

## **PROJETO DE DISPOSITIVO PARA ENCOLHER PISTÕES DE EMBREAGEM DE CÂMBIOS AUTOMÁTICOS AUTOMOTIVOS**

**Autor 1 - Ismael Anildo Kaiser**  
141982@upf.br

**Autor 2 - Prof. Msc. Guilherme Reschke do Nascimento**  
guilhermenascimento@upf.br

**Comissão Examinadora – Prof. Dr. Márcio Walber, Prof. Dr. Fábio Goedel**

### **RESUMO**

O crescente interesse em reparos de câmbios automáticos automotivos gerou a necessidade de ferramentas especializadas. O reparo envolve a desmontagem completa, indicando a necessidade de intervenção de profissionais em casos específicos. Um defeito comum em câmbios automáticos automotivos é a ineficiência na vedação dos anéis dos pistões aplicadores de embreagem, resultando em dificuldades para arrancar e trocar marchas. O desafio deste trabalho reside na compressão das molas dos pistões de embreagem, requerendo ferramentas específicas. O trabalho propõe o projeto de uma ferramenta inovadora para encolher as placas das molas dos pistões de embreagens, destinada a oficinas especializadas. O equipamento foi concebido através de um método estruturado de desenvolvimento de produtos, abrangendo as fases de planejamento, concepção, design e detalhamento. Durante esse processo, foram estabelecidos os requisitos do projeto, definido o conceito do encolhedor, elaborado o projeto definitivo e realizado o detalhamento, respectivamente. Como resultado desse trabalho, foi criado um modelo tridimensional (3D) do equipamento, acompanhado de uma avaliação dos custos de fabricação do produto, incluindo uma comparação com um modelo similar já existente no mercado. Com isso, obteve-se o modelo de equipamento que visa atender diversos modelos de câmbios, facilitando a manutenção e reduzindo custos associados a essa tarefa específica.

Palavras-chave: ferramenta, marchas, molas, manutenção, compressão, detalhamento.

### **1 INTRODUÇÃO**

Devido à grande demanda em reparação nos sistemas de câmbios automáticos convencionais automotivos por parte de reparadores e oficinas independentes, são ascendentes os estudos de desenvolvimento de ferramentas adequadas que auxiliem os profissionais neste trabalho. Segundo Mota (2017) a reparação em qualquer máquina ou equipamento pode ser compreendida como um conjunto de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Estes cuidados envolvem: conservar, adequar, restaurar, substituir e prevenir. Desta forma, o objetivo geral da manutenção é garantir o bom funcionamento de um equipamento e seus sistemas, visando à eficiência operacional, à confiabilidade e à segurança. Isso implica não apenas em corrigir eventuais falhas imediatas, mas também promover a preservação da integridade ao longo do tempo.

Segundo Akashi (2017), a manutenção nesses tipos de câmbios requer um conhecimento adicional por parte do reparador, especialmente na área da eletrônica, além de ser imprescindível o investimento em equipamentos e ferramentas específicas para o seu correto reparo.

O reparo de uma transmissão automática exige a desmontagem completa do câmbio, dando ênfase na substituição de juntas, anéis de vedações, discos de fricção, placas de pressão e se for necessário também a substituição do conversor de torque. Se a transmissão apresenta sinais de trepidação e demora ao arrancar, com trocas de marchas mais lentas, se faz necessário a intervenção de um profissional para o seu devido reparo, de preferência em uma oficina especializada em automáticos (SILVEIRA, 2016).

O defeito mais comum em um câmbio automático automotivo é a dificuldade para arrancar e efetuar as trocas de marchas, estes defeitos são provenientes da má eficiência de vedação dos anéis que estão posicionados em canaletas ao redor do pistão de embreagem, fazendo com que a pressão interna do sistema caia abaixo do limite mínimo projetado para o correto funcionamento.

Os pistões de embreagem trabalham dentro dos tambores de embreagem, onde molas com uma alta rigidez estão posicionadas fazendo uma contrapressão nos pistões. Desta forma, para que seja possível efetuar a desmontagem do conjunto é necessário fazer uma grande força comprimindo as molas, para assim ser possível soltar a trava que faz o travamento e em seguida retirar o pistão para efetuar a troca do anel de vedação. Manualmente esse trabalho é inviável, sendo necessária a utilização de uma ferramenta para a execução deste trabalho.

Por fim, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta que será utilizada em uma oficina mecânica especializada em automáticos para encolher os pistões de câmbios automáticos automotivos, de maneira que atenda os mais diversos modelos de pistões que equipam os mais variados modelos de câmbios. Com isso, surge como uma ideia inovadora e com o objetivo de auxiliar o mecânico reparador, facilitando os procedimentos de manutenção e reduzindo os custos associados à tarefa.

A construção do equipamento baseia-se nos estudos realizados sobre a geometria necessária para a ferramenta, as forças atuantes durante a execução do serviço e as normas regulamentadoras para a construção de ferramentas manuais. Além disso, aplica-se a metodologia de desenvolvimento de produto de Pahl et al. (2005), garantindo a organização do planejamento e o sucesso no processo de construção e finalização do equipamento.

## **1.1 Justificativa e descrição do problema**

A demanda por uma ferramenta que atenda a maioria dos pistões de câmbios automáticos e que seja de fácil manuseio foi a motivação para o desenvolvimento deste trabalho. O problema a ser resolvido é a ausência de um encolhedor universal que atenda à maioria dos câmbios e seja de fácil operação. Este projeto visa desenvolver um dispositivo encolhedor para pistões aplicadores de embreagem em transmissões automáticas convencionais automotivas, abordando a necessidade de uma solução mais abrangente e prática para a manutenção nos tambores e pistões de embreagens.

## **1.2 Objetivos Gerais e Específicos**

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma ferramenta que permita o recuo das placas dos pistões de câmbios automáticos, de maneira que permaneça travada na posição de trabalho, facilitando assim a retirada da trava do conjunto e a desmontagem completa.

Os objetivos específicos são:

- Realizar uma pesquisa de mercado e detalhar dimensões e rigidez das molas dos pistões aplicadores;
- Definir a geometria, dimensões dos adaptadores e o tipo do sistema do encolhedor;
- Realizar os cálculos de força necessária que a ferramenta deve desenvolver;
- Avaliação de custos e viabilidade do encolhedor.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No desenvolvimento do projeto de algum produto ou ferramenta, é de fundamental importância que alguns assuntos pertinentes sejam conhecidos, essa etapa apresenta os assuntos mais importantes.

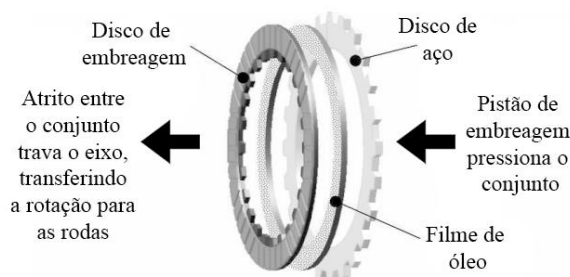
Inicialmente, é elaborado um estudo de como é o funcionamento de um câmbio automático automotivo, juntamente com cada componente interno da transmissão e quais as suas respectivas funções. Será realizado o detalhamento de cada componente, dando ênfase nos tambores aplicadores de embreagem que é de fato onde os pistões aplicadores estão localizados, para assim realizar o estudo completo da forma e geometria destes componentes. Desta forma, será possível entender de fato como deve ser a geometria da ferramenta para que atenda o maior número possível dos pistões. Assim, a geometria e dimensões dos adaptadores que compõem o encolhedor serão definidos juntamente com a geometria e o tipo de sistema base que o encolhedor irá utilizar, escolhendo a geometria dentre duas disponíveis, uma com um sistema independente e de livre manuseio e outra com o encolhedor montado em um sistema do tipo bancada.

Prosseguindo, será realizado as considerações de projeto onde, os cálculos de força necessária que o encolhedor precisará desenvolver, as análises de cargas e tensões ao longo da sua seção transversal serão estudadas.

### 2.1 Pistões aplicadores de embreagens e embreagens multidiscos

As embreagens multidiscos são componentes que tem como função fazer o travamento dos trens de engrenagem quando o pistão que está localizado logo a frente do conjunto é acionado, empurrando os discos e fazendo o travamento do conjunto, desta forma, define-se a relação de marcha que é necessária para o momento. As embreagens multidiscos e os pistões aplicadores de embreagens estão dispostas em série e montados dentro de um compartimento chamado de tambor de embreagem. Na Figura 1 pode-se observar como é o funcionamento do conjunto.

