



PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DE AMORTECIMENTO DE BARRAS DE PULVERIZAÇÃO DE UM PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO

Autor 1 – Fábio Rogério Fath
178856@upf.br

Autor 2 – Professor Dr. Fábio Goedel / Projeto Mecânico
goedel@upf.br

Comissão Examinadora – Prof. Dr. Márcio Walber e Prof. Me. Guilherme Reschke do Nascimento

Junho de 2024

RESUMO

Com o aumento da demanda de alimentos no mundo, torna-se necessário o surgimento de novas tecnologias e máquinas agrícolas que sejam capazes de aumentar a produtividade e a eficiência das lavouras. Sendo assim, esse trabalho desenvolveu um procedimento capaz de medir o deslocamento de barras de pulverização de um autopropelido visando possibilitar a alteração de parâmetros hidráulicos para melhorar o amortecimento e assim diminuir o transpasse de defensivos agrícolas no momento em que o equipamento enfrentar ações de aceleração e frenagem ou obstáculos durante o período de trabalho. Para isso, desenvolveu-se um processo baseado na fotogrametria com captura de imagens para determinação dos deslocamentos, onde uma câmera fotográfica foi posicionada na estrutura do autopropelido e pontos de referência foram posicionados na barra de pulverização. Concomitantemente, utilizou-se um medidor de pressão para verificar os impactos no sistema hidráulico da máquina. Para determinar os deslocamentos utilizou-se o método de filtros de imagem aplicado através de um *software* desenvolvido em parceria com a equipe de desenvolvimento de *software* da empresa Stara. Com a aplicação dos métodos propostos, foi possível detectar as variações de deslocamento da barra de pulverização, com um erro máximo de 7,1mm, fazendo com que o procedimento seja adequado à aplicação.

Palavras-chave: Barras de pulverização. Captura de deslocamento. Fotogrametria.

1 INTRODUÇÃO

Sendo responsável por 24,8% do PIB brasileiro e por 47,6% das exportações do país, a agricultura demonstra ser de grande importância econômica para o Brasil, bem como para garantir a segurança alimentar dos brasileiros e do mundo, gerando alimentos para aproximadamente 1 bilhão de pessoas (EMBRAPA, 2023).

Até o início da década de 1970 a produtividade da agricultura brasileira era muito baixa, devido ao baixo investimento e pouco conhecimento científico, além de muito concentrada nos estados da região sul e sudeste. Poucos anos depois, em meados de 1970, vendo a necessidade de aumentar a produção de alimentos por conta do aumento do número de habitantes, o governo iniciou os investimentos na área, indo em busca de conhecimentos especializados e novas tecnologias (EMBRAPA, 2023).

Com o passar dos anos os avanços tecnológicos cresceram exponencialmente trazendo novas máquinas agrícolas para o mercado e os conhecimentos científicos evoluíram possibilitando a utilização de mais áreas para produção de alimentos, descentralizando a produção nas regiões sul e sudeste e abrindo caminho para a região centro-oeste, além de possibilitar aumento da produtividade por lavoura (EMBRAPA, 2023).

Visando contribuir para o aumento da produtividade das lavouras, os implementos e máquinas agrícolas também trazem consigo a necessidade de evolução constante, buscando atender as demandas que surgem no dia-a-dia dos agricultores, sendo uma delas a necessidade de redução das perdas durante o cultivo e manejo dos alimentos nas lavouras.

Um dos tipos de perdas é através da ação de insetos ou doenças sobre as plantas cultivadas, que necessitam ser combatidos por meio da aplicação de defensivos agrícolas, papel desempenhado pelo pulverizador agrícola que, segundo Tsukada (2023), é a máquina responsável por distribuir uniformemente em gotículas os defensivos agrícolas.

Utilizando como referência a soja, um dos principais alimentos comercializados no país, seu cultivo demanda de um alto número de aplicações de defensivos agrícolas para garantia de alta produtividade, podendo chegar a até 6 aplicações por safra. Considerando esse elevado número, melhorar a eficiência dos pulverizadores torna-se uma necessidade para melhorar a aplicação de defensivos agrícolas e evitar transpasses durante a operação, que ocorrem quando a barra de pulverização passa mais de uma vez sobre a mesma área da lavoura, gerando sobreposição do produto em aplicação.

Por isso, visando diminuir o transpasse de defensivos agrícolas, causadores de morte de plantas e desperdício de produto, o presente trabalho visa determinar um procedimento que possibilite analisar o amortecimento de barras de pulverização permitindo a alteração de parâmetros hidráulicos buscando a melhor combinação possível para a estabilidade do conjunto.

Para que o objetivo seja atendido, será necessária a escolha de um equipamento que meça o deslocamento da barra de pulverização ao sofrer ações de aceleração e frenagem, simulando a operação de trabalho do autopropelido, bem como o projeto e fabricação de suportes para fixação do equipamento e demais ferramentas necessárias para a medição.

1.1 Justificativa e descrição do problema

Evitar a perda de plantas cultivadas em lavouras e evitar o desperdício de produto decorridos do transpasse de defensivos agrícolas durante a aplicação por um pulverizador autopropelido, que ocorre devido à flexibilidade das barras de pulverização no momento em que a máquina sofre ações de aceleração e frenagem ou atravessa um obstáculo.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral determinar um procedimento para coletar dados sobre deslocamento para possibilitar a verificação da influência de componentes hidráulicos no amortecimento de barras de pulverização.

Para auxiliar o atendimento do objetivo geral, relacionam-se os seguintes objetivos específicos:

- Determinar um procedimento para coletar o deslocamento horizontal das barras de pulverização durante a simulação da operação de aplicação de defensivos agrícolas;
- Verificar a variação de pressão no sistema hidráulico do decorrente do deslocamento das barras após o autopropelido passar por uma aceleração e frenagem;

- Alterar os giclês utilizados no sistema hidráulico de amortecimento do autopropelido e verificar se o método de captura de deslocamento tem capacidade de detectar a variação de movimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Visando uma melhor compreensão sobre o estudo realizado, torna-se imprescindível o conhecimento sobre os assuntos de grande relevância para o desenvolvimento do trabalho. Sendo assim, nesse capítulo serão abordados inicialmente temas gerais, para situar e identificar o ambiente de trabalho, como: pulverização e os diferentes tipos de pulverizadores de barra, tipos de pulverizadores autopropelidos e amortecimento. Posteriormente serão abordados temas mais específicos sobre a metodologia a ser desenvolvida, como atuadores lineares, acumuladores de pressão hidráulica e procedimentos para captura de deslocamentos.

2.1 Pulverização agrícola e os tipos de pulverizadores de barra

Segundo Tsukada (2023), pulverização agrícola corresponde à distribuição de produtos químicos, tais como os defensivos agrícolas, na forma de micropartículas em lavouras. Os objetivos da aplicação de produtos através da pulverização podem ser de diferentes naturezas, seja para realizar o controle de pragas e doenças, seja para fertilizar distribuindo nutrientes.

O tamanho das partículas na saída dos pulverizadores depende do tipo de bico que é utilizado que conseqüentemente depende do tipo de aplicação que deseja-se realizar e do clima no local de aplicação. Para o controle de insetos utilizam-se gotas com tamanho inferior à 200µm, denominadas gotas pequenas, altamente influenciada pela deriva do vento, e para o controle doenças nas plantas ou o controle de plantas invasoras utilizam-se as gotas médias ou grandes, que variam de 200µm a mais de 400µm, garantindo uma aplicação mais uniforme e que sofra menos influência do vento (MORAES, 2023).

De acordo com Balastreire (2004) existem dois tipos de pulverização: a pulverização terrestre e a pulverização aérea. A pulverização terrestre com barras subdivide-se principalmente em:

- **Pulverizador acoplado:** conforme demonstra a Figura 1, trata-se do equipamento de pulverização que necessita ser acoplado à um trator, para que ele forneça a potência de acionamento e realize o transporte. O volume do tanque é em média de 600l até 1200l.



Figura 1 - Pulverizador acoplado.

(Fonte: Stara Indústria de Máquinas e Equipamentos Agrícolas, 2023)

• **Pulverizador de arrasto:** possui características de aplicação semelhantes ao pulverizador acoplado, porém, devido ao maior volume transportado, em torno de 2000 a 4000l, inviabiliza o acoplamento junto ao trator e necessita de um chassi para transporte, sendo rebocado pelo trator, conforme mostra a Figura 2. A potência de acionamento também é proveniente do trator.



Figura 2 - Pulverizador de arrasto.

(Fonte: Stara Indústria de Máquinas e Equipamentos Agrícolas, 2023)

• **Pulverizador autopropelido:** é o pulverizador que possui motorização, transmissão e tração próprias, geralmente instalado sobre um chassi com vão livre alto. Também realiza a aplicação através de barras e possui tanques com volumes semelhantes ao de arrasto, variando de 2000l até 4500l, conforme demonstra a Figura 3.



Figura 3 - Pulverizador Autopropelido.

(Fonte: Stara Indústria de Máquinas e Equipamentos Agrícolas, 2023)

A pulverização aérea possui apenas uma forma de aplicação, semelhante ao pulverizador autopropelido, onde o equipamento é acoplado sobre o chassi do próprio propulsor. Dentro dessa categoria diferenciam-se os métodos de transporte, podendo ser através de aviões (a), helicópteros (b) ou drones (c), alterando conseqüentemente os volumes de seus tanques, conforme mostra a Figura 4.



Figura 4 - Pulverização aérea; a) Avião; b) Helicóptero; c) Drone.

(Fonte: Adaptado de Brasquímica, 2023; Adaptado de HeliBraz Helicópteros, 2023; Adaptado de Aegro, 2023)

2.2 Barras de pulverização

De acordo com Pinto (2021), as barras são a parte do sistema de pulverização onde os bicos de pulverização, responsáveis por fazer o direcionamento dos defensivos agrícolas até as plantas, são fixados, e é nelas que encontram-se os sistemas de amortecimento, que visam diminuir a magnitude das instabilidades quando o autopropelido enfrenta as irregularidade do solo.

As barras de pulverização são fixadas no autopropelido através do componente da máquina denominado quadro e podem ser posicionadas em diferentes posições nos autopropelidos, variando de acordo com a empresa fabricante. Atualmente, conforme a Figura 5, são comercializados pulverizadores com barras frontais (a), centrais (b) ou traseiras (c), sendo o último o mais comum (ARAÚJO, 2016).



Figura 5 - Posicionamento das barras em autopropelidos: a) Barra frontal; b) Barra Central; c) Barra traseira.

(Fonte: Adaptado de Jan, 2014; Adaptado de Stara, 2023; Adaptado de KS Pulverizadores, 2023)

2.3 Atuadores lineares

Segundo Pompermaier (2009), atuadores lineares são componentes que produzem movimentos unidirecionais, que são utilizados para transferência de força mecânica, podendo exercer as funções de empurrar ou puxar o objeto móvel no qual estiver conectado.

Os atuadores lineares possuem, em grande maioria, duas maneiras de acionamento: elétrico ou hidráulico, sendo o último o de maior utilização em máquinas agrícolas.

2.3.1 Atuador linear hidráulico

De acordo com Franco (2002), o atuador linear hidráulico ou cilindro hidráulico, é o componente que utiliza como mecanismo de transmissão de energia um fluido hidráulico. Sua composição é, conforme mostra a Figura 6, dada por um cilindro (1) onde entra o fluido, através

de dois canais (uma entrada e uma saída) (2) que abriga uma haste (3) que recebe a carga do fluido através do êmbolo (4) e transfere para o objeto desejado.

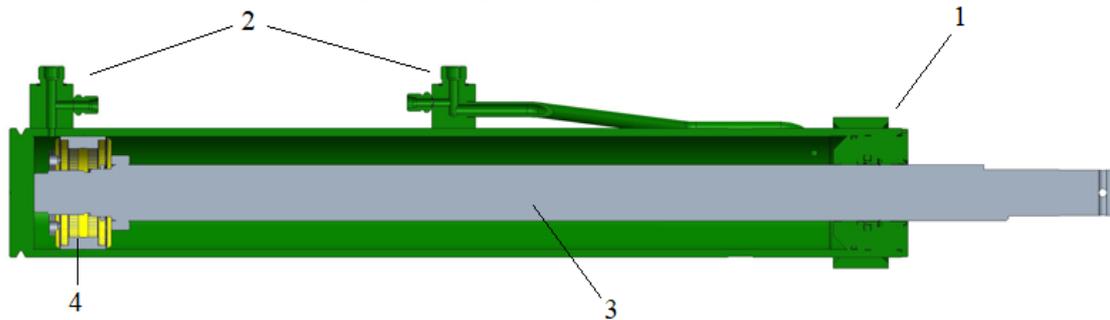


Figura 6 - Vista em corte de um cilindro hidráulico.

(Fonte: Autor)

2.4 Acumulador de pressão hidráulica

O acumulador de pressão hidráulica baseia-se no princípio de que fluidos são praticamente incompressíveis e conseqüentemente não conseguem acumular energia quando pressionados, sendo assim, o acumulador é um equipamento preenchido parcialmente por um gás e parcialmente por um fluido, conectado ao atuador linear hidráulico, local de origem do fluido (HYDAC, 2023).

O objetivo de um acumulador de pressão é receber e armazenar a energia hidráulica de um fluido e devolvê-la de forma gradual ao sistema hidráulico, tendo o gás como o responsável por essa absorção e transferência (HYDAC, 2023).

