composto telescópico. Na estrutura traseira do chassi tem-se um sistema de locomoção constituído de rodas extensoras acopladas a um eixo e rodas motoras, ambas ligadas por uma esteira. A colhedora contém, ainda, um sistema de direção e roda de direção.

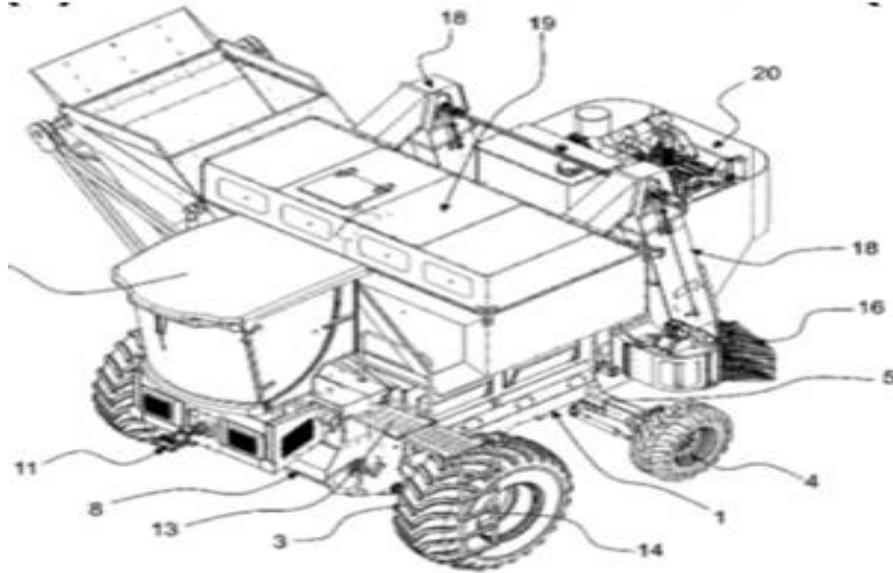
Figura 1 – Colhedora tracionada automotriz



Fonte: <https://www.inpi.gov.br>.

A patente de invenção BR 102017005429-2 A2 refere-se a uma automotriz agrícola para receber diferentes implementos, constituída por chassi monobloco, peneiras vibratórias e um conjunto de limpeza rotativo (Figura 2). Na região frontal do chassi está montado transversalmente um conjunto rotativo de rolo guia concentrador, na forma de túnel transversal, uma abertura de entrada anterior e de saída posterior, na região frontal do chassi e acima do rolo guia transportador encontra-se um conjunto hidráulico de acionamento e transmissão constituído de plataforma de apoio para uma cabine de comando. No final do conjunto de limpeza rotativo está montada uma caixa de ventilação, dois conjuntos impulsionadores de saída de resíduos, no final da peneira vibratória estão montadas uma calha recolhadora de grãos limpos e uma caçamba.

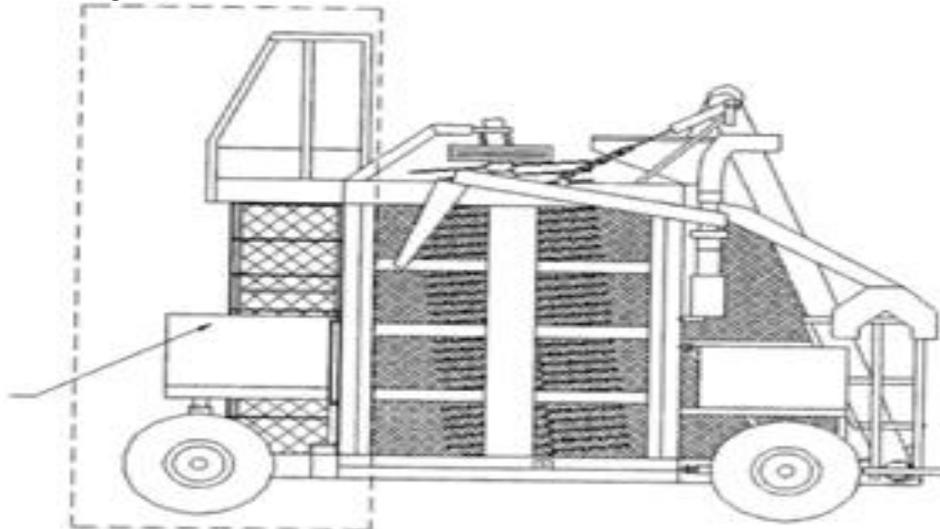
Figura 2 – Automotriz agrícola



Fonte: <https://www.inpi.gov.br>.

A patente de invenção PI 0904842-1 A2 trata-se de uma colhedora tracionada ou automotriz desenvolvida para a cultura do café montada sobre plataforma estrutural de chassi. A colhedora compacta, modular e ajustável, apresenta inovações no ajuste de posicionamento das varetas vibratórias (Figura 3).

Figura 3 – Colhedora tracionada automotriz

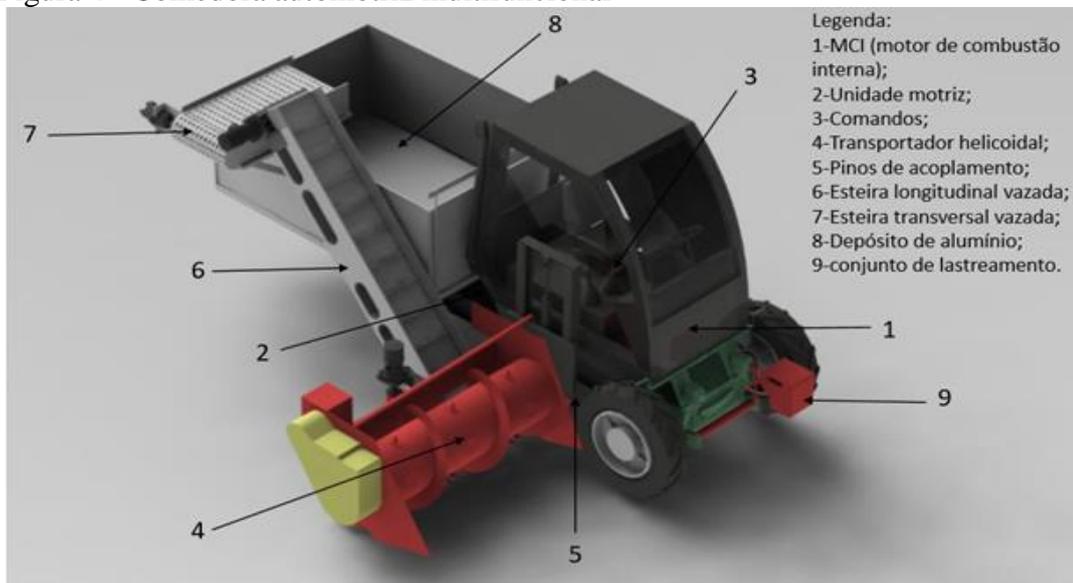


Fonte: <https://www.inpi.gov.br>.

### 2.5.2 Descrição da patente

A presente invenção proposta trata-se de uma colhedora automotriz multifuncional para realizar o processo de colheita de ervas medicinais (Figura 4). Esta patente intitulada como: “Colhedora automotriz multifuncional”, foi depositada no dia 13/06/2019 no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), com o número de registro: BR 10 20190121530. A colhedora automotriz multifuncional projetada com uma fonte de potência interna MCI (motor de combustão interna), a diesel (1), acoplado a unidade motriz (2) que permite a máquina movimentos frente e ré e uma cabine com assento e comandos para o operador (3). Possui também na sua lateral direita um sistema mecânico de transporte helicoidal (4), acoplado por meio de pinos (5), além de esteiras transportadoras, sendo, uma esteira longitudinal vazada (6) e outra esteira transversal vazada (7) que farão a condução do material colhido ao depósito de alumínio, tipo caçamba (8), onde ficarão depositados até o descarregamento. Na parte frontal da colhedora ainda possui um conjunto de lastreamento (9) para dar estabilidade à máquina.

Figura 4 - Colhedora automotriz multifuncional



Fonte: elaborado pelo autor.

### 2.6 Análise de elementos finitos de máquinas

A análise de elementos finitos pode ser utilizada para solucionar muitos problemas de engenharia e é utilizada para verificações e validações de estruturas, permitindo por meio de software CAD a aplicação das cargas em componentes modelados. Utilizando equações diferenciais, das reações e concentrações de tensões nos componentes, oportunizando a

modificação do material ou design, para que o componente atenda as características ao qual foi desenvolvido e não apresente falhas em sua vida útil (ALVES FILHO, 2012).

O método de elementos finitos (MEF) é uma análise matemática, que se fundamenta na divisão de um domínio em pequenas áreas, sendo descrita como elementos finitos. Essa divisão é descrita como “malha” que por sua vez é composta por ligações ou pontos e faces (TRENTO *et al.*, 2016). Segundo Lotti *et al.* (2006) a utilização dos elementos finitos ocorre pela simulação matemática de uma estrutura real, sendo que, o termo “elemento finito” é definido como um modo simplificado da estrutura, matematicamente infinita, em inúmeros elementos finitos, possibilitando, de acordo com a sua estrutura e construção, um estudo sobre a mesma.

Para Alves Filho (2012) esse método permite que modelos físicos possam ser substituídos por modelos matemáticos e as verificações ou análises sejam verificadas antes da construção física, assim como evitando-se custos com retrabalhos e a confiabilidade do componente maximizada, pois mesmo que o modelo matemático traga semelhanças e aproximações em relação ao modelo físico a solução é determinada como ideal e exata.

Caltarosso (2008) afirma que o desenvolvimento de um projeto deve-se considerar o esforço ou o conjunto de esforços que possibilitará o colapso da estrutura analisada, ou seja, quando o material utilizado atingir a tensão de escoamento, o mesmo irá se deformar podendo o produto ser inútil para determinado fim.

Para realizar as análises de tensões, o critério de Von Misses poderá ser utilizado por se trata de uma energia de cisalhamento ou teoria da energia de distorção máxima, onde considera-se que um material dúctil inicia o processo de escoamento onde a tensão de Von Misses equipara-se ao limite de tensão (CALTAROSSO, 2008).

A estrutura ou componente a ser verificado por software FEA é dividido em subestruturas que são denominadas de elementos finitos, assim esses componentes ou elementos e suas inter-relações são analisadas para que sejam validadas durante esse processo. O resultado das análises evidencia as regiões onde são concentradas as tensões da estrutura e permite uma nova interação no componente.

De acordo com Soriano (2003) para que as verificações e análises possam ser confiáveis, as condições de contorno e a aplicação das cargas devem ser precisas e o material deve ser determinado com total exatidão e o conhecimento das cargas e ciclos a que a estrutura será exposta precisam ser conhecidas pelo engenheiro.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Desenvolvimento do projeto

O desenvolvimento do projeto do protótipo da colhedora para ervas medicinais foi realizado na Fazenda Amway Nutrilite do Brasil, município de Ubajara, Ceará, coordenadas geográficas: latitude 3°51'12" S e longitude 41°5'10" W e altitude média de 750 metros (Figura 5). O clima é o tropical chuvoso de monção, segundo classificação de Köppen. A temperatura média anual da região é de 28 °C e a precipitação média de 640 mm ano<sup>-1</sup>, com período chuvoso concentrando-se entre os meses de janeiro a maio, e o período seco nos meses de julho a novembro. O solo da região é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico (EMBRAPA, 2006).

Figura 5 – Área de desenvolvimento do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

Para isso foi montado uma equipe com especialistas da Fazenda Amway Nutrilite do Brasil e do Núcleo de Integração em Mecanização e Projetos de Máquinas (NIMPA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC) (Tabela 1).

Tabela 1 – Equipe de projeto

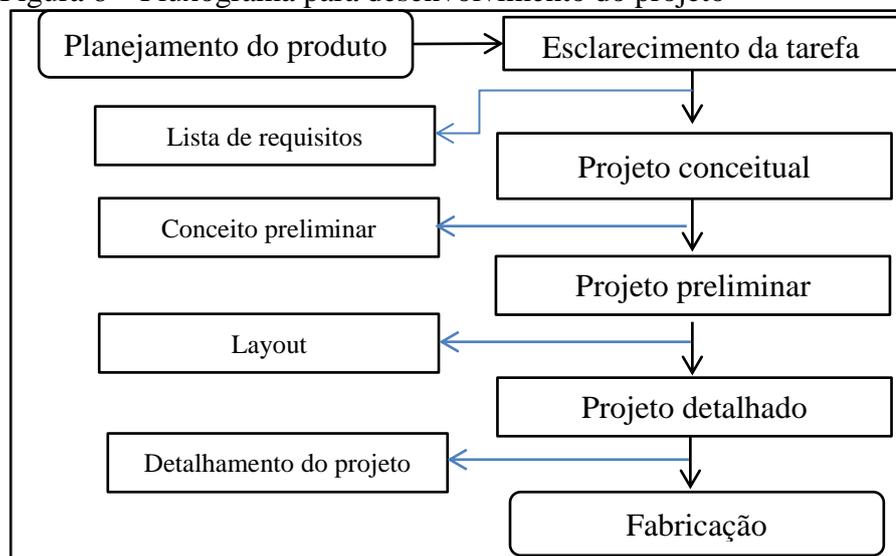
<b>Equipe de projeto</b>	<b>Função</b>	<b>Especialidade</b>
José Vagner Lourenço Monteiro	Ciências Agrárias/Mestrando (Coordenador)	Projeto de máquinas agrícolas
Carlos Alessandro Chioderoli	Agrônomo/Doutor (Orientador)	Projeto de máquinas agrícolas/ Colhedoras
Francisco Belmino Monteiro Neto	Mecânico de manutenção/Montador	Projeto de máquinas agrícolas
Antônio Rubens Oliveira Junqueira	Engenheiro mecânico	Projeto de máquinas agrícolas
Elivânia Maria Sousa Nascimento	Agrônoma/Doutora	Projeto de máquinas agrícolas
Ana Talita Adeodato Carvalho Pontes	Graduada em Recursos Hídricos/Mestre	Pesquisadora de plantas medicinais
Ronnier Carneiro da Frota	Graduado em Ciências Agrícolas	Segurança em máquinas agrícolas
João Batista Damasceno de Lima	Operador/Mantenedor	Operador e montador de máquinas agrícolas
Francisco Jeyson de Oliveira Sá	Técnico de manutenção	Segurança em operações no campo
Stefânia Pereira Fernandes	Pedagoga/Convidada	Coordenadora escolar

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.2 Metodologia de projeto

A metodologia de projeto utilizada é composta de quatro fases: esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado proposta por Pahl e Beitz (1996), modificada conforme as condições impostas ao longo do desenvolvimento do protótipo (Figura 6).