Figura 1 - Funcionamento dos discos de embreagens



Fonte: Adaptado de Harald e Bernd (2009, p. 346)

A Figura 2 apresenta um tambor de embreagem com os conjuntos multidiscos montados, pode-se observar que o pistão aplicador está montado logo na parte final do componente. A Figura 2 (A) o tambor de embreagem está completo, com todos os componentes montados como: multidiscos, molas de pressão, trava e logo ao fundo o pistão aplicador de embreagem juntamente com o seu anel de vedação da pressão de óleo. Na Figura 2 (B) é o pistão de embreagem já

desmontado, na imagem é possível observar que o anel já está deformado e plastificado, está alinhado com a face do pistão perdendo assim a ação de vedação. Devido a este defeito, se faz necessário a desmontagem completa deste componente para efetuar a troca do anel de vedação e o veículo retorne ao seu funcionamento normal. O óleo em alta pressão entra em canais dispostos ao longo do corpo do tambor de embreagem, quando o anel não tem mais a eficiência a pressão de óleo é perdida e o óleo retorna para o cárter da transmissão

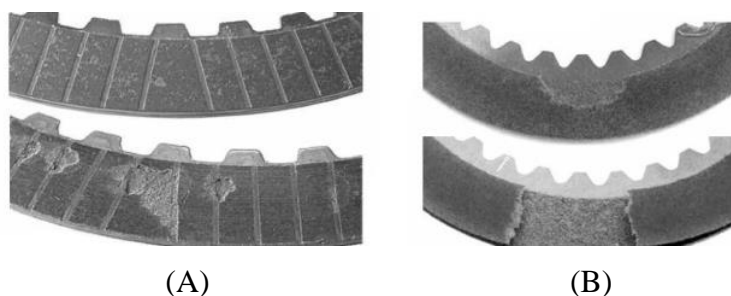
Figura 2 - Tambor de embreagem multidiscos e pistão de embreagem



Fonte: Tambor de embreagem câmbio toyota A245E

De acordo com Bernd e Harald (2010) o sistema de embreagens multidiscos é definido como um sistema tribológico onde, os discos e as placas de aço são revestidos com um filme de óleo, desta forma evita-se que a temperatura no momento da fricção dos componentes seja elevada demais, o óleo trabalha em equilíbrio térmico com os componentes evitando que o pacote de embreagem sofra danos por elevada temperatura. A força de atrito e o fator de pressão de aplicação devem ser considerados para que não ocorram defeitos nos discos e nos anéis dos pistões aplicadores. Na Figura 3 é possível observar alguns defeitos que ocorrem nos discos de embreagem. Na Figura 3 (A) defeito de corrosão ocorre quando há corrosão dentro do sistema de transmissão, que pode ser causada pela entrada de água no óleo do câmbio. Isso pode acontecer devido a diversos motivos, como um trocador de calor furado ou infiltração de água por alguma falha específica no sistema. A presença de água no óleo pode levar à formação de corrosão, o que danifica os componentes internos do câmbio e pode causar mau funcionamento ou até mesmo avarias mais graves. Já na Figura 3 (B) Já a fragmentação do disco é um defeito comum e bastante problemático. Ele ocorre quando o disco de embreagem se rompe, geralmente devido à quebra do filamento do disco. Esse problema é progressivo e exponencial: uma vez que o primeiro fragmento se desprende, a eficácia do sistema de embreagem diminui rapidamente até que o disco se desgaste completamente e o sistema pare de funcionar por completo. É importante detectar e corrigir esse problema o mais rápido possível para evitar danos adicionais ao sistema de transmissão.

Figura 3 - Defeitos em discos de embreagens



Fonte: Adaptado de Harald e Bernd (2009, p. 352)

Quando algum dano acontece no conjunto de embreagens, são notórios os defeitos apresentados, pois afeta diretamente o comportamento e a dirigibilidade do veículo, a demora nas

trocas de marchas começa a ser frequentes, bem como existe uma dificuldade para o veículo arrancar devido à falta de atrito. Quando isso acontece, se faz necessário a intervenção de um profissional capacitado para a desmontagem do câmbio e avaliação dos componentes, seguido da utilização de ferramentas para o correto reparo da transmissão.

## 2.2 Encolhedor de pistão de câmbio automático disponível no mercado

O encolhedor de pistão de câmbio automático automotivo é uma ferramenta crucial para oficinas mecânicas e profissionais da área de manutenção de transmissões automáticas. Ele é utilizado para comprimir os pistões dos câmbios, facilitando a montagem e desmontagem dos componentes internos das transmissões automáticas. Embora existam várias opções no mercado, muitos desses encolhedores são bastante limitados em termos de versatilidade e aplicação. Na Figura 4 é possível observar um exemplo desse encolhedor existente.

Figura 4 - Encolhedor de pistão de câmbio automático disponível no mercado



Fonte: [https://www.centerfer.com.br/MLB-2042252064-ferramenta-encolhedor-pisto-cambio-automatgico-cvt-\\_JM](https://www.centerfer.com.br/MLB-2042252064-ferramenta-encolhedor-pisto-cambio-automatgico-cvt-_JM)

A ferramenta da figura só consegue realizar o encolhimento de quatro tipos específicos de pistões de câmbio. Isso representa uma limitação significativa, considerando a vasta gama de pistões de câmbio existentes nos veículos modernos. Cada fabricante de automóveis pode ter várias variantes de pistões, dependendo do modelo, ano de fabricação e especificações do câmbio. Portanto, a utilização de um encolhedor que não é universal implica na necessidade de fabricar adaptadores personalizados para cada tipo de pistão que não se encaixe nos quatro tipos compatíveis com a ferramenta.

Esse processo de fabricação de adaptadores além de ser trabalhoso, também é demorado e custoso. Cada novo tipo de pistão exige a criação de um adaptador específico, o que requer conhecimento técnico, ferramentas de precisão e tempo. Além disso, o armazenamento e a organização desses adaptadores adicionais podem se tornar um desafio logístico, especialmente em oficinas com grande volume de trabalho.

## 2.3 Definição de geometria do encolhedor e dos adaptadores

Existem no mercado dois tipos de câmbios automáticos automotivos, sendo eles: as transmissões escalonadas que constituem-se de componentes já estudados aqui anteriormente, sendo o principal componente os tambores de embreagens onde as marchas são trocadas uma por uma e são amplamente utilizadas, o outro tipo de transmissões são as do tipo cvt (*continuously variable transmission*) onde, as relações de marchas são feitas através de uma corrente metálica em forma de “V” disposta sobre duas engrenagens e a sua atuação é feita através de um motor elétrico. Este tipo de câmbio possui um único tambor de embreagem em que a marcha ré é

selecionada. Desta forma, é importante definir a geometria dos adaptadores tanto para as transmissões convencionais como para os pistões de marcha ré dos câmbios cvt.

As geometrias dos tambores de embreagem são divididas em três tipos, a primeira sendo o tambor com o centro vazado, geralmente para a passagem do eixo que compõem a transmissão, esse tipo de tambor é de certa forma o mais fácil para soltar a trava do pistão e sacá-lo para se efetuar a troca do anel de vedação, pois possibilita que o parafuso da ferramenta passe pelo meio do componente, centralizando os esforços em torno de toda a placa das molas de contrapressão do pistão. Na Figura 5 pode-se observar este tipo de tambor de embreagem.

Figura 5 - Tambores de embreagens com o seu centro vazado



Fonte: Tambor de embreagem câmbio toyota A245E

Um segundo tambor pode ser mencionado, geralmente aquele que fica posicionado na entrada da transmissão, os chamados de tambores de embreagens direta, estes possuem um eixo acoplado na parte traseira e seu centro não é vazado. Isso dificulta a retirada da placa de pressão do pistão pois o apoio da ferramenta é feito somente na parte de cima do componente, não sendo possível passar o parafuso encolhedor no seu centro. Na Figura 6 é possível observar como é este tipo de tambor, onde (A) é a parte inferior do tambor e (B) a parte superior com o respectivo eixo de entrada.