2.4.1 Acumulador de membrana

O acumulador de membrana, conforme apresentado na Figura 7, é composto por um recipiente previamente preenchido na parte superior (1) com nitrogênio, responsável por absorver e armazenar a energia vinda do fluido que entra na parte inferior (2). No interior do recipiente, evitando o contato entre o fluido e o gás encontra-se a membrana (3), responsável por transferir a pressão entre os elementos. Esse equipamento é acoplado junto ao cilindro hidráulico e os dois sistemas atuam em conjunto, conforme demonstra a Figura 8.

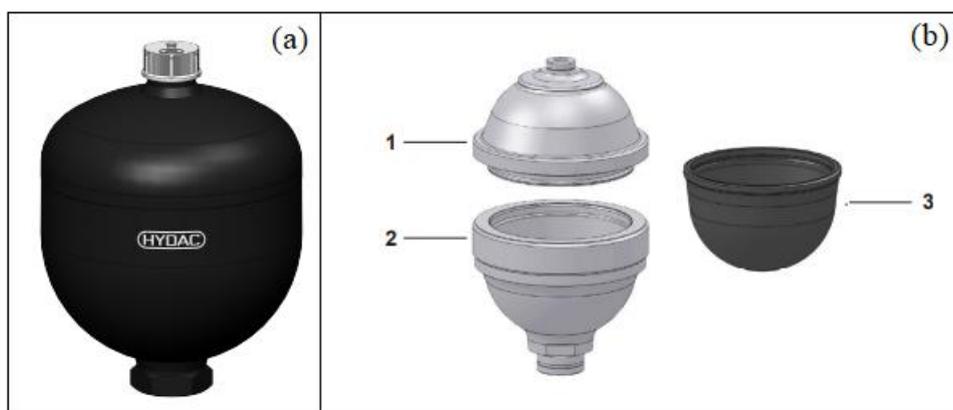


Figura 7 - a) Acumulador de membrana; b) Estrutura acumulador de membrana.

(Fonte: Adaptado de Hydac, 2023)

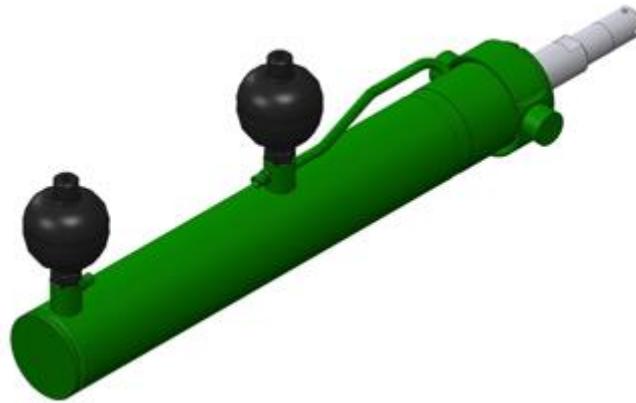


Figura 8 - Acumulador de membrana instalado no cilindro hidráulico

(Fonte: Autor)

O acumulador de membrana, conforme demonstra a Figura 9, enquanto em estado de repouso (1), ou seja, sem atuação da pressão de um fluido, apresenta-se com a membrana toda desenvolvida. Quando inicia-se o pressão hidráulico ela inicia sua deformação (2) e quando a pressão é máxima chega-se ao seu nível máximo de compressão (3).

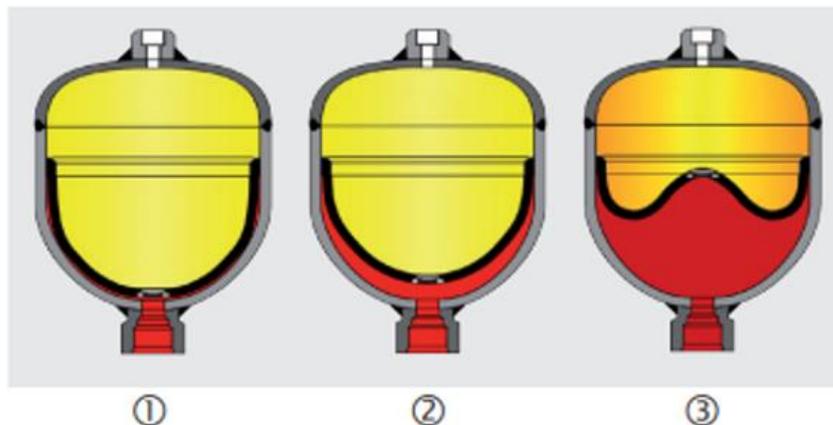


Figura 9 - Estados de atuação da membrana.

(Fonte: Adaptado de Hydac, 2023)

2.4.2 Giclê

Giclês são equipamentos responsáveis por realizar a restrição da passagem de óleo em sistemas hidráulicos. A atuação ocorre diminuindo a área de passagem do óleo, fazendo com que esse fluxo se torne mais lento. No caso de um giclê unidirecional, representado na Figura 10, por possuir mais furos além do furo central e um anel (A), o fluxo no sentido 1 é mais elevado, empurrando o anel e passando por todos os furos, e o fluxo de retorno, no sentido 2, é restringido ao furo central, tendo em vista que o anel vedará os demais furos (HYDRAFORCE, 2023).

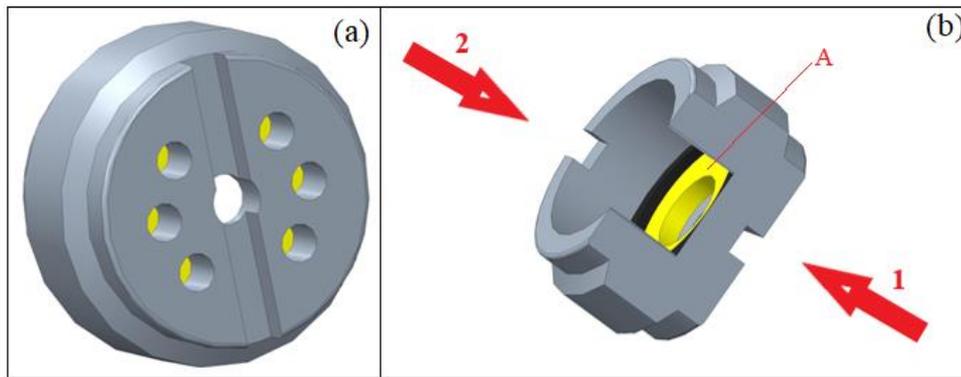


Figura 10 - a) Estrutura do giclê; b) Vista em corte do giclê.

(Fonte: Autor)

Conforme demonstra a Figura 11, os giclês (C) são instalados entre o cilindro hidráulico (A) e os acumuladores de pressão (B), fazendo com que o óleo entre nos acumuladores na velocidade máxima, que é a velocidade de reação ao deslocamento, e saia em uma velocidade restringida, retornando a pressão gradativamente ao sistema.

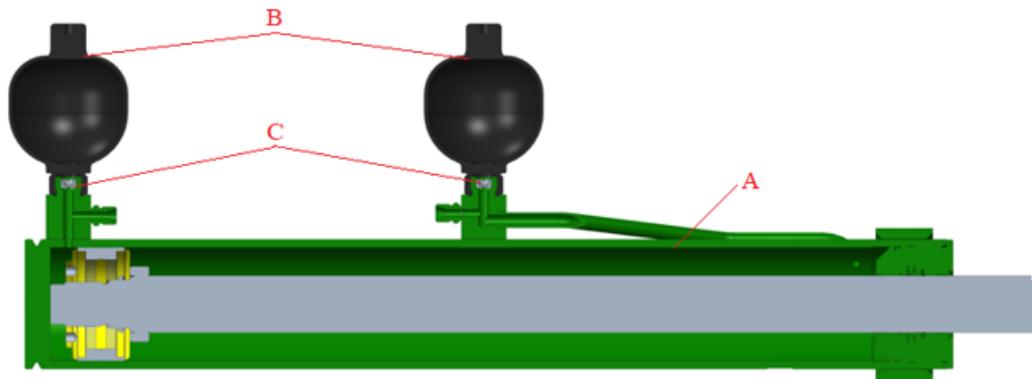


Figura 11 - Montagem do cilindro hidráulico com os acumuladores de pressão e os giclês.

(Fonte: Autor)

2.5 Amortecimento

Segundo Cossolino e Pereira (2010), amortecimento é a capacidade de um material ou sistema absorver e dissipar a energia de um impacto ao longo do tempo, ou seja, é uma propriedade que determina a capacidade de um objeto receber uma grande carga de energia mecânica e devolvê-la de forma gradual.

Segundo Rao (2008), o mecanismo de amortecimento de maior utilização é o amortecimento viscoso, que ocorre quando um sistema mecânico vibra em um meio fluido, dissipando a energia de acordo com a resistência oferecida por ele. Entre outros fatores, a quantidade de energia dissipada depende da viscosidade do fluido e da velocidade do corpo em movimento.

Aplicado em barras de pulverização, demonstrado na Figura 12, o conceito tem a finalidade de fazer com que elas permaneçam a maior parte do tempo paralelas ao solo, no sentido vertical (eixo y), garantindo qualidade na aplicação dos defensivos agrícolas, bem como apresentem o menor deslocamento horizontal (eixo x) possível, de forma a evitar ao máximo o transpasse de produtos.



Figura 12 - Sentido de movimento das barras de pulverização.

(Fonte: Adaptado de Stara Indústria de Máquinas e Equipamentos Agrícolas, 2023)

2.5.1 Oscilação horizontal

Segundo Engelen (2008), geralmente as barras de pulverização apresentam baixo amortecimento horizontal, ou seja, elas são facilmente deslocadas de acordo com as variações de movimento do autopropelido. Conforme a Figura 13, os deslocamentos podem ser simétricos (a) ou antissimétricos (b), causando desuniformidade na aplicação de defensivos agrícolas, que, de acordo com a velocidade de movimento, geram pontos de superaplicação ou sub aplicação.

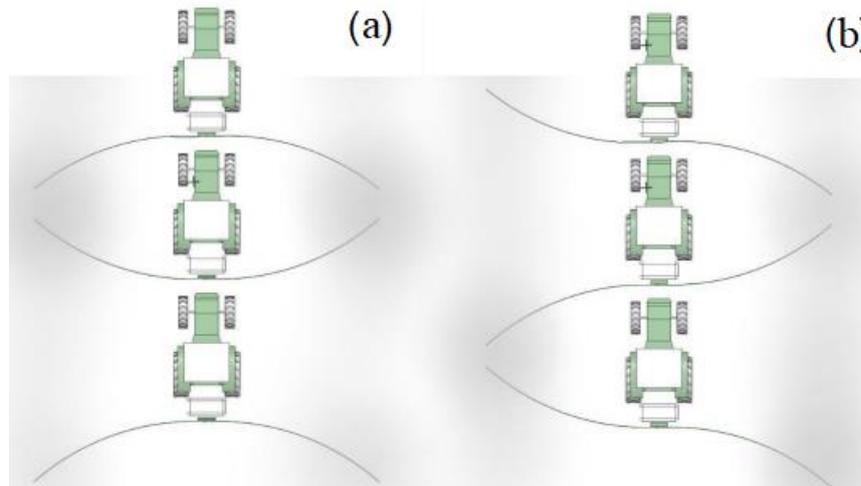


Figura 13 - Oscilações horizontais das barras de pulverização: a) Modo simétrico; b) Modo antissimétrico.

(Fonte: Adaptado de Kappaun, 2020)

2.6 Métodos para captura de deslocamento

A fim de determinar o deslocamento da barra de pulverização em relação ao autopropelido, é necessário compreender quais métodos poderiam ser aplicados para a realização dessa medição.

2.6.1 Acelerômetros

Segundo Kappaun (2017), acelerômetros são sensores utilizados para medir a aceleração ou vibração de um componente ou de uma estrutura. Seu funcionamento é baseado no deslocamento de uma massa interna, ou seja, a força captada pelo equipamento é determinada pela aceleração sofrida por sua massa interna.

Os acelerômetros possuem boa precisão em seus resultados, porém, apresentam muita sensibilidade às vibrações naturais existentes na estrutura, como, por exemplo, a vibração de um motor. Além disso, pensando em replicar o procedimento para analisar barras de diferentes comprimentos, seriam necessários vários acelerômetros, tendo em vista que, uma vez instalados, por serem muito sensíveis, ao serem removidos e instalados em outra barra, perderiam sua precisão.

2.6.2 Captura de imagem

A fotogrametria é a ciência de obter informações de confiança sobre objetos com o uso de processos de registro, medição e interpretação de imagens fotográficas (ASP, 1996).

Segundo Fredo (2019), o método para captura de deslocamento se baseia em filmar a estrutura que estará em movimento e cada frame do vídeo, que possui suas próprias coordenadas, é comparado com uma imagem de referência, e a diferença entre essas comparações é que determina os deslocamentos sofridos pela estrutura, conforme demonstra a Figura 14.

Considerando o critério de praticidade, a fotogrametria é bastante viável pelo fato de demandar apenas de um suporte para o posicionamento da câmera fotográfica e de um ponto de referência no local onde deseja-se capturar o deslocamento, logo, permite ser desmontada e montada diversas vezes sem perder a precisão, bem como as vibrações naturais do autopropelido não irão exercer grandes influências nas medições.

