



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

NILSON FRANCISCO DA SILVA

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA BANCADA REGULÁVEL PARA
MONTAGEM DE SUSPENSÃO DO TIPO DUPLO “A” NO CHASSI DE UM
VEÍCULO TIPO BAJA**

CARAÚBAS – RN

2019

NILSON FRANCISCO DA SILVA

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA BANCADA REGULÁVEL PARA
MONTAGEM DE SUSPENSÃO DO TIPO DUPLO “A” NO CHASSI DE UM
VEÍCULO TIPO BAJA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Wendell Albano – UFERSA.

CARAÚBAS – RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586p Silva, Nilson Francisco da.
PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA BANCADA REGULÁVEL
PARA MONTAGEM DE SUSPENSÃO DO TIPO DUPLO ?A? NO
CHASSI DE UM VEÍCULO TIPO BAJA / Nilson Francisco
da Silva. - 2019.
89 f. : il.

Orientadora: Prof. Me. Wendell Albano.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2019.

1. Gabarito. 2. Montante. 3. Olhais. I.
Albano, Prof. Me. Wendell , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

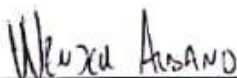
NILSON FRANCISCO DA SILVA

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA BANCADA REGULÁVEL PARA
MONTAGEM DE SUSPENSÃO DO TIPO DUPLO "A" NO CHASSI DE UM
VEÍCULO TIPO BAJA**

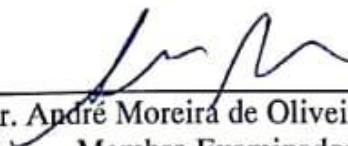
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 19 / 03 / 2019.

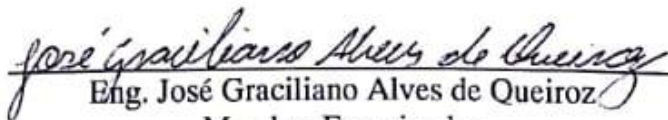
BANCA EXAMINADORA



Prof. MSc Wendell Albano (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. André Moreira de Oliveira (UFERSA)
Membro Examinador



Eng. José Graciliano Alves de Queiroz
Membro Examinador

A meu pai, Nailton Francisco, minha mãe,
Dominga Sebastiana e minha filha Lívia Silva.
As três pessoas que mais amo.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus, o principal responsável por todas as conquistas.

Agradeço as pessoas mais importantes da minha vida, meu pai Nailton Francisco e minha mãe Dominga Sebastiana, pelo amor e ensinamentos a mim dedicados.

Aos meus familiares pelos momentos de solidariedade durante as situações difíceis.

Aos meus amigos e meu irmão Nadison Francisco que me incentivou e me ajudou em vários momentos importantes.

A minha filha Lívia Pereira Silva que sempre me inspirou nesta jornada.

Agradecer a equipe Caraubaja SAE por toda ajuda e dedicação, pela disponibilidade do protótipo SEVERO, na concepção deste projeto. A todos que fazem parte dessa família.

Ao meu orientador, prof. Me. Wendell Albano por todo apoio, dedicação, por ter depositado confiança em mim e pela oportunidade de realizar este trabalho.

Há Universidade Federal Rural do Semi-Árido por disponibilizar sua estrutura para concepção deste projeto.

À todos um muito obrigado!

“Se você quiser ser o melhor, você tem que fazer coisas que as outras pessoas não estão dispostas a fazer”.

(Michael Phelps)

RESUMO

No ramo da engenharia mecânica a concepção de um projeto é dividido em várias etapas, onde a fabricação é uma delas, cujo uma das ferramentas mais utilizadas nesta etapa são os gabaritos, estes têm a função de garantir as dimensões e parâmetros do projeto durante esse processo. O presente trabalho trata do projeto e concepção de uma bancada regulável (gabarito) para auxiliar a montagem e aplicação de suspensão do tipo duplo “A” em veículos do tipo BAJA. Este trabalho apresenta com detalhe a bancada aplicada no protótipo (SEVERO 19) da equipe Caraubaja SAE. Além disso, mostra com detalhe todas as etapas para concepção deste projeto, desde os estudos preliminares, construção dos primeiros componentes no software CAD/CAE (Inventor da Autodesk), até a fabricação, montagem, implementação (dos olhais e suspensão) e os testes finais no protótipo. O projeto proposto visa ser de fácil fabricação, montagem e modulação. O projeto foi validado comparando os parâmetros virtuais e reais de protótipos anteriores desenvolvidos pela equipe, com os parâmetros do novo protótipo o qual foi utilizado a bancada na sua concepção. Ao final foi comprovado a eficiência do equipamento, onde se obteve reduções consideradas no erro relativo entre o projeto virtual e o real, sendo que o caster que é um parâmetro associado ao ângulo de inclinação do montante, foi o que apresentou uma maior redução de variação.

Palavras-Chave: Gabarito. Montante. Olhais.

ABSTRACT

In the field of mechanical engineering the design of a project is divided into several stages, where manufacturing is one of them, one of the tools most used in this stage are the templates, these have the function of ensuring the dimensions and parameters of the project during this process. The present work deals with the design and design of an adjustable bench (template) to assist the assembly and application of "A" double type suspension in BAJA type vehicles. This work presents in detail the bench applied in the prototype (SEVERO 19) of the Caraubaja SAE team. In addition, it shows in detail all steps to design this project, from preliminary studies, construction of the first components in CAD / CAE software (Autodesk Inventor) to fabrication, assembly, implementation (of the eyes and suspension) and tests in the prototype. The proposed project aims to be of easy manufacture, assembly and modulation. The project was validated comparing the virtual and real parameters of previous prototypes developed by the team, with the parameters of the new prototype which was used the bench in its design. At the end, it was verified the efficiency of the equipment, where it was obtained reductions considered in the relative error between the virtual and the real project, being that the caster that is a parameter associated to the angle of inclination of the amount, was the one that hears a greater reduction of variation.

Keywords: Template. Knuckle. Terminal.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais parâmetros a serem estudados.....	34
Tabela 2 – Principais dimensões encontradas.	35
Tabela 3 –Necessidades e limitações da equipe para a realização do projeto.	36
Tabela 4 – Parâmetros inicial de projeto adotados.	36
Tabela 5 – Premissas de projeto adotados.	37
Tabela 6 – Escolha do material utilizado na estrutura principal.....	43
Tabela 7 – Escolha das dimensões do material utilizado na estrutura principal.	44
Tabela 8 – Lista de material e peças utilizados no projeto.	46
Tabela 9 – Custo para fabricação e acabamento da bancada projetada.	47
Tabela 10 – Plano de fabricação para base da bancada.	48
Tabela 11 – Plano de fabricação para o suporte para braços de suspensão.	49
Tabela 12 – Plano de fabricação do suporte para a roda.	50
Tabela 13 – Plano de fabricação da garra para ajuste de caster.....	50
Tabela 14 – Plano de fabricação do suporte para olhais (segundo sistema de regulagem).	51
Tabela 15 – Comparação de parâmetros entre protótipos virtuais e reais (DIREITO).	60
Tabela 16 – Erro percentual dos parâmetros entre protótipos virtuais e reais (DIREITO).	61
Tabela 17 – Comparação de parâmetros entre protótipos virtuais e reais (ESQUERDO).	61
Tabela 18 – Erro percentual dos parâmetros entre protótipos virtuais e reais (ESQUERDO).	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Alfa Romeo RL <i>Limousine de Ville</i> by J. Farré.	16
Figura 2 – Veículo <i>off-road</i>	17
Figura 3 – Veículo <i>off-road</i> do tipo baja, com capacidade de mais de um ocupante.	18
Figura 4 – Veículo do tipo baja tradicional, com capacidade de um ocupante.	18
Figura 5 – Suspensão veicular.	19
Figura 6 – Suspensões dependentes.	21
Figura 7 – Suspensões independentes.	22
Figura 8 – Suspensões duplo A.	22
Figura 9 – Componentes da suspensão duplo A.	23
Figura 10 – Ângulo de <i>camber</i>	24
Figura 11 – Ângulo de <i>caster</i>	25
Figura 12 – Ângulo TOE, <i>Toe-in</i> x <i>Toe-out</i>	26
Figura 13 – <i>Wheelbase</i> e Bitola do protótipo SEVERO da equipe Caraubaja.	27
Figura 14 – Geometria frontal da suspensão duplo A.	28
Figura 15 – Gabarito regulável para auxiliar a soldagem.	29
Figura 16 – Gabarito para fabricação dos braços de suspensão. a) superior; b) inferior.	29
Figura 17 – Fluxograma da metodologia de projeto utilizada.	31
Figura 18 – Protótipo SEVERO.	33
Figura 19 – Distância entre eixos das bandejas (A) e entre os olhais (B).	34
Figura 20 – Bancada implementada ao <i>Autodesk Inventor</i>	37
Figura 21 – Vista explodida da bancada e suas divisões.	38
Figura 22 – Detalhe da base da bancada (1) aplicado ao <i>software</i> CAD/CAE.	38
Figura 23 – Graus de liberdade contido na base da bancada.	39
Figura 24 – Suporte para braços de suspensão (primeiro sistema de regulagem) (2) aplicado ao <i>software</i> CAD/CAE.	39
Figura 25 – Graus de liberdade contido no primeiro sistema de regulagem.	40
Figura 26 – Suporte para roda ou cubo de roda (3) aplicado ao <i>software</i> CAD/CAE.	40
Figura 27 – Graus de liberdade contido no suporte para roda.	41
Figura 28 – Garra de ajuste de <i>caster</i> (4) aplicado ao <i>software</i> CAD/CAE.	41
Figura 29 – Suporte para olhais (segundo sistema de regulagem) (5) aplicado ao <i>software</i> CAD/CAE.	42

Figura 30 – Graus de liberdade contido no suporte para olhais (segundo sistema de regulagem).....	42
Figura 31 – Graus de liberdade contido na bancada.....	43
Figura 32 – Plotagem das principais dimensões da bancada.....	45
Figura 33 – Metalons e tubos cortados e prontos para soldagem.....	52
Figura 34 – Olhais após os processos de dobramento, corte e furação.	52
Figura 35 – Material utilizado na fabricação da estrutura principal da bancada.....	53
Figura 36 – Estrutura logo após o processo de solda.	53
Figura 37 – Bancada desmontada com as peças prontas.....	54
Figura 38 – Bancada totalmente montada.	54
Figura 39 – a) Bancada virtual x b) bancada fabricada.	55
Figura 40 – Suspensão montada na bancada.	56
Figura 41 – Detalhe das abraçadeiras responsáveis pelo travamento das bandejas.	56
Figura 42 – Suspensão travada e com olhais prontos para ser soldados no chassi.	57
Figura 43 – Bancada posicionada com olhais prontos para ser soldados no chassi.	58
Figura 44 – Encaixe do olhal no chassi.	58
Figura 45 – Olhais soldados no chassi.	59
Figura 46 – Suspensão do protótipo SEVERO 19 montada após a implementação da bancada.	59

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	Objetivos	15
1.1.1.	Objetivo Geral.....	15
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	15
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1.	Veículos <i>off-roads</i>	16
2.2.	Suspensão.....	19
2.2.1.	Suspensão dependente e suspensão independente	20
2.2.1.1.	Suspensão dependente.....	20
2.2.1.2.	Suspensão Independente	21
2.2.1.2.1.	Suspensão duplo A.....	22
2.2.2.	Componentes de suspensão	23
2.2.3.	Parâmetros de suspensão veicular.....	24
2.2.3.1.	Ângulo de camber	24
2.2.3.2.	Caster	25
2.2.3.3.	Ângulo TOE.....	25
2.2.3.4.	Wheelbase (Entre eixo)	26
2.2.3.5.	Bitola.....	27
2.2.4.	Geometria ideal para uma suspensão	27
2.3.	Bancadas com sistemas de regulagens e gabaritos.....	28
3.	METODOLOGIA.....	30
3.1.	Determinação do problema	30
3.2.	Metodologia de projeto para o desenvolvimento da bancada.....	30
3.2.1.	Projeto informacional	31
3.2.2.	Projeto conceitual	31
3.2.3.	Projeto preliminar	31
3.2.4.	Projeto detalhado	32
3.2.5.	Fabricação.....	32
3.2.6.	Implementação.....	32
3.3.	Metodologia de validação experimental da bancada	32
3.4.	Comparação da variação dos parâmetros entre projetos virtuais e os reais	33
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35

4.1.	Projeto e desenvolvimento da bancada.....	35
4.1.1.	Projeto informacional	35
4.1.2.	Projeto conceitual	36
4.1.2.1.	Definição das dimensões	36
4.1.3.	Projeto preliminar	37
4.1.3.1.	Construção dos componentes da bancada em CAD	37
4.1.3.2.	Escolha do material	43
4.1.4.	Projeto detalhado	45
4.1.4.1.	Plotagem da bancada	45
4.1.4.2.	Lista de peças	46
4.1.4.3.	Custo do projeto	47
4.1.4.4.	Plano de fabricação da bancada.....	48
4.1.4.4.1.	Base da bancada	48
4.1.4.4.2.	Suporte para braços de suspensão (primeiro sistema de regulação)	49
4.1.4.4.3.	Suporte para a roda	50
4.1.4.4.4.	Garra para ajuste de caster.....	50
4.1.4.4.5.	Suporte para olhais (segundo sistema de regulação).....	51
4.1.5.	Fabricação.....	52
4.1.6.	Implementação.....	55
4.1.6.1.	Modulação da suspensão na bancada	55
4.1.6.2.	Posicionamento dos olhais no chassi.....	57
4.2.	Validação	60
4.2.1.	Comparação da variação dos parâmetros entre os projetos virtuais e os reais	60
5.	CONCLUSÃO.....	63
6.	TRABALHOS FUTUROS	64
7.	REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICE A: Caderno de plotagem.		67

1. INTRODUÇÃO

A história do automóvel deu-se início em meados de 1770, que mais tarde o engenheiro de guerra francês Nicolas-Joseph Cugnot criou o *Lo Fardier*, que foi o primeiro automóvel construído no mundo, este utilizava um motor a vapor. Com este fato foi dado início aos primeiros estudos nesta área. Mas só em 1885 foi produzido o primeiro veículo motorizado com propósito comercial, este foi desenvolvido pelo engenheiro alemão Karl Benz. Desde então, surgiram diversas empresas na área, e a indústria automobilística passou e vem passando por um longo processo de evolução e expansão (DIEESE/SMABC, 2018).

Com o rápido crescimento no ramo automobilístico, vem à necessidade de desenvolver projetos e construir veículos que proporcionem cada vez mais um melhor conforto, segurança e desempenho. Esse processo exige um cuidado minucioso no tocante a sua concepção e construção para que seja o mais fiel possível com o projetado.

Na etapa de concepção e projeto veicular, percebe-se que este pode ser dividido em subsistemas mecânicos característicos. Essa divisão é adotada para um melhor aperfeiçoamento do seu desenvolvimento referente ao tempo, à mão de obra necessária e a organização, de tal modo a garantir uma melhor interação entre si. Dentre tais subsistemas existentes pode-se ser citada a suspensão e direção que sempre estão interligadas entre si e trabalham juntas no momento que são solicitadas.

Destaca-se ainda que, a suspensão é uma das mais exigidas, no tocante a seu dimensionamento e projeto, pois desenvolver um bom projeto de suspensão para um automóvel é indispensável, sendo que este subsistema é responsável pela estabilidade, absorção de impactos, conforto, contato pneu/solo, entre outras funções. Para isto existem diversos parâmetros que juntos podem chegar a uma suspensão que atenda todos estes requisitos e necessidades. Vale salientar ainda que, todos estes parâmetros são importantíssimos para a dinâmica veicular.

Para um veículo do tipo *baja* não é diferente, pode se dizer que a suspensão é ainda mais exigida. O *baja* é um veículo *off-road*, ou seja, deve ser projetado para enfrentar condições severas em terrenos diversos e obstáculos variados.

Existem duas classificações para *baja*, onde citamos os veículos do tipo *baja* tradicional, que tem capacidade para mais de uma pessoa e os veículos do tipo *baja* que segue todas as especificações da SAE (*Society of Automotive Engineers* - Sociedade da Engenharia Automotiva).

Assim, a SAE organiza competições (nacional, regional e mundial) que tem como proposta incentivar alunos de engenharia a projetar e construir um veículo do tipo baja para a comercialização. O veículo deve seguir à risca todas as normas impostas pela SAE e deve ser seguro e resistente o suficiente para resistir a todas as provas da competição.

Onde nessas condições impostas pela SAE a suspensão tem a finalidade de proporcionar o máximo de conforto para o piloto, mantendo o máximo possível o contato pneu/solo. E para garantir que seja alcançado esse objetivo tem-se que ser avaliados todos os parâmetros de projeto desse subsistema que são aplicados na dinâmica veicular.

Existem métodos de garantir que os parâmetros de projeto sejam mantidos, e uma solução simples é a aplicação de bancadas do tipo de gabaritos no processo de fabricação e montagem do sistema de suspensão.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Projetar uma bancada regulável para facilitar a fabricação de suspensão dianteira do tipo duplo A, melhorando a aplicação dos olhais no chassi, e garantindo distâncias relativas entre pontos e ângulos de projeto.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Dimensionar e projetar a bancada para montagem da suspensão;
- Seleção do material;
- Mensurar o custo da bancada;
- Fabricar a bancada;
- Avaliar a eficiência da bancada, comparando medidas e ângulos do projeto baja feito usando o equipamento com os projetos antigos que não foram usados esse sistema.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Veículos *off-roads*

A engenharia automobilística é um dos mais variados ramos da engenharia mecânica que esteve evoluindo constantemente com o passar dos anos. Segundo dados da DIEESE/SMABC (2018), somente para 2018 a estimativa de crescimento aponta para produção e venda acima dos dois dígitos, 13,2% e 11,7% respectivamente. Esse crescimento é de várias categorias de veículos disponíveis no mercado.

Segundo Machado (2001), é crescente evolução na variedade de automóveis, surgindo assim várias categorias distintas. Dentre as categorias existentes, pode-se citar a categoria dos veículos de passeio, esportivos, de luxo e os *off-roads* (fora de estrada). A Figura 1 ilustra o Alfa Romeo, um dos primeiros automóveis desta categoria.

Figura 1 – Alfa Romeo RL *Limousine de Ville* by J. Farré.



Fonte - www.classiccarweekly.net. Acesso em: 06 nov. 2018.

Os veículos *off-roads* (Figura 2) em geral tem características que os diferem dos demais tipos, como por exemplo: sistema de transmissão são geralmente 4x4, mas, tem modelos 4x2, suspensão reforçada, freios bem mais eficazes e são projetados para transitar em locais de difícil acesso. Para Kaffka (2009), um veículo *off-road*, deve ser resistente o suficiente para suportar situações adversas em estradas não convencionais, capaz de superar obstáculos diversos quando necessário.

Figura 2 – Veículo *off-road*.



Fonte - www.autoo.com.br. Acesso em: 06 nov. 2018.

Dentro desta categoria dos *off-roads*, existem os veículos do tipo baja. Que segundo Kaffka (2009), baja é um protótipo *off-road*, recreativo, robusto, resistente, seguro, de fácil manutenção e operação, fácil transporte, e deve ser projetado para vencer terrenos com grandes irregularidades sem que venha a falhar.

Portanto, os veículos do tipo baja são protótipos *off-roads* que possuem chassis com perfis tubulares em aço e suspensões independentes nas quatro rodas. Além disto, o baja deve ser seguro e resistente para atender todas as normas impostas pela SAE Brasil (*Society of Automotive Engineers* - Sociedade da Engenharia Automotiva) (MAEHLER, 2013).

Deste modo, pode-se concluir que o Baja é um veículo *off-road*, recreativo, que pode levar um ou mais ocupantes. A Figura 3 mostra um veículo do tipo Baja com capacidade para mais de uma pessoa, já a Figura 4 mostra um modelo tradicional de Baja monoposto, que é o modelo projetado seguindo as regras e especificações da SAE Brasil.

Figura 3 – Veículo *off-road* do tipo baja, com capacidade de mais de um ocupante.



Fonte - offroad.polaris.com. Acesso em: 06 nov. 2018.

Figura 4 – Veículo do tipo baja tradicional, com capacidade de um ocupante.



Fonte - Próprio Autor.

2.2. Suspensão

Para projetos de veículos automotores, alguns subsistemas são criados visando agilizar e otimizar o processo de projeto e fabricação de um veículo. Dentre os subsistemas, pode-se citar alguns principais, como: freios, transmissão, chassi, direção e suspensão (BORNHOLD, 2012).

Porém, dentre os subsistemas mencionados anteriormente, a suspensão (Figura 5), é para Diniz (2014), um dos subsistemas que mais influência na dinâmica e consequentemente no desempenho de um veículo automotor. Pois é caracterizado como o projeto que mais necessita de tempo, estudo, custo e otimização paramétrica em seus componentes e montagens.

Figura 5 – Suspensão veicular.



Fonte – <http://www.circulaseguro.pt>. Acesso em: 08 nov. 2018.

Este subsistema tem um papel indispensável no desenvolvimento de um veículo automotor. Segundo Ferreira (2003), a suspensão tem a função de absorver as vibrações e choques das rodas, proporcionando conforto aos ocupantes do veículo e garantindo a manutenção do contato das rodas com o solo.

Almeida (2012) define a suspensão como sendo um conjunto de componentes responsáveis por absorver irregularidades do solo, vibrações externas, choques transmitidos à estrutura do veículo ou aos ocupantes do mesmo.

Barbieri (2009), destaca que as funções primárias de um sistema de suspensão são: fornece elasticidade vertical para que assim às rodas consigam acompanhar as irregularidades do terreno, reagir às forças do contato pneu-solo, resistir à força de rolagem do chassi e ainda manter o máximo de contato do pneu com o terreno.