Figura 6 - Tambores de embreagens de entrada da transmissão, com eixo e sem furo central



(A)



(B)

Fonte: Tambor de embreagem câmbio toyota A245E

O terceiro tipo de tambor de embreagem são aqueles que estão instalados na própria carcaça da caixa, onde a carcaça do câmbio faz o alojamento do pistão de embreagem e da placa de molas de contrapressão. Este é o tipo mais complicado de fazer a remoção do pistão, pois o tamanho da caixa, forma e geometria dificulta o acesso da ferramenta até o local. Na Figura 7 pode-se observar uma caixa de câmbio com este tipo de tambor.



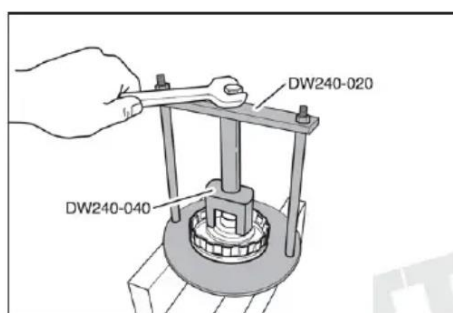
Figura 7 - Tambores de embreagem na própria carcaça da caixa



Fonte: Carcaça de câmbio A245E Toyota

Segundo a Associação dos Profissionais Técnicos em Transmissão Automática, Appta do Brasil (2003), é preciso ter cuidado ao efetuar o encolhimento das molas de contrapressão do pistão aplicador, não ultrapassando 2 mm de recuo do conjunto da placa de molas, desta forma, evita-se que as molas sejam recuadas além do limite de elasticidade e tensão da mola, perdendo a sua rigidez. Esta rigidez é de fundamental importância visto que o conjunto de molas é calibrado para que o recuo do pistão aconteça de forma correta, sem que haja perda de pressão e atraso nas mudanças de marchas. Na Figura 8 pode-se visualizar um compressor de molas sugerido para a desmontagem do componente.

Figura 8 - Tambor de molas sugerido para desmontagem



6. Posicione o compressor de pistões na mola de retorno e comprima-a.
7. Utilizando um alicate apropriado, instale o anel o-ring

**NOTA:**

Pare a prensagem quando a mola de retorno do pistão da embreagem da direita for abaixada entre 1 e 2 mm desde a ranhura do anel trava, evitando que o conjunto de molas de retorno do pistão da direita seja danificado. Cuidado! Não expanda o anel trava em excesso.

Fonte: Manual técnico cambio APPTA Brasil, (2003)

Desta forma, é possível definir que o encolhedor tenha desejavelmente a haste de encolhimento com o deslocamento calibrado, que não ultrapasse os 2 mm de recuo, para assim não danificar o conjunto de molas das placas de molas. As dimensões radiais das placas de molas são diversas, não sendo possível determinar tamanhos para cada adaptador, sendo assim, define-se que os adaptadores que irão apoiar nas placas de molas deve ser um único modelo e que seja possível fazer a sua regulação, aumentando ou diminuindo o seu diâmetro radial conforme a necessidade. Quando se fala na definição da geometria do corpo do encolhedor, é necessário que ele possua uma base com um furo para apoiar os tambores que possuem eixo de saída e que seja grande o suficiente para acomodar carcaças de caixas que possam surgir.

## 2.4 Normas para ferramentas manuais

É fundamental considerar a ergonomia ao projetar qualquer ferramenta manual onde, a ergonomia é estudo do design do produto para que o mesmo possa ser usado com segurança, eficiência e conforto pelo usuário. Algumas razões pelas quais a ergonomia é importante ao projetar uma ferramenta são: saúde, segurança, eficiência, produtividade, conforto, redução de erros e adaptação a diversos usuários. Para o projeto de uma ferramenta manual do tipo bancada, é importante considerar fatores como o design da empunhadura, posição de trabalho e a forma

como a ferramenta é utilizada. A pesquisa de campo, testes com usuários e feedback são frequentemente usados no processo de design para garantir que as necessidades e preferências dos usuários sejam atendidas. Além disso, as normas e regulamentos de saúde e segurança no trabalho geralmente incluem diretrizes para o design de ferramentas ergonômicas.

Existem várias normas e regulamentos que estão diretamente relacionados a ergonomia de design de ferramentas manuais em diferentes setores e países, é possível citar duas normas sendo as mais relevantes para o estudo do trabalho.

#### **2.4.1 Norma NR 17 - Ergonomia no ambiente de trabalho**

Esta norma brasileira trata da ergonomia no ambiente de trabalho, visando garantir condições que proporcionem conforto, segurança e eficiência para os trabalhadores, prevenindo lesões e problemas de saúde relacionados ao trabalho. A norma cita também no tópico 17.7, abordando assuntos pertinentes a trabalho com máquinas, equipamentos e ferramentas manuais, onde:

- **17.7.1** O trabalho com máquinas e equipamentos deve atender, em consonância com a Norma Regulamentadora Nº 12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, além das demais disposições desta NR, aos aspectos constantes neste capítulo.
- **17.7.5** A concepção das ferramentas manuais deve atender, além dos demais itens desta NR, aos seguintes aspectos:
  - a) facilidade de uso e manuseio.
  - b) evitar a compressão da palma da mão ou de um ou mais dedos em arestas ou quinas vivas.

Desta forma, leva-se em consideração que a utilização do encolhedor deve ser de forma fácil e simples e que a sua estrutura deve ser livre arestas e quinas vivas e sua estrutura livre de componentes ou lugares que possam vir a esmagar a mão do operador quando o trabalho for executado. A ferramenta também deve estar em concordância com a norma ISO NR 12 que menciona sistema de segurança aos usuários em equipamentos manuais.

#### **2.4.2 Norma ISO NR 12100:2013**

A norma ISO12100:2013 é uma norma internacional que trata da segurança de máquinas e equipamentos, estabelecendo princípios gerais para o projeto de máquinas seguras. Quando se fala em projeto de ferramentas manuais, a norma fornece os princípios de segurança com relação à ergonomia de interação com a ferramenta e o homem. No tópico 6.2.8 da norma, algumas observações de princípios ergonômicos são abordadas, como:

“Princípios de ergonomia devem ser considerados na concepção das máquinas, de modo a reduzir o nível de esforço físico ou mental e a pressão sobre o operador.

A atenção do projetista deve ser particularmente dirigida aos seguintes aspectos ergonômicos no projeto da máquina.

- Evitar a necessidade de posturas desgastantes e movimentos durante o uso da máquina (por exemplo, oferecendo dispositivos de ajuste nos controles e no assento, para atender aos diversos operadores da máquina);
- Projetar as máquinas, especialmente as portáteis ou operadas manualmente, de modo a tornar sua operação facilitada, considerando o esforço humano, atuação dos comandos e a anatomia de mãos, braços e pernas (ISO 12100, 2013, p.29).



## 2.5 Métodos para o desenvolvimento do produto

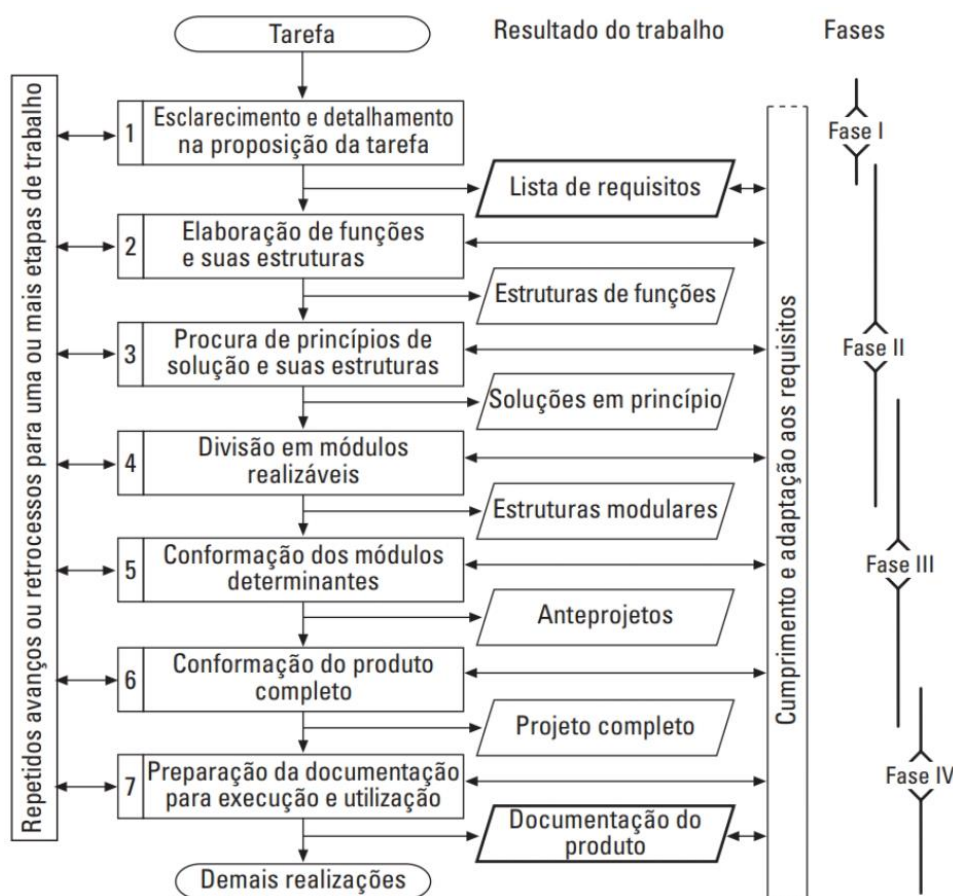
O desenvolvimento de produtos na área de projeto na engenharia mecânica é uma tarefa difícil, demanda muito tempo e é necessário que as ideias sejam extremamente organizadas. Para o processo de desenvolvimento de um produto, ferramenta e qualquer dispositivo é fundamental utilizar uma metodologia de projeto, onde a otimização, planejamento e o produto sejam executados, alcançando os requisitos pré-estabelecidos. De acordo com Pahl et al. (2005) o engenheiro busca resolver problemas técnicos usando conhecimentos científicos e de engenharia, considerando restrições materiais, tecnológicas, econômicas, legais, ambientais e humanas. Ele converte problemas em subtarefas concretas durante o desenvolvimento do produto.