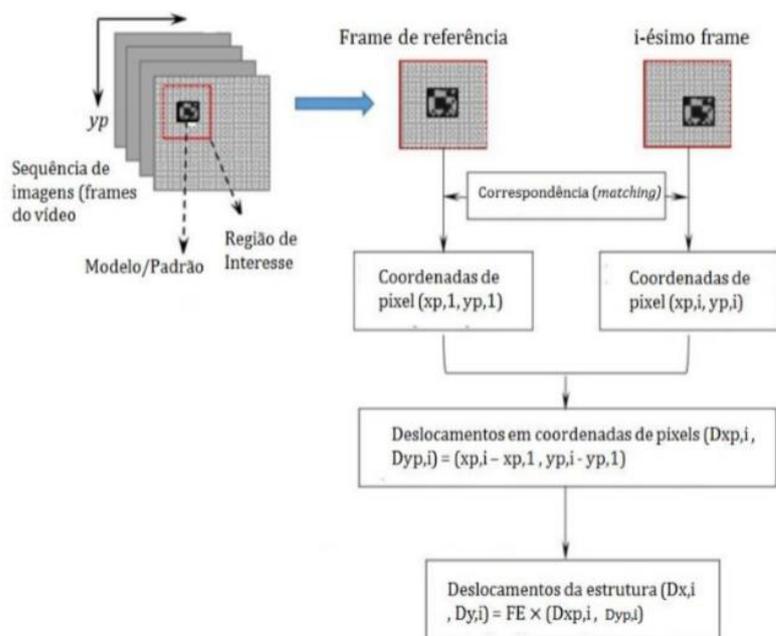


Figura 14 - Princípio do posicionamento em relação ao pixel.

(Fonte: Fredo, 2019)

2.7 Considerações sobre a revisão bibliográfica

Após finalizar o capítulo, é possível observar a importância da pesquisa para o entendimento dos assuntos e termos envolvidos no tema central do trabalho. No decorrer do capítulo diversos temas fundamentais para o projeto foram introduzidos, trazendo a explicação inicial sobre pulverização e os tipos de pulverizadores de barras e autopropelidos, chegando no objeto central de estudo, as barras de pulverização.

Além disso, foram apresentados os componentes hidráulicos responsáveis pelo movimento e amortecimento das barras de pulverização bem como introduzido o conceito de cada um, visando possibilitar o conhecimento de seus meios de atuação.

Por último, visando compreender quais procedimentos seriam factíveis de serem aplicados para a análise de deslocamento das barras de pulverização, foram apresentados os métodos bem como suas variáveis, servindo como base para a determinação de qual será o procedimento utilizado no desenvolvimento do trabalho.

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de determinar um procedimento para medir o deslocamento das barras de pulverização de um autopropelido em movimento e verificar o amortecimento do conjunto cilindro hidráulico e acumulador de pressão de membrana, após passar pela revisão bibliográfica, os próximos passos, descritos nos capítulos 3 e 4, serão divididas em 4 etapas, conforme demonstra a Figura 15.

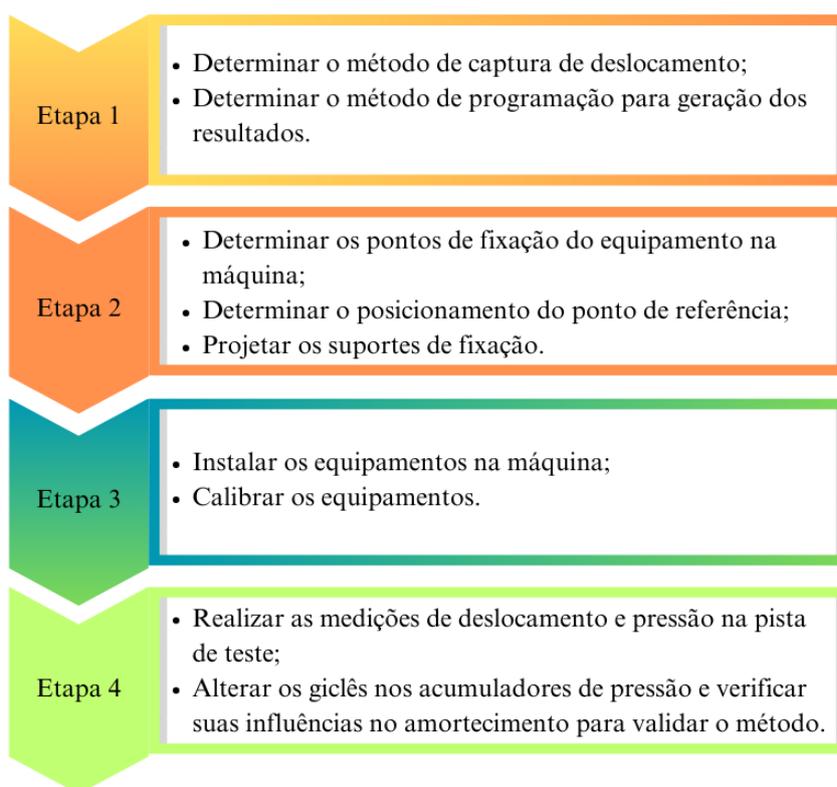


Figura 15 - Procedimento metodológico do estudo.

(Fonte: Autor)

Etapa 1: Determinação do método de captura de deslocamentos, com base na revisão bibliográfica, considerando as restrições de cada método e encontrando o que possui maior intercambiabilidade sem perder a precisão de medição; e, posteriormente, junto com a equipe de programação e desenvolvimento de *software* da empresa Stara, determinar o melhor método de programação para geração dos resultados desejados, atendendo as premissas anteriores de repetibilidade.

Etapa 2: Determinação dos pontos de fixação do equipamento de medição e do ponto de referência, considerando as dimensões e geometrias das barras e do autopropelido escolhido; e projeto dos suportes de fixação dos equipamentos na máquina, buscando utilizar os pontos pré-existent na máquina, como furos e parafusos.

Etapa 3: Instalação dos equipamentos na máquina, após a fabricação dos suportes e programação do método de medição; e calibração dos equipamentos, com o autopropelido parado e o deslocamento das barras sendo feito de forma manual, realizando um deslocamento controlado para poder referenciar os resultados obtidos e determinar o fator de conversão de *pixels* para milímetros.

Etapa 4: Realização das medições na pista de teste, iniciando com o autopropelido parado, para posteriormente aplicar uma força de aceleração, atingir a velocidade de 25km/h - sendo essa a velocidade máxima permitida para o processo de pulverização e finalizar com uma frenagem brusca após a estabilização da velocidade. Realização da coleta com os parâmetros de amortecimento originais e posteriormente alteração do giclê para verificar as diferenças de deslocamento da barra e pressão no cilindro hidráulico, possibilitando a validação do procedimento de captura de deslocamento.

3.1 Etapa 1: Determinação do método de captura de deslocamento

Baseado no capítulo 2, considerando um método de captura de deslocamentos que seja facilmente instalado nas barras do autopropelido, sofra pouca ou nenhuma influência da vibração natural da máquina e que não perca precisão ao ser desinstalado e instalado em outra máquina, o método de captura de deslocamento selecionado será o método de captura de imagem.

No presente trabalho, a câmera fotográfica utilizada será uma GoPro, que possui uma câmera de 12 MP, conforme mostra a Figura 16, junto com um notebook com processador Intel Core i5, para processamento das imagens.



Figura 16 - Câmera fotográfica utilizada.

(Fonte: Autor)

3.1.1 Programação da câmera fotográfica

A fim de gerar os dados necessários para o desenvolvimento do trabalho, ao determinar o método de captura do deslocamento, iniciou-se um trabalho em conjunto com a equipe de desenvolvimento e programação de *software* da empresa Stara.

Para a captura do deslocamento será utilizado um sistema de filtros de imagem para encontrar o ponto de referência, ou seja, conforme demonstra a Figura 17, será determinado o *pixel* de referência inicial e após o movimento da barra o *software* irá determinar o posicionamento do ponto de referência de acordo com o número de *pixels* percorridos no decorrer do tempo do vídeo.

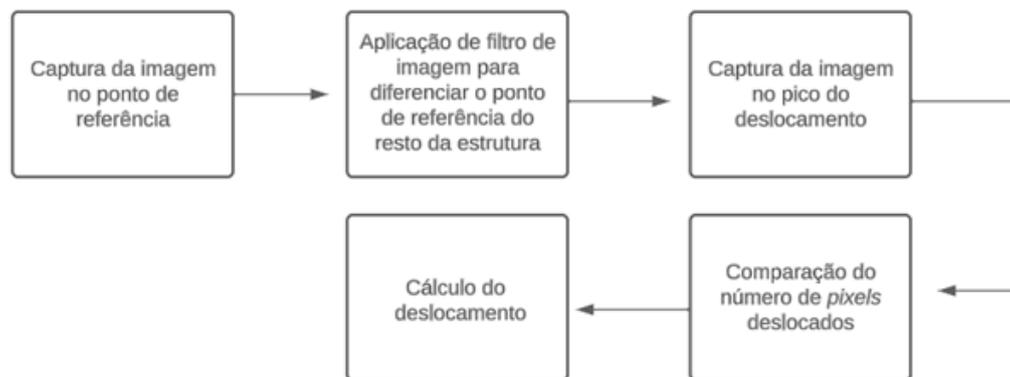


Figura 17 - Fluxograma da programação da câmera fotográfica.

(Fonte: Autor)

Com essa programação, em cada local que deseja-se capturar o deslocamento, serão instalados pontos de referência que destaquem-se visualmente da estrutura da barra de pulverização, que serão posteriormente projetados.

3.2 Etapa 2: Determinação dos pontos de fixação dos equipamentos

Após a seleção e programação da câmera para a captura dos deslocamentos, iniciaram os estudos para determinar o local de posicionamento da câmera no autopropelido.

As premissas para a determinação da localização da câmera são: posicionamento na mesma linha de centro da barra de pulverização, para que essa seja a referência da barra em repouso; deslocamento horizontal restrito, para evitar que movimente-se junto com a barra e, conseqüentemente, não capture o deslocamento; e na altura em que nenhum componente interfira na visão dos pontos de referência.

Com as premissas da câmera definidas, o local de posicionamento também deve proporcionar a instalação de um suporte removível, ou seja, sem a utilização de solda, de modo que não impacte na estrutura da máquina.

Considerando todos os requisitos e após analisar a máquina, conforme mostra a Figura 18, o local selecionado para fixar a estrutura de suporte da câmera será na região A, sobre o quadro de sustentação das barras de pulverização.

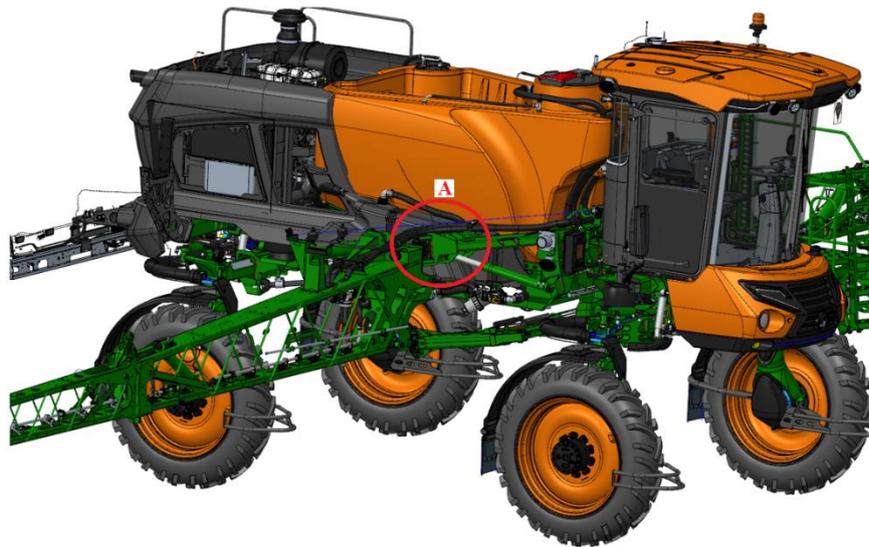


Figura 18 - Local de posicionamento do suporte da câmera no autopropelido.

(Fonte: Autor)

3.2.1 Posicionamento dos pontos de referência

Para que seja possível determinar o deslocamento da barra de pulverização, é necessária a instalação de pontos de referência sobre a estrutura. A premissa para o posicionamento dos pontos de referência é estarem na linha de centro da barra e alinhados com a câmera.

Considerando o mesmo objetivo do suporte da câmera, de ser removível, serão utilizados os parafusos já existentes na estrutura das barras de pulverização para realizar a fixação dos suportes dos pontos de referência.

De modo projetual, as barras de pulverização do autopropelido são divididas em 3 seções móveis, conforme mostra a Figura 19. O posicionamento dos pontos de referência será nos locais A e B.

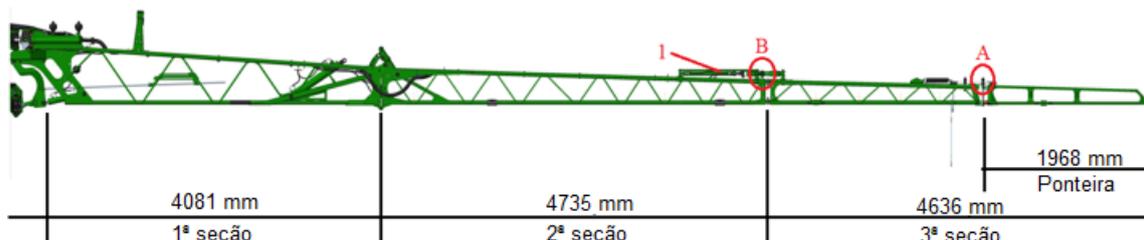


Figura 19 - Divisão da barra de pulverização e posicionamento dos pontos de referência.