2.2.1. Suspensão dependente e suspensão independente

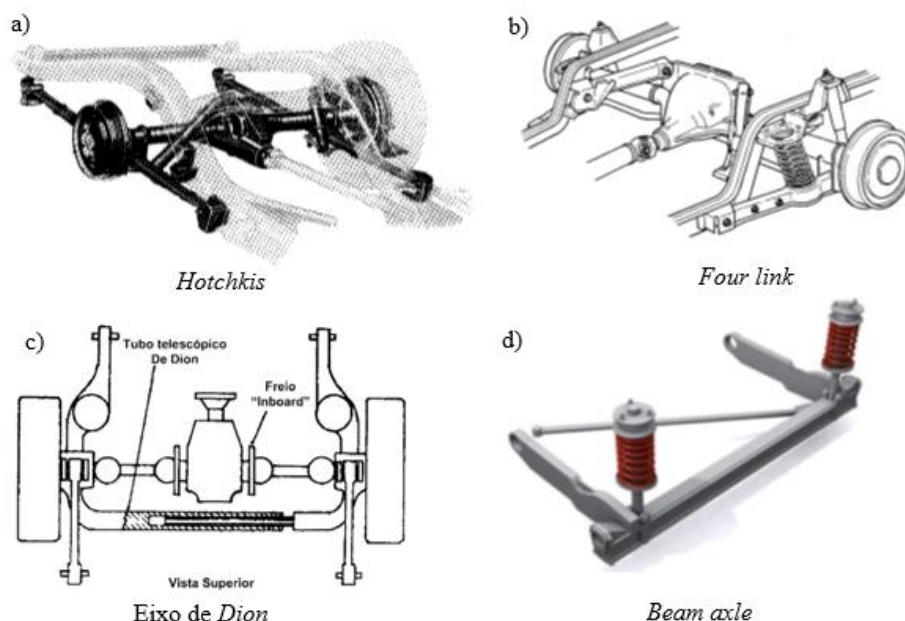
No intuito de atingir os preceitos e características dinâmicas que são exigidas durante a fase de projeto, como por exemplo: conforto, boa manobrabilidade, segurança, estabilidade etc., surgiram uma gama de sistemas de suspensão, onde está é dividida em dois grandes grupos, as suspensões dependentes e independentes.

2.2.1.1. Suspensão dependente

A suspensão dependente, ou simplesmente suspensão de eixo rígido é uma das suspensões mais antigas existentes. Diniz (2014) explica que neste sistema, a oscilação da roda de um lado do veículo é condicionada ao movimento da outra roda do mesmo eixo. Desse modo, quando uma roda de um dos lados do veículo passa por um desnível, a outra sentirá esse efeito, e isso deteriorará a dinâmica do veículo, uma vez que esta roda tenderá a ter uma grande variação de forças de contato pneu-solo, podendo, em algumas situações, até perdê-lo totalmente.

Os mais comuns tipos de suspensão para essa classificação são: a de *Beam Axle*, *Hotchkiss*, *Four Link* e *De Dion*. Para Brito (2013) a suspensão de eixo rígido é um dos tipos de suspensão traseira mais utilizado atualmente muito empregado em carros e na maioria dos caminhões. A Figura 6 ilustra esses tipos de suspensão.

Figura 6 – Suspensões dependentes.



Fonte – Imagem adaptada de: (a), (b) e (c) Gillespie (1992) e (d) Diniz (2014).

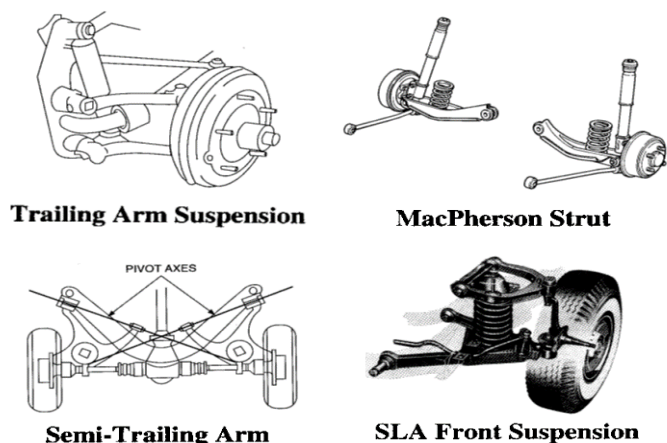
2.2.1.2. Suspensão Independente

Este tipo de suspensão permite que cada roda se movimente verticalmente sem influenciar a outra roda oposta. A maioria dos carros de passeios e caminhões leves utilizam suspensão independente nas rodas dianteiras, já os veículos de competição usam, na maioria das vezes, este tipo de suspensão nas rodas dianteiras (principalmente) e traseiras (DINIZ 2014).

De acordo com Gillespie, (1992) as suspensões independentes apresentam de forma geral outras vantagens como proporcionar um maior espaço para a montagem do conjunto propulsor facilidade de controle do centro de rolamento da suspensão, grande curso do movimento das rodas, grande rigidez ao rolamento e reduzido valor da massa não suspensa.

Os principais tipos de suspensões independentes são a *Trailing Arms*, *Semi Trailing Arms*, *MacPherson*, *Multilink* e duplo A. Alguns desses tipos estão ilustrados na Figura 7.

Figura 7 – Suspensões independentes.



Fonte – Adaptada de Gillespie (1992).

2.2.1.2.1. Suspensão duplo A

Conhecida como duplo A ou SLA (*Short Long Arm*), *Double Wishbone*, conforme ilustrado na Figura 8, esta suspensão é independente, podendo ser utilizada na dianteira ou na traseira do veículo, o que garante ótima estabilidade, já que controla muito bem os ângulos de cambagem e convergência. A mesma é composta por dois braços de controles transversais em cada lado do veículo, que realiza a conexão da manga de eixo com o chassi. Um dos braços também tem a função de suportar o amortecedor e a mola de modo a absorver as vibrações vindas do solo. Esta suspensão é largamente usada em veículos de alto desempenho, como carros de corrida, carros esportes, etc. (DINIZ, 2014).

Figura 8 – Suspensões duplo A.



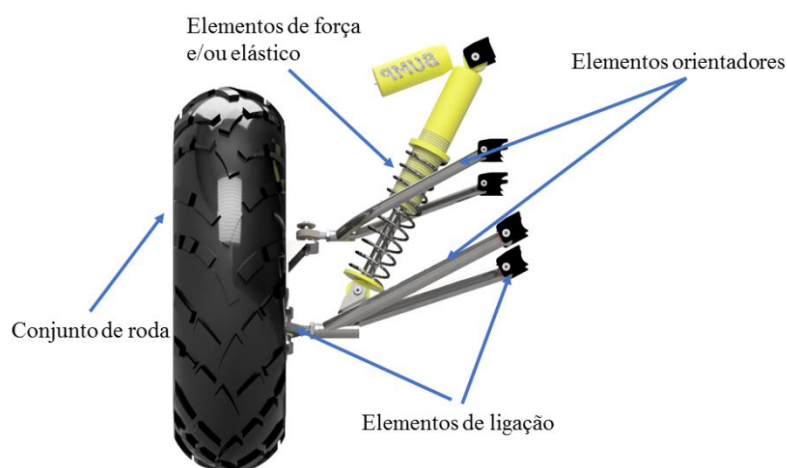
Fonte – Próprio Autor.

2.2.2. Componentes de suspensão

Segundo Diniz (2014), os componentes de suspensão consistem de peças que tem a função principal de conectar a roda ao chassi, afirma ainda que os principais componentes de suspensão automotiva são os amortecedores, as molas, as buchas, a manga de eixo e o conjunto pneu/roda.

Toda suspensão automotiva possui componentes que são fundamentais para seu perfeito funcionamento, onde, são classificados em elementos de ligação, orientação e elástico. Os elementos de ligação têm a função de unir a roda ao chassi e os elementos elástico usam o princípio da deformação elástica dos materiais, ou seja, quando é submetida a alguma força se deformam com o objetivo de preservar os componentes de ligação. Os principais componentes de ligação são as buchas, olhais, terminais rotulares, o conjunto manga de eixo e conjunto pneu com roda, em contrapartida, os principais elementos elásticos de uma suspensão automotiva são os amortecedores e molas, destacando que os braços de suspensão além de serem considerado elementos de ligação, eles são responsáveis por orientar o trabalho da suspensão (MARTINS, 2004). A Figura 9 mostra com detalhe os componentes de uma suspensão de um veículo do tipo baja.

Figura 9 – Componentes da suspensão duplo A.



Fonte – Próprio Autor.

Os principais elementos de força são os amortecedores e molas, já os elementos de ligação mais comuns são: buchas, coxins, terminais rotulares, pivô e olhais. Na suspensão duplo A, os elementos orientadores são geralmente braços de geometria triangulares (CALDAS, 2013).

2.2.3. Parâmetros de suspensão veicular

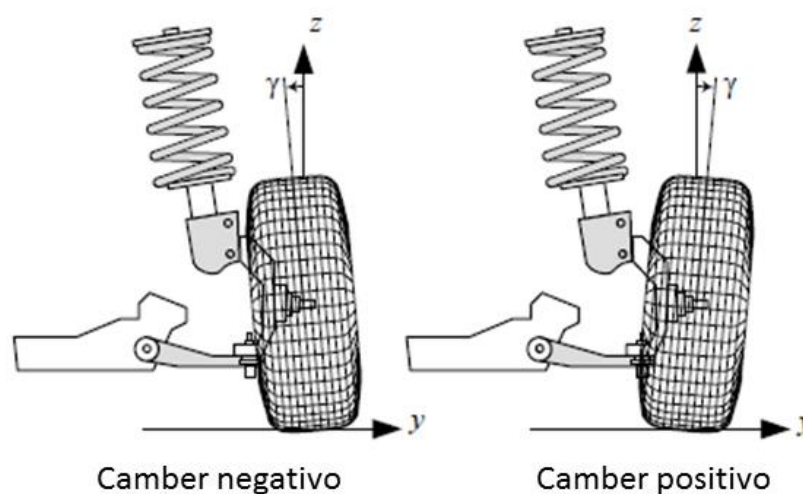
Além de conhecer os principais tipos de suspensões e seus componentes, é necessário compreender as terminologias que caracterizam a cinemática do sistema e suas relações geométricas. Essas relações determinam as forças a que os pneus/rodas serão submetidos, e, conseqüentemente, determinam todas as características geométricas do conjunto. Além disso, é imprescindível entender sobre os conceitos de massa suspensa, massa não suspensa e taxa de instalação para estudar a dinâmica vertical veicular (DINIZ, 2014).

2.2.3.1. Ângulo de camber

Rezende (2007), define o camber como sendo uma das variáveis geométricas do sistema de suspensão, correspondente ao ângulo na vista frontal que o plano da roda do automóvel faz com um plano vertical global que passa pelo centro do pneu. Sendo que se a roda se inclinar para o chassi, ele é denotado de camber negativo, e se inclinar para fora do carro, ele é chamado de camber positivo conforme ilustrado na Figura 10.

Para Lira (2012) o camber é o ângulo formado entre um plano horizontal ao eixo e a inclinação do conjunto pneu com roda, e, completa afirmando que o ângulo de camber tem como função aumentar o contato do pneu com o solo durante todo o movimento da suspensão.

Figura 10 – Ângulo de camber.



Fonte – Adaptado de Jazar (2008).

2.2.3.2. Caster

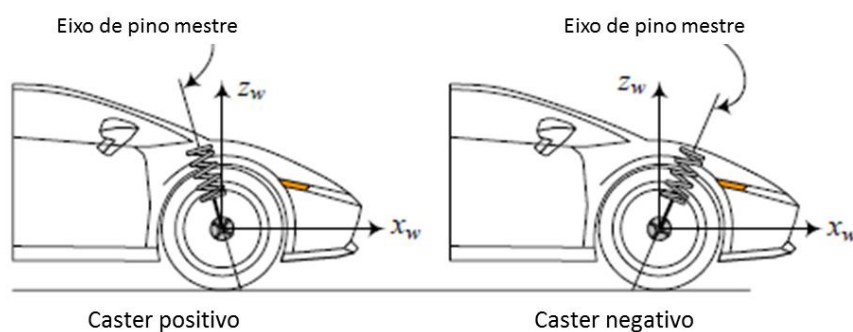
Segundo Diniz (2014), o caster é o ângulo na vista lateral, entre o eixo do pino mestre e o eixo vertical do veículo. Martins (2004) complementa que o caster pode afetar diretamente na cambagem do veículo e na estabilidade do automóvel em altas velocidades.

A principal influência do ângulo de caster está na estabilidade direcional do veículo, sendo que o caster negativo tende a alinhar a roda quando o veículo se movimenta para frente, e, dessa forma, é usado para aprimorar a estabilidade em linha reta. Tal efeito é chamado de auto alinhante (JAZAR, 2008).

Conforme mostrado na Figura 11, o ângulo é considerado positivo quando a parte superior do eixo do pino mestre (ângulo formado pelo eixo que liga o ponto superior e inferior dos braços de suspensão na manga de eixo e o plano na vertical) está inclinada para a traseira do veículo; caso contrário, é tido como negativo.

Este ângulo é o principal parâmetro que pode ser garantido com o desenvolvimento deste projeto.

Figura 11 – Ângulo de caster.



Fonte – Adaptado de Jazar (2008).

2.2.3.3. Ângulo TOE

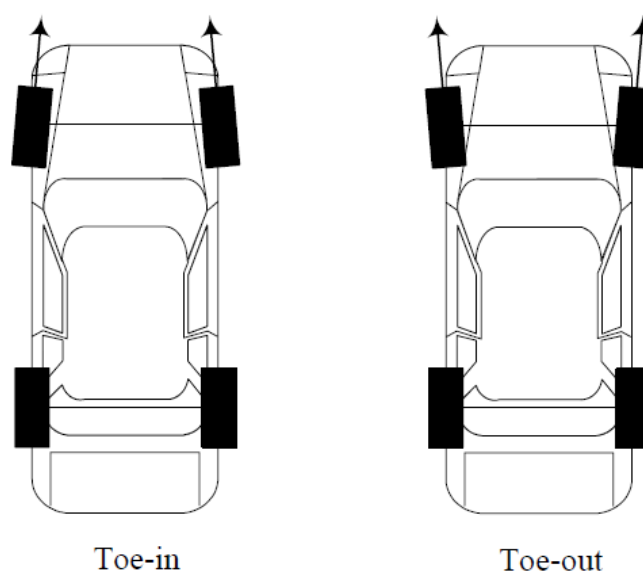
O ângulo TOE consiste na medição do paralelismo de um par de rodas, comparando uma com a outra durante o movimento de um veículo.

O ângulo TOE afeta diretamente no desempenho do pneu, estabilidade do veículo em linha reta e na entrada de um veículo em uma curva. O ângulo de TOE consiste na relação de quando um par de rodas foi configurado de maneira que suas bordas de ataque estejam apontadas de uma para a outra (visto de frente) este caso leva o nome de *Toe-in*. De maneira

inversa, quando as bordas de ataque de um par de roda estão direcionadas em sentidos contrários, leva o nome de *Toe-out* (JAZAR, 2008).

De acordo com Diniz (2014), o *Toe-in* dar-se quando as rodas estão convergindo e para o caso *toe-out* pode-se afirmar que as rodas estão divergindo. A Figura 12 ilustra no caso da esquerda um par de roda convergindo (*Toe-in*) e no caso da direita um par de roda divergindo (*Toe-out*).

Figura 12 – Ângulo TOE, *Toe-in* x *Toe-out*.



Fonte – Jazar (2008).

2.2.3.4. *Wheelbase* (Entre eixo)

Diniz (2014) define a distância entre eixos (*Wheelbase*) (figura 13), como sendo a medida do centro do eixo dianteiro para o centro do eixo traseiro. E ainda complementa que este é um importante parâmetro nas propriedades de conforto e dirigibilidade dos veículos. Lira (2012) completa que uma longa distância entre eixos possibilita maior espaço para os passageiros e reduz a influência da carga transportada sobre a distribuição de carga por eixo. A pouca projeção da carga sobre a frente e a traseira do veículo reduz a tendência às oscilações de *Pitch* (arfagem) tornando possível a aplicação de molas de menor rigidez, normalmente associadas a um alto nível de conforto.

2.2.3.5. Bitola

A bitola (Figura 13) de um carro é definida como sendo a distância entre os dois planos médios das rodas de um eixo. Um automotor pode apresentar bitolas dianteiras e traseiras iguais ou diferentes, dependendo dos requisitos impostos de cada projeto (DINIZ, 2014).

De acordo com Rezende (2007), este parâmetro é determinado em função da largura do veículo. Ainda destaca que o ponto positivo do uso de uma bitola maior é uma menor intensidade do rolamento da carroceria e a redução da transferência de peso lateral que consequentemente produz um ganho de desempenho em curva. Porém, nesta configuração há um aumento na área frontal e consequentemente um aumento nas forças de arrasto aerodinâmico.

Figura 13 – Wheelbase e Bitola do protótipo SEVERO da equipe Caraubaja.



Fonte – Próprio Autor.

2.2.4. Geometria ideal para uma suspensão

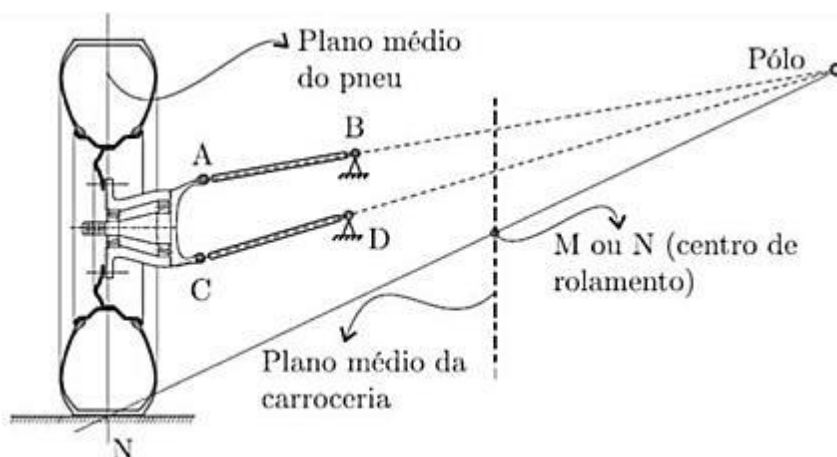
De acordo com Milliken e Milliken (1995) o estudo da geometria ideal para uma suspensão está relacionado com a maneira que a massa não suspensa de um veículo está conectada à massa suspensa. Barbieri (2009) complementa que a geometria ideal para uma

suspensão determina a geometria das articulações e consequentemente os centros de pivotamento que está totalmente ligado com a movimentação do sistema de suspensão.

A geometria de suspensão pode interferir diretamente em parâmetros como o caster e camber que podem variar durante o movimento da suspensão. Como já visto anteriormente, esses parâmetros podem interferir diretamente na dinâmica do veículo. Conforme Lira (2012) a geometria determina fatores importantíssimos para um veículo, como o conforto, dirigibilidade, desgastes dos pneus e consumo de combustível.

Por fim, conclui-se que a geometria ideal de suspensão é de fundamental importância para um bom projeto de suspensão e que existe uma geometria particular para cada tipo de suspensão existente. A figura a seguir mostra a geometrias da suspensão duplo A (Figura 14).

Figura 14 – Geometria frontal da suspensão duplo A.



Fonte – Nicolazzi (2008).

2.3. Bancadas com sistemas de regulagens e gabaritos

Segundo Soares (2006), no processo de montagem e soldagem comumente é utilizado estruturas temporárias chamadas de gabaritos. Se faz necessário localizar e indexar os componentes durante o processo, de tal modo garantir a qualidade dos produtos mantendo as suas tolerâncias após o processo de soldagem devido ao aporte de calor gerado pelo processo, que pode causar distorções indesejadas nos componentes fabricados.

Silva et al. (2010) complementa dizendo que, estes sistemas de gabaritos contam com vários tipos de ajustes e tem uma boa modularidade. Assim, ajuda a resolver problemas de montagem que podem ser separados em três tipos: montagem de subconjuntos, montagem estrutural e montagem final. Montagem de subconjuntos é qualquer montagem que envolva

duas ou mais peças. Montagens que envolvem poucas peças e peças pequenas costumam utilizar apenas ferramentas manuais e, em geral, não precisam de gabaritos. Na Figura 15 tem um exemplo de gabarito em bancada para auxiliar o processo de soldagem.

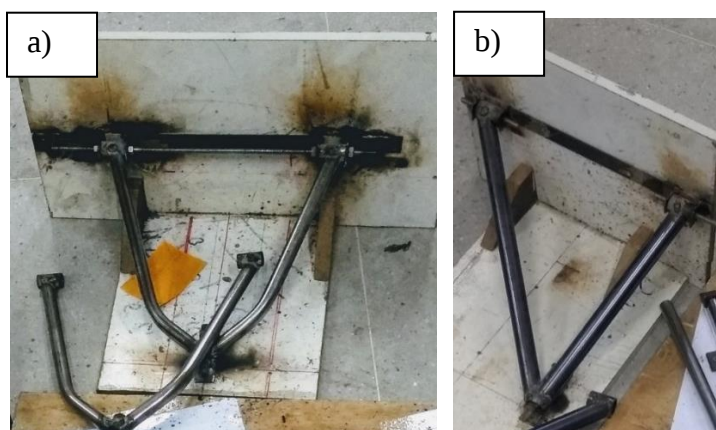
Figura 15 – Gabarito regulável para auxiliar a soldagem.



Fonte – [http:// br.pinterest.com/a_alrashaid/welding/?lp=true](http://br.pinterest.com/a_alrashaid/welding/?lp=true). Acesso em: 3 dez. 2018.