Figura 6 – Fluxograma para desenvolvimento do projeto



Fonte: Adaptado de Pahl e Beitz (1996).

### ***3.2.1 Esclarecimento da tarefa***

O esclarecimento da tarefa destinou-se à coleta de informações pertinentes ao desenvolvimento de um produto específico para realizar o processo de colheita de ervas de forma mecanizada e de fácil operação. A fase da pesquisa por informações técnicas apoia-se, principalmente, na bibliografia técnica disponível (catálogos de produtos, artigos científicos, teses, dissertações e patentes).

Nas informações estão contidas as necessidades dos clientes normalmente de forma qualitativa, colocando-os dentro do ciclo de vida do produto (FONSECA, 2000). Para este projeto, consideraram-se as necessidades dos clientes internos e intermediários. Para os clientes internos as necessidades consideradas são de projeto, manufatura, montagem e logística; nos clientes intermediários as necessidades foram de comercialização. Ao final desta etapa, buscou-se elaborar uma lista detalhada de requisitos com as restrições e os objetivos a serem alcançados, além de uma descrição do desejo ou exigência requerido pelo cliente.

As necessidades foram identificadas dentro do contexto produtivo da fazenda Amway Nutrilite do Brasil. Buscou-se estabelecer parâmetros técnicos, principalmente as dificuldades encontradas no processo de colheita de ervas que possibilitassem o desenvolvimento do produto. Concluída a definição dos anseios dos clientes, estes foram modificados em requisitos dos clientes. Posteriormente foram definidos os requisitos do projeto interligando os custos e materiais aos requisitos que os clientes solicitaram para estabelecimento econômico. Sendo que cada requisito pode ser vinculado aos seus atributos para o devido entendimento, porém existem requisitos que podem realizar a mesma ação por mais de uma vez.

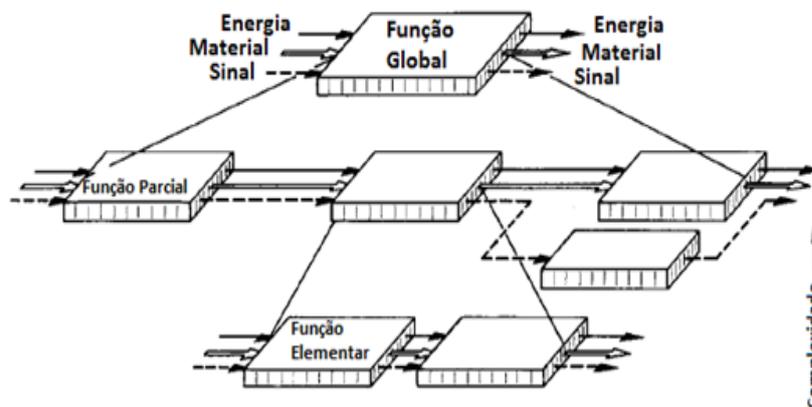
Os requisitos de qualidade estão divididos em requisitos técnicos e de custo, ordenados de forma crescente, vão priorizar as atitudes a definir as ações nas próximas etapas. Com os requisitos de qualidade definidos e organizados, lhe são atribuídos valores meta ou objetivos, sendo então denominados de especificação de projeto. As especificações irão balizar o desenvolvimento do produto até sua construção final.

### ***3.3.2 Projeto conceitual***

Um dos primeiros passos dessa fase é analisar a função global a ser desempenhada (Figura 7). Dependendo do produto, a função global pode ser bem complexa. Uma função

complexa, no entanto, pode ser reformulada pela sua divisão em subfunções básicas, formando estruturas de subfunções arranjadas em série ou em paralelo.

Figura 7 - Representação da função global



Fonte: Pahl e Beitz (1996).

O próximo passo é encontrar princípios de solução que contenham o efeito físico e a configuração necessária para a realização de uma dada subfunção. As subfunções devem ser representadas por um par verbo/substantivo aparas, eliminar refugos etc. Feito isso, parte-se para a busca dos princípios de funcionamento de cada subfunção, identificando as formas que regem seus pares entrada/saída (energia, movimento, força aplicada, dispositivo utilizado). O método empregado para a determinação das soluções foi o da matriz morfológica que consiste de uma tabela onde são listadas as funções necessárias no produto a ser projetado e ao lado dessas funções são citadas em forma de esboço as soluções possíveis para que seja suprida aquela função (PAHL *et al.*, 2005). Por intermédio do simples arranjo das diferentes linhas e colunas da matriz o método utilizado permitiu a elaboração de uma solução para o problema (BACK, 1983). Como a determinação da função global do protótipo é colher ervas de forma mecanizada, o resultado dessa fase foi o conceito básico do protótipo, assim, a definição dos princípios de funcionamento de todos os sistemas que o protótipo da colhedora automotriz multifuncional deveria atender. Nesse momento, os princípios de funcionamento são alocados em portadores de função que são componentes físicos que comportam uma única subfunção ou grupo delas, materializando os princípios de funcionamento planejados. Etapa em que a

criatividade e o repertório do projetista são evocados com mais ênfase dentro da sistemática, indicando o que o sistema técnico deve fazer, por exemplo: colher ervas medicinais.

### ***3.2.3 Projeto preliminar***

Tendo-se a concepção inicial, encontrada na fase anterior, pode-se então passar para a fase de projeto preliminar, no qual essa concepção prossegue até que se encontre um projeto preliminar para o produto. O projeto preliminar iniciou-se com a realização de layout da estrutura funcional do protótipo da colhedora, entre os quais foi escolhido o melhor para cada função, adotando como um critério básico a facilidade de fabricação e disposição no equipamento. Foi utilizado o software *Solidworks*® para realizar os desenhos conceituais e técnicos da máquina. Nessa fase foi realizada a análise estática do chassi, eixo das rodas direcionais e suporte de elevação da plataforma recolhedora. É um processo complexo, no qual muitas atividades são executadas simultaneamente, utilizando processos iterativos. Por fim, deve-se elaborar a lista de peças preliminares e as instruções preliminares para produção e montagem.

### ***3.2.4 Projeto detalhado e construção do protótipo***

No projeto detalhado faz-se a revisão de tudo que foi proposto pelo projeto preliminar, na busca da definição sobre materiais utilizados, formas de produção e utilização, componentes, acabamento das superfícies, bem como da estrutura de custos, criando assim a documentação obrigatória de desenho e afins para sua realização material e sua utilização. O projeto detalhado foi realizado no momento em que análise de viabilidade da fase anterior for aprovada, sendo assim, foi realizado o dimensionamento final, detalhamento das peças e conjuntos para a fabricação do produto. Os desenhos para essa fabricação são detalhados de forma rápida, após a realização dos desenhos detalhados, iniciou-se a construção e montagem. Para fabricação do protótipo foram utilizadas as seguintes ferramentas: furadeira de bancada, torno mecânico, máquina de soldagem tipo arco elétrico, prensa, entre outros. Durante a fabricação do protótipo da colhedora foram utilizados os seguintes processos: soldagem, furação, corte, usinagem e pintura.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das fases de desenvolvimento da colhedora estão listados abaixo: esclarecimento da tarefa resumido em uma lista de requisitos, projeto conceitual com a estrutura de função, projeto preliminar com os leiautes e projeto detalhado com a construção e fabricação do protótipo.

### 4.1 Esclarecimento da tarefa

#### 4.1.1 Necessidades dos clientes

Como problema a ser focado, considerou-se a necessidade de melhorar a eficiência de colheita mecanizada de ervas medicinais. A especificação de projeto da colhedora foi simplificada em uma lista de requisitos e os clientes inseridos dentro do ciclo de vida do produto conforme a necessidade da cada uma (Tabela 2).

Tabela 2 - Identificação das necessidades dos clientes ao longo do ciclo de vida

<b>Clientes</b>	<b>Ciclo de vida</b>	<b>Necessidades dos clientes</b>
Internos (equipe de projeto)	Projeto	Fácil de fabricar
Internos (equipe de projeto)	Montagem	Proteção das partes móveis
Internos (equipe de projeto)	Operação	Precisão no processo de colheita Operação simples Acoplar implementos Automotriz Segura
Internos (equipe de projeto)	Ajustes	Ajuste da altura de corte
Internos (equipe de projeto)	Manutenção	Fácil reposição de peças Fácil manutenção Manutenção de baixa frequência Baixo custo de manutenção Resistente ao desgaste
Intermediários (mercado de vendas)	Comercialização	Economicamente viável

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.1.2 Requisitos dos clientes

De acordo com as necessidades do cliente, vislumbrou-se o desenvolvimento de um equipamento que permitisse a colheita mecanizada de determinadas ervas medicinais. Assim,

com as necessidades do cliente em mãos, as mesmas foram transformadas em requisitos dos clientes, sendo listadas as especificações que o mesmo forneceu. Importante ressaltar que as especificações foram disponibilizadas de acordo com as características das potenciais culturas a serem manejadas na empresa, sendo construída não especificamente para uma cultura. Cada requisito do cliente foi atrelado a atributos para melhor definição para que os mesmos não realizassem a mesma função. Cada atributo foi listado abaixo:

- Ser fácil de fabricar: uso de peças do mercado, principalmente peças de equipamentos brasileiros e padronização do processo de montagem;
- Ser economicamente viável: ter custo de fabricação de acordo com o orçamento previsto e desempenho econômico dentro das expectativas;
- Ser segura: ter e seguir padrões exigidos pelas normas vigentes de modo a evitar injúrias ao trabalhador;
- Ter fácil manutenção: ser simples de realizar manutenções preventivas e corretivas, facilitando a reposição de peças;
- Ter precisão no processo de colheita: obter um corte preciso, obtendo o maior volume de material e menores danos a cultura;
- Ter proteção das partes móveis: impossibilitar acidentes com membros inferiores e superiores;
- Ser resistente ao desgaste: ter resistência suficiente para que os mecanismos de corte, transporte e armazenamento desempenhem suas funções;
- Ser automotriz: ter mobilidade própria, não dependendo de outros mecanismos ou estruturas para locomoção;
- Ter fácil reposição de peças: evitar demoras na aquisição de materiais no mercado, tendo peças sobressalentes e quando necessário obter no mercado local;
- Ser simples de operação: possuir fácil operação com poucos comandos e que os mesmos sejam dispostos em um único ponto;
- Ter ajustes de altura e corte: possuir regulagens finas para que se obtenha uma maior precisão do corte e ajuste da plataforma recolhadora;
- Ter acoplamento para implementos: permitir que carroças e pulverizadores de barras de pequeno porte possam ser acoplados a colhedora;
- Ter baixo custo de manutenção: possuir baixo custo de manutenção no cumprimento das atividades;

- Ter dimensões para cultura: ter dimensões e peso de acordo com os padrões adotados para as potenciais culturas e as estabelecidas.

#### 4.1.3 Requisitos do projeto

Após a definição dos requisitos dos clientes, foi comparado com uma classificação global dos atributos do produto recomendada por Fonseca (2000), sendo dispostos os requisitos gerais do projeto (Tabela 3).

Tabela 3 – Lista de atributos globais do projeto

Atributos básicos	Requisitos dos clientes
	Atributos gerais
Funcionamento	Ajuste da altura de corte Ajuste da velocidade de corte Ajuste da velocidade de descarregamento Ajuste da velocidade de tráfego
Segurança	Confiabilidade na operação do equipamento
Ergonômico	Ajuste do assento do operador
Econômico	Custo de produção Custo de fabricação
Confiabilidade	Vida útil extensa
Mantenabilidade	Intervalo de manutenção
	Atributos específicos
Atributos materiais	
Geométricos	Bitola e altura do equipamento Dimensões da plataforma de corte
Material	Peças padronizadas
Peso	Peso bruto do equipamento
Atributos de controle	
Sinais	Comandos de entrada do equipamento
Controle	Duração de ajustes do equipamento
Estabilidade	Dar segurança nas manobras

Fonte: Adaptado de Fonseca (2000).