(Fonte: Autor)

O local A será escolhido pois é o ponto mais extremo da barra desconsiderando a ponteira, tendo em vista que o seu objetivo é ser flexível em caso de impactos, logo a sua liberdade de movimento pode influenciar nas medições. O local B também será escolhido a fim de analisar a influência do cilindro hidráulico (1) que movimenta a 3ª seção, pois como seu movimento é no eixo horizontal, será possível captar se existe folga em sua estrutura, fazendo com que a 3ª seção movimente-se de forma desalinhada com o restante da barra.

A distância entre o ponto de referência e a câmera fotográfica tem influência no número de *pixels* que serão percorridos e captados pelo *software* para determinado deslocamento, variando o

valor do fator de correção, necessitando de uma calibração antes de iniciarem as medições e sempre que as distâncias forem modificadas.

3.2.2 Projeto dos suportes de fixação

Após determinar a localização da câmera e dos pontos de referência, serão projetados seus suportes para fixação no autopropelido, visando a instalação nos elementos já existentes (furos e parafusos), possibilitando a remoção após os testes de análise. Para realizar a modelagem das peças e detalhamento dos desenhos será utilizado o software Creo Parametric.

Iniciando pelo suporte da câmera, considerando os pontos de fixação (A) sobre o quadro de sustentação das barras de pulverização e as premissas já descritas, além de um conjunto soldado para o suporte, também será necessário um dispositivo de ajuste de ângulo para permitir que o posicionamento da câmera fique horizontal quando as barras forem posicionadas na altura de trabalho (h), pois, conforme demonstra a Figura 20, ao abaixar o quadro de sustentação, aumenta-se o ângulo (θ) em relação ao eixo horizontal.



Figura 20 - Angulação do quadro de sustentação das barras de pulverização.

(Fonte: Autor)

Além disso, a câmera fotográfica já possui um suporte original, conforme mostra a Figura 21. Considerando esse fato, o suporte projetado para ser acoplado no quadro central do autopropelido deverá ter um parafuso com rosca que permita fixar o suporte original da câmera.



Figura 21 - Suporte original da câmera fotográfica.

(Fonte: Autor)

Seguindo para os pontos de referência, que também devem ser posicionados na linha de centro da barra de pulverização e, conseqüentemente, alinhados com a câmera fotográfica, sua coloração deve destacar-se do restante da estrutura, de modo que permita ser facilmente distinguida durante a aplicação dos filtros de imagem. Além disso, devem ser fixados nos pontos mais extremos possíveis, visando captar todo o deslocamento sofrido pela barra de pulverização.

Conforme demonstrado na Figura 22, respeitando a linha de centro (1), os locais mais extremos que possibilitam a fixação são os pontos A e B, ambos com parafusos já existentes e com margem que permite o acoplamento dos suportes dos pontos de referência.

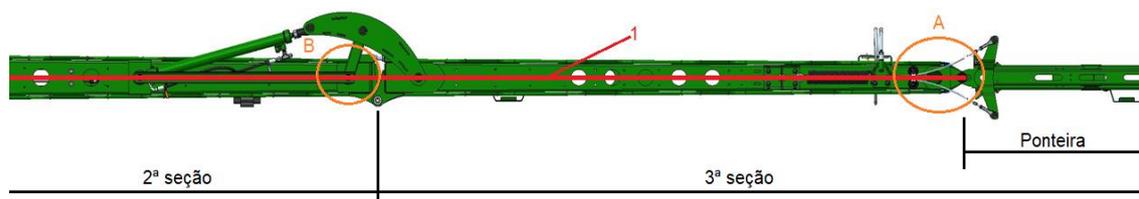


Figura 22 - Vista superior da 2ª e 3ª seções da barra de pulverização.

(Fonte: Autor)

3.3 Etapa 3: Instalação e calibração dos equipamentos

Após a fabricação dos suportes e pontos de referência, foi realizada a primeira instalação dos equipamentos sobre a estrutura do pulverizador, com o objetivo de verificar a nitidez da captura realizada pela câmera fotográfica, decorrente da distância em relação ao ponto de referência, e realizar a calibração dos filtros de imagem.

A aplicação dos filtros de imagem como método de captura de deslocamento necessita de calibração devido ao fato de que a resultante após a análise das gravações será dada em um gráfico que relaciona a quantidade de *pixels* que o ponto de referência se deslocou em relação ao ponto central da barra de pulverização no decorrer do tempo e, de acordo com a distância em que o ponto de referência estiver em relação à câmera fotográfica, o *pixel* pode representar diferentes valores de deslocamento.

Logo, para determinar qual é o valor de deslocamento que corresponde uma unidade de *pixel*, foi iniciada a gravação na câmera fotográfica e realizou-se o deslocamento manual da barra de pulverização em 100 mm. Após o deslocamento, a gravação foi finalizada e foram aplicados os filtros de imagem para verificar o número de *pixels* percorridos pelos pontos de referência, sendo esse o resultado que servirá como fator de conversão para as demais medições.

3.4 Etapa 4: Medições na pista de testes

Após validar a aplicação dos filtros de imagem como forma de captura de deslocamento, foram instalados também os medidores de pressão hidráulica no sistema de amortecimento da barra de pulverização, conforme mostra a Figura 23, para juntamente com o deslocamento medirem o impacto gerado sobre a estrutura, sendo o sensor (A) responsável por medir a pressão do êmbolo e o sensor (B), a pressão da haste.



Figura 23 – Instalação dos sensores de pressão hidráulica.

(Fonte: Autor)

Para fazer o processamento dos dados de pressão ao longo do tempo, foi utilizado o equipamento *Parker Master Plus K-SCM Series Sensor Controller*, demonstrado na Figura 24, que transforma os dados em gráficos relacionando a pressão de acordo com o tempo.

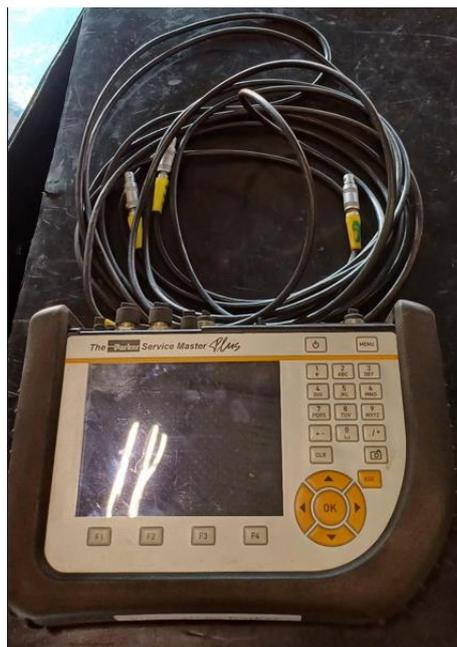


Figura 24 – Sensor de pressão hidráulica utilizado nos testes.

(Fonte: Autor)

Com todos os equipamentos instalados, a máquina foi direcionada para a pista de testes. O terreno da pista de testes se assemelha com o relevo das lavouras, sendo de terra, plano e com pequenas irregularidades que causam a oscilação das barras de pulverização.

Inicialmente, com o giclê original, com furo central de diâmetro 2mm, foram realizados 5 testes de aceleração e frenagem, na velocidade de 25 km/h, iniciando com aceleração total da

máquina, atingindo a velocidade programada e, após estabilizar a velocidade, finalizando com uma frenagem total da máquina.

Finalizada a coleta de referência, foram alterados os giclês originais por outros com diâmetro do furo central de 0,8mm, sendo esses os menores disponíveis, visando captar se há diferença em relação ao giclê de diâmetro de 2mm, considerando que é o de maior furo disponível.

Para validação da troca do giclê como forma de alteração nos parâmetros de amortecimento, é necessário que praticamente não haja diferença nos picos de pressão do giclê com furo de diâmetro 0,8mm em relação ao giclê com furo de diâmetro 2mm, mas, sim, diferença na velocidade de retorno da barra de pulverização para a posição central após sofrer um impacto, tendo em vista que para absorção todos os furos do giclê são utilizados e para o retorno apenas o furo central é utilizando.

Sendo assim, para absorção do impacto a alteração para o giclê menor representa uma redução de apenas 12% na área de passagem do óleo (os furos laterais possuem 2mm de diâmetro cada), porém, para o retorno, a redução representa 84%, fazendo com que a passagem seja mais lenta.

Para validação do procedimento proposto pelo trabalho, é preciso que a pressão no sistema hidráulico mantenha-se praticamente a mesma quando comparada de um giclê para o outro, assim como os picos de deslocamento da barra de pulverização devem ser semelhantes, por outro lado, deve ser possível identificar a diferença de tempo de retorno da barra para a sua posição inicial, após sofrer a ação da frenagem.

3.5 Considerações sobre a metodologia

Finalizada a metodologia, pôde-se observar que, para determinar um procedimento para análise de amortecimento das barras de pulverização baseado na fotogrametria, uma gama de variáveis teve que ser atendida, tais como: posicionamento da câmera fotográfica alinhada com os pontos de referência, fixados através de suportes montados na estrutura do autopropelido, instalação do medidor para acompanhamento das variações de pressão hidráulica decorrentes da alteração do giclê e pontos de referência com coloração em destaque em relação à estrutura da barra de pulverização para possibilitar a aplicação de filtros de imagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando todos os tópicos abordados anteriormente, nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos com o trabalho, desde os suportes projetados para a fixação dos componentes para coleta do deslocamento até os resultados após a aplicação dos filtros de imagem.

4.1 Sequência de aplicação do procedimento

Para a utilização do procedimento proposto, é necessário seguir a seguinte sequência:

- Pontos de referência posicionados na mesma distância utilizada no trabalho: instalar o suporte com a câmera fotográfica, o suporte dos pontos de referência e o medidor de pressão hidráulica; realizar a coleta das pressões e gravações desejadas; aplicar os filtros de imagem através do *software*; converter o deslocamento de *pixels* para milímetros utilizando o fator de conversão de 7,14mm.

- Pontos de referência posicionados em distâncias diferentes da utilizada no trabalho: instalar o suporte com a câmera fotográfica, o suporte dos pontos de referência e o medidor de pressão hidráulica; iniciar a gravação da câmera fotográfica e realizar um deslocamento manual de 100mm da barra de pulverização; aplicar os filtros de imagem para verificar o número de *pixels* deslocados

e realizar a calibração; realizar a coleta das pressões e gravações desejadas; aplicar os filtros de imagem através do *software*; converter o deslocamento de *pixels* para milímetros conforme o novo fator de conversão calculado.

4.2 Estruturas projetadas

Iniciando com o suporte para fixação da câmera, apresentado na Figura 25, composto por uma base (A) para fixação no quadro de sustentação das barras de pulverização e um parafuso (B) para fixação do suporte da câmera fotográfica.

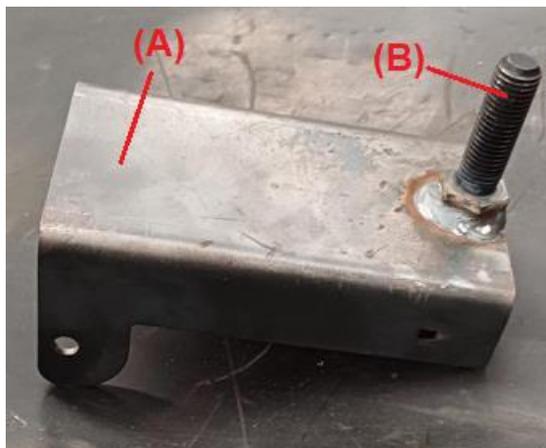


Figura 25 – Suporte da câmera fotográfica para acoplamento no autopropelido.

(Fonte: Autor)

Juntamente com o suporte da câmera, também foi produzido o ajuste angular, apresentado na Figura 26, que permitirá manter a câmera na posição horizontal independentemente da altura em que o quadro de sustentação das barras estiver posicionado.



Figura 26 – Ajuste angular para regulagem da posição da câmera fotográfica.

(Fonte: Autor)

Partindo para os suportes dos pontos de referência, demonstrados na Figura 27, cada um possuirá um tipo de base (A), sendo o item (1) o ponto de referência instalado no ponto mais

extremo da barra de pulverização e o item (2), o que será instalado ao final da segunda seção, conforme a Figura 19, uma barra soldada (B) na base e um ponto de referência (C), fixado por uma porca. A fixação dos suportes na máquina será feita através de parafusos já existentes na estrutura das barras de pulverização.

Além de serem fabricados em um polímero de coloração vermelha, os pontos de referência foram revestidos com duas faixas refletivas também de coloração vermelha, visando facilitar a diferenciação durante a aplicação dos filtros de imagem.

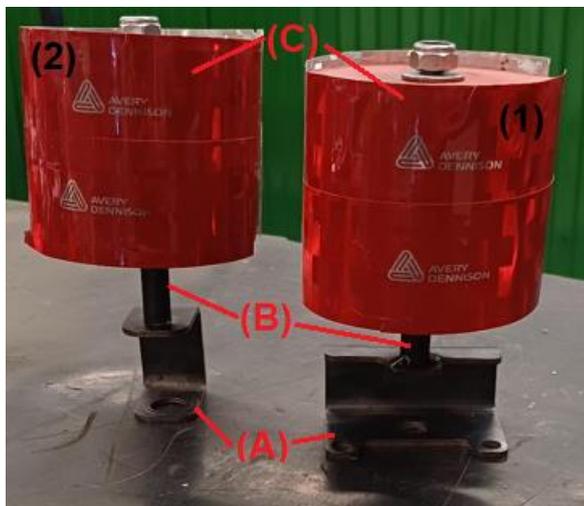


Figura 27 – Pontos de referência.

(Fonte: Autor)

4.3 Instalação dos suportes na estrutura do autopropelido

Após finalizar a fabricação e montagem dos conjuntos, foi realizada a montagem dos equipamentos na estrutura do autopropelido, para validação das geometria e dimensões utilizadas no projeto das peças.