Na Figura 16 é demonstrado o gabarito utilizado para a fabricação dos braços da suspensão do projeto Caraubaja SAE. Esses braços são projetados em dois planos ou mais, o que dificulta a sua fabricação. É utilizado um sistema simples de gabarito, porem, eficiente e atende as necessidades da equipe. Ele é composto por duas tabuas unidas em 90° onde é possível condicionar olhais feitos com barra chata e assim garantir as distâncias e ângulos do projeto com erros mínimos. Este sistema é utilizado nos protótipos anteriores da equipe e não apresentou erros significativos.

Figura 16 – Gabarito para fabricação dos braços de suspensão. a) superior; b) inferior.



Fonte – Próprio Autor.

3. METODOLOGIA

3.1. Determinação do problema

A equipe Caraubaja SAE da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA-Campus Caraubas) mesmo sendo ainda uma equipe relativamente nova ela tem crescido e vem participando de diversas competições, além de já ter desenvolvido três veículos. Nestes veículos o subsistema de suspensão tem recebido grande destaque conseguindo a segunda colocação na competição Baja SAE etapa Nordeste 2018. Porém, dentro do subsistema foi verificado alguns erros de execução de projeto principalmente na fase de fabricação dos componentes e montagem. Mediante esses erros e levando em consideração as proporções que esse projeto tem alcançado, é visto a necessidade e a oportunidade de melhorar ainda mais os resultados do subsistema e consequentemente da equipe, neste contexto foi verificado a possibilidade de projetar e construir uma bancada/gabarito com regulagens capazes de auxiliar na fabricação e montagem do novo projeto.

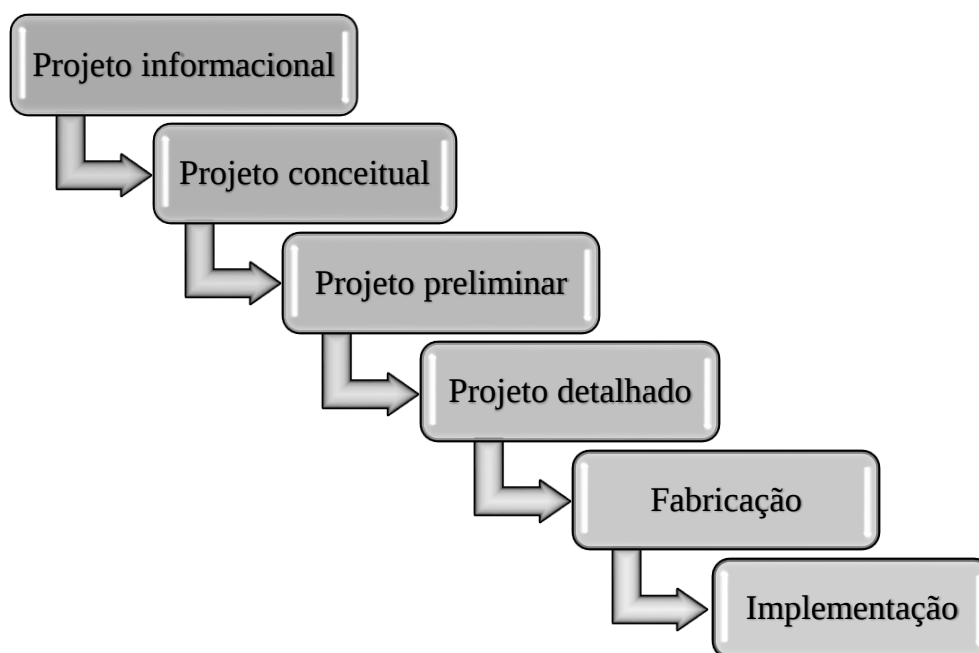
Com a utilização de um sistema de gabarito, pode ser fidelizado a construção com o projetado, assim garantindo que o comportamento previsto na parte conceitual do projeto, seja posto em pratica nas provas da competição Baja SAE. Pois, garantindo parâmetros de projeto, garante também um melhor desempenho e consequentemente melhores resultados.

Tendo em vista que essa bancada deve ser de fácil montagem e simples modularidade, pois pode, e será utilizada por novos membros do projeto para fabricação de futuros protótipos, além disso a bancada deve apresentar um baixo custo, alta resistência a saída da inercia (apresentar uma massa suficiente para que esta não sai da inercia facilmente) e ser eficiente.

3.2. Metodologia de projeto para o desenvolvimento da bancada

Com intuito de desenvolver a bancada com projeto e fabricação de maneira mais eficiente, esta etapa do trabalho foi dividida em seis partes que serão explicados posteriormente. O fluxograma da Figura 17 mostra com detalhe a metodologia de projeto utilizada.

Figura 17 – Fluxograma da metodologia de projeto utilizada.



Fonte – Próprio Autor.

3.2.1. Projeto informacional

Como primeira parte da metodologia, tem-se o projeto informacional, onde, foi feito o estudo da aplicação da bancada, a fim de conhecer os principais parâmetros, possíveis dimensões e necessidades para poder dimensionar corretamente.

3.2.2. Projeto conceitual

Nesta etapa é iniciado o projeto conceitual, onde define, com base no estudo realizado no projeto informacional, as principais dimensões e premissas de projeto para a bancada e como será seus principais componentes.

3.2.3. Projeto preliminar

O projeto preliminar, é a etapa onde deverá ocorrer a construção dos componentes da bancada no *software Inventor Autodesk*. Em seguida, deve-se realizar a montagem de todos os

componentes no *Inventor Autodesk*. Deve ser feito também a análise volumétrica para garantir que não haverá nenhuma interferência entre os componentes.

3.2.4. Projeto detalhado

No projeto detalhado são apresentadas todas as imagens da bancada e de seus componentes, todas as plotagens dos componentes, lista de materiais e peças utilizadas, além dos custos finais do projeto.

3.2.5. Fabricação

A fabricação, etapa onde são fabricados e montados todos os componentes. Para um melhor desempenho na fabricação, será realizado os planos de fabricação onde nestes estarão descritos a peça que será fabricada, o material utilizado e os processos necessários na confecção de cada componente.

3.2.6. Implementação

A implementação é a etapa que coloca a prova a bancada projetada. Após a bancada fabricada e montada, será modelada a suspensão na bancada garantindo todos os parâmetros do projeto. Logo após, será levado o conjunto suspensão/bancada para a aplicação dos olhais no chassi do protótipo para a posterior solda dos mesmos.

3.3. Metodologia de validação experimental da bancada

A última parte da metodologia aplicada neste trabalho consiste na validação experimental da bancada. Nesta etapa são comparadas as dimensões da suspensão no *Software CAD/CAE* com a fabricada e montada na realidade.

Vale salientar que para realização dos testes adotou-se como base os lados direito e esquerdo da suspensão dianteira de acordo a posição do piloto dentro do *Cockpit*, ou seja, o lado direito do piloto será o lado direito da suspensão e da mesma forma para o lado oposto, conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Protótipo SEVERO.



Fonte – Próprio Autor.

3.4. Comparação da variação dos parâmetros entre projetos virtuais e os reais

Os principais parâmetros e dimensões de suspensão do baja a ser estudo é apresentado na Tabela 1, onde serão comparados o virtual e o real, caracterizando a eficiência do gabarito.

Os parâmetros, distância entre eixos das bandejas (A) e entre os olhais (B) estão dispostos na Figura 19.

Durante a análise das dimensões, utilizou alguns instrumentos de medições, tais como: paquímetro, trena, nível e goniômetro.

E para expressar as variações (Erro) em porcentagem, foi utilizado a equação 1.

$$\text{Erro}(\%) = \frac{\text{Virtual} - \text{Real}}{\text{Virtual}} \cdot 100\% \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

Virtual => Valor de projeto;

Real => Valor medido no real, após a fabricação.

E o erro é apresentado em modulo.

Figura 19 – Distância entre eixos das bandejas (A) e entre os olhais (B).



Fonte – Próprio Autor.

Tabela 1 – Principais parâmetros a serem estudados.

Principais parâmetros de suspensão do baja
<i>Wheelbase</i>
Caster
Distância entre eixos das bandejas
Distância entre olhais

Fonte – Próprio Autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Projeto e desenvolvimento da bancada

Conforme a metodologia adotada no item 3.2., o desenvolvimento da bancada foi dividido em etapas. Os resultados de cada etapa estão descritos detalhadamente nos itens a seguir.

4.1.1. Projeto informacional

Nesta etapa, como proposto na metodologia foi feito o levantamento das principais características que o projeto da bancada deve conter. Foi levado em consideração o empacotamento volumétrico máximo e mínimo, tendo em vista que a bancada deveria ser capaz de conter todos os componentes da suspensão em seu empacotamento volumétrico (volume equivalente a um cubo), bem como as dimensões do chassi do baja tendo em vista que a bancada deve ser posicionada ao lado do chassi. A Tabela 2 contém estas dimensões.

Tabela 2 – Principais dimensões encontradas.

Dimensão	Máxima	Mínima
Altura (mm)	810	670
Largura (mm)	925	566
Comprimento (mm)	670	550
Empacotamento volumétrico (m³)	0,5	0,2

Fonte – Próprio Autor.

Juntamente com membros do projeto Caraubaja SAE, foi feito o levantamento das principais necessidades, premissas de projeto e limitações da equipe para a realização do projeto da bancada. Estes levantamentos estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 –Necessidades e limitações da equipe para a realização do projeto.

Pesquisa	
Necessidades	Limitações
Garantir parâmetros	Pouco recursos financeiros
Sistema com regulagem simples	Indisponibilidade de variedade de materiais
Sistema de fácil montagem	Pouco espaço para guardar o equipamento
Sistema compacto	-----

Fonte – Próprio Autor.

4.1.2. Projeto conceitual

4.1.2.1. Definição das dimensões

Com base no estudo realizado no item (4.1.1), foi adotado como parâmetros as dimensões máximas possíveis, pois, com esta configuração é possível ter uma maior modularidade e aumentar a possibilidade de utilização de um número maior de suspensões com configurações diferentes e diferentes projetos. A Tabela 4 contém os parâmetros iniciais de projeto adotados.

Tabela 4 – Parâmetros inicial de projeto adotados.

Dimensão	Valor adotado
Altura (mm)	810
Largura (mm)	925
Comprimento (mm)	670
Empacotamento volumétrico (m³)	0,5

Fonte – Próprio Autor.

De acordo com as necessidades e limitações de projeto, expostas pela equipe Caraubaja SAE no item (4.1.1), foi determinado algumas premissas de projeto (Tabela 5), tais como: tipo de encaixe a ser utilizado para garantir ajustes de altura e ângulos, formas de regulagens e travamento do sistema.

Tabela 5 – Premissas de projeto adotados.

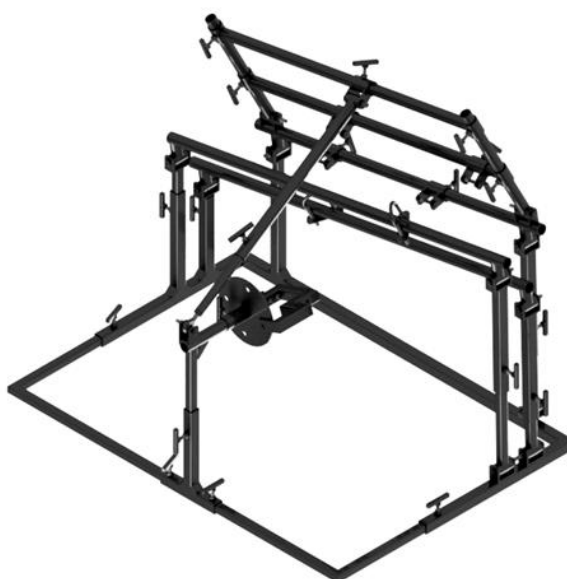
Algumas premissas adotadas	
Tipo de encaixe para ajuste de altura	Encaixe concêntrico com pouca interferência
Variação de ângulo	Pivoteamento em eixo
Travamento do sistema	Porca e parafuso
Liberdade de ajuste em 2 planos	Terminal rotular

Fonte – Próprio Autor.

4.1.3. Projeto preliminar

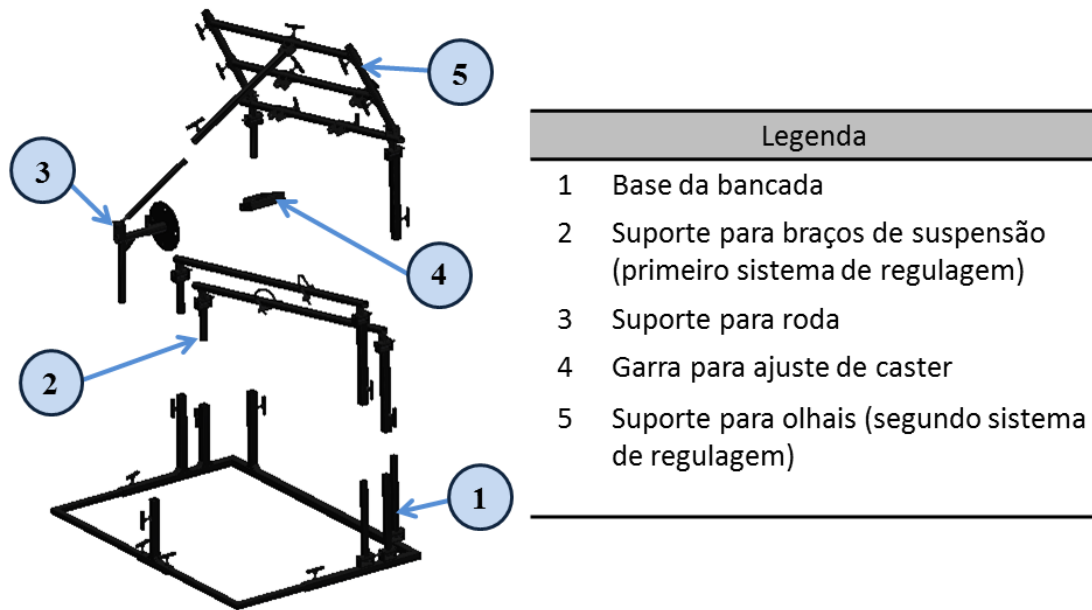
4.1.3.1. Construção dos componentes da bancada em CAD

Com base nos dados mostrados nas tabelas anteriores deu-se início ao projeto preliminar. Este foi dividido em 5 partes, primeiramente foi modelado no *software* CAD a base da bancada (1), em seguida o suporte para braços de suspensão (primeiro sistema de regulagem) (2), seguidamente o suporte para a roda (3), logo após a garra para ajuste de caster (4) e por último o suporte para olhais (segundo sistema de regulagem) (5). A Figura 20 mostra a bancada implementada ao *Autodesk Inventor* (*Software* CAD/CAE). Já a Figura 21 mostra uma vista explodida da bancada.

Figura 20 – Bancada implementada ao *Autodesk Inventor*.

Fonte – Próprio Autor

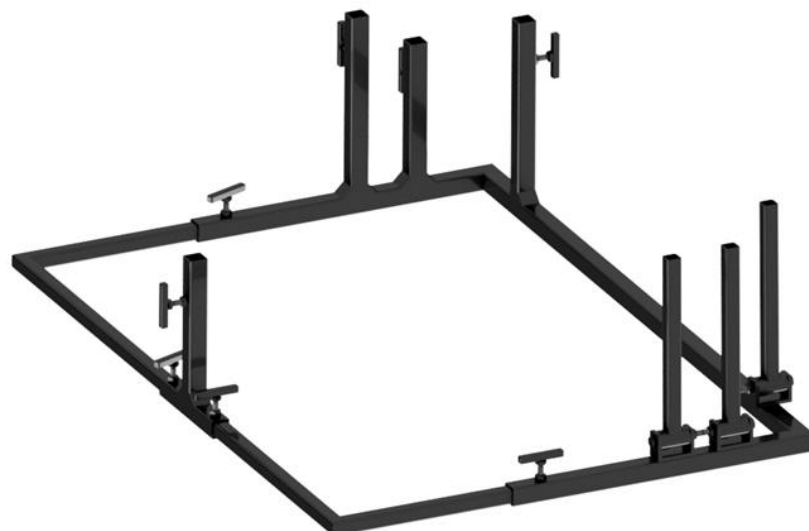
Figura 21 – Vista explodida da bancada e suas divisões.



Fonte – Próprio Autor.

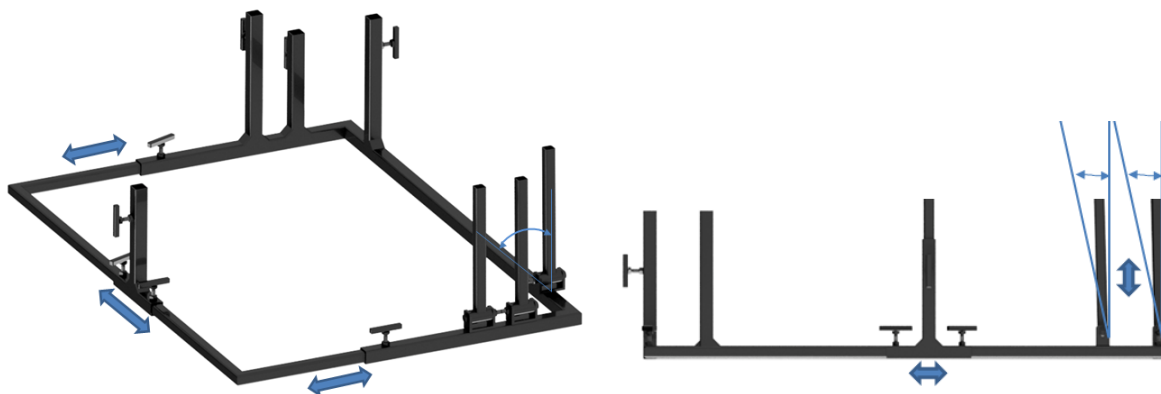
Conforme descrito na Figura 21, primeiro foi implementado a base da bancada (1) (Figura 22), esta tem a função de garantir todo o suporte do restante dos componentes da bancada, além de permitir o ajuste da bitola, entre eixo e altura dos tubos que equivalentes do chassi e conter suportes de ajustes para o acoplamento das demais partes que compoem a bancada. Esta base conta com 5 (cinco) graus de liberdade que vai de ajustes horizontais e variação de ângulos. A Figura 23 ilustra alguns desses tipos de graus de liberdade.

Figura 22 – Detalhe da base da bancada (1) aplicado ao *software* CAD/CAE.



Fonte – Próprio Autor.

Figura 23 – Graus de liberdade contido na base da bancada.



Fonte – Próprio Autor.

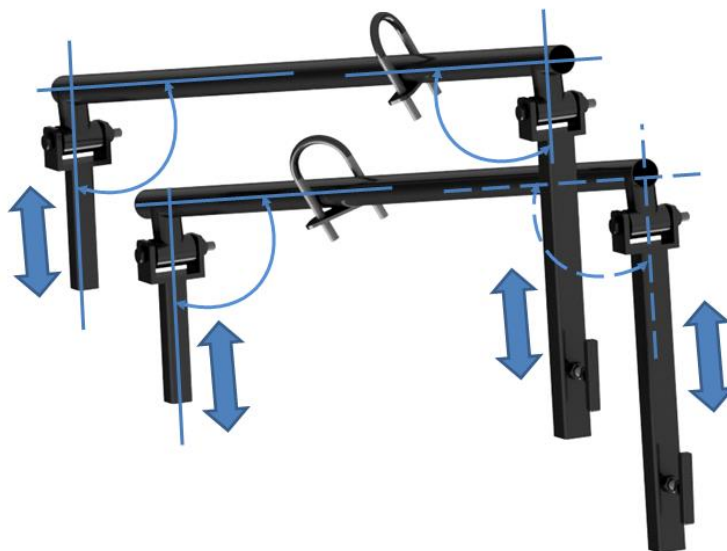
Após a implementação da base, foi inserido o suporte para braços de suspensão (primeiro sistema de regulação (2)) conforme ilustrado na Figura 24. Este sistema tem a função de dar suporte aos braços de suspensão, garantir ângulo e posicionamento correto destes componentes. Este sistema conta com 8 (oito) graus de liberdade, pois permite o deslocamento vertical e angular do sistema. Os graus de liberdade deste sistema estão ilustrados na Figura 25.

Figura 24 – Suporte para braços de suspensão (primeiro sistema de regulação) (2) aplicado ao software CAD/CAE.



Fonte – Próprio Autor.

Figura 25 – Graus de liberdade contido no primeiro sistema de regulagem.



Fonte – Próprio Autor.

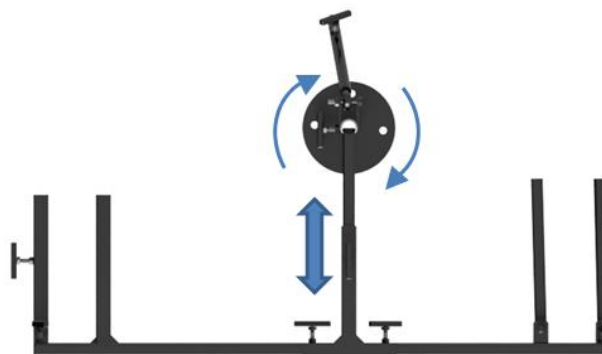
Seguidamente foi implementado um sistema para suporte para roda ou cubo de roda (3), este sistema tem como principal função o posicionamento da roda, com isso é garantido o raio da roda e pode ser trabalhado o entre-eixo também (*Wheelbase*), o sistema é composto por um flange preso em um cubo e encaixado em uma haste que permite o ajuste de altura e inclinação do flange (2 graus de liberdade). Este sistema implementado no *software* CAD/CAE e os graus de liberdade contido nesse sistema estão ilustrados na Figura 26 e Figura 27 respectivamente.

Figura 26 – Suporte para roda ou cubo de roda (3) aplicado ao software CAD/CAE.



Fonte – Próprio Autor.