Para classificar os requisitos de acordo com a importância para o desenvolvimento do projeto foi aplicado o diagrama de Mudge. Assim, foram comparados entre si todos os requisitos do cliente, tendo uma pontuação para cada requisito, sendo que a soma destas pontuações determina a hierarquização dos requisitos do cliente. Cada célula do diagrama de Mudge foi preenchida com um número e uma letra, sendo o número a representação dos requisitos dos clientes, classificando-o sua importância. A letra representa o quão o requisito é mais importante que o outro, sendo atribuídos valores de 1 para A, 3 para B e 5 para C. Para

esta análise as letras A, B e C foram associadas e comparadas entre os requisitos, indicando assim o quanto um requisito é mais importante que o outro. A letra “A” evidencia que o requisito é muito mais importante que o outro no comparativo, a letra “B” representa um requisito medianamente mais importante e a letra “C” pouco mais importante. Valores associados a estas letras permitem uma soma das classificações e sequenciamento conforme o valor total. A Figura 8 evidencia a aplicação do Diagrama de Mudge no projeto.

Figura 8 – Diagrama de Mudge

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	SOMA	%
1	2C	3C	1B	5C	6C	7C	1B	9C	10B	11C	12B	13C	1B	15B	6	2,42
	2	3C	4B	5C	6C	7C	2C	9C	2C	11C	12B	13C	2B	15A	8	3,23
		3	3C	3C	3C	7C	3C	3C	3C	3C	3C	3C	3C	3C	55	22,18
			4	5C	6C	7C	4C	9C	10B	11A	12B	4B	14C	15B	8	3,23
				5	6C	5C	5C	5C	10A	5C	5C	5C	14C	5A	31	12,5
					6	6C	6C	6C	6C	11C	12C	6C	14B	6B	28	11,29
						7	7C	7C	7C	7C	7C	7C	7C	7C	40	16,13
							8	9C	10B	11C	12C	8C	14C	15A	5	2,02
								9	9B	11C	12C	9C	14B	15C	8	3,23
									10	11C	12C	10C	14C	15B	5	2,02
										11	11C	11C	14B	11B	13	5,24
											12	12C	12C	12C	15	6,05
												13	14C	15C	0	0
													14	14C	5	2,02
														15	21	8,47
															248	100%

Nº	Requisitos dos clientes
1	Ser fácil de fabricar
2	Ser economicamente viável
3	Ser segura
4	Ter fácil manutenção
5	Ter precisão no processo de colheita
6	Ter proteção das partes móveis
7	Ser resistente ao desgaste
8	Ser automotriz
9	Ter fácil reposição de peças
10	Ser de simples de operação
11	Ter manutenção de baixa frequência
12	Ter ajustes de altura de corte
13	Ter acoplamentos para implementos
14	Ter baixo custo de manutenção
15	Ter dimensões para cultura

Valor das letras		
A	1	Pouco mais importante
B	3	Medianamente mais importante
C	5	Muito mais importante

Fonte: elaborado pelo autor.

A classificação dos valores de importância de cada requisito dos clientes foi definida numa variação de 1 a 10 em que quanto maior o número, maior sua classe de importância. De acordo com o diagrama de Mudge, o requisito do cliente mais relevante foi ser segura com 22,18%, seguido por ser resistente ao desgaste com 16,13% e ter precisão no processo de colheita com 12,50%. E os requisitos menos importantes foram os seguintes: ter acoplamento para implementos com 0,0%, seguindo ter baixo custo de manutenção, ser automotriz, todos com 2,0% e ser fácil de fabricar com 2,4% (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação dos requisitos dos clientes

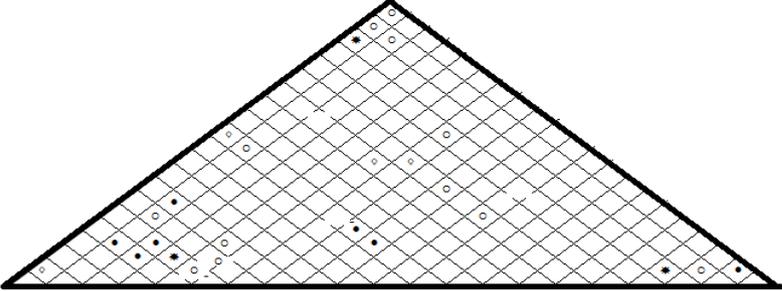
Nº	Requisitos dos clientes	Classificação de Mudge (%)	Classe
1	Ser fácil de fabricar	2,4	2
2	Ser economicamente viável	3,2	3
3	Ser segura	22,2	10
4	Ter fácil manutenção	3,2	3
5	Ter precisão no processo de colheita	12,5	8
6	Ter proteção das partes móveis	11,3	7
7	Ser resistente ao desgaste	16,1	9
8	Ser automotriz	2,0	1
9	Ter fácil reposição de peças	3,2	3
10	Ser de simples de operação	2,0	1
11	Ter manutenção de baixa frequência	5,2	4
12	Ter ajustes de altura de corte	6,1	5
13	Ter acoplamentos para implementos	0,0	1
14	Ter baixo custo de manutenção	2,0	3
15	Ter dimensões para cultura	8,5	6

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 9 representa a matriz da casa de qualidade (QFD), onde temos os requisitos dos clientes e a classificação estabelecida de acordo com a relação de cada item. Nela são evidenciados os dados de entrada para que fosse realizado a comparação entre os requisitos dos clientes, hierarquizando assim sem telhado os dados na parte inferior da matriz. A matriz casa de qualidade (QFD) é uma ferramenta de projeto utilizada de modo a estabelecer o relacionamento entre os requisitos dos clientes e os requisitos de projeto.

Assim, temos a seguinte classificação: 1º colocação – atendimento as normas (NR12 e N 10), 2º colocado – custo de fabricação (R\$), 3º colocado – vida útil (h), 4º colocado – variação na altura de corte (m), 5º colocado – altura de corte, 6º colocado – intervalo de manutenção (h), 7º colocado – largura de trabalho, 8º colocado – acoplamentos (UND), 9º colocado – tempo de manobra (min), 10º colocado – peso total do equipamento (N), 11º colocado – dar mobilidade (m), 12º colocado - peças padronizadas (%), 13º colocado – custo de produção (R\$), 14º colocado – tempo de acoplamento (min) e 15º colocado – tempo de regulagem (min).

Figura 9 – Matriz da casa da qualidade



Relacionamento		Requisitos do projeto	Custo de fabricação (R\$)	Custo de produção (R\$)	Altura de corte (m)	Tempo de acoplamento (min)	Variação na altura do corte (m)	Atendimento as normas (NR 12, NR 10)	Acoplamentos (UND)	Peso total do equipamento (N)	Largura de trabalho (m)	Dar mobilidade (m)	Tempo de manobra (min)	Intervalo de manutenção (h)	Vida útil (h)	Peças padronizadas (%)	Tempo de regulagem (min)
Quês x Comos	Comos x Comos																
● Relações fortes – 9	○ Relações médias – 3																
◇ Relações fracas – 1	Telhado																
Comos x Comos																	
Fortemente positivo ● 5																	
Positivo ○ 1																	
Negativo *-1																	
Fortemente negativo ◇-5																	
Requisitos dos clientes	Valor do cliente																
Ser fácil de fabricar	1	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ser economicamente viável	2	○	○		○			●		●	●	◇	○	●	●	○	●
Ser segura	10	●	●	●		○		●	●		○	●	●		●		
Ter fácil manutenção	4				●			●	○	○				●		○	
Ter precisão no processo de colheita	8			●	●	●		●			●		○		○		
Ter proteção das partes móveis	7	●	○					●	●		●			●	●		
Ser resistente ao desgaste	9	●		●		●		●	●					●	●	●	
Ser automotriz	1	●						●		●		●	●				
Ter fácil reposição de peças	3													●	●	○	
Ser de simples de operação	5			●	●	●		●	●	●	●	●	●				●
Ter manutenção de baixa frequência	4	●	○			●		●	○					●	●	○	
Ter ajustes de altura de corte	6	●			◇	●				●	●			●	●	●	
Ter acoplamentos para implementos	1	○			●			●	●				○				●
Ter baixo custo de manutenção	4	●		●		●		●						●	●	○	
Ter dimensões para cultura	7	●		●		●		●			●		○				

Classificação sem a concorrência	
Valor da matriz principal	
Critério sem telhado	

248	64	216	63	226	290	169	75	186	71	129	195	238	67	45
2°	13°	5°	14°	4°	1°	8°	10°	7°	11°	9°	6°	3°	12°	15°

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.1.4 Especificação de projeto

Após a hierarquização dos requisitos conforme grau de importância, as especificações meta do protótipo foram definidas e serão utilizadas como base para as próximas etapas para o desenvolvimento do projeto. Estes requisitos e suas especificidades serão os

pilares que irão atuar como guia durante a geração de soluções para o problema do projeto (Tabela 5).

Tabela 5 - Especificações meta do produto

<b>Nº</b>	<b>Requisitos do projeto</b>	<b>Valor meta</b>	<b>Forma de avaliação</b>
1	Custo de fabricação	Menor possível	Análise de projeto
2	Custo de produção	R\$ 25.000,00	Análise de projeto
3	Altura de corte	0,15 m	Análise de projeto
4	Tempo de acoplamento	10 min	Análise de projeto
5	Variação na altura do corte	0,5 a 0,50 m	Análise de projeto
6	Atendimento as normas (NRs 10 e 12)	Cumprimento	Análise de projeto
7	Acoplamentos	2 unidades	Análise de projeto
8	Peso total do equipamento	30.803 N	Análise de projeto
9	Largura de trabalho	1,20 m	Análise de projeto
10	Dar mobilidade	Regulagem	Análise de projeto
11	Tempo de manobra	Menor possível	Análise de projeto
12	Intervalo de manutenção	100 h	Análise de projeto
13	Vida útil	10.000 h	Análise de projeto
14	Peças padronizadas	80%	Análise de projeto
15	Tempo de regulagem	10 min	Análise de projeto

Fonte: elaborada pelo autor.

#### 4.2 Projeto conceitual

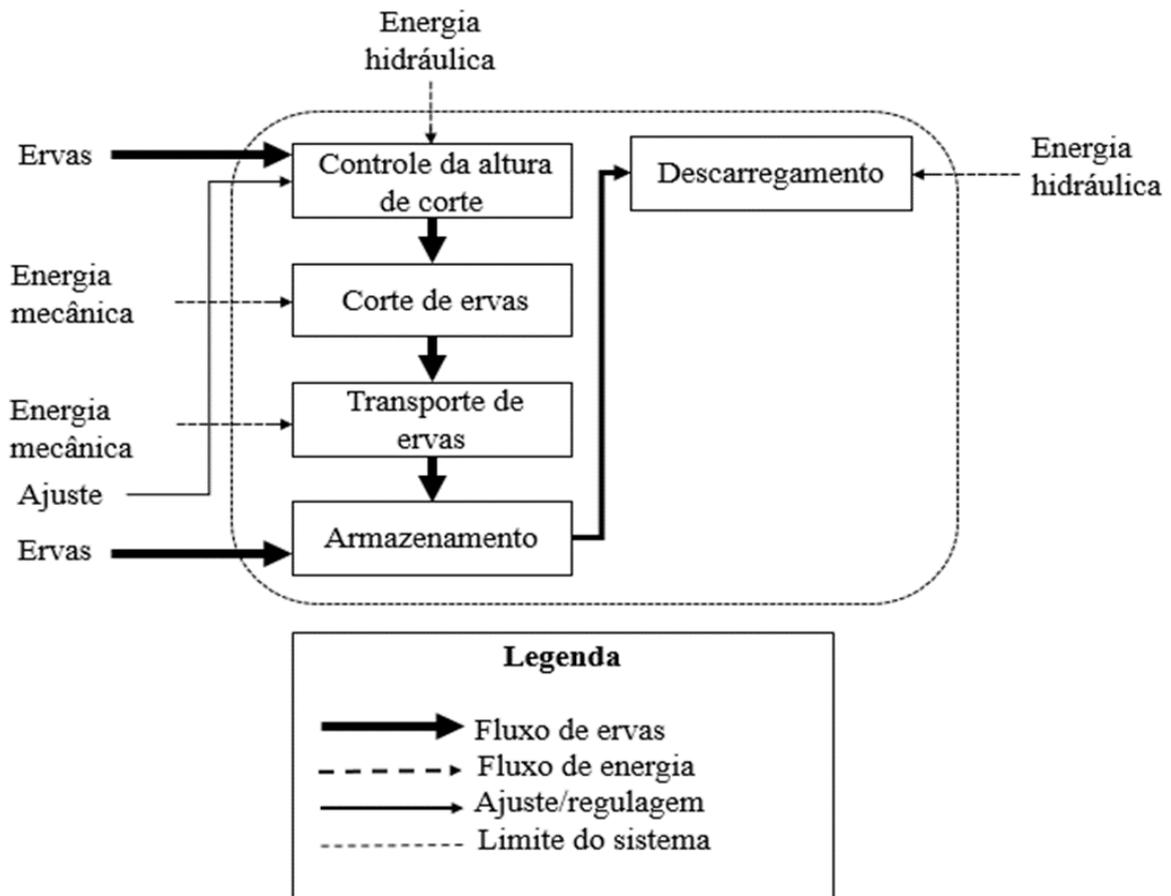
De posse das especificações de projeto deve-se agora partir para a geração e avaliação de soluções para o projeto da colhedora de ervas medicinais. A função global do protótipo é colher ervas. A descrição geral de entrada e saída de cada função do sistema está descrita na Tabela 6 e o fluxograma com a estrutura das funções para a colheita de ervas medicinais representado na Figura 10.