Iniciando com o suporte da câmera fotográfica (A), apresentado na Figura 28, já com o quadro de sustentação das barras de pulverização na posição de trabalho, demonstrando a aplicação do ajuste angular (B), deixando a câmera na posição horizontal para a captura das imagens.



Figura 28 – Instalação do suporte da câmera fotográfica.

(Fonte: Autor)

Seguindo com os pontos de referência, conforme mostra a Figura 29, sendo o suporte (A) instalado na parte mais extrema da barra de pulverização, antes da ponteira e o suporte (B) instalado ao final da segunda seção.

Com a instalação e fixação dos componentes realizada, foi possível verificar que o dimensional dos suportes estava adequado e que poderiam ser utilizados para realização da captura das imagens com o autopropelido em movimento.



Figura 29 – Pontos de referência instalados sobre a barra de pulverização.

(Fonte: Autor)

4.4 Calibração dos filtros de imagem

Durante o processo de calibração dos filtros de imagem, deslocando os 100mm a barra de pulverização, o resultado mensurado foi de 14 *pixels*, resultando em um fator de conversão de 7,14, ou seja, cada *pixel* percorrido pelo ponto de referência corresponde à 7,14mm de deslocamento da barra de pulverização.

Considerando esse método de captura de deslocamento, utilizando os filtros de imagem, o erro ou variação que os resultados podem apresentar é de, no máximo, 0,99 *pixel*, tendo em vista que o *software* com a programação dos filtros apresenta apenas os valores inteiros percorridos pelos pontos de referência, ou seja, em valores de deslocamento, multiplicando pelo fator de conversão, o erro máximo é de 7,1mm.

4.5 Medições

Finalizada a calibração, iniciarem-se as medições com o giclê original instalado no sistema hidráulico, programando o autopropelido para atingir a velocidade de 25km/h. Após a coleta, realizou-se a troca para o giclê com diâmetro do furo central de 0,8mm e foram coletadas as mesmas 5 amostras de dados.

A seguir serão apresentados os resultados de deslocamento e pressão obtidos com os testes, porém, por critério de sigilo – considerando-se que o amortecimento está ligado diretamente com a eficiência de pulverização do autopropelido, logo, trata-se de um diferencial competitivo entre as diferentes empresas fabricantes, os valores de pressão e de deslocamento serão transformados em valores adimensionais, dividindo o valor de acordo com o tempo pelo valor máximo medido com o giclê de furo central com diâmetro de 2mm, tanto para o deslocamento quanto para a pressão. Sendo assim, por estarem na mesma escala, será possível comparar percentualmente as diferenças entre os giclês alterados.

Nos gráficos de deslocamento, o eixo vertical os valores serão apresentados na escala $\frac{dD}{D_{m\acute{a}x}}$, onde dD corresponde ao deslocamento no instante de tempo e $D_{m\acute{a}x}$ ao deslocamento máximo medido após a aplicação dos filtros de imagem. O valor 1 do eixo representa o valor máximo e o valor 0 representa a posição central da barra de pulverização.

O mesmo se aplica para o gráfico de pressão, com o eixo $\frac{dP}{P_{m\acute{a}x}}$, sendo dP a pressão no instante de tempo e $P_{m\acute{a}x}$ a pressão máxima medida durante o teste.

4.5.1 Deslocamento e amortecimento da barra de pulverização

Após o desenvolvimento do *software*, por parte da equipe de desenvolvimento de *software* da empresa Stara, para aplicação dos filtros de imagem, por conta de os pontos de referência serem vermelhos, essa foi a escala de coloração aplicada nas gravações, visando ocultar o fundo das imagens e destacar somente os pontos desejados, onde será inserida uma linha de referência para determinar os *pixels* percorridos no decorrer do vídeo.

Conforme é apresentado na Figura 30, na imagem (a) pode-se observar um *frame* da gravação realizada pela câmera fotográfica, na tonalidade natural, e, na imagem (b), um *frame* após a aplicação dos filtros de imagem, com os pontos de referência exclusivamente destacados e a linha de referência inserida em seus centros.

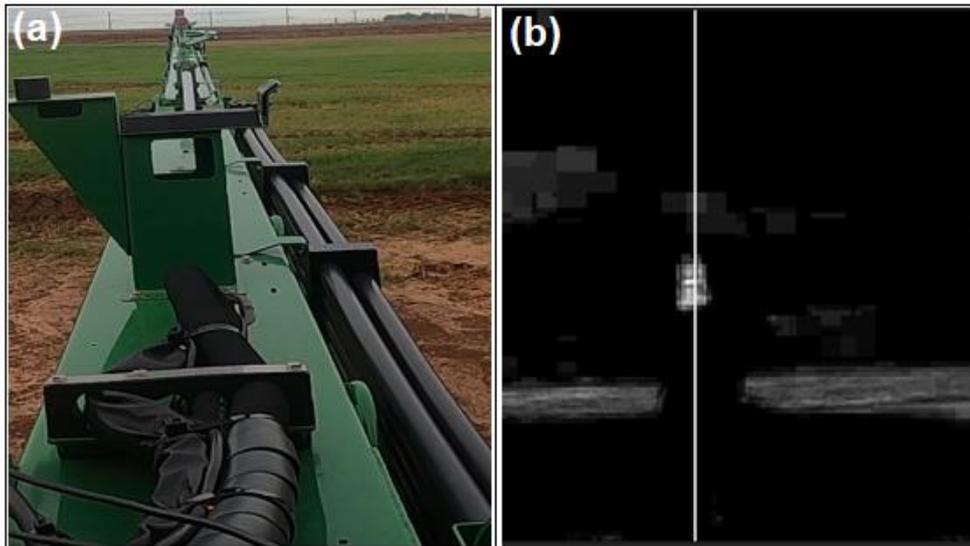


Figura 30 – Exemplo de *frame* após a aplicação dos filtros de imagem.

(Fonte: Autor)

A primeira observação foi que os pontos de referência, embora posicionados em diferentes locais na barra de pulverização, apresentavam deslocamento praticamente igual, com pouca diferença, além de que, quando alinhados, através da gravação da câmera fotográfica apresentavam aspecto de ser um corpo único. Por isso, optou-se por utilizar apenas uma linha de referência, e não duas.

Na medida em que o *software* finaliza a aplicação dos filtros de imagem, uma tabela é gerada com o tempo, em segundos, e o *pixel* correspondente da posição do ponto de referência. Com os dados contabilizados, foram gerados gráficos para demonstrar a variação da posição da barra de pulverização ao sofrer as ações da aceleração e frenagem, bem como ao passar pelas irregularidades do solo.

Iniciando com as medições realizadas com o giclê de diâmetro do furo central de 2mm, conforme indicado na Figura 31, considerando a linha vermelha como a posição inicial e ideal da barra de pulverização, observa-se que no ponto (a) ocorre o pico de deslocamento para trás, no momento da aceleração, o ponto (b) é o pico de deslocamento para frente, no momento da frenagem, onde ocorre a absorção do óleo pelo acumulador, o ponto (c) é a posição que a barra atinge no momento em que o acumulador de pressão hidráulica libera todo o óleo de volta para o cilindro e o ponto (d) é a posição que a barra atinge como consequência da velocidade de retorno do óleo para o cilindro hidráulico.

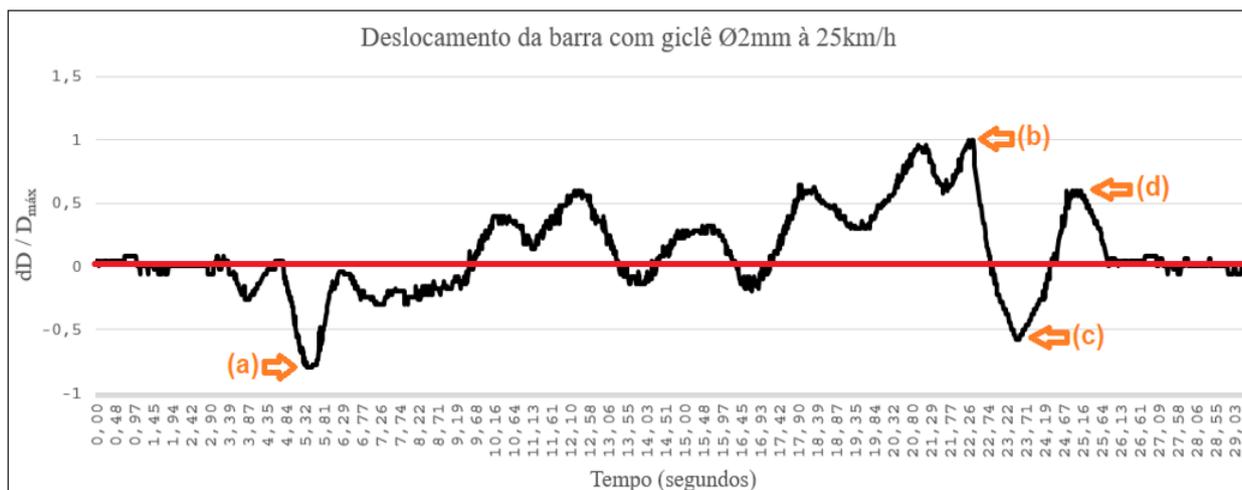


Figura 31 – Deslocamento da barra de pulverização com giclê de Ø2mm.

(Fonte: Autor)

Com isso, é possível observar que, o tempo de devolução do óleo pelo acumulador de pressão inicia no instante de 21,6 segundos (ponto (b)) e finaliza no instante de 23,4 segundos (ponto (c)), ou seja, toda a liberação ocorre em aproximadamente 1,8 segundos, o que faz com que a barra oscile além da posição ideal duas vezes (pontos (c) e (d)), atingindo a estabilização apenas no instante 25,6 segundos, levando no total 4 segundos para estabilizar após a frenagem do autopropelido.

Partindo para as medições com o giclê de diâmetro do furo central de 0,8mm, conforme demonstrado na Figura 32, também considerando como posição inicial a linha vermelha, observa-se no ponto (a) o pico de deslocamento para trás, no momento da aceleração, que, comparado ao pico com o giclê com furo de diâmetro 2mm, apresentou deslocamento praticamente igual, apenas 4,94% menor, que está dentro da tolerância do método de medição. Assim como no ponto (b), onde o pico de deslocamento também foi semelhante, apenas 5% maior, de mesmo modo posicionado dentro da tolerância.

A diferença pode ser notada a partir do momento da liberação do óleo por parte do acumulador de pressão. Observa-se que o ponto (c), comparado ao giclê anterior, teve um pico de oscilação 18,18% menor, sendo que o movimento de retorno da barra de pulverização iniciou no instante 21,6 segundos e finalizou no instante 23,8 segundos, levando 2,2 segundos, que correspondem 22% a mais de tempo, ou seja, o movimento foi mais lento e controlado.

Conseqüentemente, o ponto (d) apresentou um pico 36,21% menor, fazendo com que a barra de pulverização atingisse a estabilização no instante de 25 segundos, resultando em um tempo total de 3,4 segundos desde o início da frenagem, ou seja, o tempo total de estabilização foi de 0,6 segundos a menos, correspondendo à uma redução de 15,0%. Além disso, durante o período em que a barra de pulverização estava fora de posição, por apresentar picos de deslocamento menores, significa que ela esteve mais próxima da posição ideal no decorrer da movimentação.

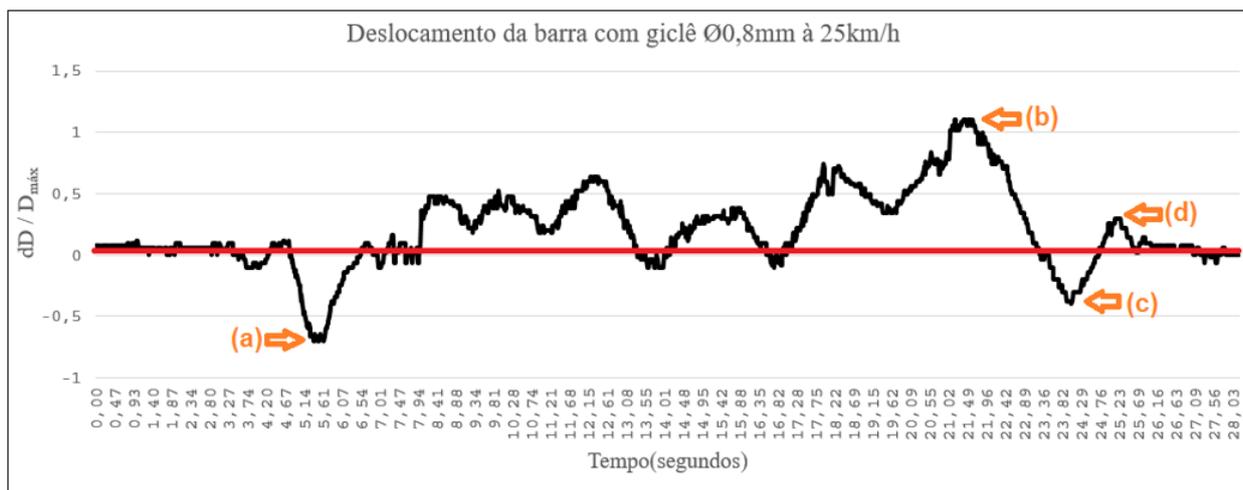


Figura 32 - Deslocamento da barra de pulverização com giclê de Ø0,8mm.