Pahl et al. (2005), divide o desenvolvimento de produtos em 4 fases principais, sendo elas:

- Fase 1: Planejamento e esclarecimento da tarefa;
- Fase 2: Métodos para concepção;
- Fase 3: Anteprojeto;
- Fase 4: Detalhamento.

Para que o produto seja idêntico ao produto planejado, é de fundamental importância que se obtenha o sucesso nas 4 fases propostas. Na Figura 9, é possível observar as fases em questão organizadas em forma de fluxograma, sendo possível estabelecer o planejamento para elaboração do produto.

Figura 9 - Fluxograma representativo das fases de desenvolvimento do produto



Fonte: Pahl et al. (2005)

Com isso, será realizado o estudo detalhado de cada fase, buscando as melhores aplicações para a obtenção do sucesso no decorrer do projeto.

### **2.5.1 Fase 1: Planejamento e esclarecimento da tarefa**

De acordo com Pahl et al. (2005), essa fase é onde o engenheiro esclarece todos os detalhes do produto antes mesmo de se iniciar o desenvolvimento, destinado a coleta de informações como por exemplo a ergonomia da ferramenta, segurança, prazos e custos de produção. O resultado destas informações deve ser organizado em forma de lista, de maneira que os dados sejam lidos de forma clara e objetiva.

### **2.5.2 Fase 2: Métodos para concepção**

Para Pahl et al. (2005), essa fase é a etapa para a determinação de funções e subfunções de acordo com os estudos de identificação do problema, desta forma o engenheiro pode desenvolver algumas ideias de como será o produto já que a lista de requisitos está desenvolvida com todas as informações principais do produto. Nesta fase, realiza-se uma análise ampla do problema, realizando-se o estudo de várias soluções e diferentes caminhos para a melhoria do produto.

Além das análises de funções citadas acima, Pahl et al. (2005) menciona a realização de uma segunda análise, levando em considerações critérios e valores particulares requeridos pelo próprio projetista, como: forças, material, operação, custos e prazos. Sendo uma variante do projeto, com isso, obtém-se uma concepção de variante que poderá ser a base da construção do projeto.

### **2.5.3 Fase 3: Anteprojeto**

Nesta terceira etapa, define-se a estrutura de funcionamento a partir da concepção da fase anterior, onde critérios técnicos e econômicos são abortados para a determinação de fatores de dimensão do produto, o tipo de material que será usado em cada parte do produto, o tipo de sistema em que o produto irá trabalhar e o processo de fabricação. Os pontos fracos da solução devem ser eliminados para que se chegue a fase definitiva de projeto, avaliando-se fatores como montagem, durabilidade, possibilidade de produção e o custo do projeto (PAHL, et al, 2005).

### **2.5.4 Fase 4: Detalhamento**

Para Pahl et al. (2005), a última etapa de desenvolvimento tem como objetivo a complementação do projeto, finalizando os detalhes dimensionais do produto, acabamentos superficiais e as tolerâncias de todos os componentes. Realiza-se o desenho detalhado de todas as peças, conjuntos, componentes e a montagem final, com a ilustração e indicação de todos os partes e peças.

Com a finalização deste capítulo é possível concluir que o dispositivo encolhedor de pistões aplicadores de embreagem de câmbios automáticos são fundamentais para auxiliar os reparadores na desmontagem destes componentes. Os estudos realizados proporcionaram a possibilidade de introduzir os principais assuntos de como é o funcionamento de tambores de embreagem e pistões aplicador bem como quando se faz necessário a intervenção do profissional para a desmontagem e o correto reparo, além de uma abordagem de uma metodologia de projeto que possibilita a execução do projeto no menor tempo possível, possibilitando o sucesso do produto e a aprovação dele no mercado.

## 2.6 Considerações finais sobre a revisão bibliográfica

De acordo com os estudos desenvolvidos nos capítulos anteriores, é possível perceber que as intervenções para reparo em câmbios automáticos automotivos são frequentes e que ferramentas adequadas são necessárias para a execução do reparo correto, especialmente nos componentes de tambores de embreagem e os pistões aplicadores. A geometria correta para a ferramenta deve ser aquela em que tenha o tamanho suficiente para acomodar tanto os tambores de embreagens avulsos, tanto aqueles que estão instalados em carcaças de câmbios, atendendo também aqueles tambores que possuam um eixo acoplado na traseira da peça e que possua um adaptador com regulagem para que seja uma ferramenta universal, desta forma regulando o adaptador para qualquer tipo de tambor que necessite o reparo, tudo isso atendendo a normas regulamentadores para criação de ferramentas manuais.

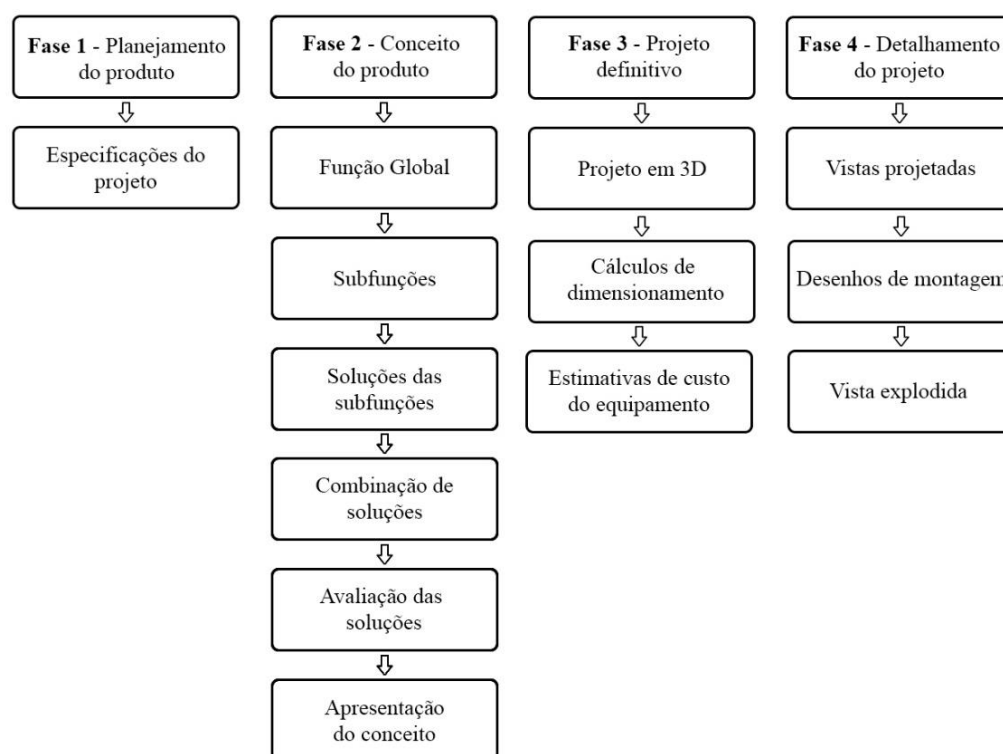
Observa-se também que a utilização de um método de desenvolvimento de produto será fundamental para o desenvolvimento adequado da ferramenta, garantindo que todos os requisitos técnicos e de usabilidade sejam atendidos. O método de Pahl et al. (2005) é amplamente reconhecido no campo de engenharia de produtos e oferece uma abordagem sistemática para o desenvolvimento de soluções eficazes e eficientes.