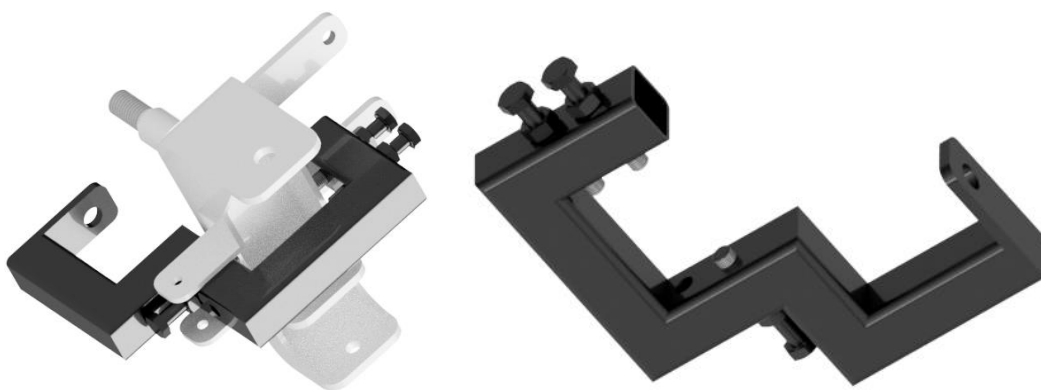
Figura 27 – Graus de liberdade contido no suporte para roda.



Fonte – Próprio Autor.

Após a implementação do suporte para o cubo de roda, foi implementado a garra de ajuste de caster (4) (Figura 28), essa garra tem a função de fixar o montante no flange do suporte de roda, que por sua vez, este pode ser inclinado para dar o ângulo de caster desejado. Este conjunto é um dos principais para o correto posicionamento dos componentes e para garantir a eficiência da bancada.

Figura 28 – Garra de ajuste de caster (4) aplicado ao *software* CAD/CAE.



Fonte – Próprio Autor.

Por último foi implementado o suporte para olhais (segundo sistema de regulação) (5) (Figura 29). Este conjunto corresponde aos tubos do chassi, tubos estes onde os olhais das bandejas são posicionados. Também compreende a este conjunto acompanhar a inclinação do chassi, inclinação das bandejas e ajustes de vão livre.

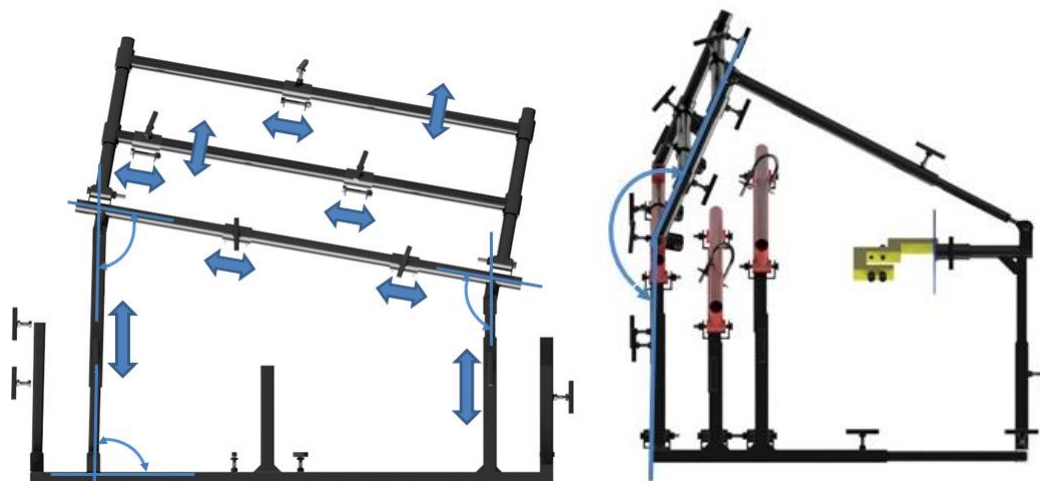
Neste conjunto está compreendido 12 graus de liberdade dentre variação de ângulo, pivoteamento e ajustes na vertical e horizontal estas liberdades estão representadas na Figura 30.

Figura 29 – Suporte para olhais (segundo sistema de regulagem) (5) aplicado ao software CAD/CAE.



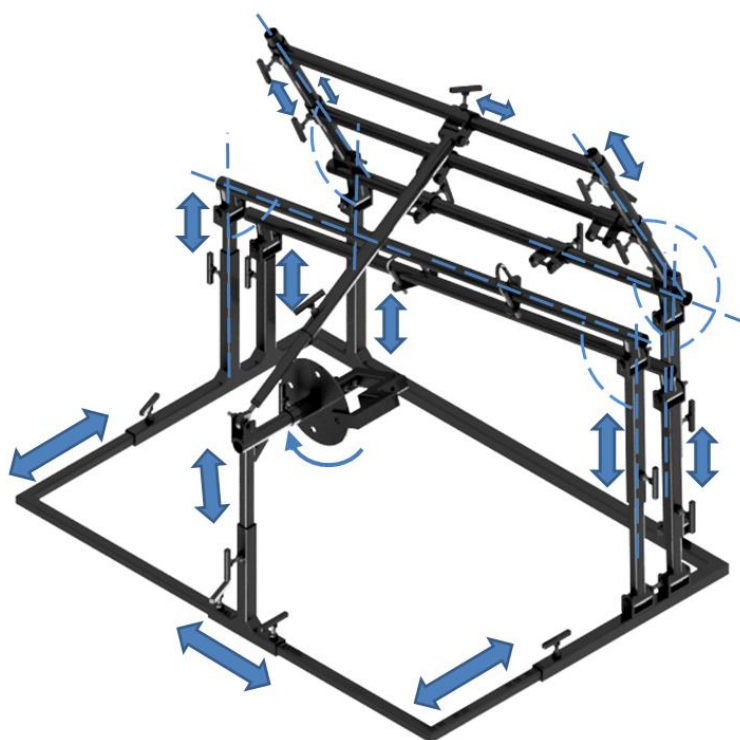
Fonte – Próprio Autor.

Figura 30 – Graus de liberdade contido no suporte para olhais (segundo sistema de regulagem).



Fonte – Próprio Autor.

De um modo geral a bancada conta com 31 graus de liberdade, estes proporcionam uma melhor modularidade do equipamento. A Figura 31 ilustra a bancada com seus graus de liberdade.

Figura 31 – Graus de liberdade contido na bancada.

Fonte – Próprio Autor.

4.1.3.2. Escolha do material

Com base nas necessidades e limitações da equipe descrito no item (4.1.1) e expostos na Tabela 3. Foi feito uma matriz de escolha para definir o material a ser utilizado na produção da bancada (Tabela 6). Para essa matriz, foi levado em consideração alguns pontos principais tais como: custo/preço, encaixe/ajuste, facilidade de travamento, facilidade de compra do material e massa. Estes pontos foram classificados em uma escala de 1 a 5 (sendo a pontuação distribuída como: 5 - Excelente, 4 - Bom, 3 - Aceitável, 2 - Ruim, 1 - Péssimo) seguindo as necessidades da equipe e suas limitações, além disso foi levado em consideração a realidade da cidade em que a equipe se localiza

Tabela 6 – Escolha do material utilizado na estrutura principal.

Material	Aço 1020 (1-5)	Aço 1045 (1-5)	Madeira (1-5)	Nylon Tecníl (1-5)	PVC (1-5)
Custo (preço)	3	1	4	2	5
Encaixe/ajuste	4	4	3	3	4

Facilidade de unir componentes	5	5	5	3	5
Estabilidade da estrutura	5	5	2	2	1
Massa	5	5	2	4	1
Total	22	20	16	14	16

Fonte – Próprio Autor.

Analisando os dados da matriz de escolha, foi selecionado o aço 1020 como material para a fabricação da bancada, este teve um maior destaque na relação baixo custo e massa elevada. Após essa etapa, foi feito uma nova matriz de decisão para escolher qual tipo de perfil seria utilizado na estrutura principal da bancada, foi escolhido para essa matriz, 4 tipos de possibilidades de conjuntos para montagem. Foi adotado notas em relação aos pontos (custo, encaixe/ajuste, facilidade de garantir ângulos, facilidade de compra do material e massa), estes pontos foram classificados em uma escala de 1 a 5 (sendo a pontuação distribuída como: 5 - Excelente, 4- Bom, 3 - Aceitável, 2 - Ruim, 1 - Péssimo). Os resultados desta matriz estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Escolha das dimensões do material utilizado na estrutura principal.

Parâmetros	(1) Metalon de (20x20x2) - (25x25x2) (1-5)	(2) Metalon (20x20x1) - (25x25x1) (1-5)	(3) Tubo (1"x2mm) - (1 ¼"x2mm) (1-5)	(4) Tubo (1"x1mm) - (1 ¼"x1mm) (1-5)
Custo (preço)	3	4	3	4
Encaixe/ajuste	5	3	5	3
Facilidade de garantir ângulos	4	3	3	2
Facilidade de compra do material	4	4	4	4
Massa	5	3	5	3
Total	21	17	20	16

Fonte – Próprio Autor.

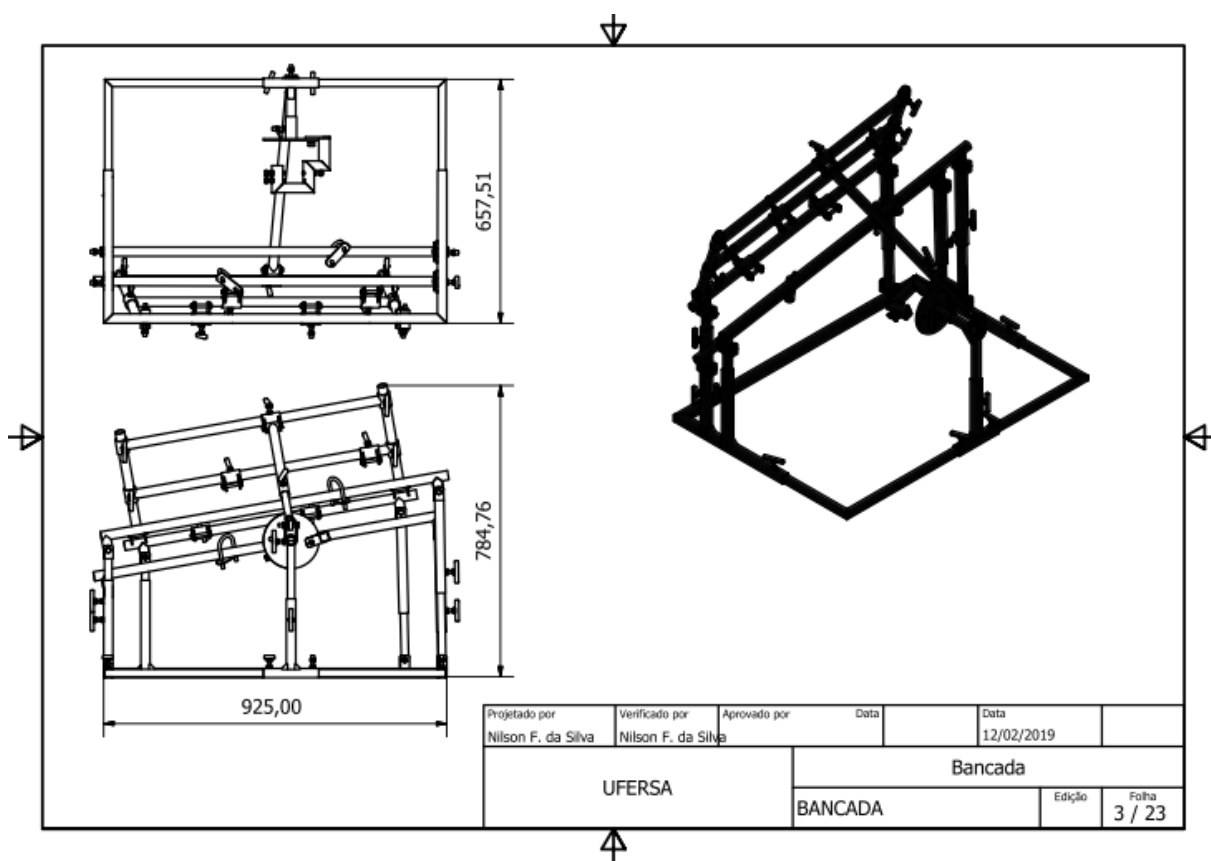
Com base na necessidade do projeto e os resultados da matriz de decisão, foi escolhido os conjuntos 1 e 3 como sendo o material para fabricar a estrutura principal da bancada.

4.1.4. Projeto detalhado

4.1.4.1. Plotagem da bancada

O projeto da bancada obedeceu aos critérios determinados no item (4.1.2.1), na Figura 32 pode ser visto na plotagem as principais dimensões da bancada.

Figura 32 – Plotagem das principais dimensões da bancada.



Fonte – Próprio Autor.

No apêndice A está o caderno de plotagem onde mostra com detalhe a plotagem de toda bancada e seus componentes.

4.1.4.2. Lista de peças

A Tabela 8 mostra com detalhe todo material e peças utilizados na fabricação e montagem da bancada projetada.

Tabela 8 – Lista de material e peças utilizados no projeto.

Item	Material	Referência
1	Terminal rotular 10 mm	Uniball
2	Barra chata	1" esp.: 1/8"
3	Cantoneira de aço 1020	1" esp.: 1/8"
4	Metalon de aço 1020	20x20x2mm
5	Metalon de aço 1020	25x25x2mm
6	Tubo de aço 1020	Diâmetro 1" / esp.: 2mm
7	Tubo de aço 1020	Diâmetro 1 e 1/4" / esp.: 2mm
8	Disco de aço 1020	Diâmetro 200 mm / esp.: 1/4"
9	Tarugo de aço 1020	Diâmetro 1 e 1/4"
10	Tarugo de aço 1020	Diâmetro 3/4"
11	Tarugo de aço 1020	Diâmetro 1"
12	Parafuso sextavado M8	8x20 rosca total
13	Parafuso sextavado M8	8x60 rosca total
14	Porca M8	Sem alto travante
15	Barra quadrada de aço 1020	1/4"x1/4"
16	Nylon tecnil	Diâmetro 1"
17	Barra roscada 1/4"	Diâmetro 1/4"x18unf
18	Porcas 1/4"	Passo 18unf
19	Tubo de aço 1020	Diâmetro 3/4"/esp.: 1,5mm
20	Lixa para aço	Granulometria 200
21	Tinta	Preto brilhosa
22	Eletrodo revestido	E6013

Fonte – Próprio Autor.

4.1.4.3. Custo do projeto

A Tabela 9 mostra com detalhe as quantidades de material a ser utilizado, o preço médio unitário (orçamento feito nas lojas de ferragens da região onde obteve-se um preço médio) e o custo total para fabricar a bancada.

Tabela 9 – Custo para fabricação e acabamento da bancada projetada.

Item/Material	Quantidade	Preço unitário	Preço total
(1) Terminal rotular 10 mm	1 unidade	R\$ 45,00	R\$ 45,00
(2) Barra chata	3m	R\$ 3,54 (1m)	R\$ 10,62
(3) Cantoneira de aço 1020	1m	R\$ 6,77 (1m)	R\$ 6,67
(4) Metalon de aço 1020	6m	R\$ 8,89 (1m)	R\$ 53,34
(5) Metalon de aço 1020	5m	R\$ 11,30 (1m)	R\$ 56,43
(6) Tubo de aço 1020	6m	R\$ 6,62 (1m)	R\$ 45,68
(7) Tubo de aço 1020	2m	R\$ 9,98 (1m)	R\$ 19,96
(8) Disco de aço 1020	1,2 Kg	R\$ 4,50 (1Kg)	R\$ 5,40
(9) Tarugo de aço 1020	300mm	R\$ 5,75 (1Kg)	R\$ 8,34
(10) Tarugo de aço 1020	300mm	R\$ 5,75 (1Kg)	R\$ 8,34
(11) Tarugo de aço 1020	300mm	R\$ 5,75 (1Kg)	R\$ 8,34
(12) Parafuso sextavado M8	26 unidades	R\$ 0,50	R\$ 13,00
(13) Parafuso sextavado M8	17 unidades	R\$ 1,30	R\$ 22,1
(14) Porca M8	43 unidades	R\$ 0,30	R\$ 12,9
(15) Barra quadrada de aço 1020	3m	R\$ 4,53 (1m)	R\$ 13,59
(16) Nylon tecnil	600mm	R\$ 29,76 (1m)	R\$ 17,86
(17) Barra roscada 1/4"	1m	R\$ 4,50 (1m)	R\$ 4,50
(18) Porcas 1/4"	8 unidades	R\$ 0,25	R\$ 2,00
(19) Tubo de aço 1020	1m	R\$ 4,53 (1m)	R\$ 4,53
(20) Lixa para aço	2 unidades	R\$ 5,60	R\$ 11,20
(21) Tinta	1Kg	R\$ 20,00 (1Kg)	R\$ 20,00
(22) Eletrodo	1Kg	R\$ 17,50 (1kg)	R\$ 17,50
Custo total			R\$ 407,30

Fonte – Próprio Autor.

Conforme mostrado na tabela anterior a bancada teve um custo total de seus materiais de R\$ 407,30. Desse modo, pode-se concluir que o projeto da bancada é viável pois tem baixo custo para fabricação.

4.1.4.4. Plano de fabricação da bancada

Nos próximos itens serão descritos os processos utilizados para a fabricação dos componentes da bancada. A sequência adotada é a mesma descrita na Figura 21 do item (4.1.3.1) e todas as dimensões das peças descritas nessa etapa estão no caderno de plotagem que se encontra no apêndice A. A página do caderno de plotagem que cada componente se encontra está descrito nas colunas a direita de suas respectivas tabelas do plano de fabricação.

4.1.4.4.1. Base da bancada

Na Tabela 10 está exposta o plano de fabricação para os componentes da base da bancada (ver Figura 22). Os materiais foram cortados utilizando uma serra fita hidráulica e unidas por solda de arco elétrico do tipo eletrodo revestido.

Tabela 10 – Plano de fabricação para base da bancada.

Componente (quantidade)	Material	Processos Utilizados	Página do caderno de plotagem
Base em “C” maior (1)	Metalon de aço 25x25x2	Cortado, furado e soldado	6/23
Base em “C” menor (1)	Metalon de aço 20x20x2	Cortado e soldado	5/23
Base do suporte da roda (1)	Metalon de aço 25x25x2	Cortado, furado e soldado	9/23
Olhais em “C” (3)	Barra chata	Cortada, furada e soldada	6/23
Haste de ajuste em “T” (3)	Metalon de aço 20x20x2	Cortado, usinado e soldado	7/23
Tubo para haste em “T” (3)	Tubo 1”x2mm	Cortado e soldado	14/23

Bucha de Nylon tecnil (3)	Nylon tecnil	Cortado, usinado e furado	23/23
----------------------------------	--------------	---------------------------	-------

Fonte – Próprio Autor.

4.1.4.4.2. Suporte para braços de suspensão (primeiro sistema de regulagem)

Na Tabela 11 está exposta o plano de fabricação para os componentes da primeira estrutura de regulagem (hastes de ajustes para altura) (ver Figura 24). Os materiais foram cortados utilizando uma serra fita hidráulica dobrados de maneira manual em um suporte do tipo morsa (conformados a frio) e unidas por solda de arco elétrico do tipo eletrodo revestido.

Tabela 11 – Plano de fabricação para o suporte para braços de suspensão.

Componente (quantidade)	Material	Processos Utilizados	Página do caderno de plotagem
Haste de regulagem com olhal (2)	Metalon de aço 25x25x2	Cortado furado e soldado	8/23
Haste de regulagem com olhal (2)	Metalon de aço 20x20x2	Cortado e soldado	7/23
Haste de apoio para braços de suspensão (2)	Tubo 1"x2mm	Cortado, usinado e soldado	13/23
Chapa para travantes de badeira	Barra chata	Cortada e furada	22/23
Garra travantes de bandeja (4)	Barra roscada	Dobrada	21/23
Olhais em "C" (4)	Barra chata	Cortado, furado e soldado	6/23
Bucha de Nylon tecnil (4)	Nylon tecnil	Cortado, usinado e furado	23/23

Fonte – Próprio Autor.

4.1.4.4.3. Suporte para a roda

Na Tabela 12 está exposta o plano de fabricação para os componentes do suporte para a roda (ver Figura 26). Os materiais foram cortados utilizando uma serra fita hidráulica e unida por solda de arco elétrico do tipo eletrodo revestido.

Tabela 12 – Plano de fabricação do suporte para a roda.

Componente (quantidade)	Material	Processos Utilizados	Página do caderno de plotagem
Haste de ajuste de altura da roda (1)	Metalon de aço 20x20x2	Cortado furado e soldado	11/23
Haste de regulagem com olhal (1)	Metalon de aço 20x20x2	Cortado e soldado	7/23
Flange suporte do cubo de roda (1)	Tubo 1"x2mm	Usinado, furado e soldado	10/23
Cubo para flange do cubo de roda (1)	Tarugo de 1" e 1/4"	Usinado, furado e soldado	10/23
Olhal em "C" (1)	Barra chata	Cortado, furado e soldado	6/23
Haste travante (1)	Tubo 3/4"	Cortado e furado	19/23

Fonte – Próprio Autor.

4.1.4.4.4. Garra para ajuste de caster

Na Tabela 13 está exposta o plano de fabricação para os componentes da garra para ajuste de caster (ver Figura 28). Os materiais foram cortados utilizando uma serra fita hidráulica e unidos por solda de arco elétrico do tipo eletrodo revestido.

Tabela 13 – Plano de fabricação da garra para ajuste de caster.

Componente (quantidade)	Material	Processos Utilizados	Página do caderno de plotagem
Garra de ajuste de caster (1)	Metalon de aço 20x20x2	Cortado furado e soldado	17/23

Chapa fixadora da garra (1)	Barra chata	Cortada, furada e soldada	17/23
--	-------------	------------------------------	-------

Fonte – Próprio Autor.