Tabela 6 - Descrição geral das entradas e saídas de cada função

<b>Representação</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>
Material	Ervas colhidas mecanicamente	Ervas colhidas de forma mecanizada
Energia	Energia mecânica, hidráulica, elétrica	Energia dissipada por troca térmica e atrito.
Sinal	Regulagens, ajustes dos sistemas	Corte de ervas na medida correta

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 10 – Estrutura de funções para colheita de ervas



Fonte: Adaptado de Pahl *et al.* (2005).

#### 4.2.1 Matriz morfológica preliminar

Partindo-se para busca de princípios e soluções e tendo como base a matriz morfológica da fase 1 (Quadro 1) foi possível descrever a conceituação preliminar da máquina. A colhedora automotriz será tracionada por uma unidade motriz movida a um motor de combustão interna (MCI) com 48 hp, que funcionará com combustível tipo diesel, operado por uma pessoa, onde será montado um suporte na parte lateral direita da unidade motriz, onde ocorrerão movimentos de elevação comandados por um sistema hidráulico, acionado por uma bomba hidráulica montada em um sistema de transmissão hidrostático, onde suportará uma plataforma recolhadora com um sistema de corte (tipo tesoura) acionado por um motor hidráulico, com uma largura útil de trabalho de 1,20 m e um transportador helicoidal, os mecanismos de corte e elevação terão 1 grau de liberdade, significando movimentação em uma direção (y).

Quadro 1 – Matriz Morfológica preliminar da colhedora de automotriz

Sistemas	Conceitos					
	1	2	3	4	5	6
Sistema de corte	Faca tipo (tesoura)	Faca rotativa Vertical	Faca manual	Fita Tipo (serra)	Fio nylon	Faca Giratória
Sistema de elevação	Hidráulico	Mecânico com catraca	Manual	Pneumático	Sistema com cabos	Mecânico com rodados
Energia	Solar	Diesel	Eólica	Bateria	Gasolina	Elétrica
Sistema de locomoção	Animal	Aéreo	A pé	Automotor	Anfíbio	Barco
Número de operadores	2	1	3	4	Remoto	GPS
Comandos	Eletro-hidráulico	Hidráulico	Eletro-mecânico	Elétrico	Mecânico	Pneumático
Fonte de energia	Tomada de potência	Placas	Torres	Alternador	Automotriz	TDP- bomba hidráulica
Sistema motriz	Trator 10 cv	Automotriz 48 cv	Animal	Automotriz 150 cv	Trator 55 cv	Trator 78cv
Graus de liberdade dos mecanismos	X	Y	Z	XYZ	XZ	YZ
Sistema de suporte	Fixo frontal com 3º ponto	Barra de tração	Frontal com sist.. hidráulico	Lateral com pinos	Frontal, lateral e traseiro	Frontal e lateral
Transporte de ervas	Esteira vazada e depósito tipo caçamba	Elevador de canecas	Esteira de bastão	Esteira vazada	Rosca sem fim	Rolo com rosca sem fim

Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema recolhimento será mecânico por meio de uma correia plana vazada longitudinal com taliscas de 0,30 cm de altura e 2,29 m de comprimento acoplada na plataforma recolhedora, ligada a outra correia plana vazada transversal utilizando um transportador helicoidal de 2 m, tendo um motor hidráulico de 12 cv acionado pelo controle remoto da unidade motriz, possuindo descarregamento por meio de uma tampa traseira automática.

#### 4.2.2 Matriz morfológica detalhada

Analisando as definições da máquina e tendo como estrutura viável foi desenvolvida a matriz morfológica da fase 2. Baseado na matriz 2 foi possível conceituar de forma detalhada a máquina (Quadro 2). A colhedora automotriz foi formada por um sistema de locomoção movido a um motor de 4 cilindros em linha, combustão interna (MCI) JD 4039DF com potência nominal mínima de 48 hp variando até 66 hp (potência máxima), operando a diesel, com injeção direta de combustível, aspiração natural.

O sistema de locomoção (da marca Linde – H25D) operado por uma pessoa, onde foi montado um suporte na parte lateral da unidade motriz com movimentos de elevação por cilindro hidráulico comandados por um sistema mecânico-hidráulico, acionado por uma bomba

hidráulica com vazão de 29 L min<sup>-1</sup> acoplada a um sistema de transmissão hidrostático ligado no motor, tendo um tanque de 47 litros de óleo DTE 26 montado na lateral interna (chassi tipo monobloco) e ainda um sistema com vazão para acessórios de 32 L min<sup>-1</sup> conferindo-lhe autonomia para acoplamento de cilindros hidráulicos, motores hidráulicos entre outros acessórios no sistema hidráulico.

Quadro 2 – Matriz morfológica detalhada da colhedora de automotriz

Sistemas	Conceitos					
	1	2	3	4	5	6
Lâmina	Circular	Linear	1 gume	2 gumes	3 gumes	Faca
Grau de liberdade de corte	X	Y	Z	Xy	xz	Yz
Acionamento do corte	Motor elétrico	Cardan	Motor hidráulico	Cabos	Cames	Engrenagens
Tipo de metal da lâmina	Aço inox	Aço carbono	Alumínio	Liga metálica	Aço tratado termicamente e mecanicamente	Ferro fundido
Cilindro de elevação	Composto	Único	Articulado tipo escada	Pneumático	Sistema com cabos	Mecânico com rodados
Tipo de combustível	Diesel	Gasolina	Biodiesel	Etanoal	Gás de petróleo	Metano biogás
Potência do motor	5cv	10cv	30cv	48cv	130cv	150cv
Unidade motriz	Valtra	Linde	Massey Ferguson	John Deere	Yanmar	Case
Chassi	Montado trator	Monobloco	Articulado	Acoplado trator	Tipo longarina acoplado na unidade motriz	
Posição dos operadores	Sentado no monobloco	Sentado no chassi	1 Sentado no monobloco + 1 em pé	Sentado no monobloco	1 Sentado no chassi + 1 em pé	2 em pé
Comandos	Elevação manual + sist.. de corte	Elevação eletro-hidr.+ sist.. de corte	Eletro-mecânico	Elevação Mecânico+sist. de corte	Eleva. Hidra.	Pneumático
Grau de liberdade da base	X	Y	Z	XY		
Grau de liberdade de elevação	X	Y	Z	XY		
Transporte de ervas	Esteira vazada antiderrapante (taliscada) + caçamba basculante	Elevador de canecas	Esteira de bastão	Esteira vazada	Rosca sem fim	Rolo com rosca sem fim

Fonte: elaborada pelo autor.

Foi acoplado ao chassi tipo monobloco um chassi longarina tipo “U” soldado por eletrodo revestido E7018 onde foi acoplado um recipiente tipo caçamba em alumínio que recebe o material colhido. Tendo também uma plataforma recolhadora com um sistema de lâmina (tipo

tesoura) de aço tratado termicamente e mecanicamente com geometria linear dos 2 gumes, acionado por um motor hidráulico orbital DH36 com potência máxima de 10 hp, possuindo uma largura útil de trabalho de 1,20 m e um transportador helicoidal, sendo que os mecanismos de corte e elevação terão 2 graus de liberdade, significando movimentação nas duas direções (x,y).

O sistema de recolhimento e transporte tem energia mecânica funcionando por meio de uma esteira plana longitudinal com taliscas de arraste de 0,30 m de altura, 0,40 m de largura e 2,29 m de comprimento acoplado à plataforma recolhedora acionada por motor hidráulico. Possuindo ainda outra correia plana acionada por motor hidráulico com taliscas de arraste de 0,30 m de altura, 0,40 m de largura e 1,78 m de comprimento disposta transversalmente sobre o dispositivo de armazenamento tendo as seguintes dimensões 2,35 a 1,48 x 41 m com capacidade máxima de 1400 kg.

Assim, tendo como base a busca por princípios e soluções, todo material que utilizado foi disponibilizado pela própria empresa, inclusive a mão de obra para que o protótipo pudesse ser desenvolvido. Alguns materiais foram adquiridos para que as condições de segurança pré-estabelecidas fossem seguidas, principalmente no que se refere ao cumprimento da NR12. O sistema elétrico já estava dentro dos padrões da NR10, pois em parte foi utilizada toda estrutura elétrica da antiga empilhadeira que foi usada para iniciar o protótipo.

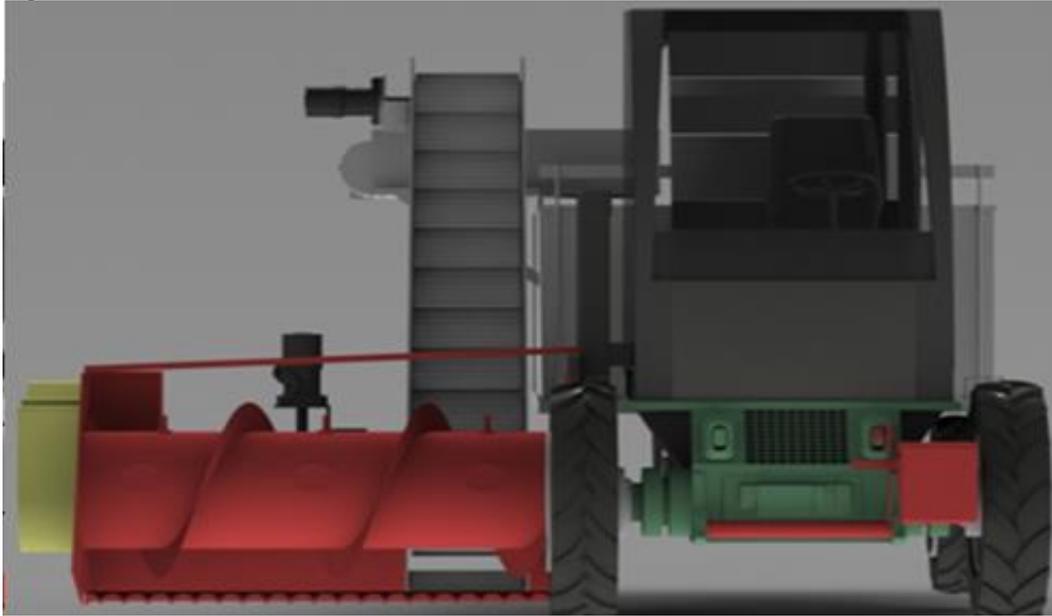
### **4.3 Projeto preliminar**

A ideia dessa fase é satisfazer as funções do produto configurando-se a forma dos componentes, leiaute, processos de fabricação e materiais apropriados para a concepção selecionada. Assim, foi concebida a estruturação da colhedora automotriz multifuncional.

#### **4.3.1 Desenhos conceituais**

Na Figura 11 encontra-se a vista frontal da colhedora evidenciando o sistema de corte acionado por meio de um motor hidráulico, enquanto que, o acionamento das esteiras é realizado por meio de motores hidráulicos e o transporte do material colhido através de esteiras transportadoras sendo uma longitudinal e outra transversal.

Figura 11 - Colhedora automotriz em vista frontal



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 12 encontra-se a vista lateral, ao qual é possível observar a plataforma recolhedora acoplada na unidade motriz, dispoendo de um cilindro hidráulico deslizante que possibilita o ajuste da altura do sistema de recolhimento. Dispõe ainda de um monobloco acoplado a um chassi que suporta um eixo rodante que permite contato solo-máquina por meio de rodados sem garras radiais conferindo direcionamento e equilíbrio da máquina, além de uma esteira longitudinal, esteira transversal e motores hidráulicos para transmissão de movimento das esteiras ao depósito.