## 3 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ENCOLHEDOR

Para o desenvolvimento do encolhedor serão utilizadas quatro etapas, com isso buscou-se a determinação correta para o desenvolvimento da tarefa e o atendimento do conceito proposto conforme a sequência lógica estabelecida por (PAHL et al., 2005).

Com a utilização da metodologia citada acima, buscou-se a excelência no desenvolvimento do trabalho, através das quatro fases propostas para a realização do projeto, visando a obtenção de resultados fiéis ao planejado. A Figura 10 apresenta um fluxograma com as etapas para o desenvolvimento do projeto.

Figura 10 - Fluxograma de etapas do desenvolvimento do encolhedor



A primeira etapa será de planejamento do produto, com a criação das especificações de projeto e elaborando uma lista de requisitos.

A segunda etapa, e a mais importante fase da elaboração de um projeto, tem como o objetivo o desenvolvimento e a apresentação conceitual do objeto desenvolvido, respeitando os requisitos do projeto que foram estabelecidos na primeira etapa. O conceito deve ser apresentado de uma forma em que o embasamento seja provido de informações necessárias para o desenvolvimento da próxima etapa.

A terceira etapa será a construção do projeto em CAD 3D, levando em consideração os conceitos estabelecidos na etapa anterior, os cálculos de dimensionamento do encolhedor bem como os materiais e as estimativas de custo serão definidos para a construção do encolhedor.

A quarta etapa é o projeto finalizado, onde o detalhamento é concebido, com desenhos de peças, conjuntos, mecanismos e a montagem do encolhedor, além de uma vista explodida para facilitar no entendimento de como funciona o encolhedor bem com a montagem da ferramenta.

Este trabalho discute as fases ilustradas na Figura 14, com o objetivo de avançar com o projeto através da elaboração de uma lista de requisitos. Isso será seguido por uma análise de diversas soluções para as funções globais e subfunções do projeto. As propostas de solução serão avaliadas e as aceitas serão combinadas para criar variantes de soluções. Em seguida, essas variantes passarão por critérios de avaliação para determinar o conceito final do dispositivo, fornecendo assim uma base sólida para prosseguir com o projeto definitivo da ferramenta, incluindo o detalhamento e a análise de custos do produto.

Durante a elaboração da lista de requisitos, além das propostas mencionadas anteriormente, foram incluídos outros tópicos para aprimorar o planejamento do produto, visando garantir uma execução e entrega de equipamento de maior qualidade. Seguindo o modelo de linha mestra proposto por Pahl et al. (2005), foram identificadas doze características fundamentais para auxiliar no desenvolvimento do projeto, como ilustrado na Figura 11.

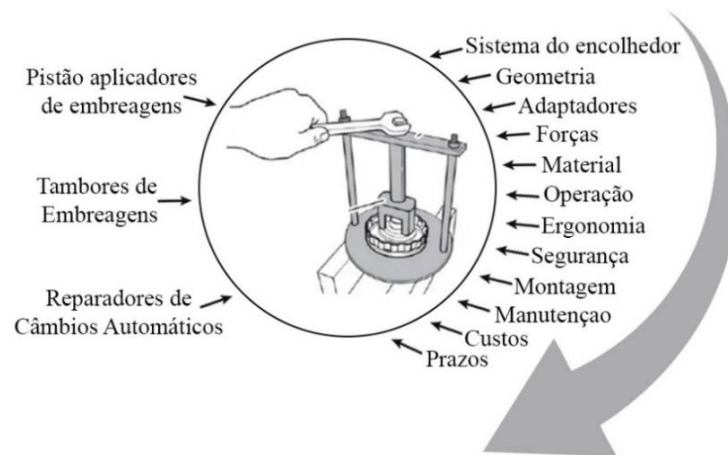
### **3.1 Fase 1: Planejamento do produto**

O encolhedor é desenvolvido com base em um encolhedor feito de maneira artesanal que já está em operação por um reparador, levando em consideração o feedback do reparador que utiliza a ferramenta, analisando-se as possíveis melhorias que podem ser implementadas no projeto do encolhedor novo.

O encolhedor deve ser capaz de atender o maior número de pistões, inclusive aqueles que são aplicados nas carcaças de câmbio e que são de difícil acesso e difícil reparabilidade, também, deve suportar a força desenvolvida durante o processo, sem que ocorra a deformação de seu corpo, é importante também que o mesmo encolha a placa de molas do pistão de maneira simétrica, sem deformar a placa mais em um ponto, deve ser uniforme em toda a seção da placa para que não ocorra a deformação irregular das molas do conjunto.

Para complementar as propostas vistas nos parágrafos anteriores e com o objetivo de melhorar o encolhedor já existente, alguns tópicos com a criação de alguns requisitos foram adicionados. Tendo como referência a proposta de linha mestra que foi desenvolvido por Pahl et al. (2005), desta forma, selecionou-se 12 características para servir de base para o desenvolvimento do dispositivo.

Figura 11 - Linha mestra



Fonte: Autor

- **Sistema do encolhedor:** Este tópico irá tratar do tipo do sistema do encolhedor, se ele deve ser montado de maneira independente ou deve ser montado em uma bancada, considerando que deva atender o maior número de câmbios possíveis;
- **Geometria:** Este tópico irá tratar das dimensões do equipamento a ser desenvolvido, juntamente com as dimensões dos adaptadores das placas dos pistões, levando em consideração atender o maior número de câmbios;
- **Adaptadores:** Determina como será a geometria e dimensões dos adaptadores para que atenda o maior número de pistões e conseqüentemente de câmbios;
- **Forças:** Apresenta as cargas que todo o sistema sofre enquanto realiza as operações;
- **Material:** Determina as características que são necessárias em um material a serem utilizados nas diversas partes do equipamento;
- **Operação:** Determina a maneira e em que circunstâncias o equipamento é operado;
- **Ergonomia:** Este tópico apresenta características ergonômicas do equipamento que atendam as normas citadas nos parágrafos acima, atendendo os objetivos propostos no início do projeto;
- **Segurança:** Apresenta fatores de segurança que o equipamento deve obedecer para proporcionar segurança para o operador;
- **Montagem:** Determina como será a montagem de todos os componentes do equipamento;
- **Manutenção:** Demonstra as principais características que o equipamento deve possuir para garantir sua correta manutenção;
- **Custos:** Apresenta uma revisão do custo máximo para a construção do equipamento, levando em conta os objetivos propostos no projeto;
- **Prazos:** Apresenta prazos para o projeto e o produto;

O Quadro 1 apresenta a lista de requisitos com a relação das informações que foram obtidas na revisão bibliográfica, os itens da linha mestra juntamente com o feedback do reparador que utiliza o encolhedor artesanal já existente. Na lateral esquerda é a linha mestra com as características listadas anteriormente, na parte central as especificações do projeto que devem ser observados e respeitados durante o desenvolvimento. As especificações foram classificadas como: **E** – Exigência, onde esse requisito deve ser obrigatoriamente cumprido; **D** – Desejável, não é obrigatório, porém se possível deseja-se que seja cumprido.