4.1.4.4.5. Suporte para olhais (segundo sistema de regulagem)

Na Tabela 14 está exposta o plano de fabricação para os componentes da garra para ajuste de caster (ver Figura 29). Os materiais foram cortados utilizando uma serra fita hidráulica e unidos por solda de arco elétrico do tipo eletrodo revestido.

Tabela 14 – Plano de fabricação do suporte para olhais (segundo sistema de regulagem).

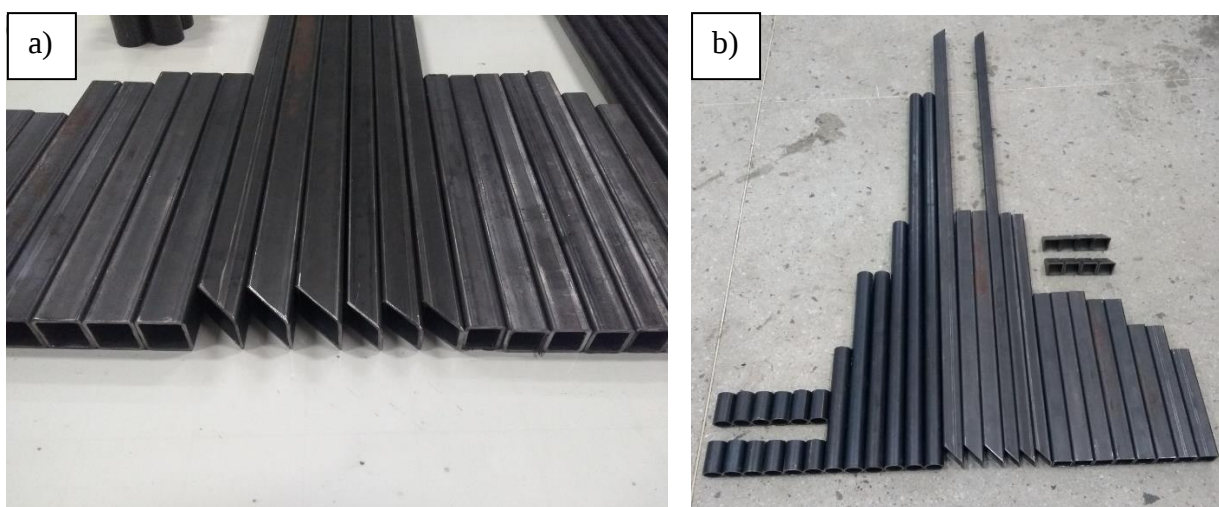
Componente (quantidade)	Material	Processos Utilizados	Página do caderno de plotagem
Haste de regulagem com olhal (1)	Metalon de aço 25x25x2	Cortado, furado e soldado	7/23
Haste de regulagem com olhal (1)	Metalon de aço 20x20x2	Cortado e soldado	8/23
Tubo pequeno do olhal de ajuste (9)	Tubo 1" e 1/4" x 2mm	Cortado, furado e soldado	7/23
Chapa para olhal de ajuste (14)	Barra chata	Cortado, usinado e soldado	6/23
Haste para ajuste do chassi (2)	Tubo 1"	Cortado, usinado e soldado	15/23
Haste do piso do chassi (1)	Tubo 1"	Cortado, usinado e soldado	12/23
Haste de inclinação do SIM (2)	Tubo 1"	Cortado, usinado e soldado	14/23
Haste travante de inclinação dos SIM (1)	Tubo de 1"	Cortado, usinado e soldado	18/23
Olhal em "C" (2)	Barra chata	Cortado, furado e soldado	16/23

Fonte – Próprio Autor.

4.1.5. Fabricação

A fabricação da bancada foi realizada no laboratório de Usinagem e Soldagem da UFERSA Campus Caraúbas/RN. Seguiu-se os passos evidenciados anteriormente nas tabelas dos planos de fabricação descritos no item (4.1.4.4). Os resultados estão descritos a seguir. Na Figura 33 é possível ver os detalhes dos cortes realizados nos tubos e metalons da estrutura em “C” e das hastes de regulagem.

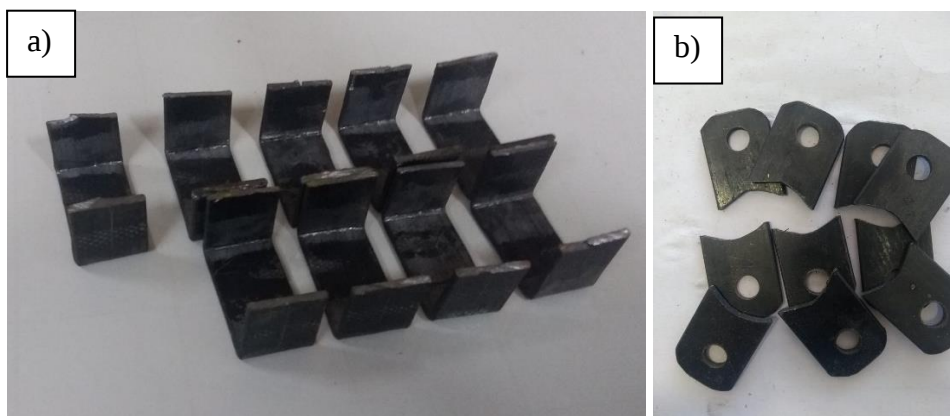
Figura 33 – Metalons e tubos cortados e prontos para soldagem.



Fonte – Próprio Autor.

Como descrito anteriormente, os olhais para as hastes de regulagem passaram pelos processos de dobramento (conformação a frio), corte e furação, a Figura 34 mostra o resultado desses processos.

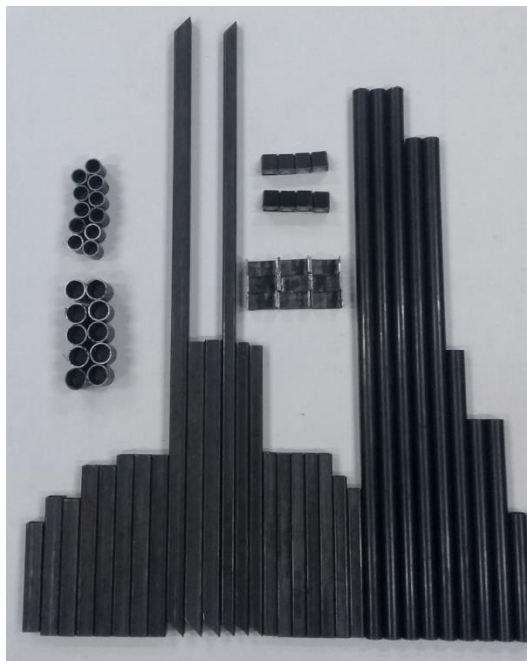
Figura 34 – Olhais após os processos de dobramento, corte e furação.



Fonte – Próprio Autor.

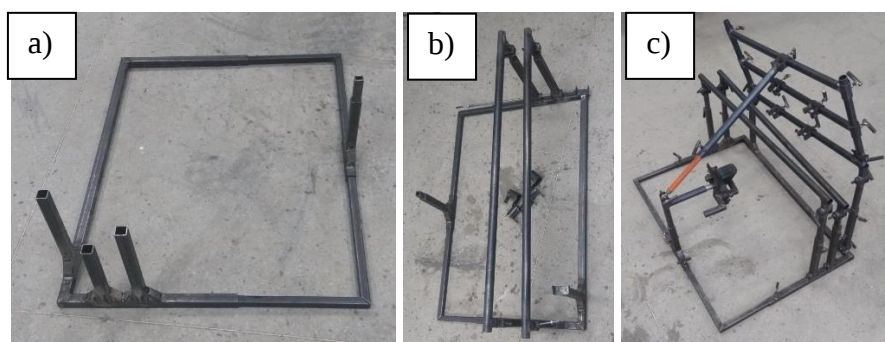
Na Figura 35 está exposto o material utilizado na fabricação da estrutura principal da bancada, logo após os processos de corte, dobramento e usinagem. E na Figura 36 pode ser vista essa estrutura após o processo de solda.

Figura 35 – Material utilizado na fabricação da estrutura principal da bancada.



Fonte – Próprio Autor.

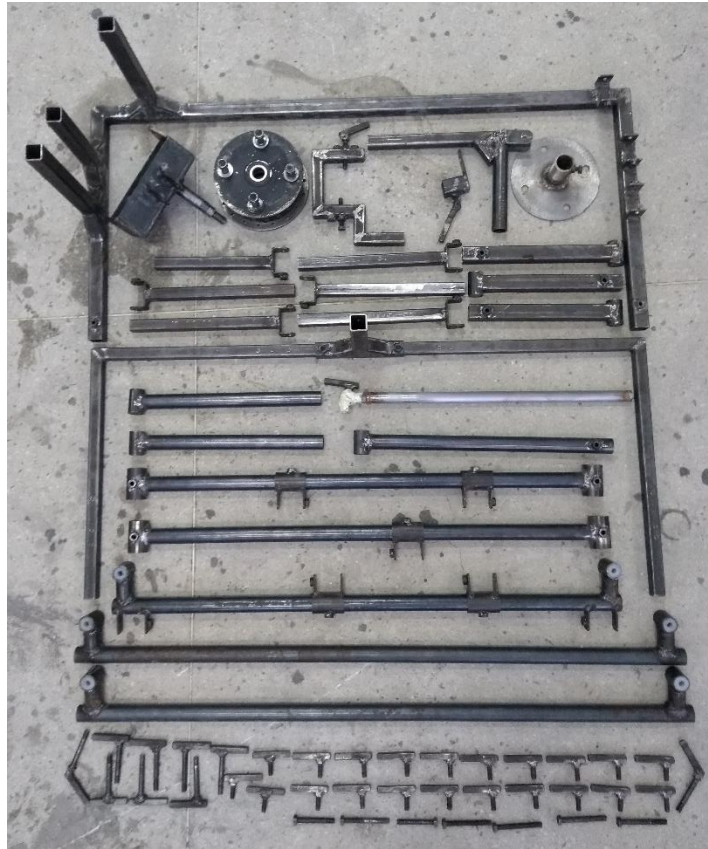
Figura 36 – Estrutura logo após o processo de solda.



Fonte – Próprio Autor.

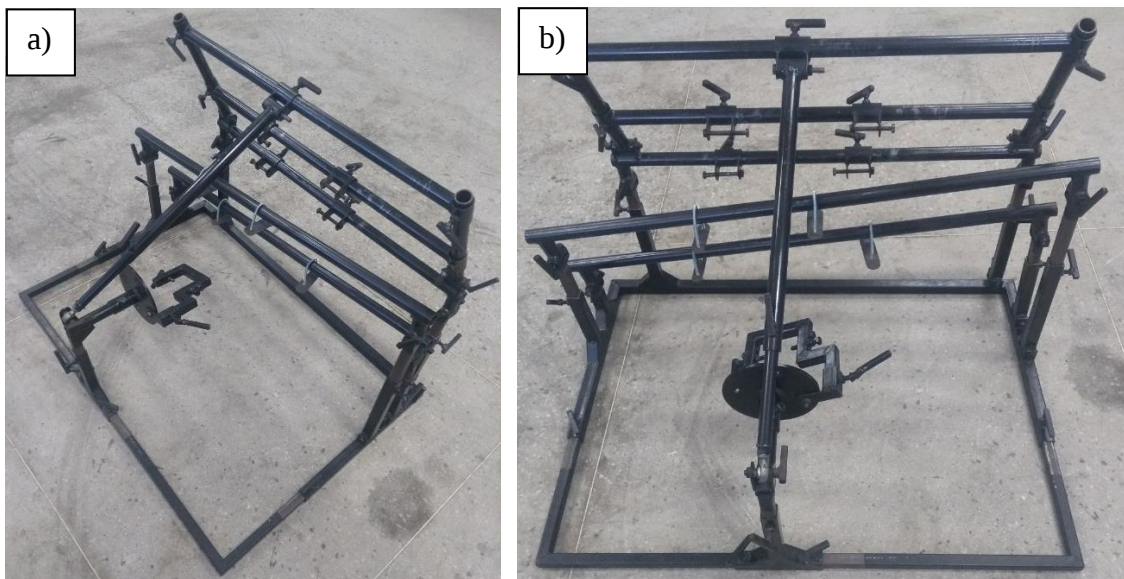
Na Figura 37 é possível verificar a bancada toda desmontada com as peças prontas após a fabricação. E na Figura 38 pode ser vista a bancada totalmente montada.

Figura 37 – Bancada desmontada com as peças prontas.



Fonte – Próprio Autor.

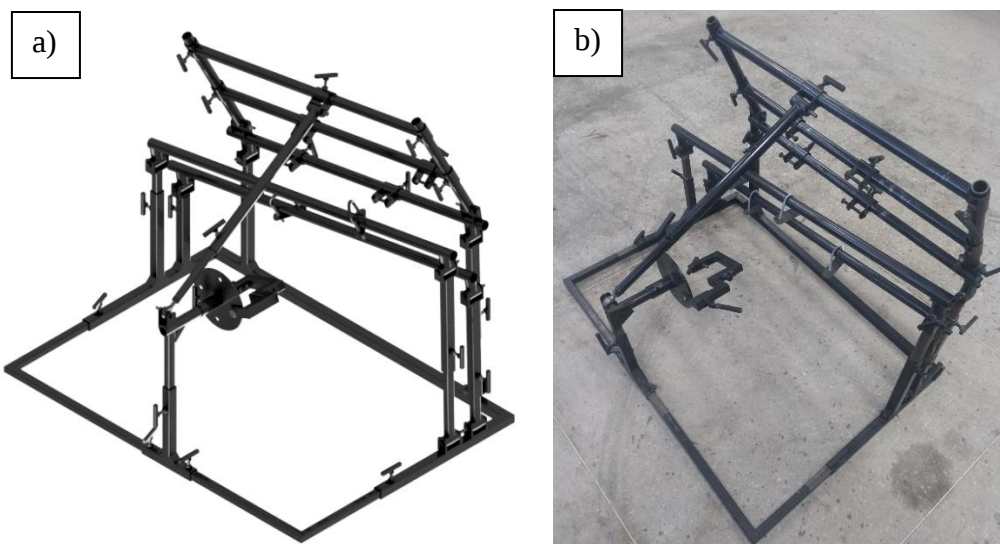
Figura 38 – Bancada totalmente montada.



Fonte – Próprio Autor.

Por fim na Figura 39 é possível ver uma comparação visual entre a bancada virtual e a bancada após a fabricação e encaixe das peças.

Figura 39 – a) Bancada virtual x b) bancada fabricada.



Fonte – Próprio Autor.

4.1.6. Implementação

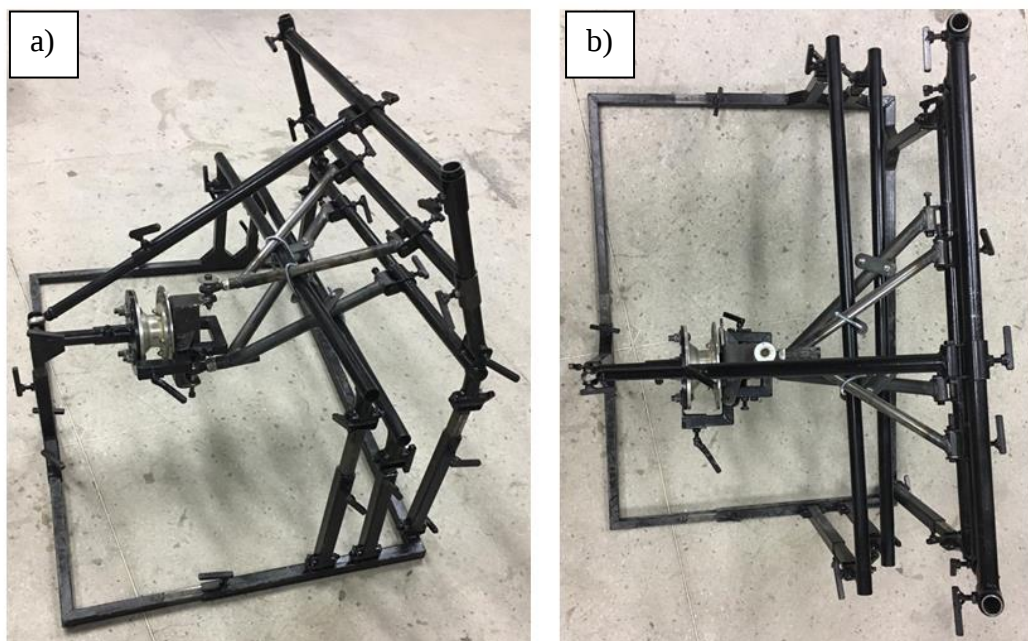
A fim de validar a bancada projetada e fabricada, faz-se necessário fazer os testes desta para exercer a função a qual foi projetada. Deste modo, os próximos itens demonstram como a suspensão é modulada na bancada e como esta é utilizada no projeto de suspensão aplicada ao baja (precisamente no protótipo SEVERO 19).

Vale salientar que, estes procedimentos a seguir foram realizados para o lado direito e esquerdo do protótipo.

4.1.6.1. Modulação da suspensão na bancada

Para o uso da bancada corretamente, a suspensão deve ser montada garantindo todos os parâmetros de projeto. Os graus de liberdade que a bancada contém, auxilia para a modulação mais simples e precisa da suspensão. Na Figura 40 é possível ver a suspensão montada na bancada.

Figura 40 – Suspensão montada na bancada.



Fonte – Próprio Autor.

A bancada conta com abraçadeiras que garante a fixação dos braços da suspensão, deste modo esse sistema consegue garantir todas as medidas e parâmetros de projeto. Na Figura 41 é possível ver com detalhe as abraçadeiras que são responsáveis pelo travamento destes componentes.

Figura 41 – Detalhe das abraçadeiras responsáveis pelo travamento das bandejas.

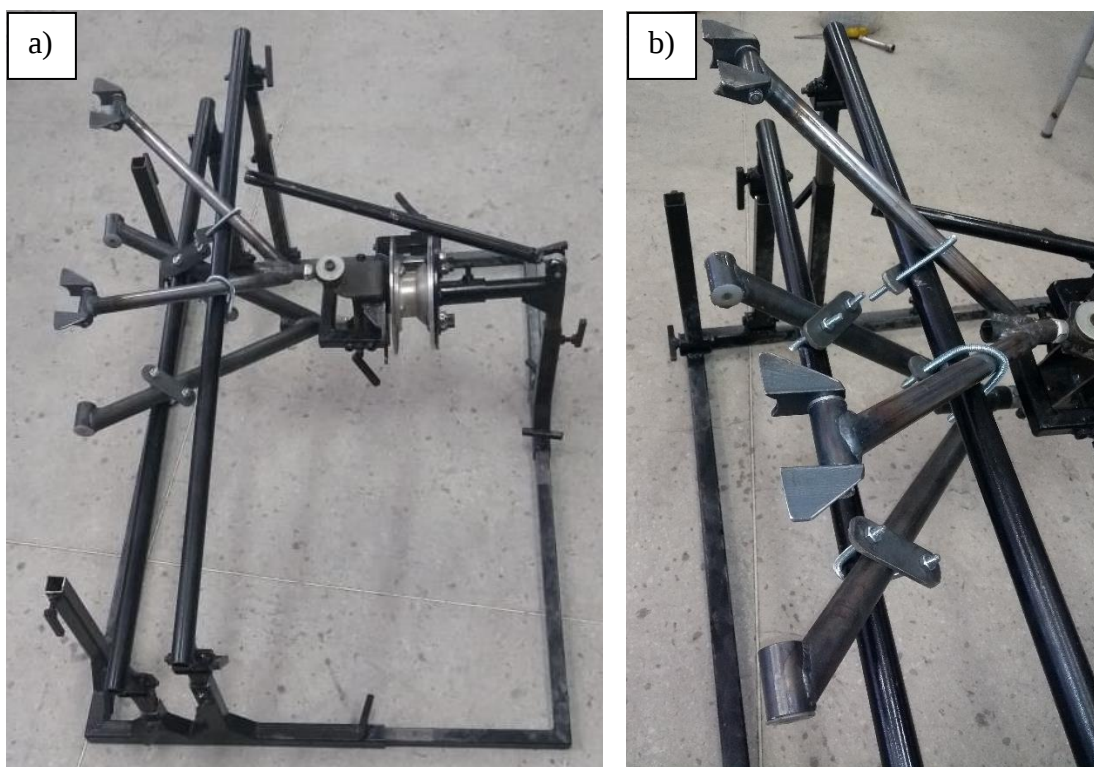


Fonte – Próprio Autor.

4.1.6.2. Posicionamento dos olhais no chassi

Com toda a suspensão montada e travada na bancada, a parte (5), o suporte para olhais (segundo sistema de regulagem) (conforme mostrado no item 4.1.3.1.), é desmontado, dando espaço para o posicionamento dos olhais que vão ser fixado permanentemente no chassi do protótipo. Esse detalhe pode ser visto na Figura 42.

Figura 42 – Suspensão travada e com olhais prontos para ser soldados no chassi.



Fonte – Próprio Autor.

Com os olhais fixos nas extremidades dos braços de suspensão, a bancada é posicionada ao lado do chassi, que foi previamente colocado na altura adequada, ou seja, vão livre do projeto. Como a equipe estava precisando posicionar apenas os olhais da bandeja superior, apenas estes foram empregados na bancada. Na Figura 43 e Figura 44 é possível ver respectivamente como a bancada é posicionada ao lado do chassi para alinhar os olhais conforme os parâmetros do projeto e o encaixe do olhal no chassi.

Figura 43 – Bancada posicionada com olhais prontos para ser soldados no chassi.



Fonte – Próprio Autor.

Figura 44 – Encaixe do olhal no chassi.



Fonte – Próprio Autor.

Com tudo posicionado e conferido todos os parâmetros, foi soldado os olhais na estrutura do protótipo, conforme mostrado na Figura 45.