(Fonte: Autor)

Para sintetizar os resultados obtidos e facilitar a interpretação, eles estão apresentados na tabela 1, onde a quarta coluna demonstra a diferença do resultado com o giclê de furo central de diâmetro 0,8mm em relação ao giclê de furo central de diâmetro 2mm.

Referência	Giclê Ø2mm	Giclê Ø0,8mm	Diferença
Ponto (a) (dD/Dmáx)	-0,81	-0,77	-4,94%
Ponto (b) (dD/Dmáx)	1	1,05	5,00%
Ponto (c) (dD/Dmáx)	-0,55	-0,45	-18,18%
Ponto (d) (dD/Dmáx)	0,58	0,37	-36,21%
Tempo de amortecimento (seg)	4	3,4	-15,0%

Tabela 1 – Comparação dos resultados de deslocamento obtidos com a alteração do giclê.

(Fonte: Autor)

Após a análise dos resultados, é possível verificar que a diferença de deslocamento e o tempo de movimentação pode ser captada pelo método de captura selecionado juntamente com a aplicação do *software* de aplicação de filtros de imagem desenvolvido.

4.5.2 Pressão no sistema hidráulico

Concomitantemente à medição de deslocamento da barra de pulverização, também foi medida a pressão no sistema hidráulico durante a movimentação do autopropelido, a fim de verificar se a alteração no parâmetro de amortecimento causaria elevados danos no sistema.

Iniciando com a medição utilizando o giclê com o furo central de diâmetro de 2mm, demonstrado na Figura 33, o pico de pressão do êmbolo (correspondente à linha vermelha), no momento em que ocorre a aceleração e desloca a barra de pulverização para trás, ocorre no ponto (a). Já o pico de pressão na haste (correspondente à linha azul), ocorre no ponto (b), no momento de frenagem do autopropelido.

Cabe observar que a pressão na frenagem apresenta um pico, seguido de um vale (c) e um novo pico (d), ao invés de apresentar uma curva constante. Esse fato se deve ao sistema de

frenagem do autopropelido, pois, para evitar que as rodas travem e a máquina perca capacidade de frenagem, no intervalo de tempo do ponto (b) para o (c), em um intervalo menor do que 1 segundo, ocorre a liberação dos freios, e, no intervalo do ponto (c) para o ponto (d), é retomada a ação dos freios.

Vale ressaltar que os picos de pressão e deslocamento, comparando a Figura 31 com a Figura 33, apresentam uma pequena variação em relação ao instante que ocorrem no decorrer das medições, tendo em vista que são medidos por dois equipamentos diferentes, logo, pode ocorrer uma pequena diferença de velocidade no acionamento de cada instrumento.

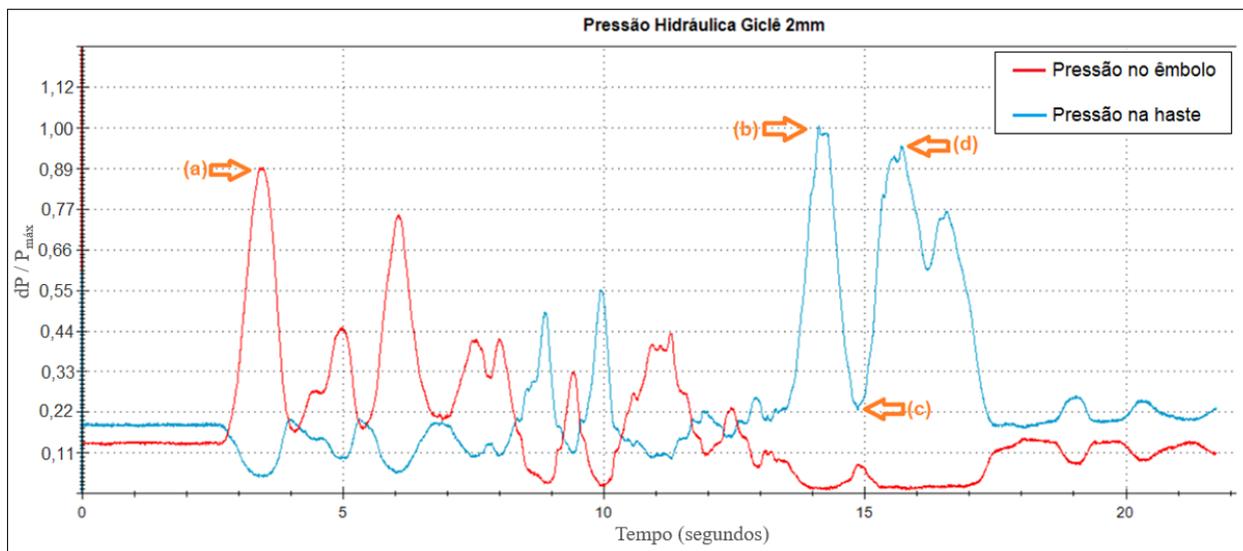


Figura 33 – Pressão hidráulica medida no teste com o giclê de furo central com diâmetro de 2mm.

(Fonte: Autor)

Partindo para a medição de pressão com o giclê de diâmetro do furo central de 0,8mm, demonstrado na Figura 34, com a linha vermelha também representando a pressão do êmbolo e a linha azul a pressão da haste, o pico de pressão do êmbolo ocorre no ponto (a), que, em relação ao giclê anterior, apresenta uma pressão semelhante, apenas 3,9% inferior.

No momento da frenagem, assim como com o giclê anterior, a pressão da haste apresentou dois picos ((b) e (d)) e um vale (c), também em função do sistema de frenagem do autopropelido. O pico de maior amplitude, correspondente ao ponto (b), apresentou um valor apenas 1% superior comparado ao giclê anterior.

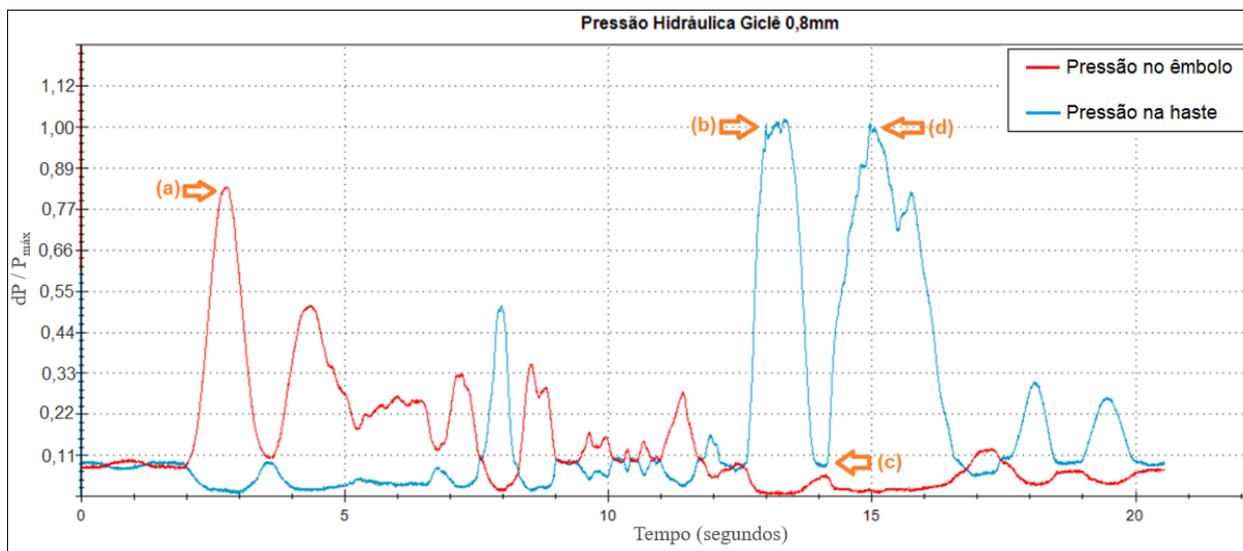


Figura 34 - Pressão hidráulica medida no teste com o giclê de furo central com diâmetro de 0,8mm.

(Fonte: Autor)

Com a comparação das pressões hidráulicas entre os diferentes giclês utilizados, foi possível confirmar que a alteração do giclê não impacta no aumento da pressão no sistema, tendo em vista que no momento de absorção da pressão, todos os furos do giclê são utilizados, e, apenas no retorno, que o furo central atua de forma exclusiva.

Sendo assim, foi possível comprovar que o método de medição de pressão está aprovado para ser replicado em outros testes com a alteração de diferentes componentes do sistema hidráulico, considerando que seu posicionamento mensura a pressão real do sistema, e não está vinculada a qualquer componente isoladamente.

4.6 Considerações sobre os resultados

Finalizadas as medições e interpretações dos resultados obtidos com a execução do trabalho, foi possível verificar a eficiência dos equipamentos propostos, bem como aprovar o procedimento para análise de amortecimento de barra de pulverização em um pulverizador autopropelido.

Os desenhos 2D utilizados para a fabricação dos componentes das estruturas encontram-se nos apêndices A, B, C, D, E e F.

5 CONCLUSÕES

É possível observar a importância do aumento da eficiência das máquinas agrícolas, seja para aumentar a produção das lavouras, seja para diminuir as perdas durante a operação, resultando em um crescimento econômico do setor e do país cada vez maior, bem como aumento da disponibilidade de alimentos para os habitantes de todo o mundo.

Visando atender ao objetivo proposto, realizaram-se estudos para verificar o método de funcionamento dos equipamentos envolvidos no amortecimento das barras de pulverização: cilindro hidráulico, giclê e acumulador de pressão. Posteriormente foram explanados os métodos

disponíveis para capturar o deslocamento sofrido pelas barras, junto com suas vantagens e restrições.

Após os estudos, determinou-se a utilização da fotogrametria como método para captura dos deslocamentos das barras, utilizando uma câmera fotográfica posicionada sobre o quadro de sustentação das barras no autopropelido, juntamente com a aplicação de filtros de imagem programados através de um *software*, e pontos de referência posicionados sobre a barra de pulverização nos locais desejados para obter a captura dos movimentos horizontais.

Para comprovar a precisão do procedimento proposto, foi realizada a calibração do método de captura de deslocamento através de um movimento manual da barra de pulverização, e, como resultado, obteve-se a tolerância de 7,1mm no deslocamento total, ou seja, o maior erro após a conversão de *pixels* para milímetros na distância total percorrida pela barra de pulverização pode ser de 7,1mm.

Em seguida, foram feitas as gravações variando os giclês no sistema hidráulico de amortecimento das barras de pulverização e, após a aplicação dos filtros de imagem, foi possível determinar que o método para captura de deslocamento possui a capacidade de detectar as pequenas variações no movimento decorrentes da alteração e relacionar com o tempo, ou seja, com a aplicação dos filtros de imagem será possível alterar os parâmetros hidráulicos e realizar novos testes para verificar suas influências no amortecimento das barras de pulverização, seja para diminuir o deslocamento, seja para determinar reações mais rápidas ou mais lentas.

Assim como o deslocamento, com a instalação do medidor de pressão hidráulica, foi possível verificar a alteração da pressão do sistema de acordo com a movimentação do autopropelido, identificando os picos de pressão tanto do êmbolo, no momento da aceleração da máquina, quanto da haste, no momento da frenagem.

De modo geral, pode-se afirmar que o procedimento proposto está aprovado, pois o método de captura de deslocamentos é capaz de mensurar pequenas variações de movimento com precisão satisfatória, bem como relacionar com o tempo decorrido, e o método de medição da pressão hidráulica é capaz de mensurar a pressão real do sistema, permitindo a variação dos componentes relacionados.

A critério de aprimoramento do procedimento proposto, pode-se desenvolver um suporte mais alto para a câmera fotográfica, a fim de capturar os pontos de referência de uma posição mais elevada, e assim, tentar evitar que seus corpos se sobreponham durante a aplicação dos filtros de imagem, permitindo diferenciá-los com clareza para poder determinar se seus deslocamentos são realmente iguais.