Quadro 1 - Lista de requisitos de projeto iniciais

<b>Lista de especificações e requisitos para o projeto do encolhedor de pistões de câmbio automático automotivo</b>		<b>E/D</b>
<b>1 – Sistema do encolhedor</b>	Sistema do tipo banca para acomodar carcaça de câmbios e tambores de embreagens	E
	Sistema do tipo independente, operação manual, acomoda somente tambores de embreagens pequenos	D
<b>2 – Geometria</b>	Livre de cantos vivos	E
	Facilidade de uso e manuseio	E
<b>3 - Adaptadores</b>	Vários adaptadores com tamanhos diversificados	D
	Único adaptador com tamanho variável através de regulagem	E
<b>4 - Forças</b>	Suportar uma carga de compressão 325,6 N	E
<b>5 - Material</b>	Componentes metálicos em alumínio ou aço	E
	Componentes em impressão 3D	D
<b>6 - Operação</b>	Facilidade na montagem do pistão no encolhedor, agilizando o serviço	E
	Acionamento do encolhedor por alavanca, agilizando e facilitando o processo	E
	Acionamento do encolhedor por parafuso, mais difícil e processo mais demorado devido a utilização de chave para rosca o parafuso	D
	Não ultrapassar 2 mm de recuo	E
<b>7 - Ergonomia</b>	Evitar a compressão da palma da mão ou de um ou mais dedos em arestas ou quinas vivas.	E
	Evitar a necessidade de posturas desgastantes e movimentos durante o uso do encolhedor	E
<b>8 - Segurança</b>	Não saltar componentes na hora do recuo do pistão	E
	Alavanca de acionamento não deve voltar de forma abrupta	E
<b>9 - Montagem</b>	O encolhedor deve ser de fácil montagem	E
<b>10 - Manutenção</b>	Deve ser feita revisões periódicas no equipamento	D
	Pontos para lubrificação do equipamento	E
<b>11 - Custos</b>	Custo máximo de R\$ 2.000,00	D
<b>12 - Prazos</b>	Entrega do projeto 15/10/2023	D

Fonte: Autor

Através das especificações do projeto que foram apresentados no Quadro 1, será possível desenvolver uma ferramenta de qualidade e que atenda todos os requisitos e normas listados, com isso é possível dar continuidade ao projeto.

### 3.2 Fase 2: Projeto conceitual

Após as determinações das especificações de projeto para o desenvolvimento do encolhedor, inicia-se a fase da concepção do dispositivo, através de uma função global e suas



funções principais e secundárias. Esta fase é muito importante para o projeto, pois nela que serão definidas as características de funcionamento do equipamento.

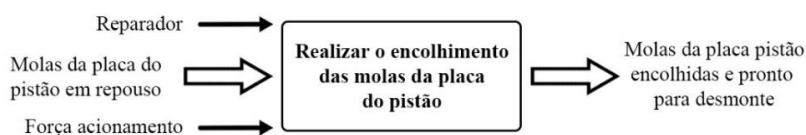
### 3.2.1 Abstração e elaboração da função global e estruturas de funções

Nesta fase, é a elaboração do conceito onde se determinara a variante de solução que será utilizada para o projeto definitivo do encolhedor. Neste caso, o problema e o produto que será desenvolvido já são conhecidos, que é um dispositivo encolhedor, uma evolução de um encolhedor artesanal já existente, mais simples e que está em operação por um reparador do ramo. Desta forma, especifica-se a função global que é a criação do encolhedor de pistão aplicador de embreagem de câmbio automático convencional a partir de um encolhedor artesanal que já existe no mercado. Desta forma, especifica-se a função global onde a entrada será um conjunto de pistão de embreagem que precisa ser encolhido para a sua desmontagem e a saída será um dispositivo que faça este trabalho e facilite a desmontagem do componente.

Desta forma, a função global do projeto está bem clara, dispensando a utilização de outras técnicas para a especificação da função global como a abstração.

Observando a Figura 12, é possível observar a função global definida onde, os parâmetros de entrada são a força de acionamento no encolhedor que é efetuada pelo usuário exercida diretamente no encolhedor e sendo transferida para o conjunto de molas da placa do pistão que está em repouso. Após o cumprimento da função desejada, resultam como parâmetros de saída o conjunto de placas de molas recuadas juntamente devido a força de acionamento do encolhedor sobre esse conjunto.

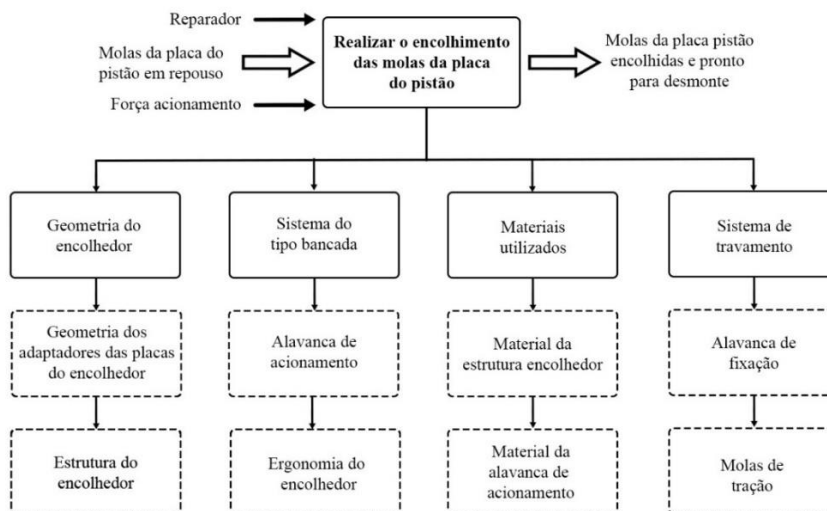
Figura 12 - Modelo de função entrada e saída do equipamento



Fonte: Autor

Segundo Pahl et al. (2005), a função global pode ser subdividida em várias subfunções para que seja possível diminuir a complexidade e encontrar uma solução que melhor atenda a função global. Na Figura 13 observa-se um fluxograma que apresenta as várias subfunções para o auxílio no desenvolvimento do projeto.

Figura 13 - Estrutura de funções



Fonte: Autor

### 3.2.2 Princípios de funcionamento

Com o fluxograma anterior é possível perceber que as subfunções que foram criadas são subdivididas em outras subfunções e para cada uma delas pesquisou-se no mínimo duas opções que possam oferecer uma solução satisfatória no decorrer do projeto. A lista com os princípios básicos de funcionamento é composta por oito linhas de itens, conforme mostra o Quadro 2, com a apresentação de suas funções logo ao lado.

Cada função secundária tem como o objetivo atender soluções particulares de cada subfunção. A seguir é demonstrado as subfunções principais e secundárias adotadas para o desenvolvimento da ferramenta.

**Geometria do encolhedor:** o encolhedor precisa ser projetado com uma geometria que atenda as normas ergonômicas, sem que haja um grande esforço físico do operador quando se aciona a alavanca de trabalho e, deve respeitar dimensões entre sua base até o topo da sua estrutura para que o corpo de determinadas transmissões que possuem os pistões instalados na carcaça sirva adequadamente no seu meio. É importante também fazer com que os componentes que são ligeiramente menores que as carcaças de uma transmissão, os tambores de embreagem se encaixem adequadamente na base para que seja possível fazer a desmontagem dele.

**Geometria do adaptador das placas dos pistões:** os adaptadores são aqueles componentes que estão ligados na extremidade da barra do encolhedor e tem a função de apoiar e transferir a força para a placa do conjunto de molas que estão na frente do pistão. Os pistões existentes no mercado que equipam as mais variadas transmissões possuem uma vasta variedade de diâmetro, dependendo do tipo do projeto e da fabricante da transmissão. Desta forma, seria inviável desenvolver um adaptador para cada marca ou modelo de transmissão então, se faz necessária o desenvolvimento de um adaptador que possui o diâmetro variável e que seja possível efetuar a regulação dele, conforme a necessidade no momento da execução do trabalho e conforme o pistão a ser encolhido no momento. O adaptador precisa também efetuar um correto apoio em toda a superfície da placa para que o recuo não seja deformado em apenas um lado da placa, evitando danificar os componentes e garantindo a segurança do operador, visto que quando uma placa de pistão se deforma incorretamente pode efetuar a quebra da peça e saltar pedaços ferindo gravemente o operador. Desta forma, segue-se as normas de segurança para ferramenta mencionadas neste trabalho na revisão bibliográfica.

**Estrutura do encolhedor:** para a estrutura do corpo do encolhedor pode-se utilizar tubos redondos ou tubos quadrados. Quando se pensa em uma melhor rigidez e sustentação da estrutura, preferencialmente utiliza-se os tubos quadrados pois eles evitam que a ferramenta gire em torno do seu eixo em partes específicas da estrutura.