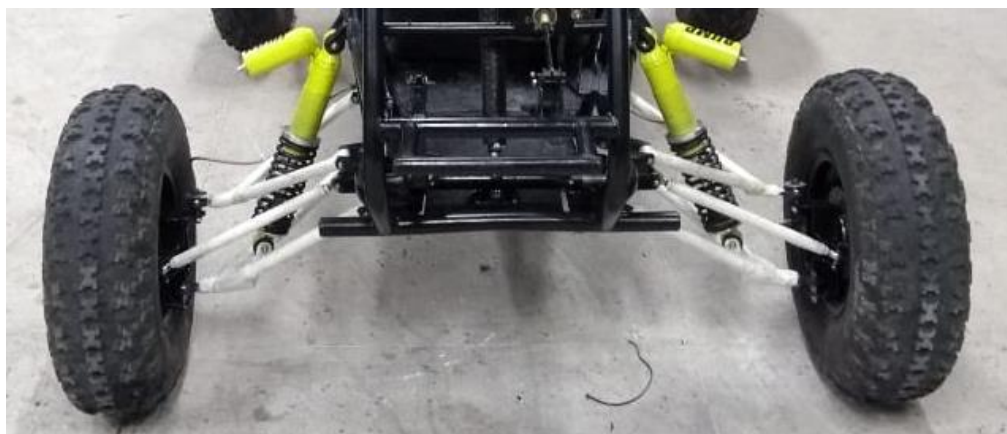
Figura 45 – Olhais soldados no chassi.



Fonte – Próprio Autor.

Por fim, após posicionar os olhais em ambos os lados do chassi. Foi montado a suspensão, o resultado final é apresentado na Figura 46.

Figura 46 – Suspensão do protótipo SEVERO 19 montada após a implementação da bancada.



Fonte – Próprio Autor.

4.2. Validação

4.2.1. Comparação da variação dos parâmetros entre os projetos virtuais e os reais

Para validação da bancada, foi realizado o levantamento da variação de parâmetros entre o projeto virtual e real de todos os veículos projetados e construídos pela equipe, que no total são 4. Para auxiliar essas medições e garantir uma melhor precisão foram utilizados instrumentos de medição como, paquímetro, escalas e goniômetro.

Na Tabela 15 encontra-se os resultados do levantamento desses parâmetros referente ao lado DIREITO do veículo (referência adotada no item 3.3. e ilustrado na Figura 18).

Tabela 15 – Comparação de parâmetros entre protótipos virtuais e reais (DIREITO).

Parâmetro	CT-17		CT-18		SEVERO 18		SEVERO 19	
	Virtual	Real	Virtual	Real	Virtual	Real	Virtual	Real
Wheelbase (mm)	1450	1447,4	1450	1454,7	1450	1456,3	1450	1450,1
Caster (graus)	14	16,1	14	9,8	20	22,7	20	20,2
Distância entre eixos das bandejas (mm)	135	138,4	135	137,6	125	121,9	125	125,2
Distância entre olhais	206	210,2	395	393,5	255	252,3	255	254,9

Fonte – Próprio Autor.

Tendo como base as variações dos parâmetros do lado DIREITO dos protótipos, foi possível calcular o valor do erro percentual, que estão descritos na Tabela 16.

Tabela 16 – Erro percentual dos parâmetros entre protótipos virtuais e reais (DIREITO).

Parâmetro	CT-17	CT-18	SEVERO 18	SEVERO 19
	Erro (%)	Erro (%)	Erro (%)	Erro (%)
Wheelbase	0,18	0,32	0,43	0,007
Caster	15	30	13,5	1
Distância entre eixos das bandejas	2,52	1,93	2,48	0,16
Distância entre olhais	2,04	0,38	1,06	0,04

Fonte – Próprio Autor.

Já na Tabela 17 encontra-se os resultados do levantamento desses parâmetros referente ao lado ESQUERDO do veículo (referência adotada no item 3.3. e ilustrado na figura 18).

Tabela 17 – Comparação de parâmetros entre protótipos virtuais e reais (ESQUERDO).

Parâmetro	CT-17		CT-18		SEVERO 18		SEVERO 19	
	Virtual	Real	Virtual	Real	Virtual	Real	Virtual	Real
Wheelbase (mm)	1450	1453,5	1450	1446,7	1450	1454,3	1450	1450,2
Caster (graus)	14	7,5	14	11,9	20	17,3	20	20
Distância entre eixos das bandejas (mm)	135	138,3	135	130,2	125	121,9	125	124,8
Distância entre olhais	206	203,7	395	390,1	255	259,8	255	255,2

Fonte – Próprio Autor.

De modo semelhante, tendo como base as variações dos parâmetros do lado ESQUERDO dos protótipos, foi possível calcular o valor do erro percentual, que estão descritos na Tabela 18.

Tabela 18 – Erro percentual dos parâmetros entre protótipos virtuais e reais (ESQUERDO).

Parâmetro	CT-17	CT-18	SEVERO 18	SEVERO 19
	Erro (%)	Erro (%)	Erro (%)	Erro (%)
<i>Wheelbase</i>	0,18	0,32	0,43	0,007
Caster	46	15	13,5	0
Distância entre eixos das bandejas	2,4	3,56	2,48	0,65
Distância entre olhais	1,12	1,24	1,88	0,08

Fonte – Próprio Autor.

Como pode-se observar nas tabelas mostradas anteriormente, houve uma redução no erro associado a alguns parâmetros quando comparado as medidas de projeto virtual e real de protótipos anteriores que não foi utilizado a bancada e o protótipo que foi utilizado a bancada.

Seu principal destaque foi no caster. Este apresentou uma maior redução do erro associado ao projeto virtual e real. Tendo em vista que o erro do ângulo de caster para o CT-17 foi de 15% para o lado DIREITO e 46% para o lado ESQUERDO, para o CT-18 este erro foi de 30% para o lado DIREITO e 15% para o lado ESQUERDO, para o SEVERO 18 um erro de 13,5% para o lado DIREITO e 13,5% para o lado ESQUERDO e o SEVERO 19 que com a utilização da bancada apresentou um erro de 1% para o lado DIREITO e 0% para o lado ESQUERDO, mostra essa eficiência.

Vale salientar que essa redução do erro, influencia diretamente no correto funcionamento do subsistema de suspensão e direção. Pois todas as simulações e validações feitos para estes, serão muito próximas do real.

Deste modo conclui-se que a bancada é eficiente, e que sua utilização correta pode garantir que a execução do projeto seja fiel ao projetado.

5. CONCLUSÃO

Foi possível dimensionar e projetar a bancada para montagem da suspensão.

Foi feito a seleção do material.

Foi feito o levantamento financeiro possibilitando Mensurar o custo da bancada.

Foi possível fabricar a bancada.

Foi possível avaliar a eficiência da bancada, comparando medidas e ângulos do projeto baja feito usando o equipamento com os projetos antigos que não foram usados esse sistema.

Com base no que foi mostrado no presente trabalho, pode-se concluir que projeto da bancada regulável é viável, devido ao seu baixo custo e fácil fabricação.

O dimensionamento da bancada atendeu corretamente as necessidades da equipe Caraubaja SAE, seguindo as premissas de projeto. Esta apresenta uma boa modularidade para a fabricação, montagem e aplicação dos olhais, da suspensão utilizada.

A bancada mostrou-se eficiente, pois, sua utilização no protótipo SEVERO 19 garantiu uma redução considerável nos erros relativos de parâmetros do projeto. Seu principal destaque foi no caster. Este apresentou uma maior redução do erro associado ao projeto virtual e real. Tendo em vista que o erro do ângulo de caster para o CT-17 foi de 15% para o lado DIREITO e 46% para o lado ESQUERDO, para o CT-18 este erro foi de 30% para o lado DIREITO e 15% para o lado ESQUERDO, para o SEVERO 18 um erro de 13,5% para o lado DIREITO e 13,5% para o lado ESQUERDO e o SEVERO 19 que com a utilização da bancada apresentou um erro de 1% para o lado DIREITO e 0% para o lado ESQUERDO, mostra essa eficiência.

Deste modo conclui-se que a bancada é eficiente, e que sua utilização correta pode garantir que a execução do projeto seja fiel ao projetado.

6. TRABALHOS FUTUROS

Possibilidades de trabalhos futuros a se realizar com base no presente trabalho:

- Fabricação da bancada espelhada para a aplicação da suspensão direita e esquerda de modo simultaneamente, para assim garantir mais parâmetros;
- Manual detalhado de montagem e uso;

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. A.; **Dimensionamento cinemático e dinâmico de suspensão duplo A**. 2012. Projeto de graduação, Faculdade de Brasília, Brasília, 2012.

BARBIERI, F. A. A.; **Sistema de suspensão**. Disponível em: <<http://www.apostilasgratis.net.br>> Acesso em: 08 de dez. 2018.

BORNHOLD, A. M.; **Dimensionamento de freio para veículo offroad de pequeno porte**. 2012. Projeto de graduação, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2012.

BRITO, A. C. S.; **Análise de uma suspensão automotiva usando dinâmica multicorpos**. 2013. 62f. Trabalho de conclusão de curso, Bacharel em Ciência e Tecnologia – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2013.

CALDAS, FREDERICO J. C.. 2013. **Projecto suspensão formula student**. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica). 2013. 162f. Instituto Superior De Engenharia De Lisboa. Lisboa, Portugal, 2013.

DIEESE/SMABC, **Balanco da indústria automobilística brasileira em 2017 e perspectivas para 2018**. Balanço automotivo, mar.2018. Disponível em:<http://www.smabc.org.br/Interag/temp_img/%7B113C65A4-D4F2-4228-B98A-67EAC511199B%7D_BALAN%C3%87O%20DA%20IND%C3%9ASTRIA%20AUTOMOBIL%C3%8DSTICA%20BRASILEIRA%20EM%202017.pdf>. Acesso em: 06 de Out. de 2018.

DINIZ, D. D. S.; **Estudo da dinâmica vertical em suspensão duplo A de um veículo off-road tipo baja**. 2014. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

FERREIRA, HUDSON T.. **Determinação das frequências naturais e modos de vibrar de um veículo de dois eixos através programa computacional MATLAB - Simulink**. 2003. 86f Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GILLESPIE, T. D.; **Fundamentals of Vehicle Dynamics: Engineering Principles**. Warrendale, Pa: Sae, 1992.

JAZAR, R. N.; **Vehicle dynamics: Theory and applications**. Springer Science and Business Media, LLC. New York, NY, USA, 2008.

KAFFKA, D.; **Projeto conceitual de estrutura e suspensão para protótipo Baja**. Panambi. Unijuí, 71f. Trabalho de conclusão de curso, Curso de Engenharia Mecânica - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2009.

LIRA, B. H. R.; **Suspensão para o segmento de minicarros**. 2012. 42f. Projeto de pós-graduação, Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

MACHADO, A. P.; **A obsessão pelo automóvel**. 2001. Disponível em: < http://www.qualitapsi.com.br/wp-content/uploads/2014/avaliacao_textos/05-A-Obsessao-pelo-atuomovel-AdrianePicchettoMachado.pdf> Acesso em: 03 de nov. 2018.

MAEHLER, P. D.; **Melhorias no perfil do braço inferior da suspensão de um veículo mini baja**. 2013. 31f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2013.

MARTINS, D.; **Sistema de suspensão e direção**. Disponível em: < Disponível em: < <http://www.apostilasgratis.net.br>> Acesso em: 22 de dez. 2018.

MILLIKEN, W. F.; MILLIKEN, D. L.. **Race car vehicle dynamics**. SAE R □ 146, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA, 1995

NICOLAZZI, L. C.; Dinâmica veicular, Santa Catarina, 2008 [Apostila do curso de especialização em engenharia automotiva da Universidade Federal de Santa Catarina].

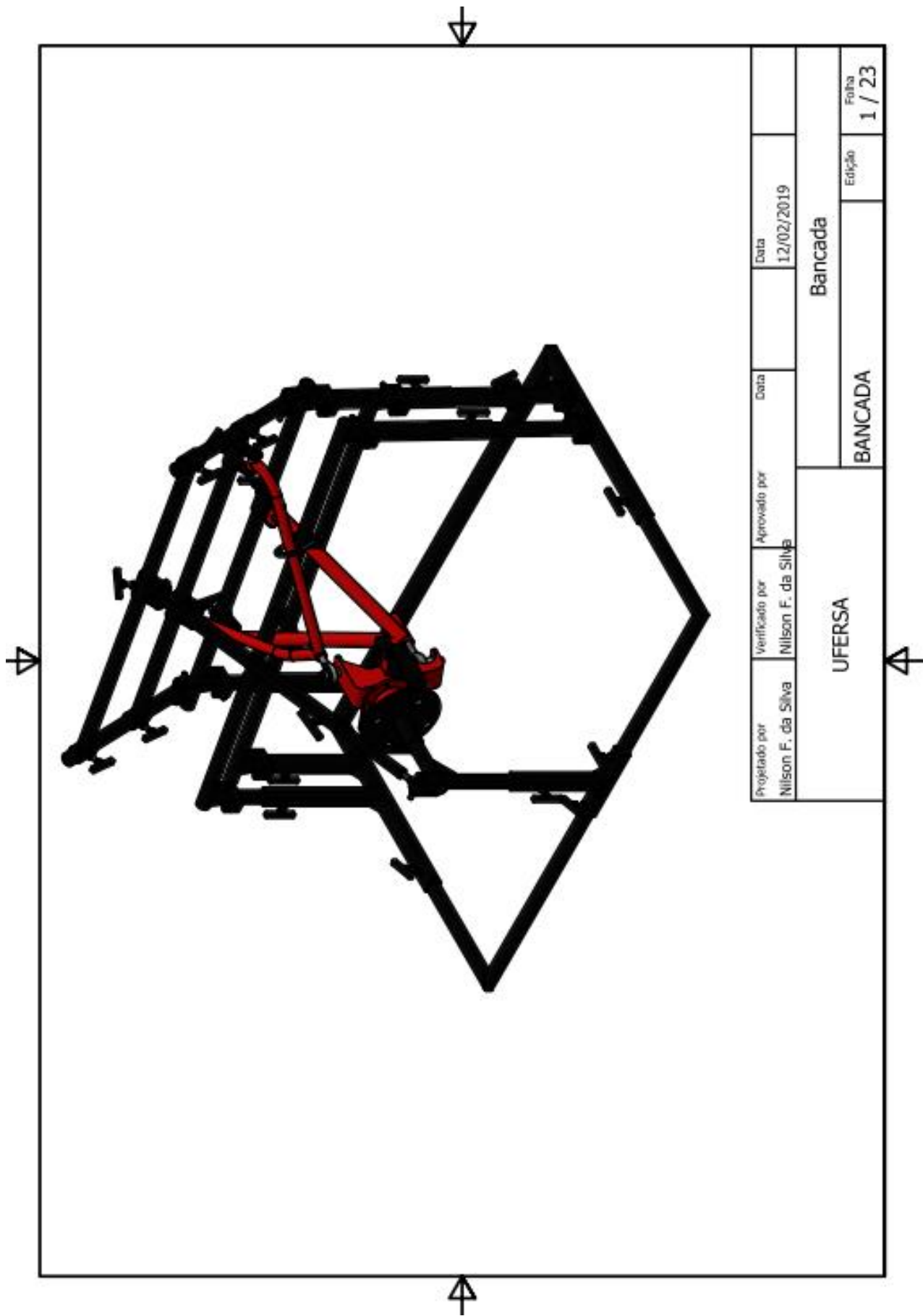
SOARES, H.C.G. “**Estudo de sequência de soldagem para redução e eliminação de distorções**” 2006. Dissertação: Pós-Graduação Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Belo Horizonte 2006.

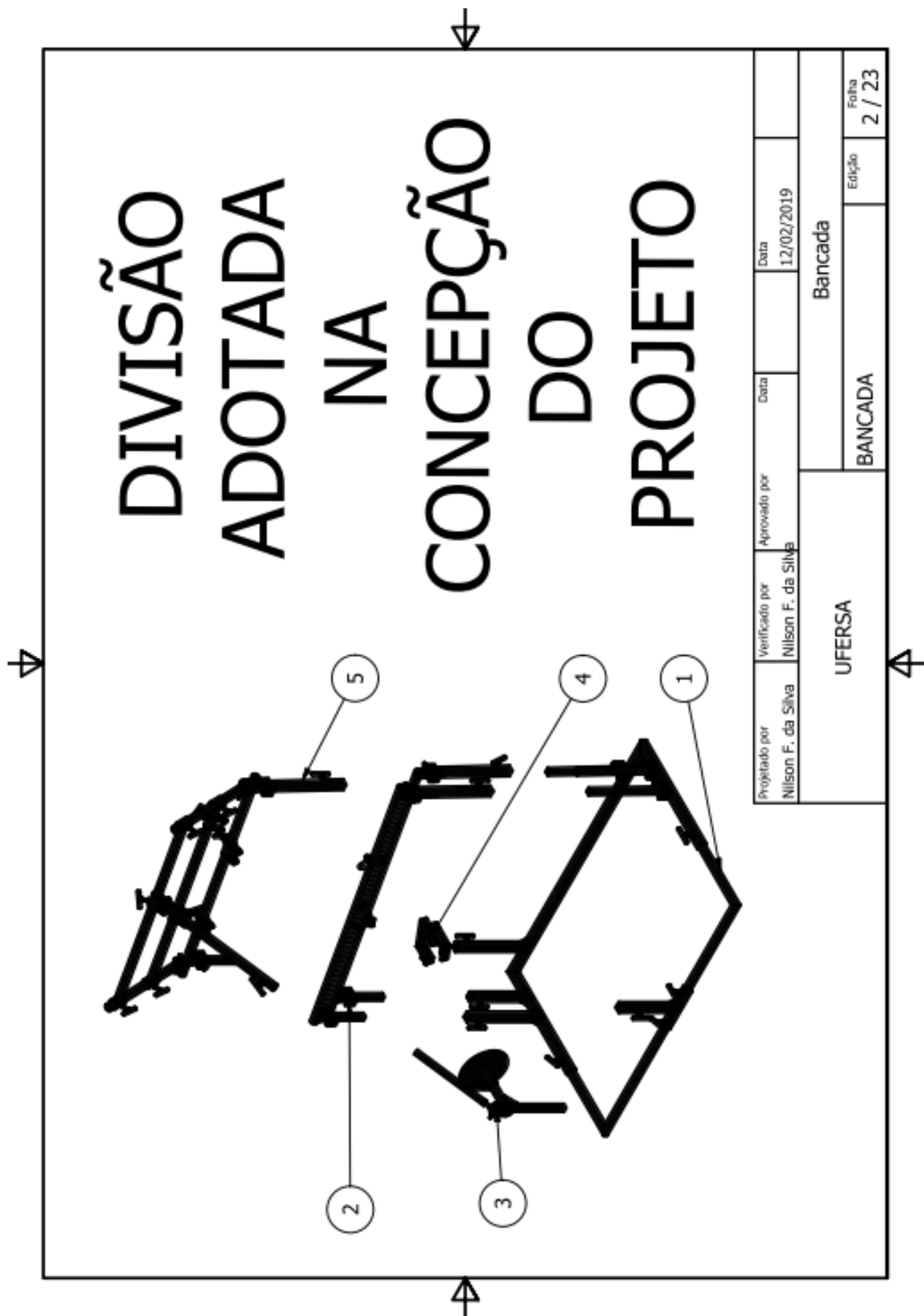
SILVA, B. J. V. et al. **Programação da produção de gabaritos de montagem com restrições de adjacência na indústria aeronáutica**. UFSCar, São Carlos, SP, Brasil, 2010.

REZENDE, J. C. C.; **Projeto e implementação de um modelo de suspensão automotiva em bancada de laboratório**. 2007. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SAE Brasil, (2018) Programas Estudantis: **O que é o Baja**. [online]. Disponível em: <http://www.saebrasil.org.br/eventos/ProgramasEstudantis/site/baja2011/> Acessado em : 05 de Out. de 2018.

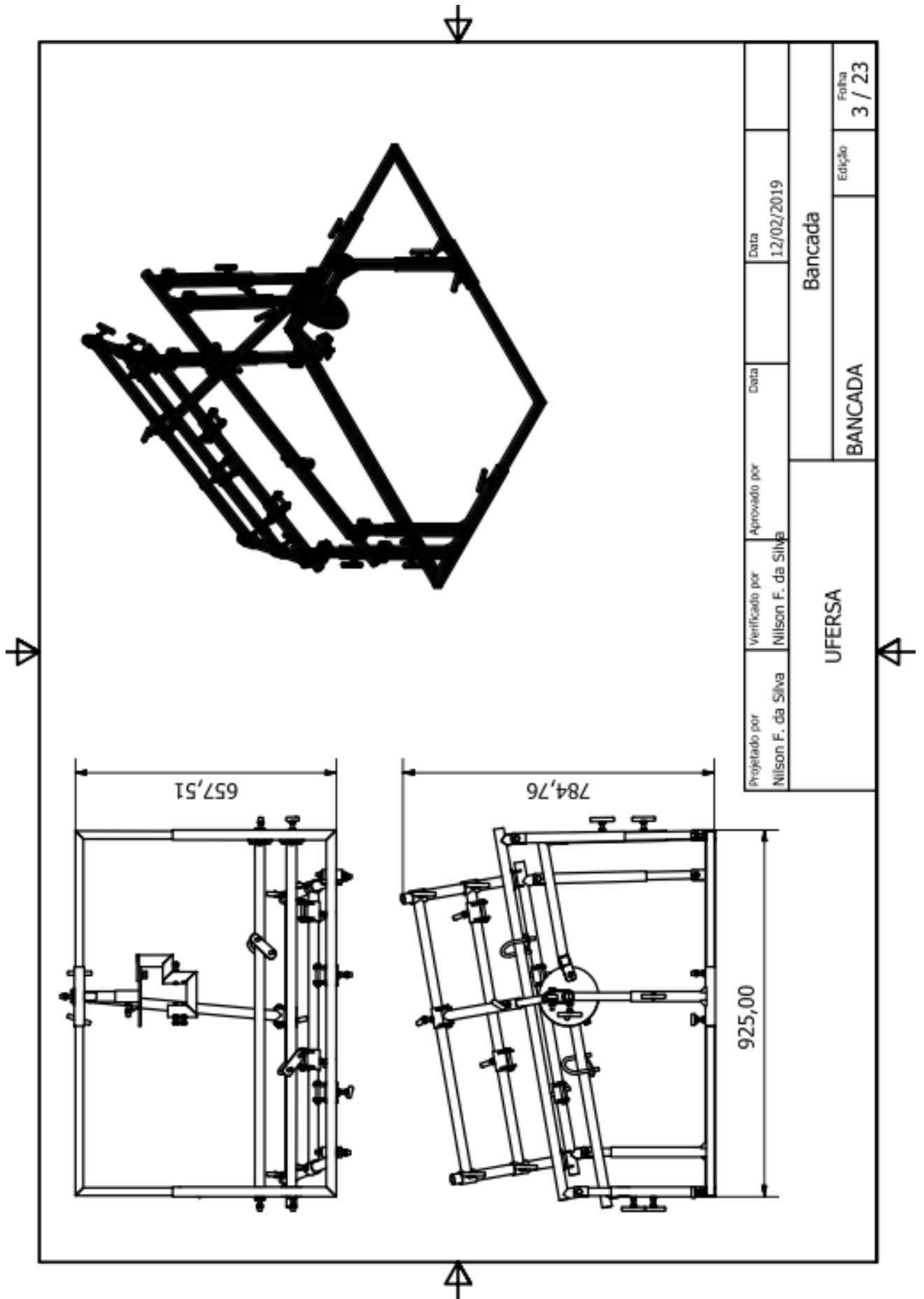
APÊNDICE A: Caderno de plotagem.