Como sugestão de trabalhos futuros, para representar mais fielmente as variações de relevo que o autopropelido pode enfrentar nas lavouras e verificar os deslocamentos causados nas barras de pulverização, sugere-se o desenvolvimento de uma pista com obstáculos que assemelhem-se com as taipas das lavouras de arroz, sendo esse o cenário mais crítico para a oscilação das barras. Além disso, para melhorar o desempenho do amortecimento e prolongar a vida útil das barras de pulverização, sugere-se realizar um estudo para determinar qual a melhor relação entre amortecimento e impacto estrutural no autopropelido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

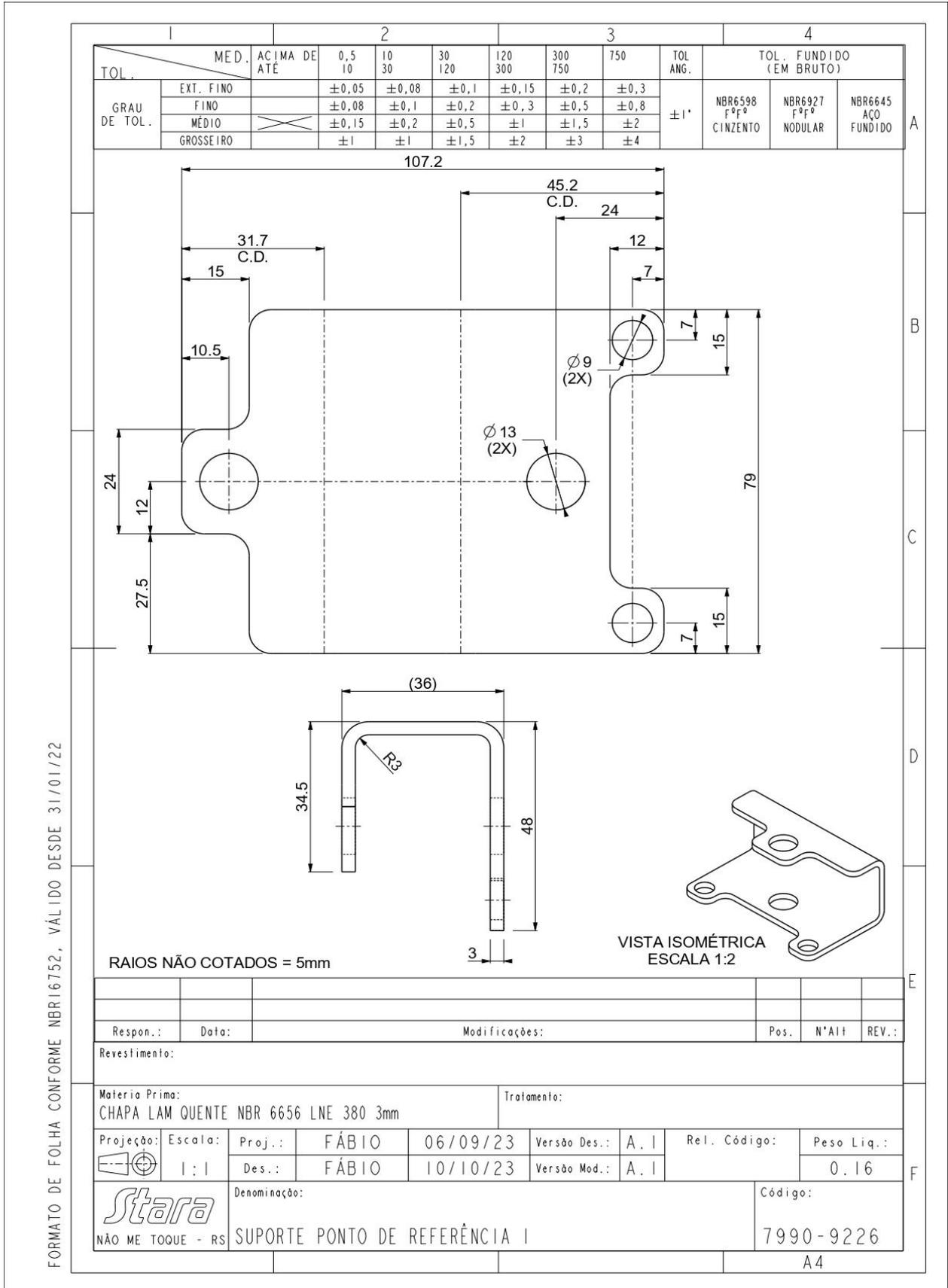
[1] AEGRO. **Aegro**, 2023. Disponível em: <<https://www.brasquimica.ind.br/blog/beneficios-da-pulverizacao-aerea>>. Acesso em: 03 set. 2023.

[2] (ASP), A. S. O. P. **Manual of Photogrammetry**, p. 1120. 1996.

- [3] ANSARI, F. A. E. A. **Characterization of Hydraulic Suspension System, on The Basis of Accumulator Pressure Values for a Special Purpose Vehicle**. v.4, e.2. 2017.
- [4] ARAÚJO, B. H. B. **Mecanização: operação de pulverizadores autopropelidos**. Brasília. 2016.
- [5] BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo. 2004.
- [6] BRASQUÍMICA. **Brasquímica Produtos Asfálticos Ltda**, 2023. Disponível em: <<https://www.brasquimica.ind.br/blog/beneficios-da-pulverizacao-aerea>>. Acesso em: 02 set. 2023.
- [7] COSSOLINO, L.; PEREIRA, A. **Amortecimento: classificação e métodos de determinação**. São Carlos. 2010.
- [8] EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81665485/artigo---aevolucaodaagriculturado-brasil#:~:text=A%20evolu%C3%A7%C3%A3o%20da%20agricultura%20garantiu,%2C6%25%20das%20exporta%C3%A7%C3%B5es%20brasileira>>. Acesso em: 28 out. 2023.
- [9] ENGELEN, K. Passive damping of flexible spray boom structures. Katholieke Universiteit Leuven. Heverlee. 2008.
- [10] FRANCO, A. L. D. **Controle Avançado de Atuadores Hidráulicos: aspectos teóricos e experimentais e aplicações em robótica**. Florianópolis. 2002.
- [11] FREDO, G. L. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Medição de Vibração por Captura de Imagem**. 2019.
- [12] HELIBRAZ. **HeliBraz Helicópteros**, 2023. Disponível em: <<https://helibrazhelicopteros.com.br/helicoptero-na-agricultura>>. Acesso em: 03 set. 2023.
- [13] HYDAC. **Hydac**, 2023. Disponível em: <https://www.hydac.com/shop/ptbr/acumuladores-hidraulicos/acumulador-demembrana#hydac_downloads>. Acesso em: 07 out. 2023.
- [14] HYDRAFORCE. **Flow Control**, 2023. Disponível em: <<https://www.hydraforce.com/>>. Acesso em: 14 out. 2023.
- [15] JAN. **Jan Implementos Agrícolas**, 2023. Disponível em: <<https://www.jan.com.br/>>. Acesso em: 03 set. 2023.
- [16] KAPPAUN, R. **Modelagem e Avaliação de Desempenho da Suspensão Passiva de Barras de Pulverização**. Passo Fundo. 2017.
- [17] KS. **KS Pulverizadores**, 2023. Disponível em: <<https://www.kspulverizadores.com.br/blogks/pulveriza%C3%A7%C3%A3otired%C%BAvidas-sobre-altura-da-barrae-tamanho-da-gota.html>>. Acesso em: 03 set 2023.
- [18] MORAES, H. **AgroPós**, 2023. Disponível em: <<https://agropos.com.br/o-tamanho-da-gota-ideal-para-aplicacao-de-defensivos-agricolas/>>. Acesso em: 23 set. 2023.

- [19] PINTO, L. M. **Projeto de um Componente Articulador para o Sistema de Barras de um Pulverizador Autopropelido**. Passo Fundo. 2021.
- [20] POMPERMAIER, C. **Estudo e Otimização de um Atuador Linear com Ímã Permanente e Alta Frequência de Ressonância Aplicado a Sistemas de Refrigeração**. Florianópolis. 2009.
- [21] RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**. São Paulo: Pearson, 2008. Disponível em: <<http://plataforma.bvirtual.com.br>>. Acesso em: 07 out. 2023.
- [22] STARA. **Stara Indústria de Máquinas e Equipamentos Agrícolas**, 2023. Disponível em: <<https://stara.com.br/>>. Acesso em: 02 set. 2023.
- [23] TSUKADA, J. **Pulverização Agrícola: como obter os melhores resultados**, 2023. Disponível em: <<https://agriq.com.br/pulverizacaoagricola/#:~:text=Pulveriza%C3%A7%C3%A3o%20agr%C3%ADcola%20%C3%A9%20a%20distribui%C3%A7%C3%A3o,em%20pequenas%20par%C3%ADculas%20na%20lavoura>>. Acesso em: 23 set. 2023.

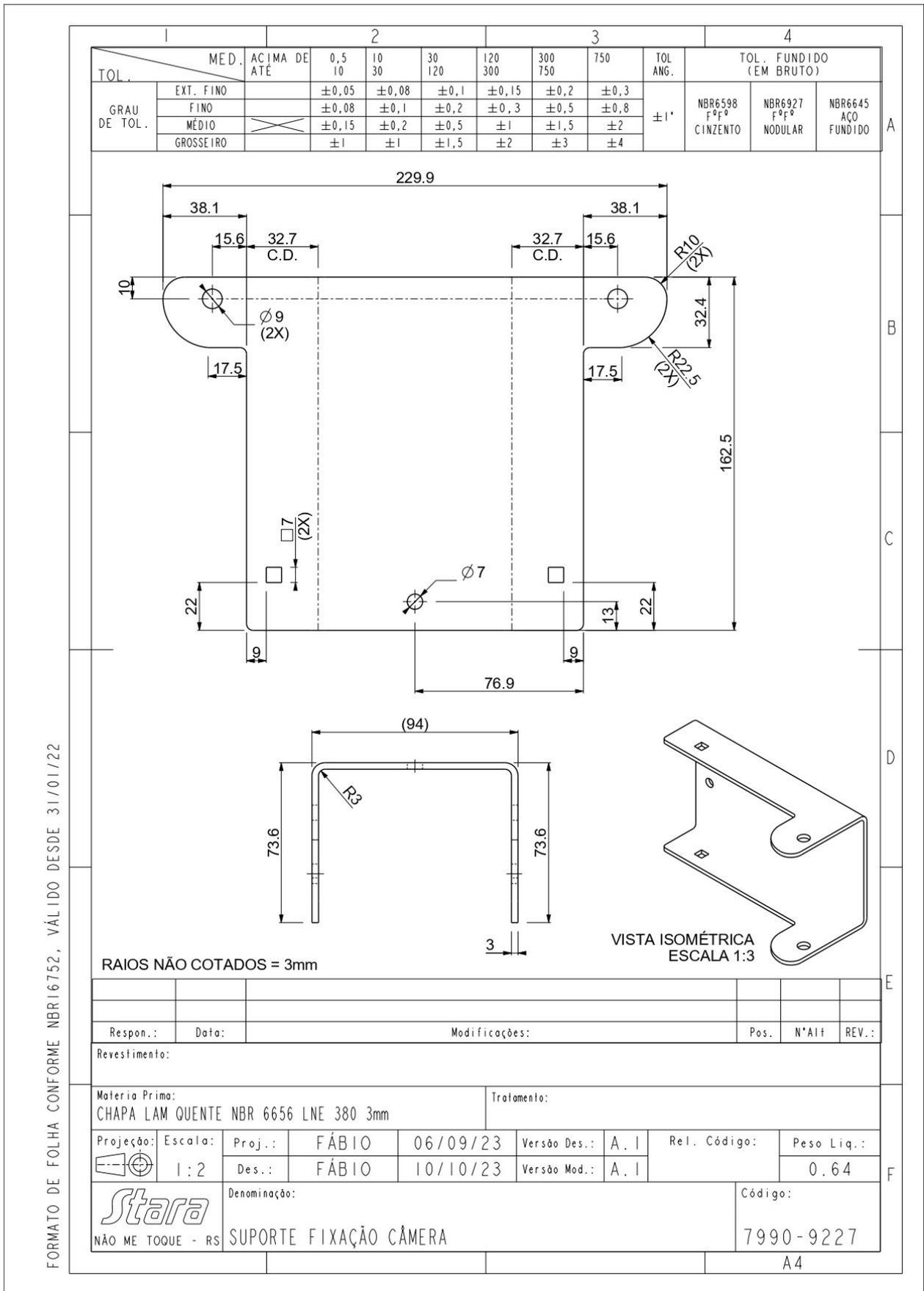
APÊNDICES



FORMATO DE FOLHA CONFORME NBR16752, VÁLIDO DESDE 31/01/22

Apêndice A - Desenho para fabricação da base do ponto de referência 1.

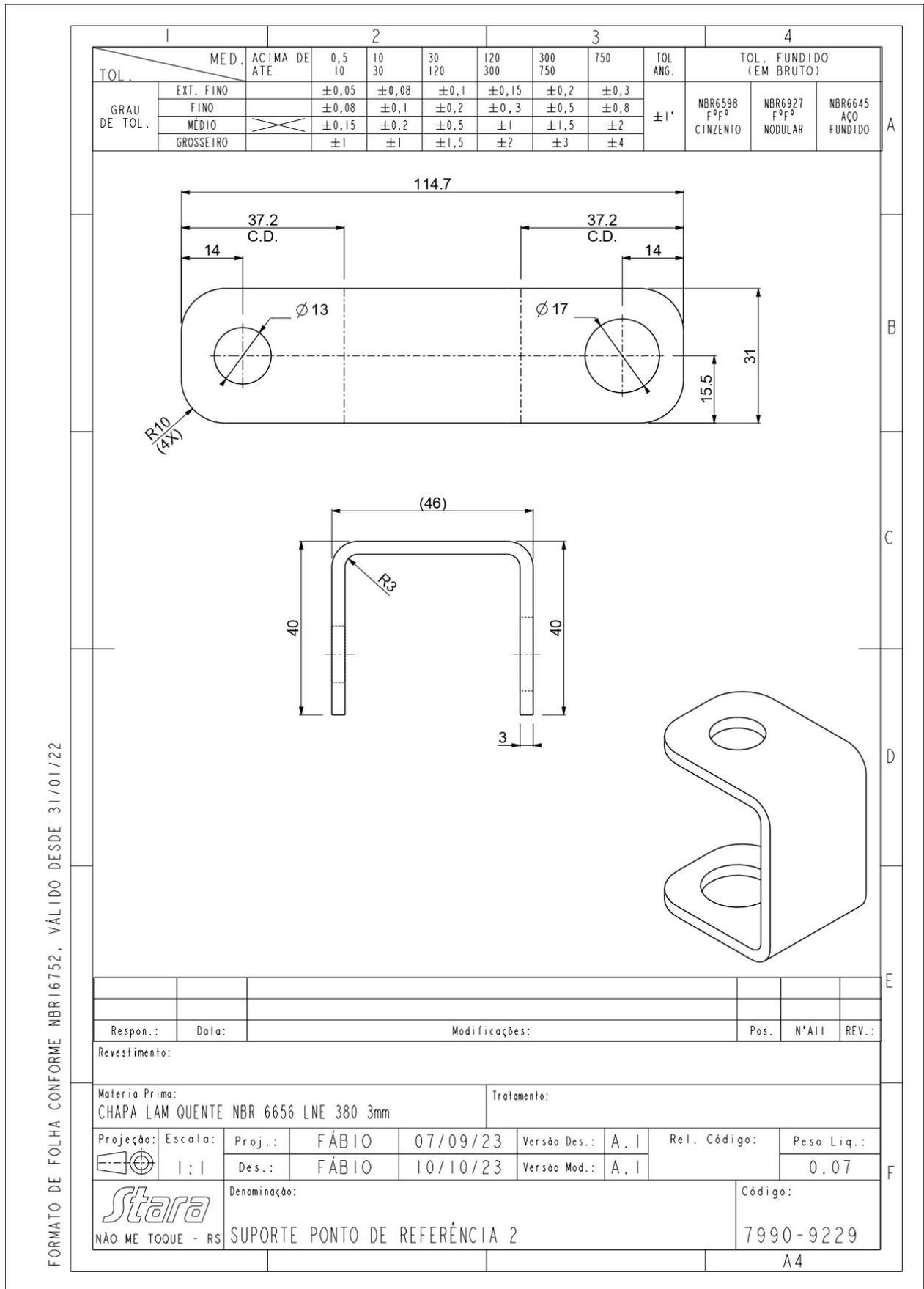
(Fonte: Autor)