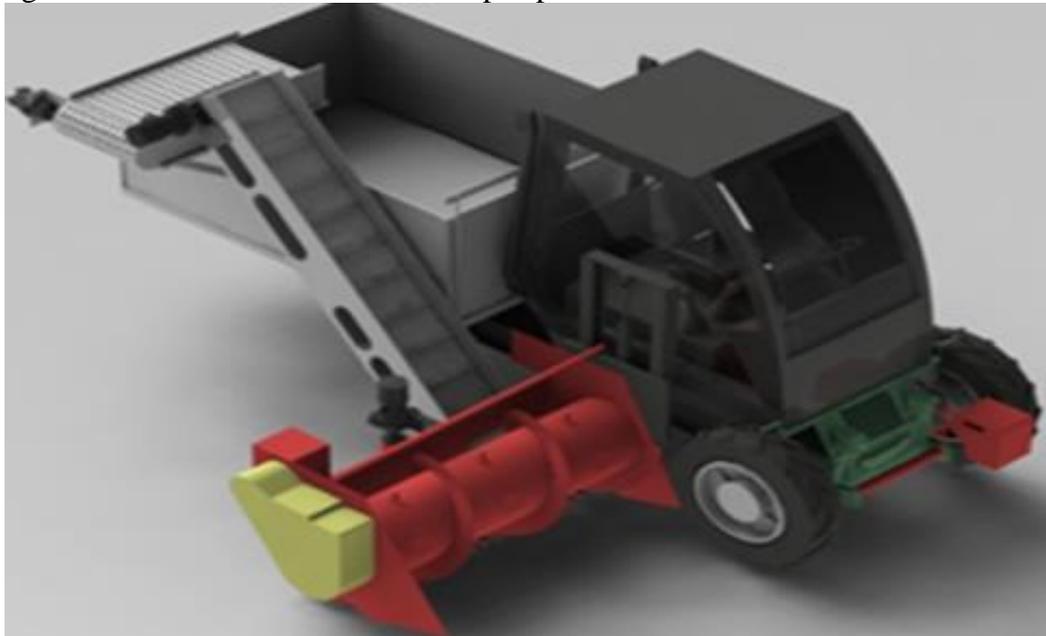
Figura 12 - Colhedora automotriz em vista lateral



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 13 encontra-se a vista em perspectiva isométrica apresentando uma visão geral da colhedora automotriz projetada com uma fonte de potência interna MCI (motor de combustão interna), a diesel, acoplado a unidade motriz que permite a máquina movimentos frente e ré e uma cabine com assento e comandos para o operador. Possui também na sua lateral direita um sistema mecânico de transporte helicoidal, acoplado por meio de pinos, além de esteiras transportadoras, sendo, uma esteira longitudinal vazada e outra esteira transversal vazada que farão a condução do material colhido ao depósito de alumínio, tipo caçamba, onde ficarão depositados até o descarregamento. Na parte frontal da colhedora ainda possui um conjunto de lastreamento para dar estabilidade à máquina.

Figura 13 - Colhedora automotriz em perspectiva isométrica



Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.3.2 Análise de tensão e deformação do protótipo

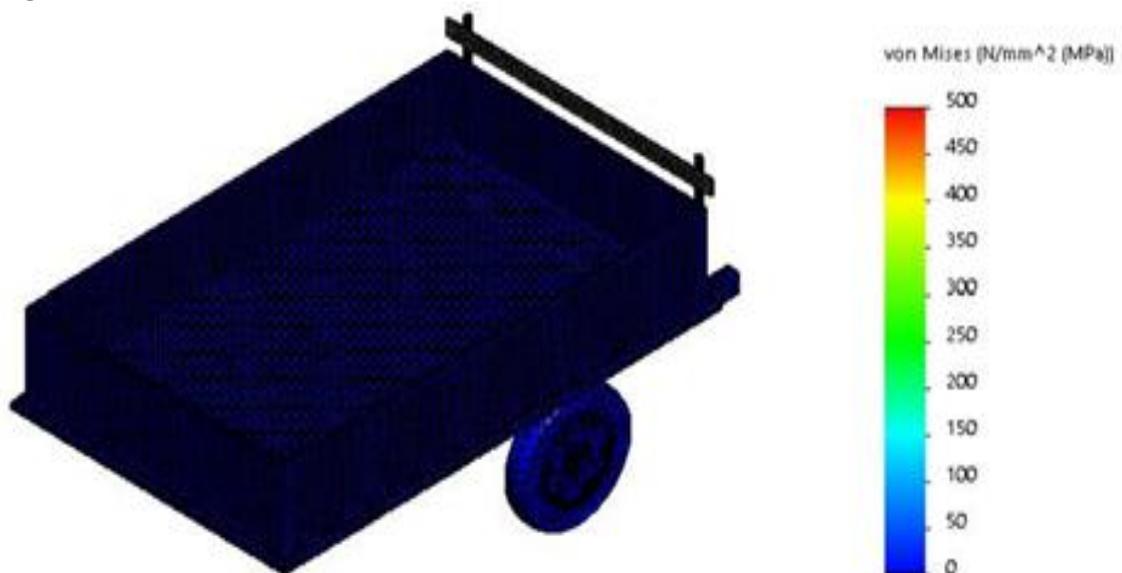
Para estudo das simulações do protótipo foram definidas todas as propriedades dos materiais utilizados, tendo o uso de modelos computacionais que simulam as operações de sistemas mecânicos. Assim, os materiais utilizados na construção do chassi e suporte da plataforma recolhadora do protótipo foram perfis tipo “U” em aço carbono, ASTM A36. Tendo os materiais como caracterização padrão as seguintes: coeficiente de Poisson de 0,28; limite de escoamento mínimo de 220,5 MPa; limite de resistência de 399,8 MPa e densidade de 7,85 g cm<sup>-3</sup>.

Para realização dos ensaios computacionais do protótipo foi considerado uma carga aplicada no reservatório (caçamba) de 1.500 kg, definida como carga máxima a ser utilizada. A estrutura do reservatório foi fabricada em alumínio liga 3003 com limite de escoamento de 41,3 MPa; limite de resistência de 110,2 Mpa e densidade de 2,70 g cm<sup>-3</sup>. A força da gravidade utilizada para análise nas estruturas foi de 9,81 m s<sup>-2</sup>.

A análise das forças que atuam em uma máquina pode ser realizada por meio da simulação estática ou dinâmica, identificando assim as melhores condições operacionais ou parâmetros do equipamento. Obtendo por meio das simulações em softwares, informações necessárias para o desenvolvimento do projeto e a devida construção da máquina. Portanto, após a definição dos parâmetros a serem utilizados na simulação, foi utilizado o software Solidworks 2018<sup>®</sup> para análise das tensões, utilizando o método dos elementos finitos para determinação das possíveis deformações e pontos de ruptura do protótipo.

Na Figura 14 evidencia-se o resultado da análise pelo método de Von Mises com o objetivo de identificar os valores de tensão que levam o material falhar ou escoar. Constatase que em nenhuma região da estrutura as tensões excedem o limite do material de 500 MPa, porém verifica-se que alguns pontos já estão sofrendo stress a partir de 147 MPa. Assim, o material apresenta pequenas deformações, contudo essa tensão não apresenta risco ao projeto ou danos que comprometam o funcionamento do equipamento.

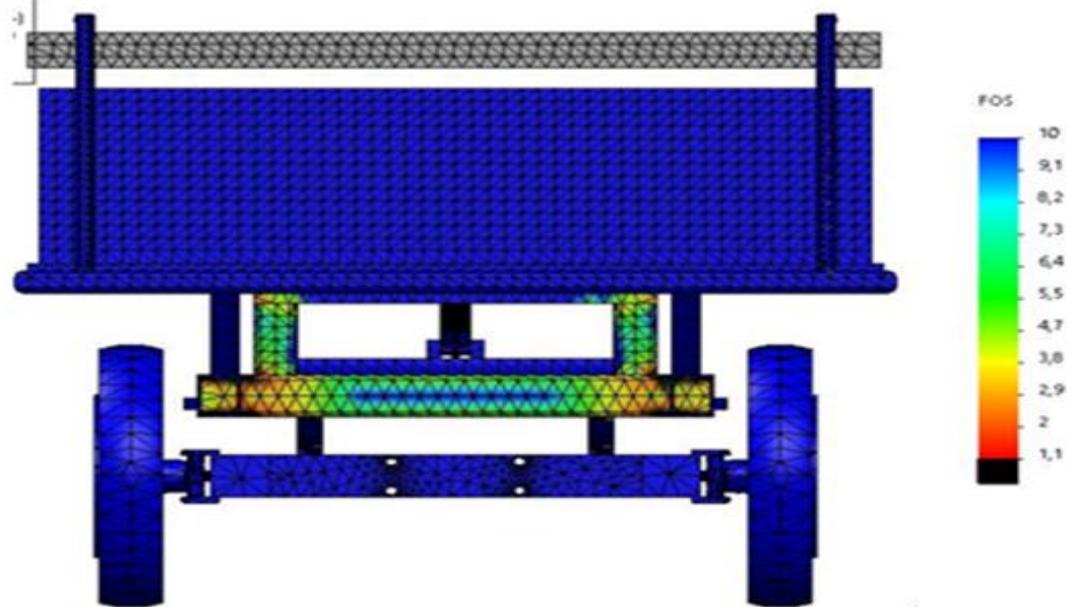
Figura 14 – Tensão de Von Mises chassi e reservatório



Fonte: elaborado pelo autor.

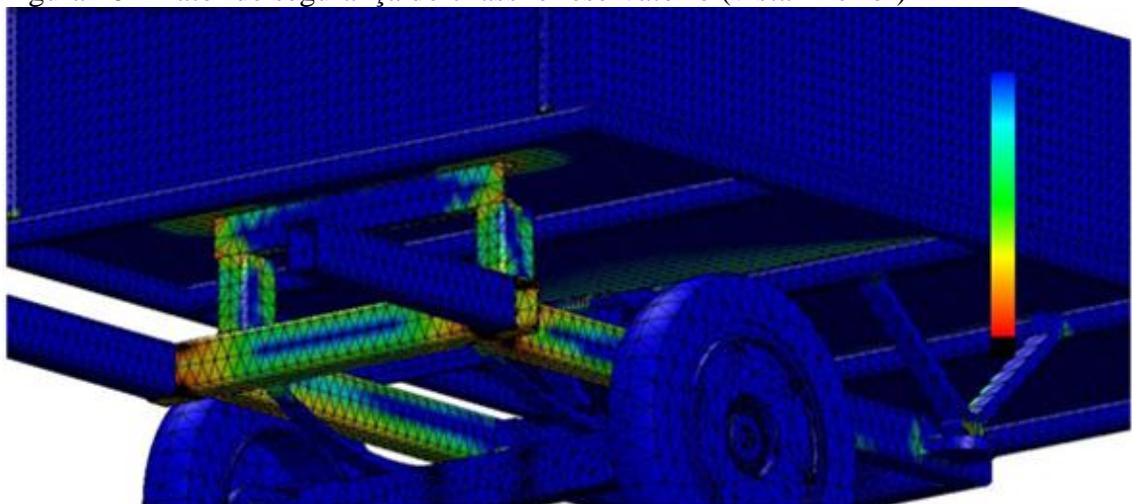
Nas Figuras 15 e 16 observam-se a variação do fator de segurança no chassi e do reservatório da colhedora automotriz em uma escala de 0,18 a 10 MPa com uma carga aplicada de 1.500 kg ou 14.715 N. Na análise verifica-se que nos pontos na cor azul, sendo a grande maioria na análise estrutural onde o equipamento suporta pelo menos dez vezes mais a sua carga. E que os pontos que estão na faixa do amarelo para o vermelho, perfazendo a escala de 3,9 a 1,1 MPa, indicam uma pequena variação de resistência, mas mesmo assim a carga aplicada não interfere ou gera pontos de ruptura na máquina, significando que ainda suporta de 1,1 vezes a 3,9 vezes a carga aplicada.

Figura 15 – Fator de segurança do chassi e reservatório (vista frontal)



Fonte: elaborado pelo autor.

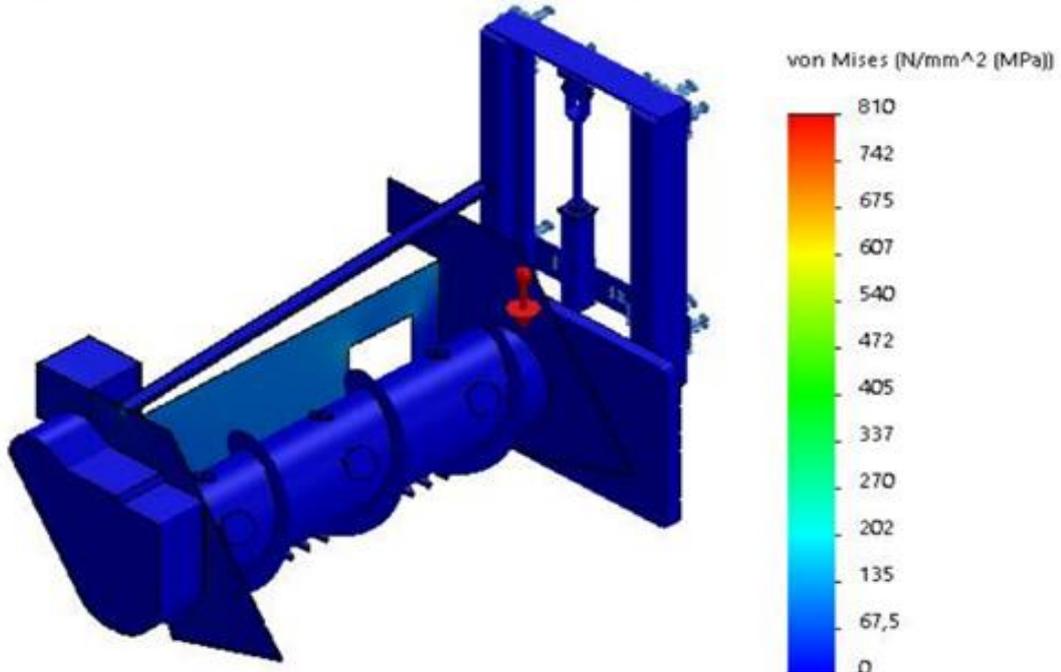
Figura 16 – Fator de segurança do chassi e reservatório (vista inferior)



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 17 evidencia-se o resultado da análise pelo método de Von Mises no suporte e plataforma recolhadora, o resultado demonstrou que em nenhuma região da estrutura as tensões excedem o limite do material de 810 MPa, mas em alguns pontos já estão sofrendo estresse a partir de 202 MPa. O que não compromete a estrutura, contudo essa tensão não apresenta risco ao projeto ou danos que comprometam o funcionamento do equipamento.