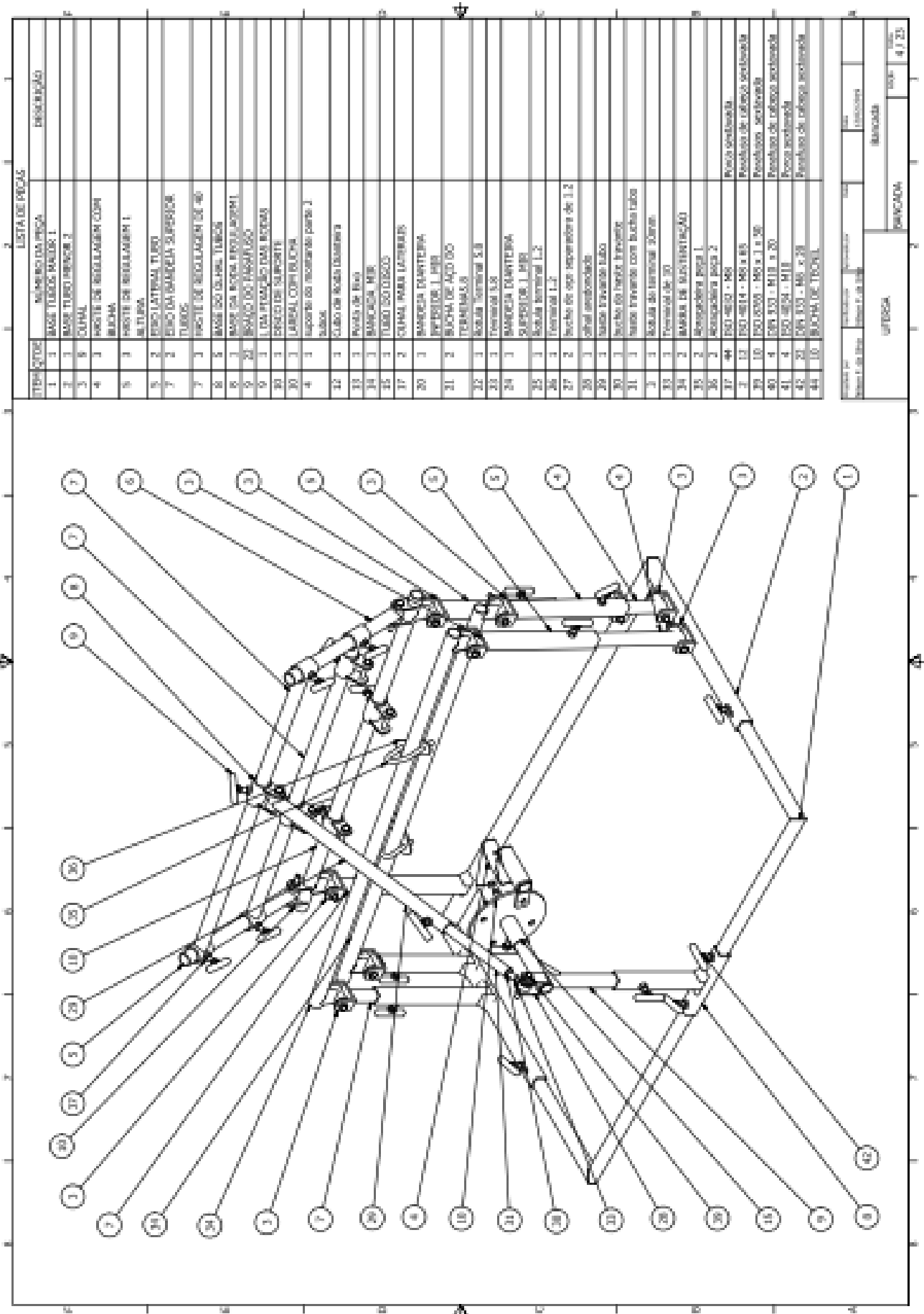


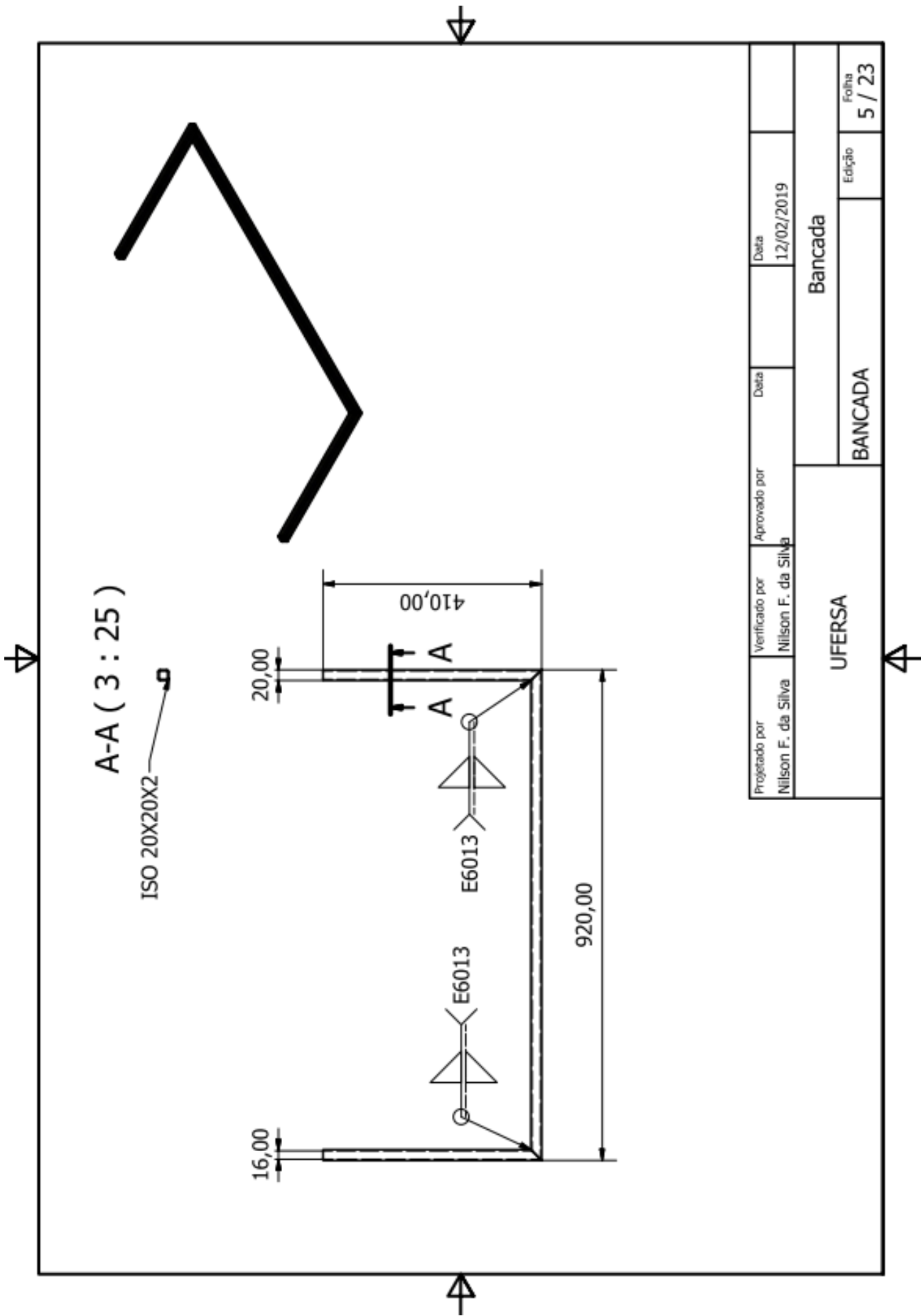


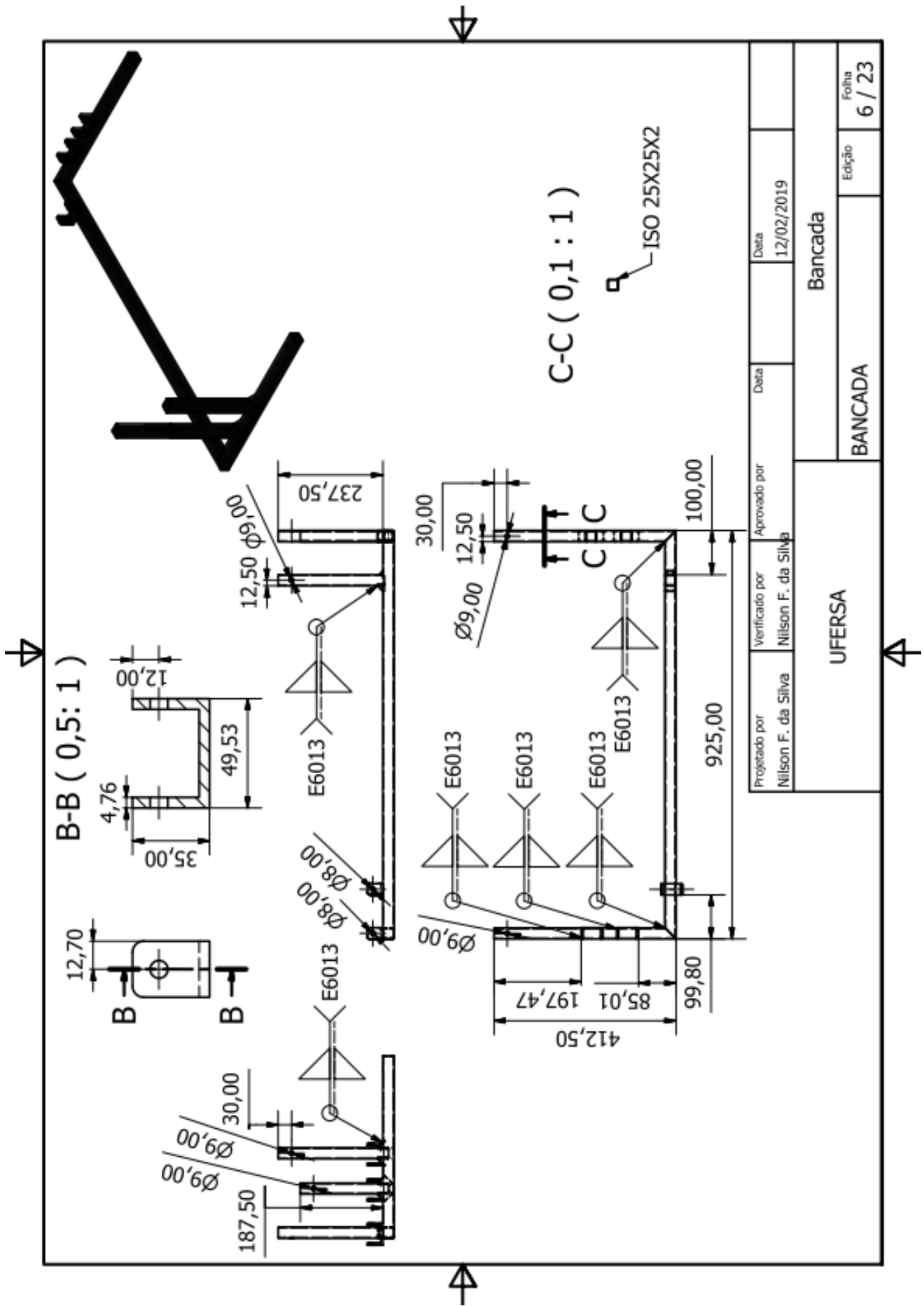
DIVISÃO ADOTADA NA CONCEPÇÃO DO PROJETO

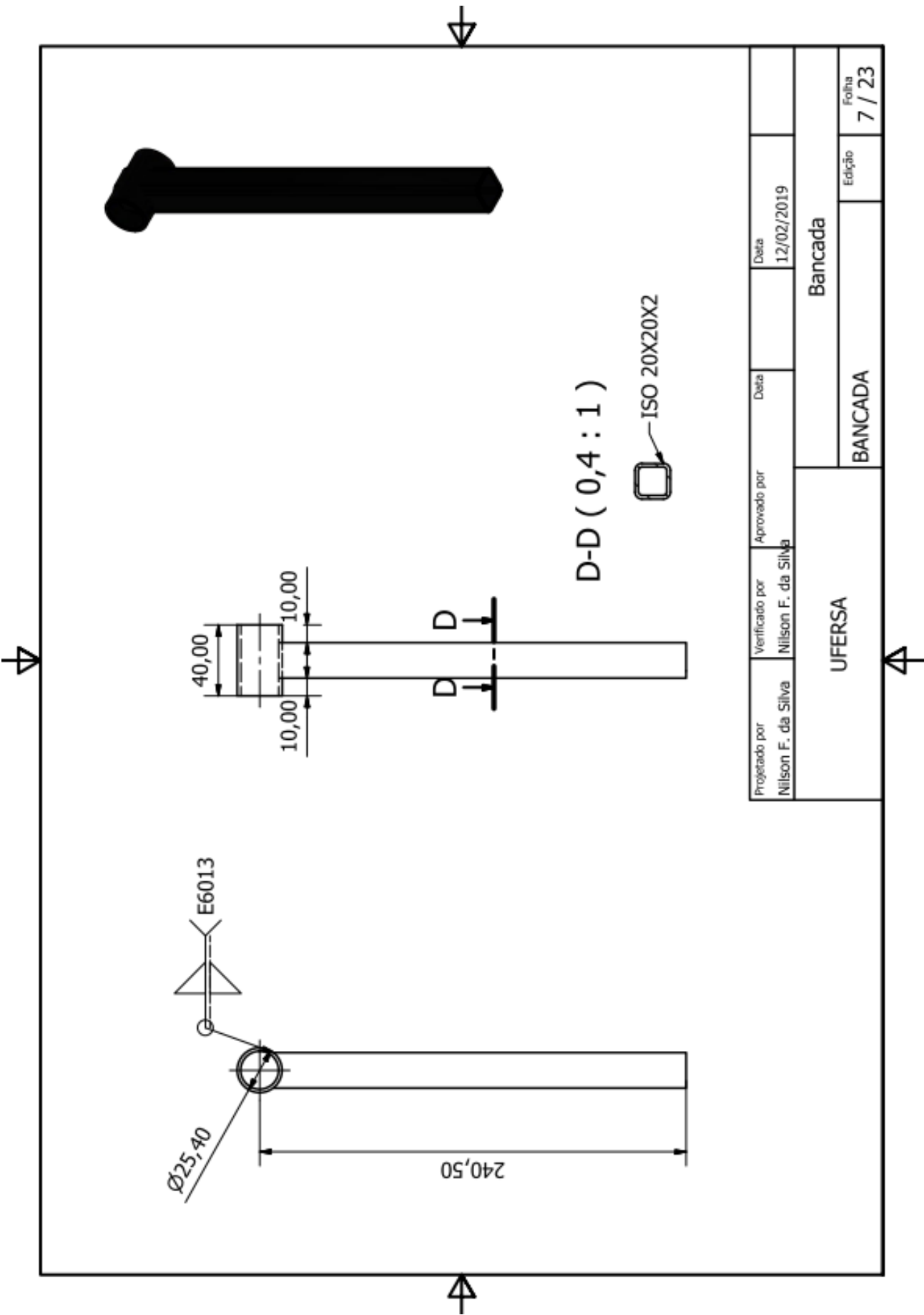
Projetado por Nilson F. da Silva	Verificado por Nilson F. da Silva	Aprovado por	Data 12/02/2019	
UFERSA		BANCADA		Bancada
		Edição		Folha 2 / 23