FORMATO DE FOLHA CONFORME NBR16752, VÁLIDO DESDE 31/01/22

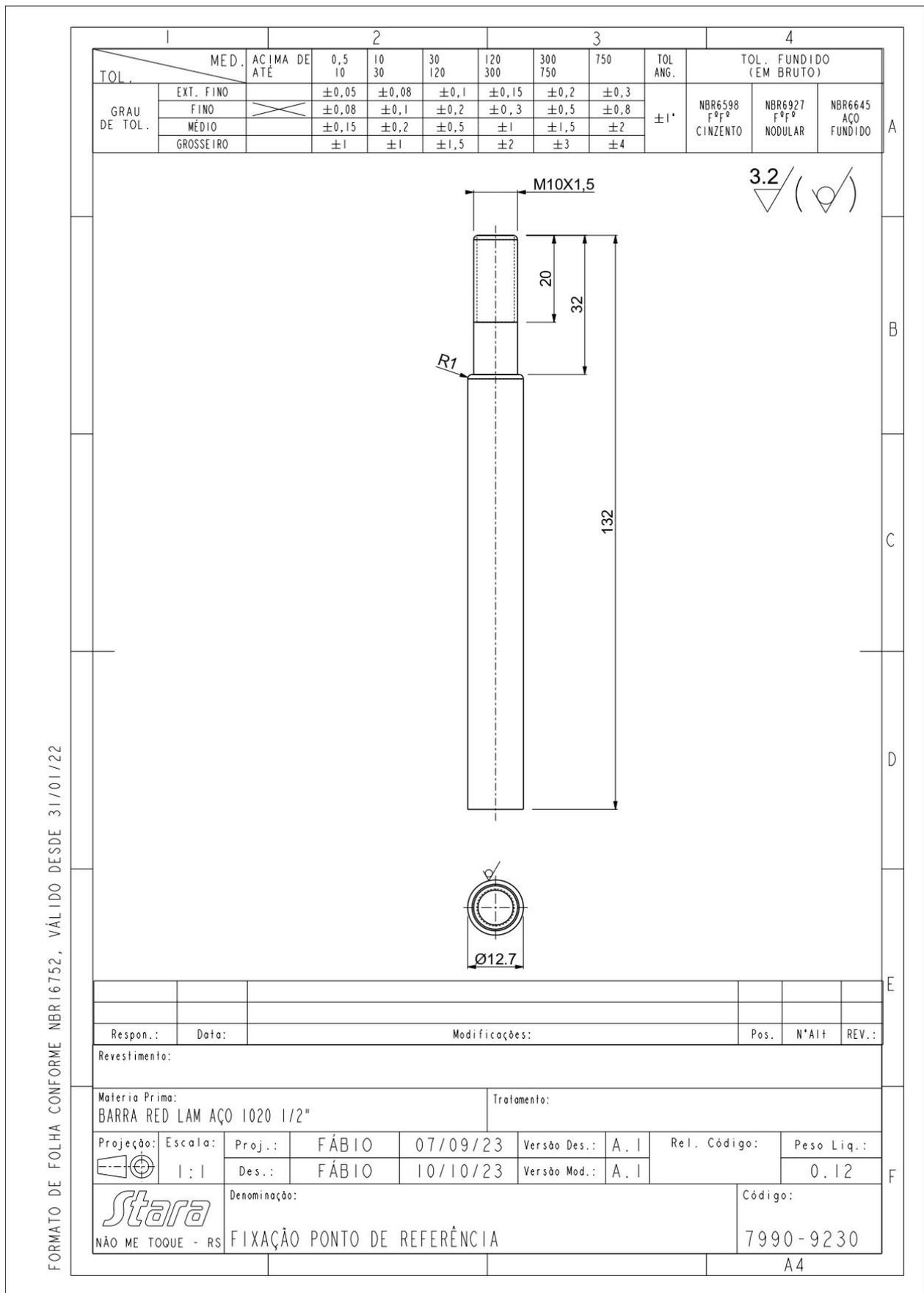
Apêndice B - Desenho para fabricação da base de fixação da câmera fotográfica.

(Fonte: Autor)



Apêndice C - Desenho para fabricação da base do ponto de referência 2.

(Fonte: Autor)

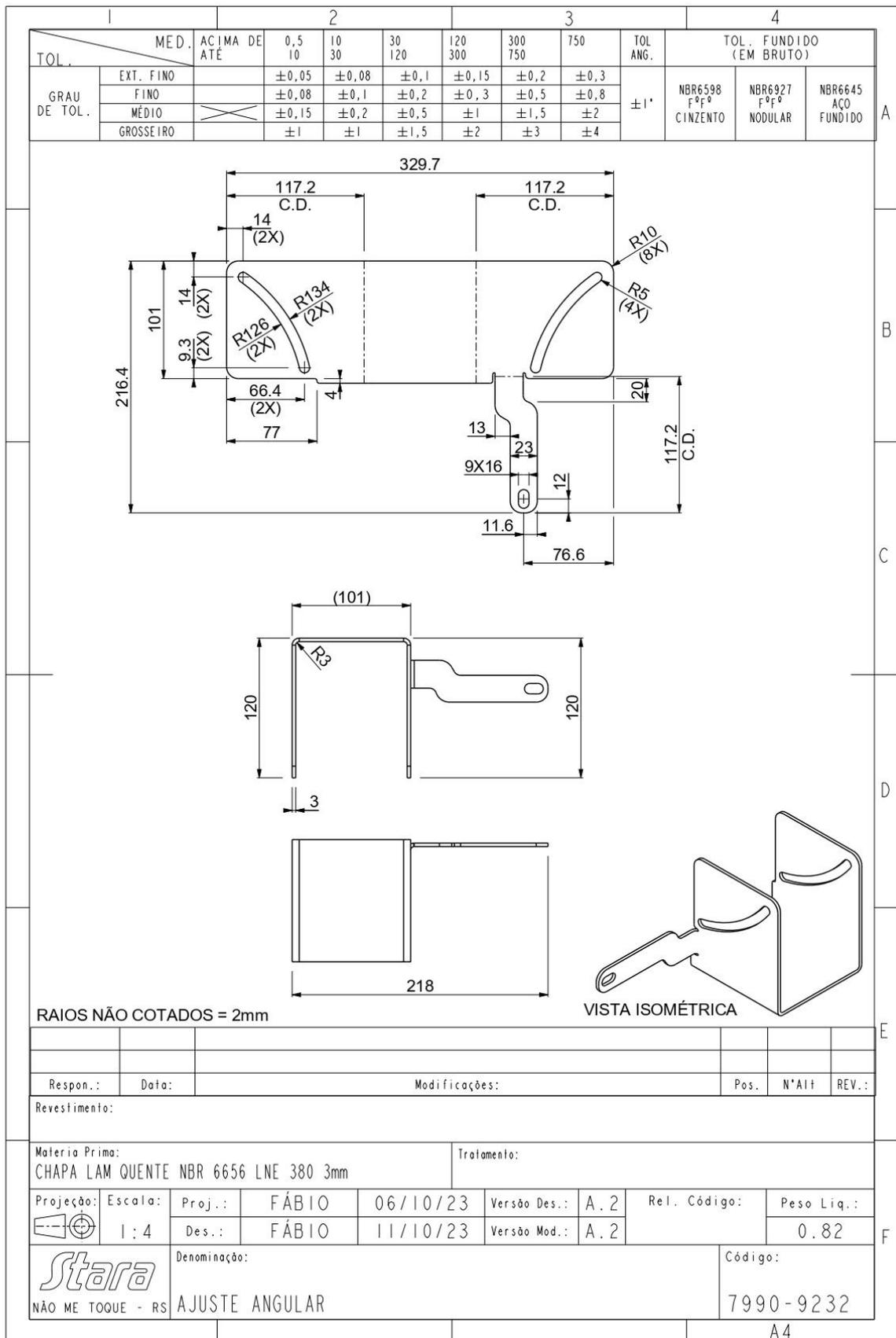


FORMATO DE FOLHA CONFORME NBR16752, VÁLIDO DESDE 31/01/22

Apêndice D - Desenho para fabricação da barra de fixação dos pontos de referência.

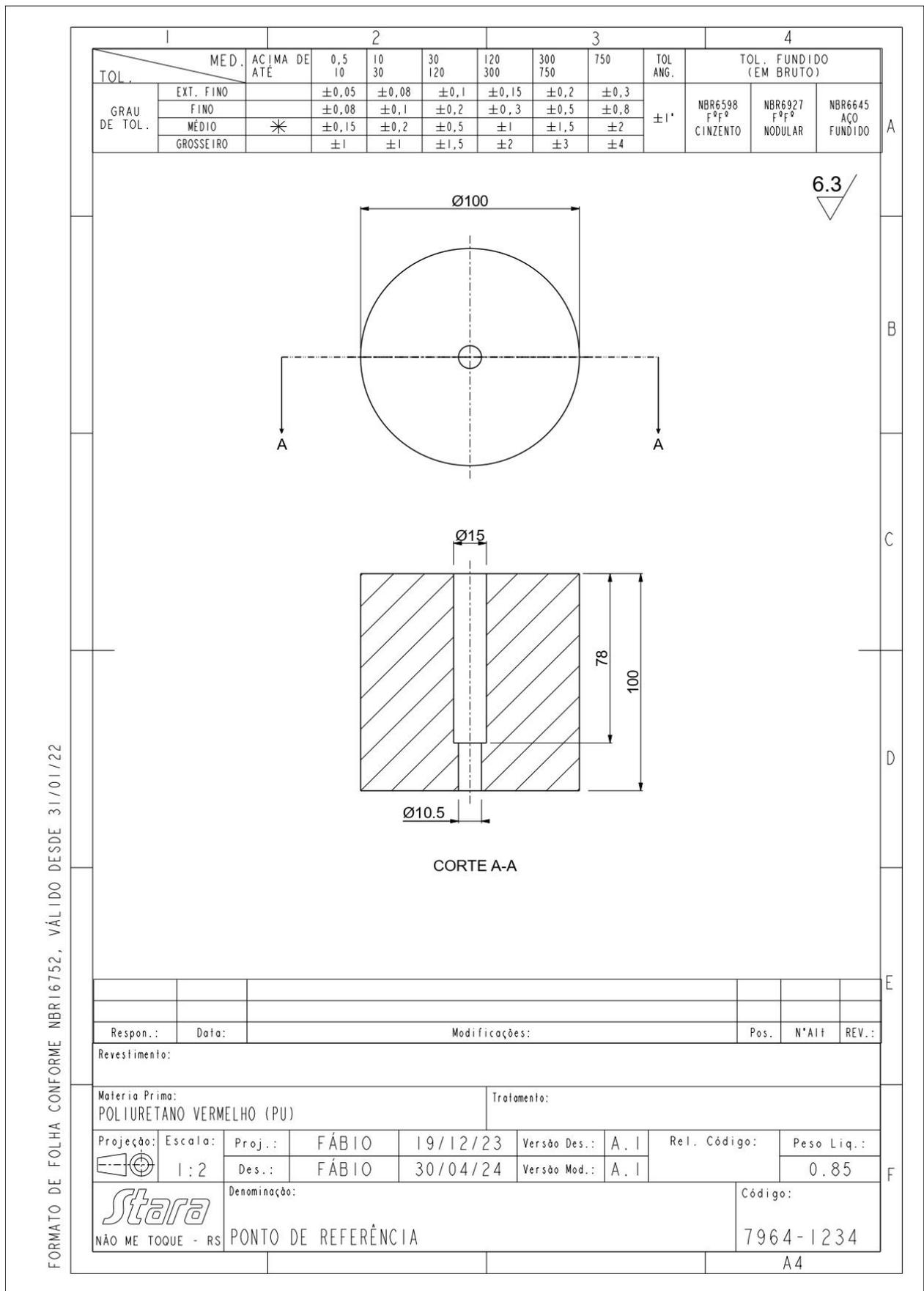
(Fonte: Autor)

FORMATO DE FOLHA CONFORME NBR16752, VÁLIDO DESDE 31/01/22



Apêndice E - Desenho para fabricação do ajuste angular da base de fixação da câmera fotográfica.

(Fonte: Autor)



FORMATO DE FOLHA CONFORME NBR16752, VÁLIDO DESDE 31/01/22

Apêndice F - Desenho para fabricação do ponto de referência.

(Fonte: Autor)