**Sistema do tipo bancada:** quando se fala de sistema do tipo bancada, é possível dizer que o encolhedor terá uma base de sustentação para toda a sua estrutura de forma que na mesma base seja possível efetuar a acomodação dos componentes que serão trabalhados e desmontados, como os tambores de embreagem e as carcaças de transmissões. O sistema do tipo bancada além de proporcionar a acomodação dos dois tipos de componentes a serem trabalhados oferece mais firmeza para toda a estrutura da ferramenta e obedece as normas de ergonomia propostas na revisão bibliográfica deste trabalho, desta forma, a ferramenta pode ser instalada em uma mesa com as dimensões especificadas para a postura correta do operador, ela não oferece grandes esforços para acionamento da alavanca e também não é preciso fazer muitos movimentos com a ferramenta, quando se comparada com um encolhedor sem base de sustentação, onde é preciso fazer uma regulação manual. Um sistema assim proporciona também menos quinas e cantos vivos, não possui roscas que possam machucar, obedecendo as normas de segurança de ferramentas.

**Alavanca de acionamento:** para que seja possível acionar a ferramenta e o trabalho seja executado, recuando o conjunto de molas das placas dos pistões, é preciso algum dispositivo para

isso. Pensando de uma forma que agilize o processo e que seja ergonomicamente correto de acordo com a norma regulamentadora de ferramentas manuais, se faz necessário o uso de uma alavanca para tal. Quando se compara o sistema de alavanca com um sistema de porca e parafuso, a alavanca possui algumas vantagens, pois possibilita o rápido acionamento da ferramenta sem fazer um grande esforço por parte do operador, agiliza o processo ganhando tempo na reparação e não gera lesões em punhos do operador devido ao esforço mínimo desenvolvido na alavanca.

**Ergonomia do encolhedor:** o encolhedor deve cumprir as normas previamente estudadas, sendo uma ferramenta segura e livre de cantos vivos que possam ferir o operador durante o uso. Deve exigir pouco esforço físico para acionar a alavanca e estar instalado em uma bancada a uma altura que permita ao operador trabalhar em pé e ereto, sem causar esforço na coluna ou em outros membros.

**Materiais utilizados:** levando em consideração que a ferramenta será montada em uma bancada, onde o peso não é algo importante, mas sim a sua rigidez para que ela não se deforme, o corpo do encolher será desenvolvido em material aço sae 1020. Na ponta da alavanca onde haverá o contato direto com a mão do operador, o material utilizado será um polímero (borracha sintética), para proporcionar conforto ao operador e não ocasionar lesões em seus membros. O material alumínio para a construção da ferramenta foi descartado pois é um material mais caro que o aço e pode ocasionar alergia para algumas pessoas em sua operação. Desta forma, define-se o projeto conceitual da ferramenta escolhida de placas de pistão de câmbio automático.

**Material da estrutura do encolhedor:** deve ser feito de aço com tubos rígidos de geometria quadrada e centro vazado. Isso aumenta a rigidez da estrutura e melhora significativamente a resistência aos esforços exigidos durante a operação.



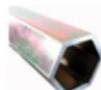






**Material da alavanca de acionamento:** deve ser fabricada em aço para resistir aos esforços solicitados. A extremidade da alavanca, onde o operador a empunha, deve ser revestida com um material confortável como borracha ou polímeros para que não machuque a mão do operador.

**Sistema de travamento:** percebeu-se que durante a execução da compressão das molas das placas dos pistões a ferramenta precisa ficar travada na posição de trabalho para que o operador consiga deixar suas mãos livres para efetuar o manuseio da trava que bloqueia o conjunto, executando assim o desmonte completo. A solução encontrada para este problema foi utilizar duas porcas laterais no sistema mecânico de acionamento, desta forma é possível fazer a trava e destrava do conjunto conforme a demanda, de uma maneira rápida, prática e segura.

**Alavanca de fixação:** para que a ferramenta permaneça travada na posição de trabalho desejada, deve-se acionar uma alavanca que aperta o sistema de acionamento. Isso fixa todo o sistema, com as placas das molas dos pistões já recuadas, facilitando a remoção da chaveta que trava o sistema.

**Molas de tração:** para o travamento da ferramenta na posição de trabalho desejada, molas de tração fazem a força oposta a força aplicada, fazendo assim o travamento de todo o sistema. Facilitando a remoção da chaveta de trava do conjunto.

Quadro 2 - Modelo de soluções possíveis

	Requisitos	Soluções		
<b>A</b>	Geometria do encolhedor	 Tubo quadrado	 Tubo cilíndrico	 Tubo sextavado
<b>B</b>	Estrutura do encolhedor	 Sistema do tipo manual	 Sistema do tipo bancada	
<b>C</b>	Geometria do adaptador das placas dos pistões	Sem regulagem	Com regulagem	Vários adaptadores
<b>D</b>	Alavanca de acionamento	Com alavanca	Sem alavanca	Sistema de rosca
<b>E</b>	Ergonomia do encolhedor	 Operador em pé	 Operador sentado	
<b>F</b>	Materiais utilizados para a estrutura	Aço SAE 1020	Alumínio	
<b>G</b>	Materiais utilizados para a alavanca	Polímero (borracha sintética)	Plástico sinterizado	
<b>H</b>	Sistema de travamento	 Alavanca de fixação S1	 Mola de tração S2	
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Fonte: Autor

Das soluções citadas nos quadros, as que melhores se encaixam são selecionadas e as que sobram serão descartadas e para isso, criou-se alguns critérios serão utilizados para a correta escolha das especificações apresentadas acima. As escolhas definitivas das soluções do projeto estão representadas no Quadro 3, onde as soluções que atendem os requisitos de projeto estão sinalizadas com o sinal de (+) e as que não atendem estão sinalizadas com o sinal de (-). Os critérios escolhidos são:

- Atendem as listas de requisitos;
- Facilidade na fabricação;
- Facilmente encontrados no mercado;
- Baixo custo de fabricação.

Quadro 3 - Tabela de melhores soluções

Tabela de seleção das soluções dos requisitos de projeto							
Requisitos	Soluções	Atendem as listas de requisitos;					
		Facilidade na fabricação;					
		Facilmente encontrados no mercado;					
		Custos de fabricação baixo;					
					Resultados	Observações	
A	1	+	+	+	+	+	Selecionado o tubo quadrado para fabricação da haste do corpo do encolhedor
A	2	-	+	+	+	-	
A	3	+	-	-	+	-	
B	1	-	+	+	+	-	Sistema do encolhedor selecionado foi o sistema do tipo bancada
B	2	+	+	+	+	+	
C	1	-	+	+	+	-	A geometria dos adaptadores escolhidos para que atenda ao projeto foi os adaptadores do tipo com regulagem
C	2	+	-	+	+	+	
C	3	-	+	+	-	-	
D	1	+	+	+	+	+	O tipo de acionamento da ferramenta escolhido foi o com sistema de alavancas
D	2	-	+	+	+	-	
D	3	-	-	+	+	-	
E	1	+	+	+	+	+	A posição do operador para acionamento da ferramenta escolhido é em pé
E	2	-	+	+	+	-	
F	1	+	+	+	+	+	O material escolhido para fabricação do corpo do encolhedor é o aço sae 1020
F	2	-	+	+	-	-	
G	1	+	+	+	+	+	O material escolhido para a fabricação do cabo da alavanca é o polímero (borracha)
G	2	+	+	+	+	+	
H	1	+	+	+	+	+	O tipo de fixação escolhido foi do tipo alavanca de fixação
H	2	-	+	+	+	-	

Fonte: Autor

Com o resultado do Quadro 3, reduziu-se as soluções para aquelas que passaram nos requisitos do projeto, as soluções que ficaram com o sinal negativo (-) foram excluídas e descartadas, formando um novo quadro com as novas soluções. Com isso 2 novas soluções foram obtidas, chamadas de S1 e S2. Novamente é realizado uma análise para realizar um pente fino entre as duas soluções e assim chegar em um resultado, e posteriormente a realização do projeto 3D.

Novamente, realiza-se um pente fino entre as duas soluções para o desempate de ambas e verificar qual é a melhor solução de todas. O Quadro 4 representa o esquema das novas soluções e a qual foi escolhida por definitivo. Para isso, aplicou-se novos critérios para as duas soluções, sendo eles:

- Atendem as listas de requisitos;
- Facilidade na fabricação;
- Ergonomicamente correto;
- Oferecer maior conforto no manuseio da ferramenta.