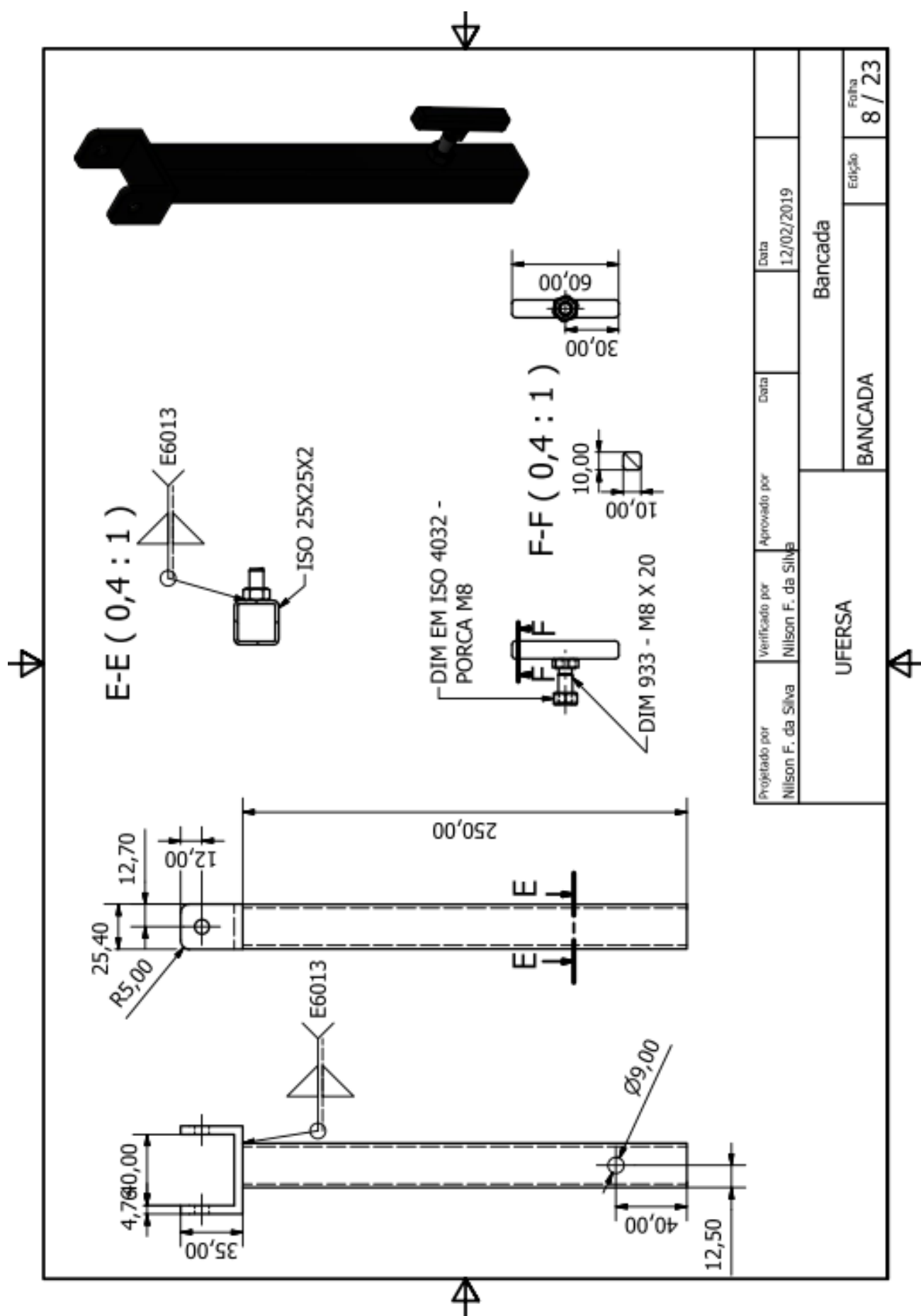


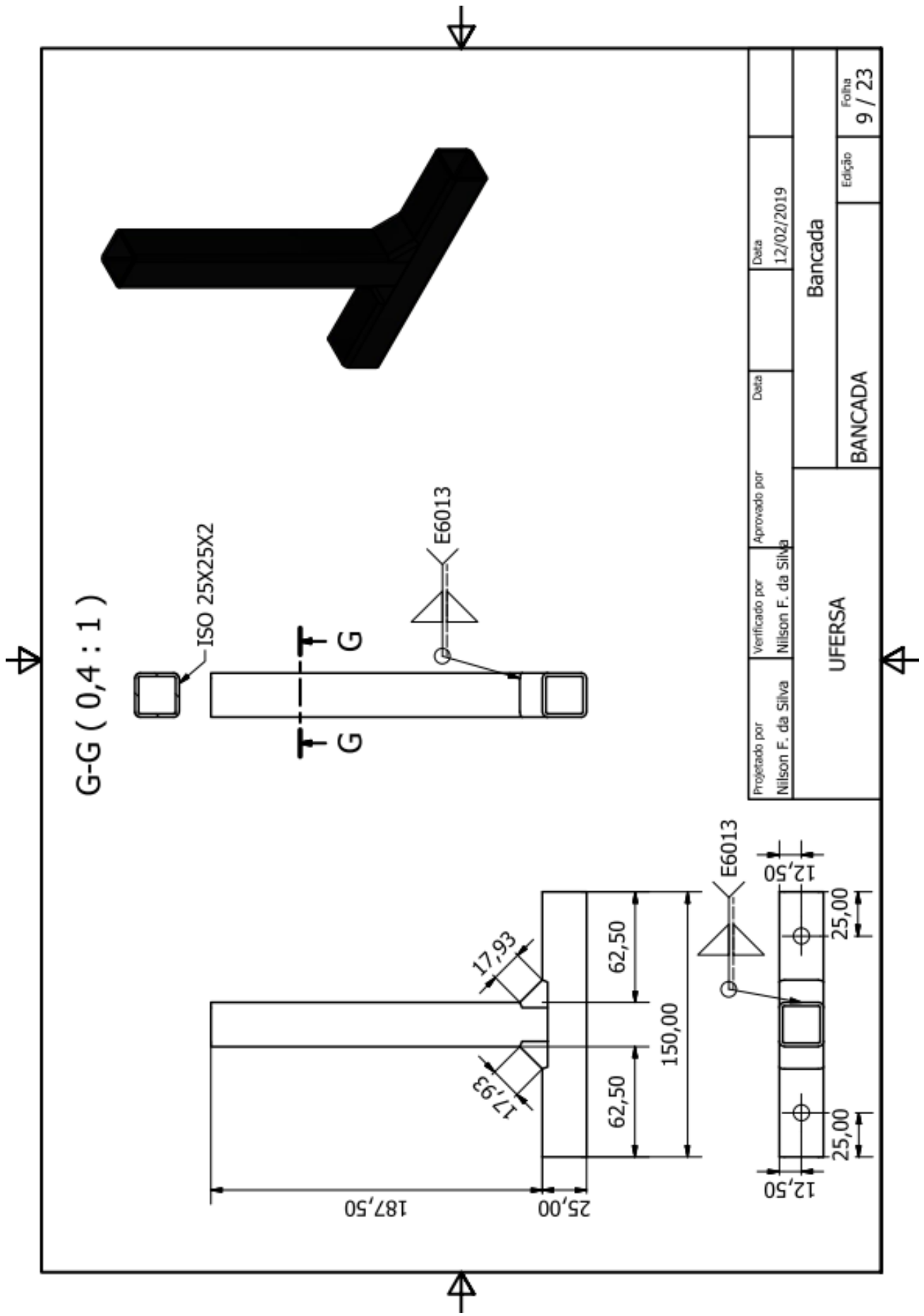


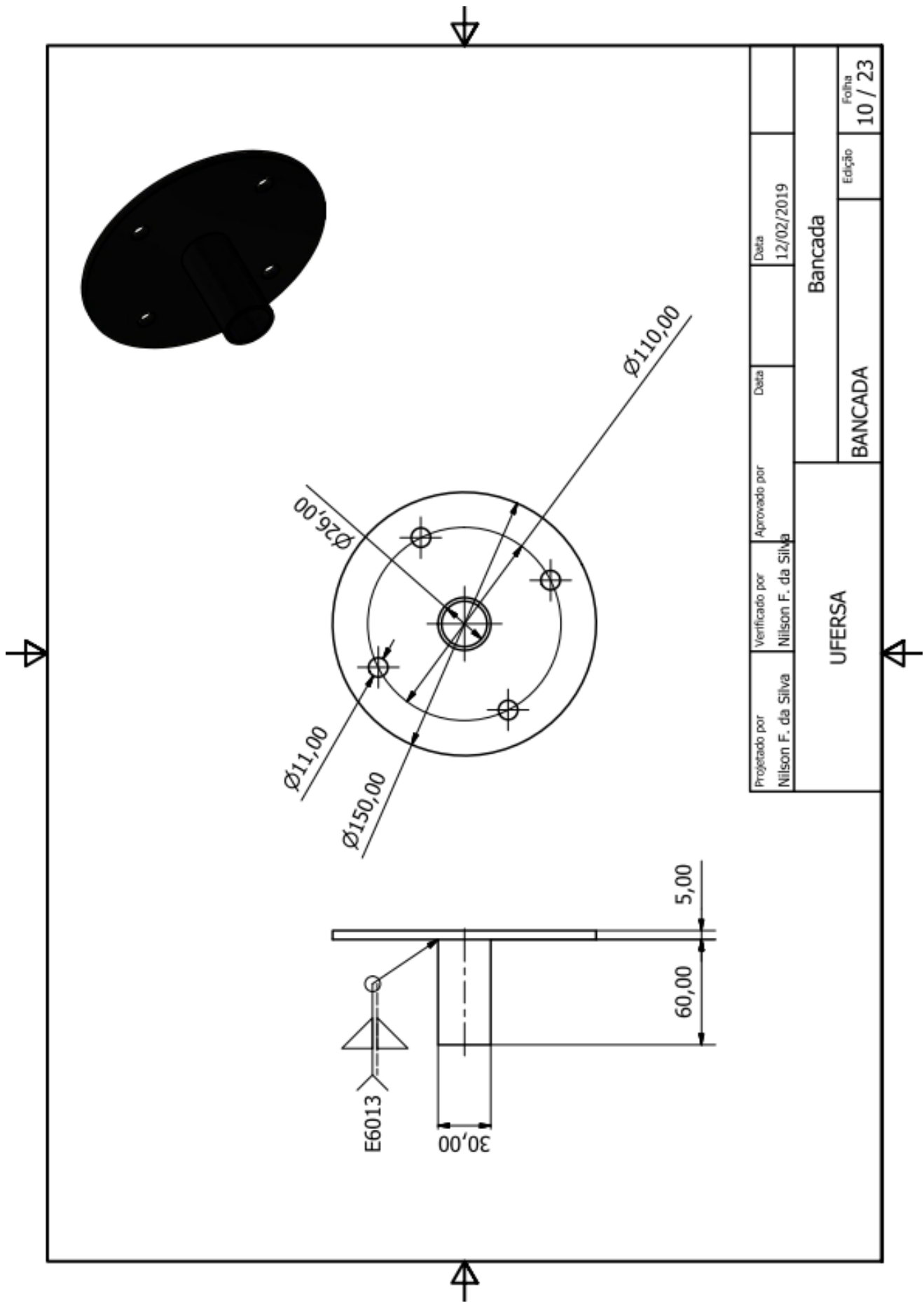


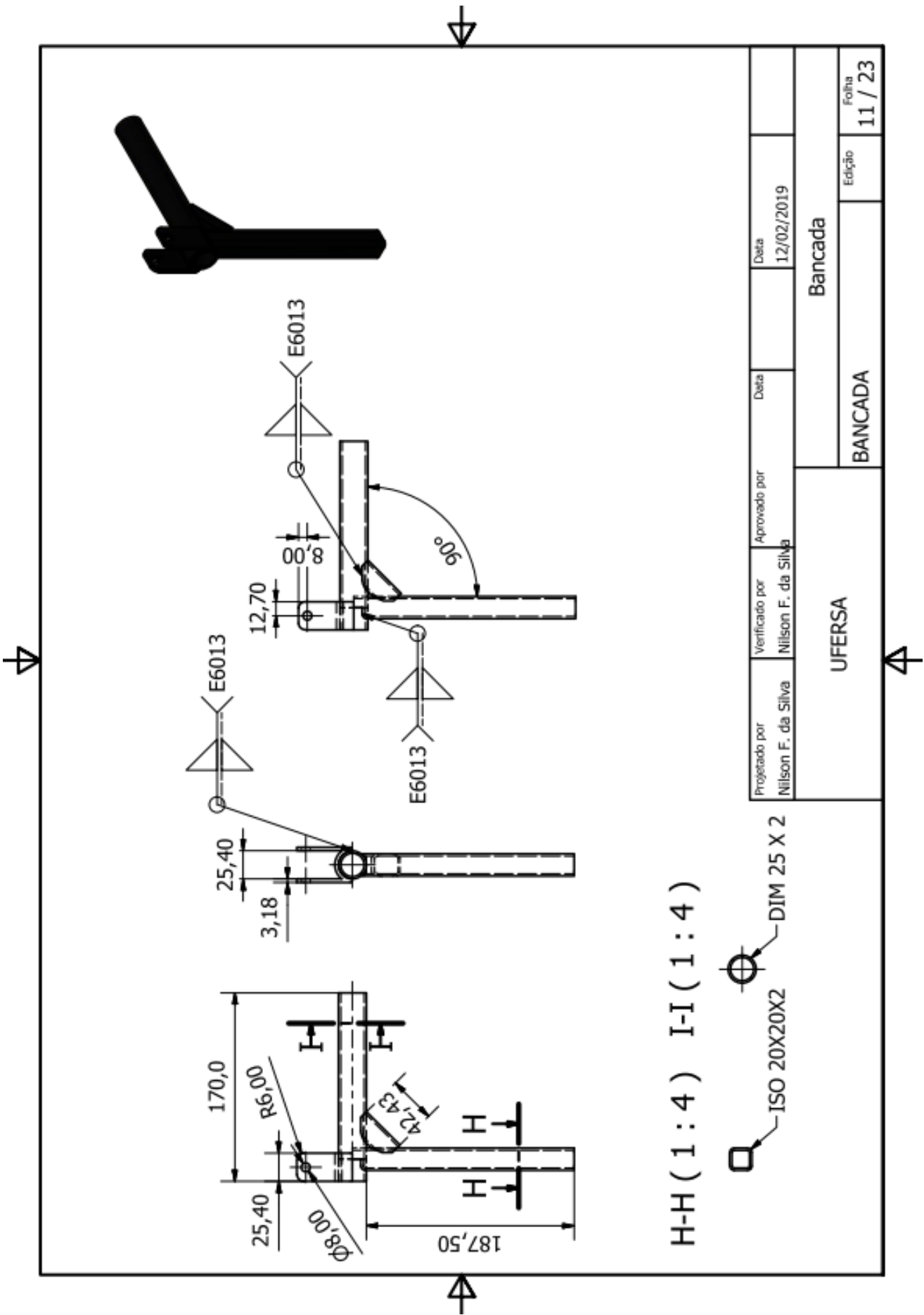


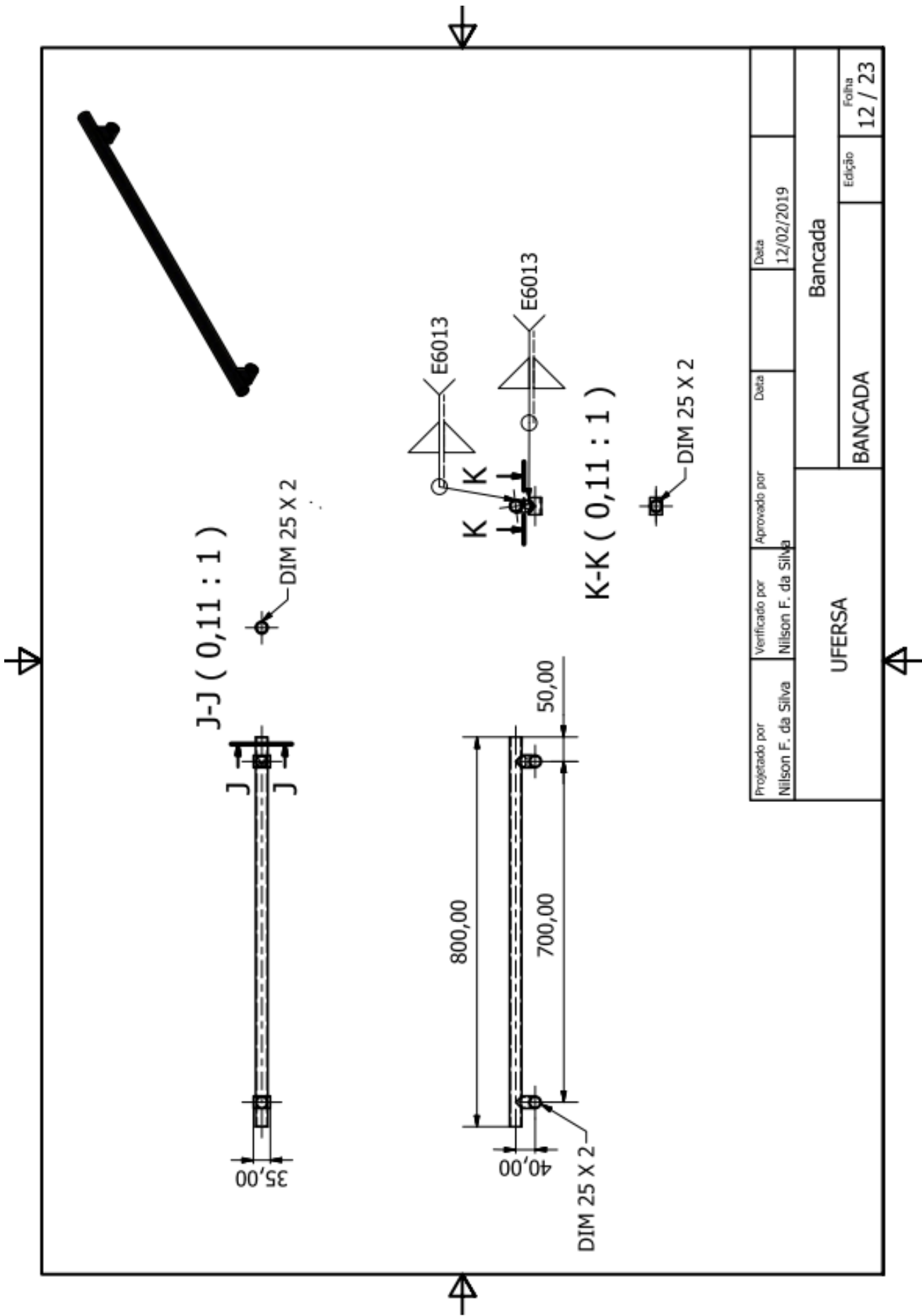


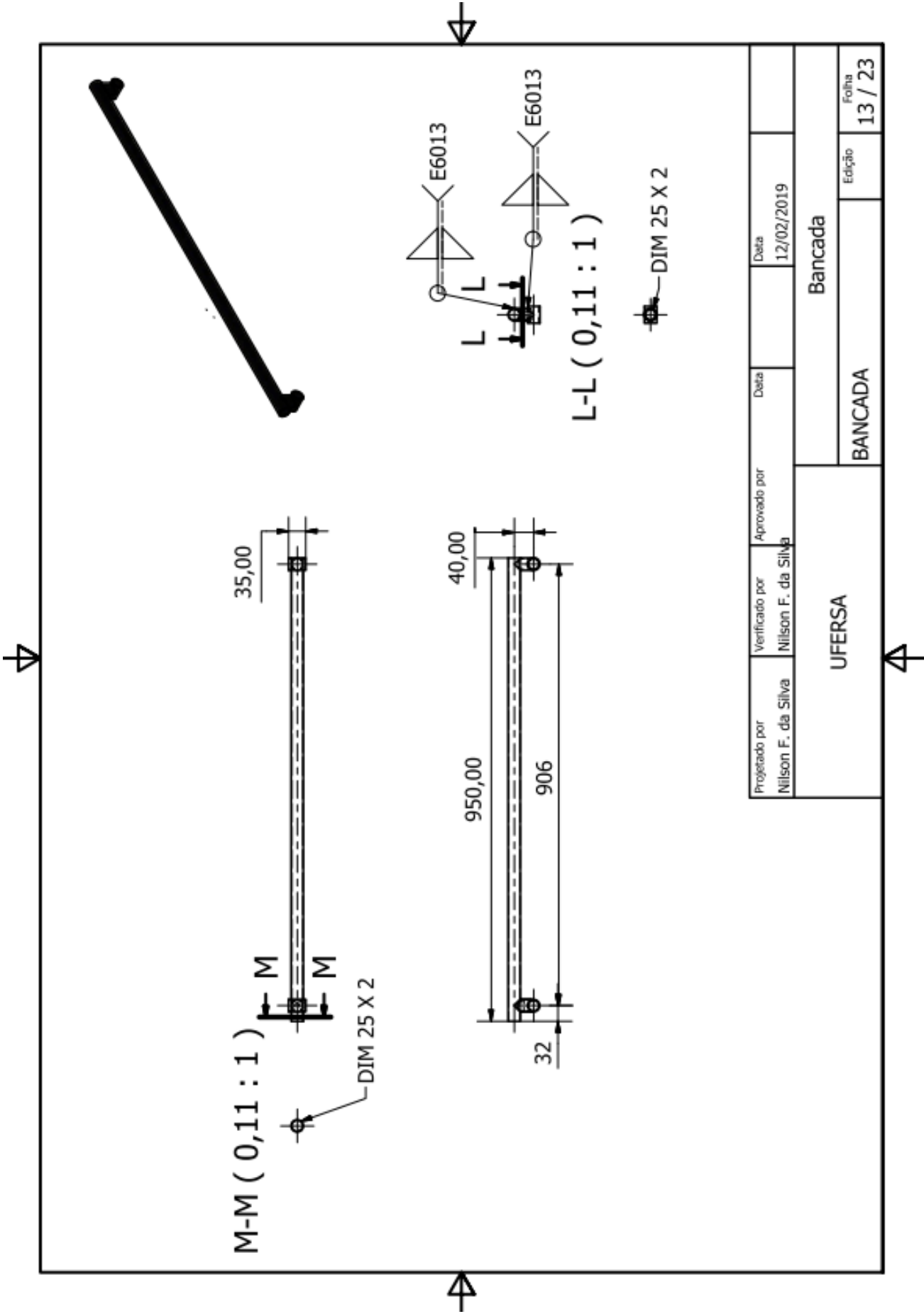


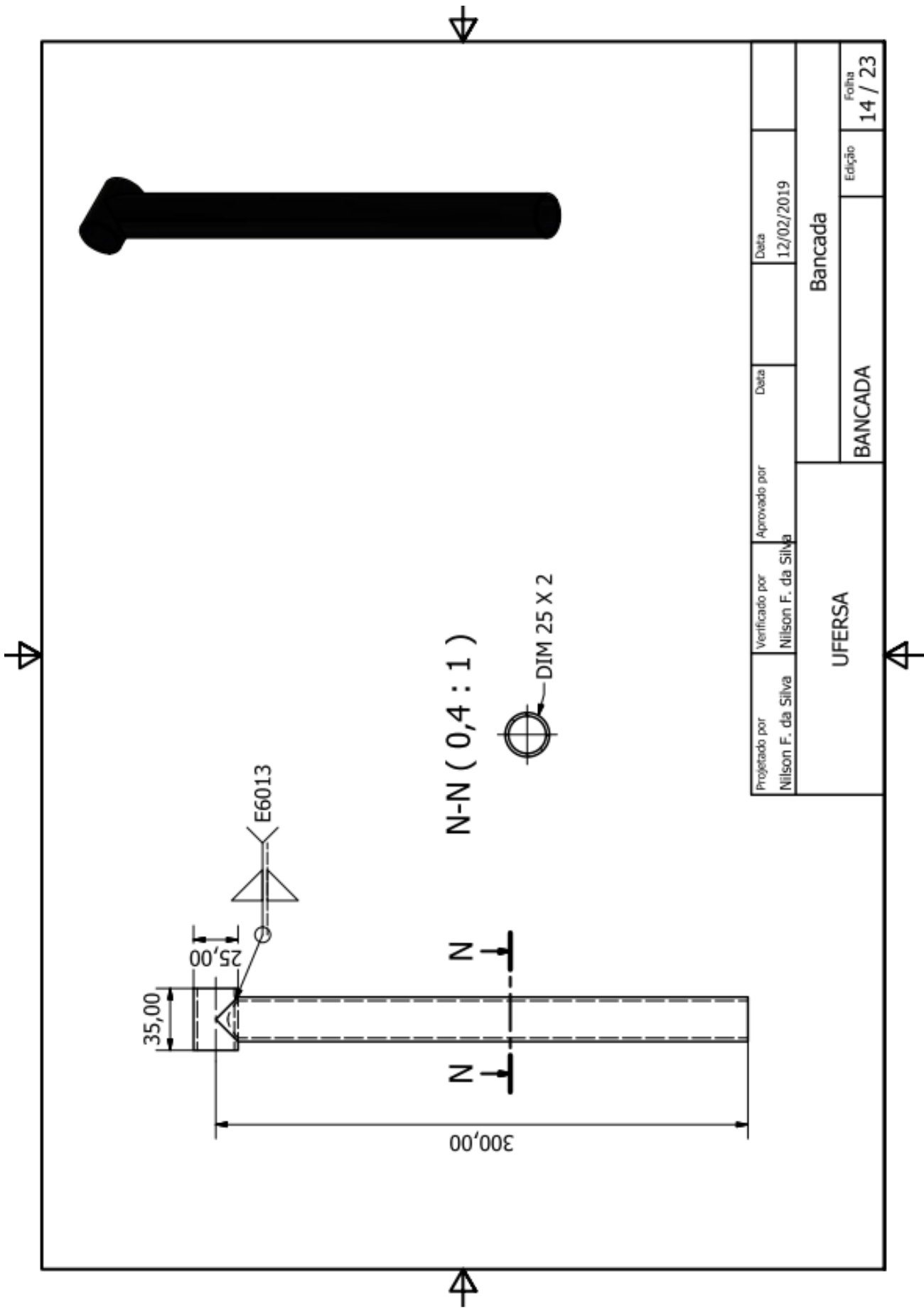












Projetoado por Nilson F. da Silva	Verificado por Nilson F. da Silva	Aprovado por	Delta	Delta	12/02/2019	
UFERSA			Bancada			Folha 14 / 23
			BANCADA			Edição