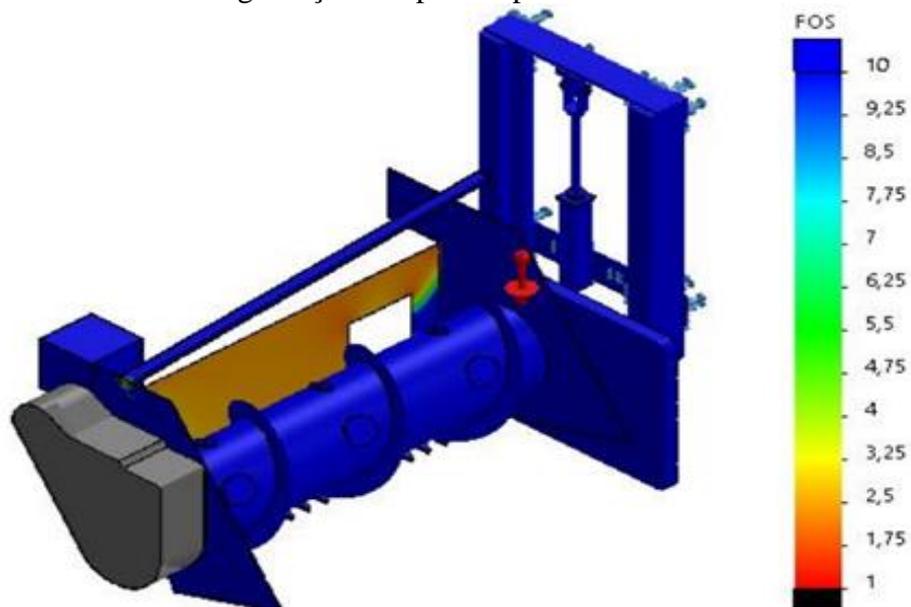
Figura 17 – Tensão de Von Mises do suporte e plataforma recolhadora



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 18 observa-se a variação do fator de segurança do suporte e plataforma recolhadora em uma escala de 0,1 a 10 MPa. Assim, verifica-se na estrutura que existem pontos que sofrem pequena variação de resistência. Apresenta-se na cor azul a maioria na análise estrutural onde o equipamento suporta pelo menos dez vezes mais a sua carga. E que os pontos que estão na faixa do amarelo para o verde, perfazendo a escala de 2,5 a 4,0 MPa, indicando uma pequena variação de resistência, mas mesmo assim a carga aplicada não interfere ou gera pontos de ruptura na máquina, significando que suporta nesse intervalo até quatro vezes a carga aplicada.

Figura 18 – Fator de segurança do suporte e plataforma recolhadora



Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.4 Projeto detalhado

O Projeto detalhado finaliza o projeto preliminar, estabelecendo-se as descrições definitivas para as soluções dos elementos construtivos, formas, dimensões, acabamentos superficiais, materiais e processos de fabricação finalizando com a construção e detalhamento de todas as partes da máquina (APÊNDICES A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K).

##### 4.4.1 Detalhamento dos serviços e materiais utilizados

Os serviços e materiais utilizados para montagem do protótipo da colhedora automotriz estão listados abaixo. A maioria dos materiais é da própria empresa, sendo disponibilizados para redução do custo ao no desenvolvimento do protótipo.

1. Chassi e sistema de amortecimento e direcionamento: Cantoneira perfil "U" de 4 x 3 x 0,25" ASTM A36, chapas de 5/8", cantoneiras 3 x 5" molas usadas de carroça, sistema hidráulico completo de empilhadeira e um sistema de direcionamento completo de empilhadeira;

2. Plataforma de corte e recolhimento: Plataforma recolhadora nova de 1,2 metros, cantoneiras usadas de empilhadeira manual aço 1020;

3. Esteiras transportadoras: Esteira em PVC de 2,24 x 30 usada, esteira em PVC 1,51 x 20 (usada);

4. Sistema hidráulico: Motor hidráulico orbital DH36, sistema hidráulico completo de empilhadeira, 02 cilindros hidráulicos, mangueiras hidráulicas ½ in, comando hidráulico, regulado de vazão;

5. Rodados: Rodados 7.50 x 16 completos usados e rodados 9.5 x 24, ambos completos e usados;

6. Sistema de armazenamento: Reservatório com capacidade para 1.500 kg em alumínio liga 3003;

7. Unidade motriz: Motor JD4039 diesel usado, acoplamento em aço 1020, parafusos M12, ventoinha do motor Perkins.

#### ***4.4.2 Construção do protótipo***

A construção do protótipo foi realizada no setor de manutenção mecânica da Fazenda Amway Nutrilite do Brasil, localizada na cidade de Ubajara, Ceará.

O protótipo foi iniciado com a construção do chassi (Figura 19A e 19B), em que foram montadas duas barras de 4 polegadas, perfil tipo “U”, aço carbono ASTM A36 de 2,11 m de comprimento, unidas por eletrodo revestido E7018 AWS A5.1 formando uma estrutura quadrada de 0,67 m acoplada no monobloco já existente de um equipamento usado, de forma a suportar todos os componentes da colhedora.

Figura 19 – Desenvolvimento do chassi do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

Para instalação da fonte de energia foi desenvolvido um sistema de acoplamento unido ao sistema hidrostático da empilhadeira existente e volante do motor existente (Figura 20A e 20B). O motor utilizado foi um JD 4039 de 66 hp a diesel. Este motor não é original do

equipamento, sendo reaproveitado de uma antiga colhedora Korvan 9200 na qual é utilizada para colheita do café. O motor foi acoplado com parafusos M12 tipo Allen, onde a carcaça foi ajustada com furadeira de bancada para que atendesse a configuração do alojamento do motor. Novos suportes foram fabricados para que as bases do motor fossem montadas de maneira adequada. Também foram instalados todos os dispositivos elétricos para o devido monitoramento do motor (Figura 20C).

Figura 20 – Desenvolvimento do acoplamento para instalação do motor



Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema de corte e recolhimento foi constituído de uma plataforma recolhadora PLN 1200 de 1,2 m de largura com uma barra de corte tipo segadora de 1,2 m, em aço termicamente tratado e mecanicamente com geometria linear dos 2 gumes. Sistema de transporte tipo helicoidal de 1,2 m de largura com capacidade de recolhimento original de 26 ton h<sup>-1</sup> (Figura 21A e 21B). Para o acionamento da segadora e sistema de transporte helicoidal foi utilizado um motor hidráulico orbital DH36 com potência máxima de 10 hp. Para seu devido acoplamento foi fabricado um sistema de sustentação em aço 1020 que por meio de um cilindro hidráulico, permite movimentos com grau de liberdade Y variando de 0,0 a 0,40 m de altura (Figura 21C).

Figura 21 – Plataforma recolhedora e suporte de sustentação e elevação



Fonte: elaborado pelo autor.

Foram utilizados pneus de carroças com dimensão de 7,5 x 16. Na parte frontal temos a tração do equipamento, onde foram retirados os pneus originais antes maciços, e adicionados pneus agrícolas diagonais de 9,5 x 24, conferindo maior tração ao equipamento (Figura 22).

Figura 22 – Sistema de rodados



Fonte: elaborado pelo autor.

Foi montado um conjunto de molas planas de carroça (Figura 23A e 23B) sobre um eixo adaptado (eixo de carroça e pontas de eixo da antiga empilhadora soldadas nas extremidades do eixo) acopladas ao chassi (Figura 23C) para melhorar a absorção das vibrações provenientes dos impactos durante o tráfego e operação.

Figura 23 – Sistema de absorção de impactos



Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema de transporte foi composto por duas esteiras transportadoras vazadas dispostas longitudinalmente e transversalmente, respectivamente. A longitudinal (Figura 24A) tendo taliscas de arraste de 3 cm de altura, 30 cm de largura e 2,24 m de comprimento acoplada à plataforma recolhadora. A esteira transversal (Figura 24B e 24C) com taliscas de arraste de 3 cm de altura, 20 m de largura e 1,51 m de comprimento disposta sobre o dispositivo de armazenamento.

Figura 24 – Sistema de transporte



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Para a construção do sistema de armazenamento foi utilizado uma caçamba completa (Figura 25A e 25B) em alumínio, permitindo uma melhor qualidade durante o transporte do material colhido, dimensões 2,35 x 1,48 x 41 e capacidade de 1500 kg. O descarregamento (Figura 25C) é realizado por meio de um cilindro disposto entre o sistema de armazenamento e chassi.

Figura 25 – Sistema de armazenamento



Fonte: elaborado pelo autor.

## **5 CONCLUSÃO**

A patente do protótipo foi depositada no Instituto Nacional de Produção Intelectual, número de registro BR10 2019 012153-0.

As metodologias de projeto aplicadas para o desenvolvimento do protótipo mostrou-se uma ferramenta eficaz para a elaboração do protótipo.

A construção do protótipo demonstrou que os sistemas utilizados necessitam de melhorias para realização da validação do protótipo.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Considerando a finalização do protótipo da colhedora automotriz multifuncional para ervas medicinais, serão realizados numa próxima etapa os ensaios de desempenho operacional do protótipo. Com esses resultados, pretende-se:

- Obter com a colheita mecanizada de ervas, maior rapidez e menores custos, como forma de justificar a rentabilidade de produção de ervas;
- Analisar parâmetros utilizados em colhedoras com as mesmas características ou características que possam ser fundamentadas para o equipamento conforme necessidade;
- Encontrar possíveis falhas que possa ocorrer durante o desenvolvimento do protótipo e a operação de colheita.

## REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D. **Desenvolvimento e avaliação de máquina multifuncional conservacionista para a agricultura familiar**. 2010. 244f. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. da S.; GAMERO, C. A. Desenvolvimento e projeto de colhedora de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para agricultura familiar nas regiões de mata de transição da Amazônia. **Acta amazonica**, v. 41, n.1, p. 178-191,2011.
- ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; LOPES, A. C.; MELLO, C. A.; CAMERO, C. A. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a agricultura familiar. **Acta amazonica**, v. 37, n. 1, p. 337-346, 2007.
- ALVES FILHO, A. Elementos Finitos: a base da tecnologia CAE. 5. ed. São Paulo: Editora Érica LTDA, 2012.
- ANDRADE, E.; PEREIRA, O.; DANTAS, E. **Semiárido e o manejo dos recursos naturais**. Fortaleza: Imprensa Universitária-UFC, 2010, 396 p.
- ANDRADE, Luiz Fernando Segalin de. **Uma proposta de metodologia de projeto de interfaces na fase de projeto conceitual**. 2008. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**, Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 2. ed. 1983.
- BACK, N.; FORCELLINI, F. **Apostila de Projeto de Produtos**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2002.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, C. **Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo, Barueri, 2008.
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: 1 ed. Manole, 1987. 268 p.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**, Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 2000.
- BRASIL. Lei de Inovação Tecnológica (Lei nº 10.973/2004). Brasília, DF: **Congresso Nacional. Atos do Poder Legislativo**, DOU, n.º 232 de 3 de dezembro de 2004.
- BRASIL. Ministério da saúde. Agência nacional de vigilância sanitária. **Resolução da diretoria colegiada. RDC nº 26**. Brasília: 12 de maio de 2014. 34p. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2014/rdc0026\\_13\\_05\\_2014.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2014/rdc0026_13_05_2014.pdf). Acesso em 14 de mar. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. **Política e Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e**

**Insumos Estratégicos, Departamento de Assistência Farmacêutica.** – Brasília: Ministério da Saúde, 2016. 190 p. Disponível em:  
[https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica\\_programa\\_nacional\\_plantas\\_medicinais\\_fitoterapicos.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica_programa_nacional_plantas_medicinais_fitoterapicos.pdf). Acesso em: 12 de abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. **Política nacional de plantas medicinais e fitoterápicos / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Assistência Farmacêutica.** – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 60 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde). Disponível em:  
[https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica\\_programa\\_nacional\\_plantas\\_medicinais\\_fitoterapicos.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica_programa_nacional_plantas_medicinais_fitoterapicos.pdf). Acesso em: 11 de abr. 2020.

BRUNING, M. C. R.; MOSEGUI, G. B. G.; VIANNA, M. M. A utilização da fitoterapia e de plantas medicinais em unidades básicas de saúde nos municípios de Cascavel e Foz do Iguaçu – Paraná: a visão dos profissionais de saúde. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n.10, p. 2675-2685, 2012.

CALTAROSSO, F. **Análises de tensões em equipamentos de moagem da cana de açúcar usando o método dos elementos finitos.** 2008. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, SP. São Carlos, 2008.

CUNHA, J. P. A. R. da; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n.3, p. 348-355, 2009.

DI STASI, L.C. (Org.). **Plantas medicinais: arte e ciência.** Um guia de estudo interdisciplinar. São Paulo, 1. ed. UNESP, 1996. 230 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 306, 2006.

FAIRES, V. M. **Elementos orgânicos de máquinas.** Rio de Janeiro: LTC, 1976.  
 FINEP. **Brasil Inovador.** Brasília: FINEP, 2006.

FONSECA, Antônio Jorge Hernandez. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional.** 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FORCELLINI, F. A. **Projeto Conceitual.** EMC/UFSC, 2002. Apostila do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

FREIRE, D. C. **Desenvolvimento de projeto de máquina para fabricação de galhos de madeiras fragmentados - BRF para manejo da região semiárida do Estado do Ceará.** 2011. 48f. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

FUCH, M. P; VILHA, A. M. **Inovação Tecnológica: da definição a ação.** Ed. UFABC. Contemporâneos: Revista Artes e Humanidade. N.9 .2012.

HEGAZY R. A.; MOLARI G.; EL-SHEIKHA A. M. Prototype of harvesting system for some aromatic and medical plants. **International journal agricultural research**, v. 6, p. 420-428, 2011. Disponível em: <http://docsdrive.com/pdfs/academicjournals/ijar/2011/420-428.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL. **Patentes**. 2020. Disponível em: <http://inpi.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2020.

LORENZETTI, J.; TRINDADE, L. de L.; PIRES, D. E. P.; RAMOS, F. R. S. Tecnologia, inovação tecnológica e saúde: uma reflexão necessária. **Texto contexto – enfermagem**. V. 21, n 2, p. 432-439, 2012.

LOTTI, R. S.; MACHADO, A. W.; MAZZIEIRO, E. T.; LANDRE JÚNIOR, J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v. 11, n. 2, p. 35-43, 2006.

MARCON, L. C. **Análise ergonômica das condições do trabalho de operação de tratores agrícolas**, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, 2013.

NICKEL, E. M.; FERREIRA, M. G. G.; FORCELLINI, A.; CÉLIO TEODORICO DOS SANTOS, C. T.; SILVA, R. P. P. Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos. **Gestão da Produção**, v. 17, n. 4, p. 707-720, 2010.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas**. São Paulo: Edgar Blucher, 2006.  
 OGLIARI, A.; BACK, N.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2013.760p.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: A systematic approach**. 2.ed. London: Springer Verlag, 1996. 579p.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na engenharia**. São Paulo: Blucher, 2005.

PEREIRA, J. M.; KRUGLIANSKAS, I. Gestão de inovação: a lei de inovação tecnológica como ferramenta de apoio às políticas industrial e tecnológica do brasil. **RAE-eletrônica**, v. 4, n. 2, jul. 2005.

PLONSKI, G., A.; **Bases para um movimento pela inovação tecnológica no brasil**. São Paulo em perspectiva, v. 19, n. 1, p. 25-33, jan. 2005.

PORTELLA, A. J. **Colheita de grãos mecanizada: implementos, manutenção e regulagens**. Viçosa: Aprender Fácil, 2000.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006. 542p.

SORIANO, H. L. e SOUZA LIMA, S. de, **Método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas**. Vol. 48. EDUSP, 2003.

STEFANELLO, Guisepe. **Semeadora de tração humana: projeto informacional e conceitual**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

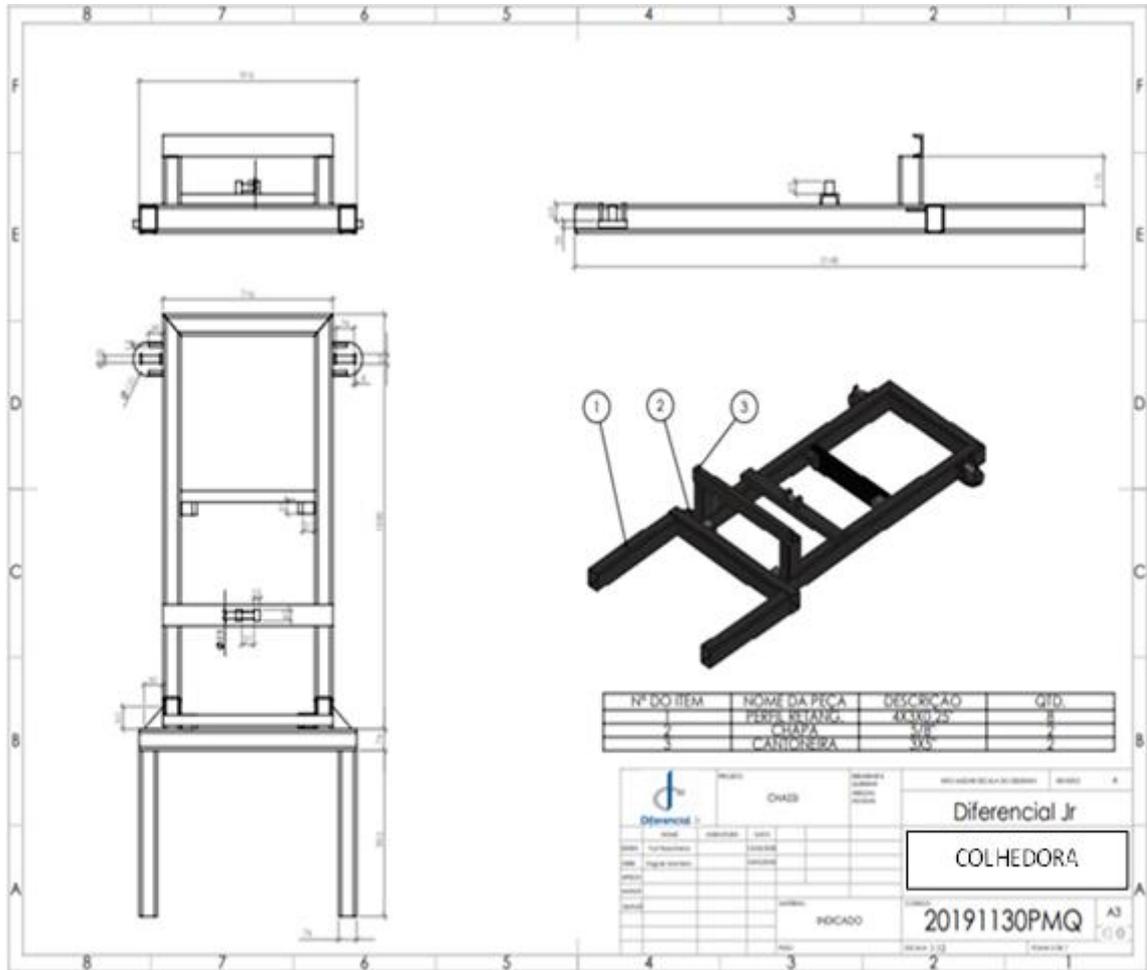
TRENTO, G. S.; SOMMERFELD, R.; ONUKI, L. T.; STRINGHINI, D. J. **Análise por elementos finitos das forças mastigatórias em uma placa de reconstrução mandibular**. Revista Circular De Traumatologia Buco-Maxilo-Facial, v. 16, n.1, p.172-78, 2016.

VIAN, C. E. F.; JÚNIOR, A. M.A.; BARICELO, L. G.; SILVA, R. P. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **RESR**, v. 51, n. 4, p. 719-744. 2014.

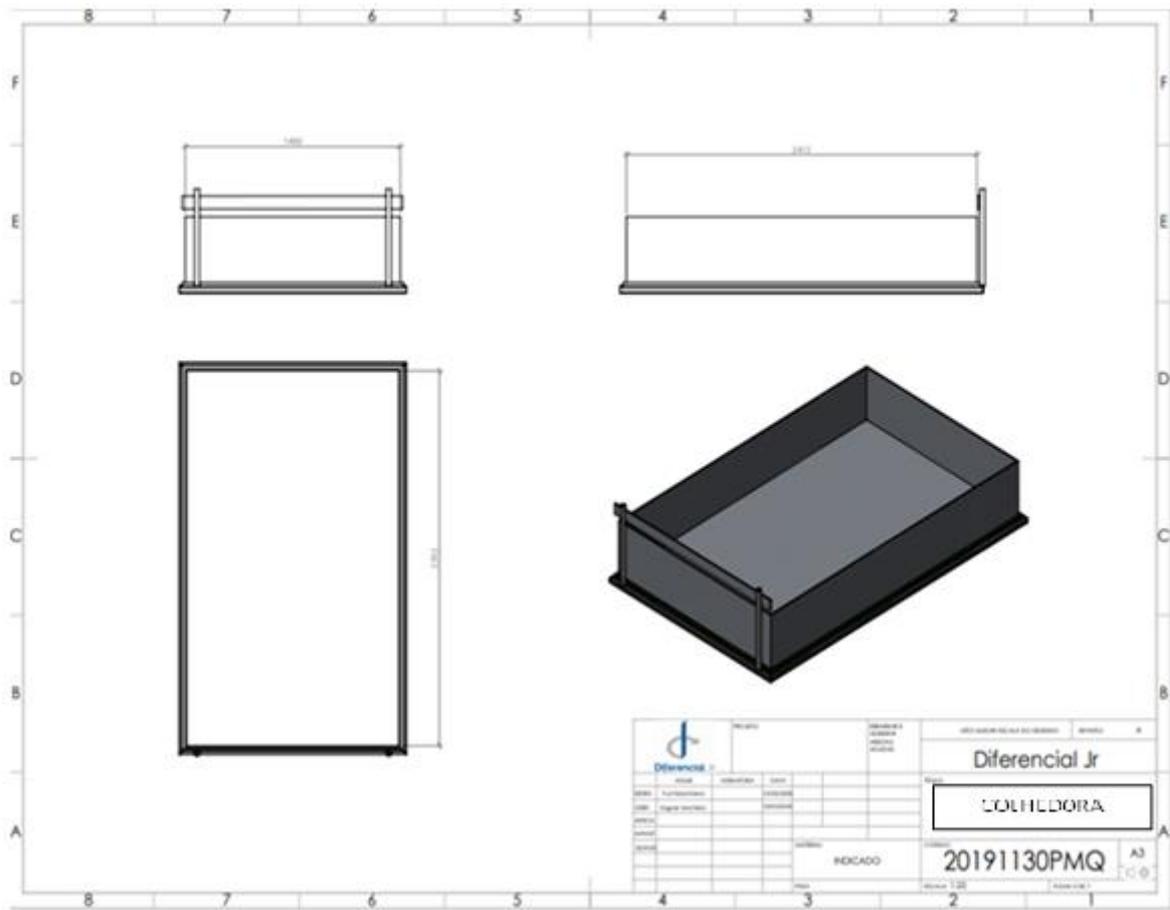
VIEIRA FILHO, J. E. R.; SILVEIRA, J. M. F. J. da. Mudança tecnológica na agricultura: uma revisão crítica da literatura e o papel das economias de aprendizado. **Revista Economia e Sociologia Rural**, v.50, n.4, p.721-742, 2012.



## APÊNDICE B – DESENHO TÉCNICO DO CHASSI DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ

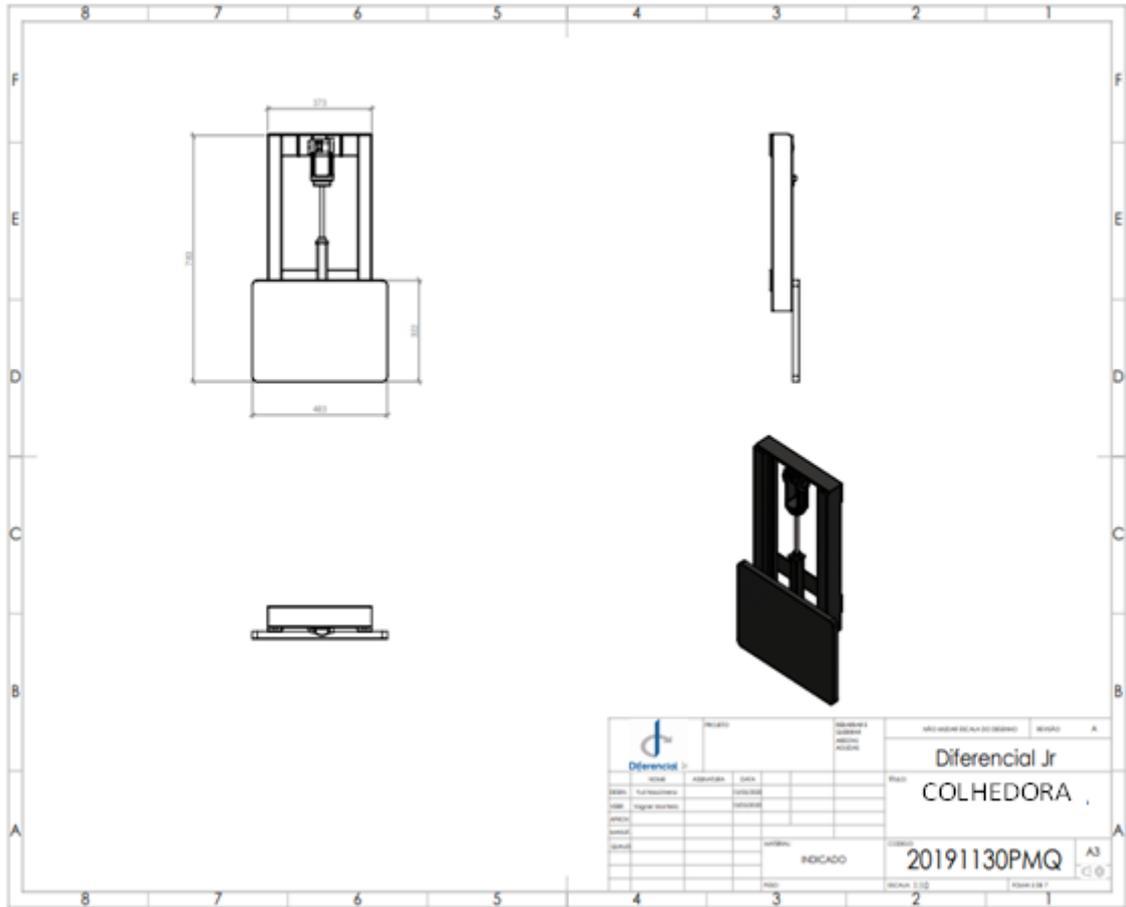


## APÊNDICE C – RESERVATÓRIO DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ



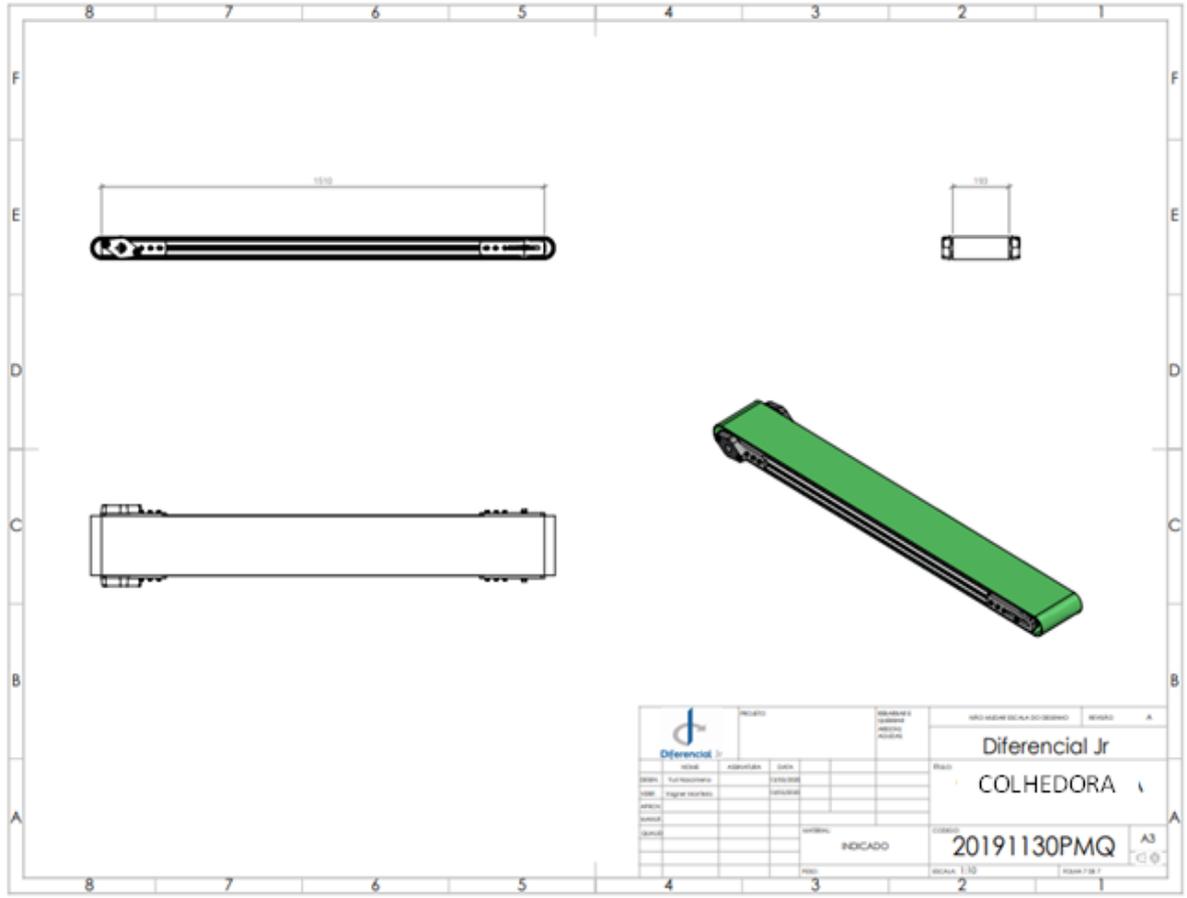


**APÊNDICE E – DESENHO TÉCNICO DO SUPORTE DA PLATAFORMA DE  
CORTE DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ**

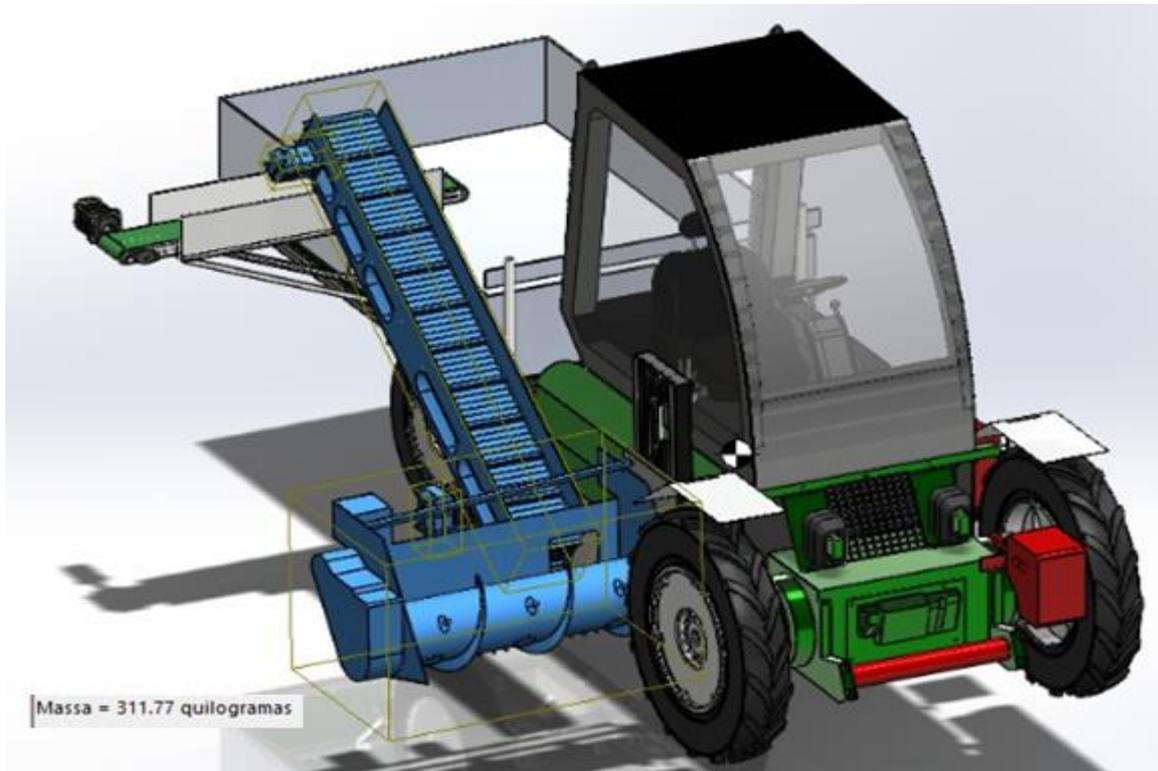




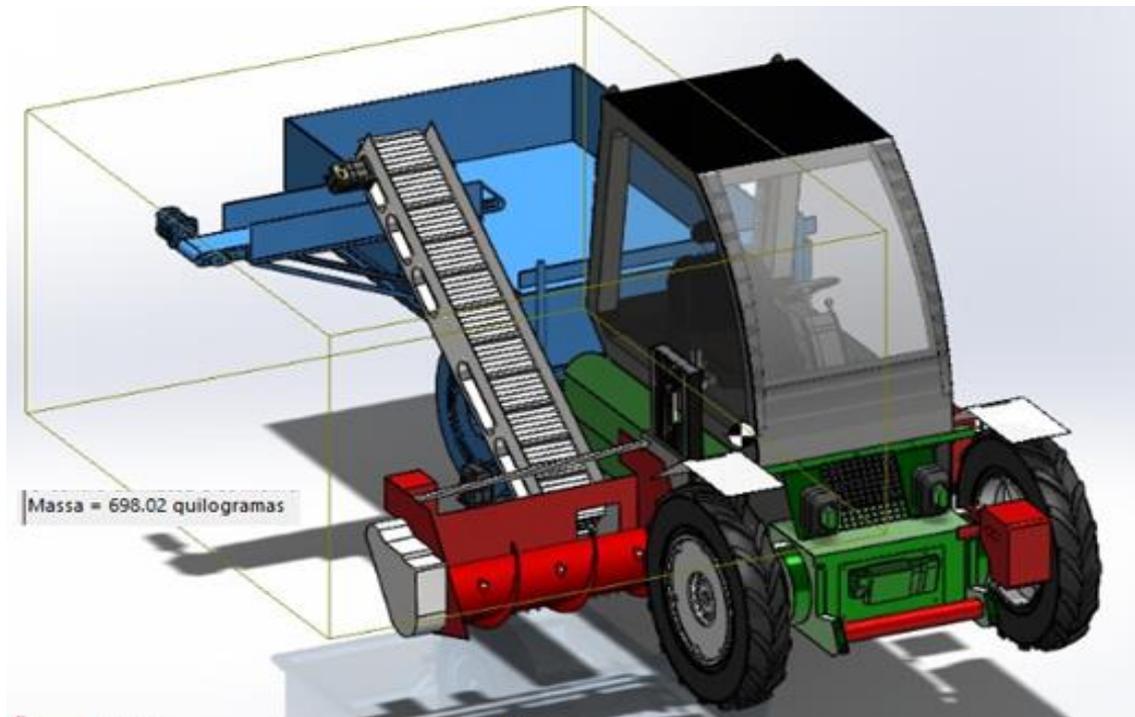
## APÊNDICE G – DESENHO TÉCNICO DA ESTEIRA TRANSVERSAL DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ



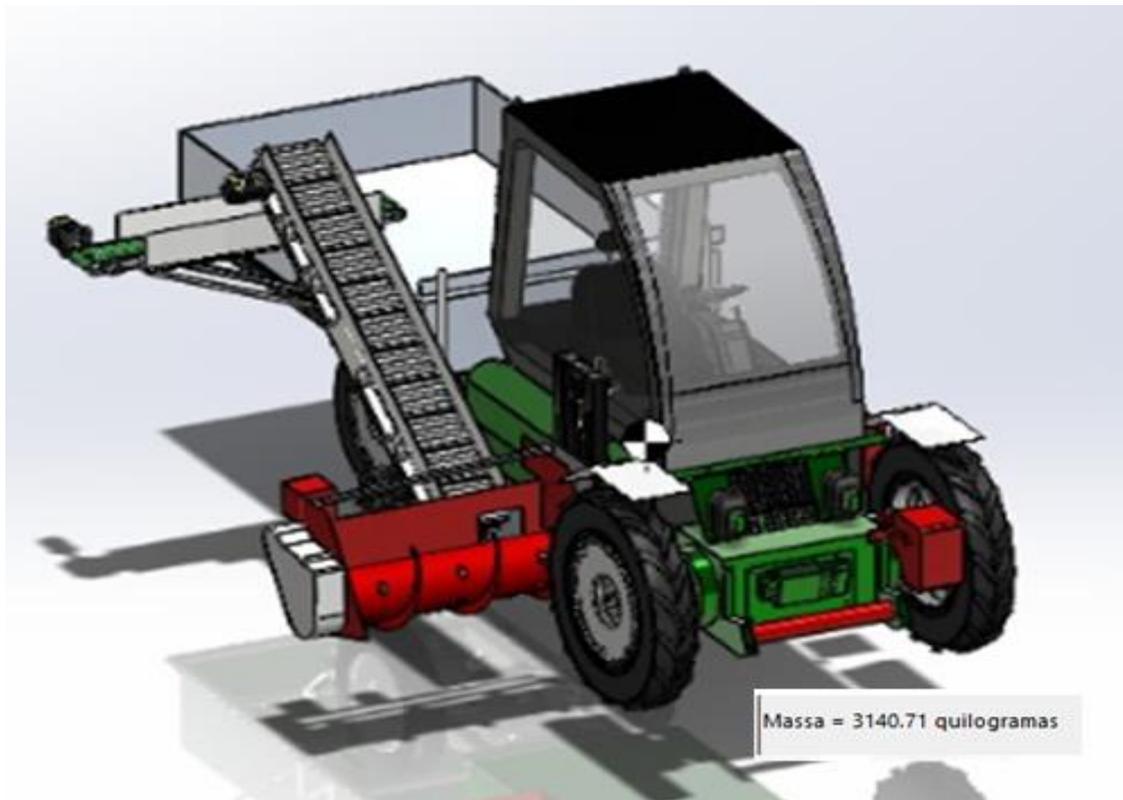
**APÊNDICE H – MASSA DA PLATAFORMA RECOLHEDORA E ESTEIRA  
LONGITUDINAL**



## APÊNDICE I – MASSA DO CHASSI E RESERVATÓRIO DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ



## APÊNDICE J – MASSA DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ



**APÊNDICE K – CENTRO DE MASSA DA COLHEDORA AUTOMOTRIZ**