Quadro 4 - Tabela de soluções finais

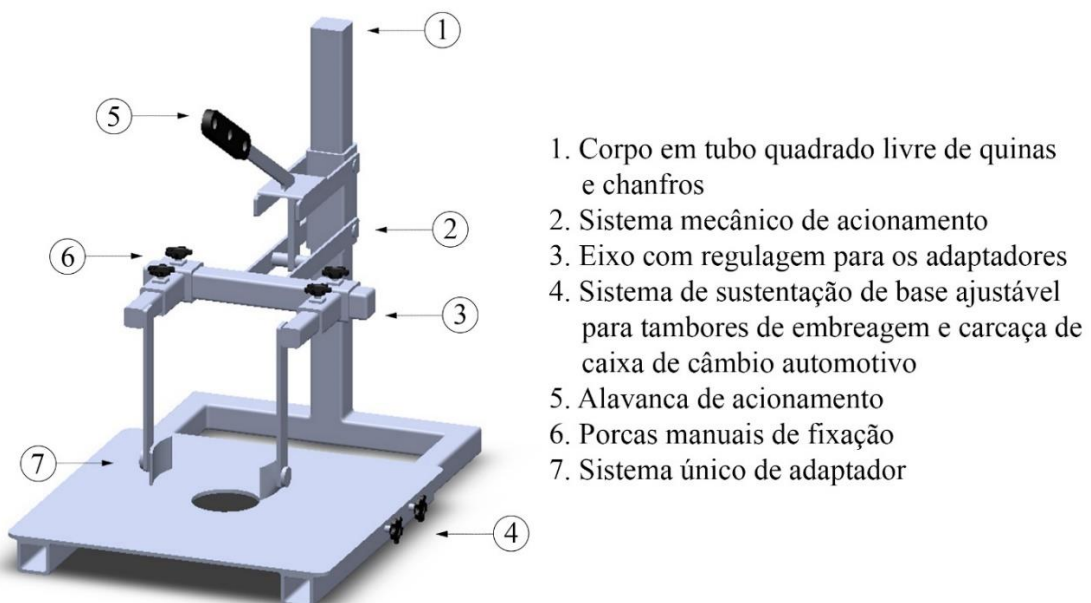
Tabela de seleção das soluções dos requisitos de projeto						
Soluções	Atendem as listas de requisitos;					
	Facilidade na fabricação;					
	Ergonomicamente corretos;					
	Oferecer maior conforto no manuseio da ferramenta;					
					Resultado	Observações
S1	+	+	+	+	+	S1 segue para a próxima etapa
S2	+	+	+	-	-	

Fonte: Autor

O resultado das soluções mostrado no Quadro 3 é a obtenção da solução S1 como a predominante entre todas as soluções estudadas, coincidindo com todos os requisitos do projeto propostos no estudo anteriormente, com isso, é possível seguir para a próxima etapa do trabalho onde executa-se o projeto prático no software 3D, com um bom embasamento para o software e em um projeto futuro para a aquisição dos materiais para a execução do primeiro protótipo da ferramenta. Desta forma, encerra-se o capítulo de desenvolvimento do encolhedor de pistão automático, prosseguindo para o capítulo da concepção do formato físico da ferramenta, apresentando uma prévia de como será o encolhedor através de um desenho ilustrativo de CAD.

Com os estudos adquiridos nos capítulos anteriores, foi possível criar um modelo 3D preliminar do conceito da ferramenta do encolhedor de molas de pistão automático. Através da força aplicada na alavanca, o sistema único de adaptador mecânico é acionado, apoiando-se sobre o pistão de embreagem e empurrando-o para baixo. Esse movimento de empurrar o pistão de embreagem para baixo resulta no recuo necessário para a montagem ou desmontagem dos componentes internos da transmissão automática. O design do adaptador garante que a força seja distribuída uniformemente sobre o pistão, facilitando o processo com precisão e eficiência. A Figura 14 ilustra o modelo juntamente com todos os seus componentes e seu funcionamento.

Figura 14 - Modelo preliminar do encolhedor



Fonte: Autor



### 3.3 Fase 3: Projeto definitivo do produto

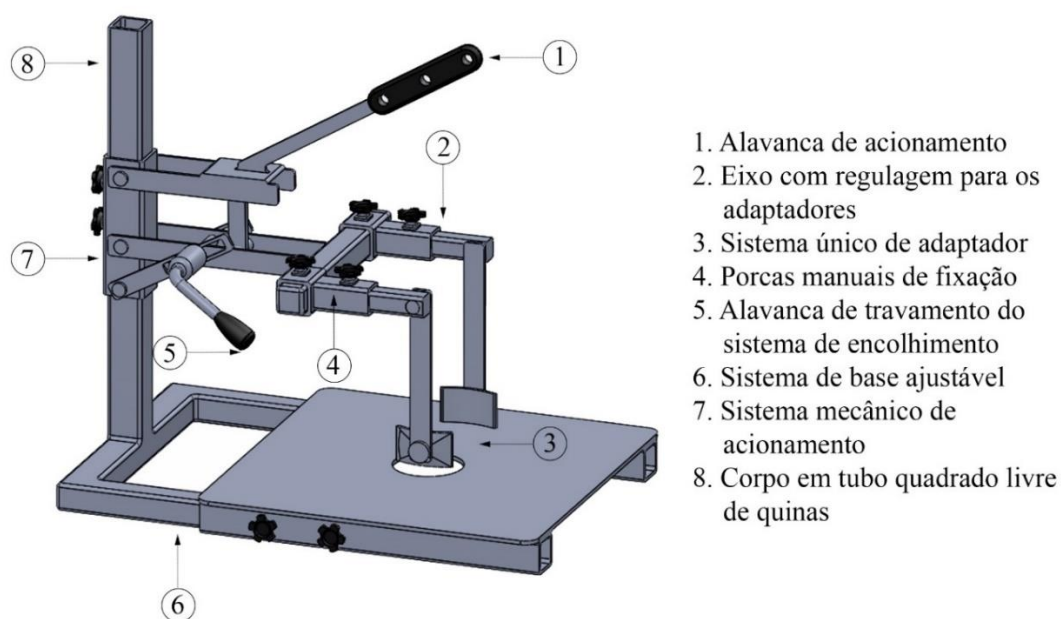
Com os estudos anteriores, embasamento teórico e o conceito do produto já especificados, é possível dar início a finalização do projeto final, com isso serão realizadas as etapas três e quatro dos métodos de desenvolvimento de produto que é sugerido por Pahl et al. (2005), obtendo-se o dimensionamento e o detalhamento do dispositivo, com isso pode -se obter o melhor entendimento do funcionamento da ferramenta para auxiliar na fabricação, montagem e na sua posterior operação.

#### 3.3.1 Desenho definitivo do equipamento

Para a construção do encolhedor de molas de placas dos pistões de câmbios automáticos foi elaborado um desenho 3D, levando em consideração as dimensões das placas de pistões que são instalados em tambores de embreagens independentes e aqueles pistões que são instalados nas carcaças dos câmbios. Também se levou em consideração alguns feedbacks colhidos de reparadores que já atuam no ramo e que necessitam da ferramenta para trabalhar, alguns já possuem ferramentas adaptadas, mas que precisam de várias melhorias para o correto funcionamento, desta forma, o projeto deste dispositivo é algo melhorado de ferramentas artesanais já existentes no mercado.

Durante o planejamento da função global expressa pela Figura 15, foram inseridas várias variantes de projeto para que o equipamento exerça a sua função estabelecida, também, algumas melhorias foram inseridas durante o desenvolvimento do encolhedor no projeto 3D a partir do momento que

Figura 15 - Modelo definitivo do encolhedor



Fonte: Autor

#### 3.4 Rigidez da mola da placa do pistão

A rigidez das molas que são utilizadas para o retorno de pistões dos câmbios automáticos automotivos varia significativamente de acordo com as especificações do projeto e das fabricantes das transmissões. Essas informações não são de conhecimento público ou facilmente disponíveis em catálogos de reparação, pois são detalhes específicos do projeto da transmissão e engenharia

do veículo. Com isso, a definição de rigidez e a força necessária para a compressão do sistema não serão precisas, mas sim algo aproximado do esforço necessário que o encolhedor deverá exercer sobre o conjunto. Pode-se definir que as dimensões das molas do conjunto de placas são de certa forma, muito parecidas entre os mais variados projetos, variando a seção do seu comprimento e diâmetro em uma média de 1 mm a 3 mm, desta forma, é possível determinar qual o esforço que o encolhedor deverá fazer para o recuo das molas, escolhendo assim um material apropriado que será utilizado posteriormente na sua construção, sua geometria de operação levando em conta fatores geométricos e também como será a sua estrutura.

De acordo com Budynas e Nisbett (2016) a elasticidade do material é a capacidade que ele possui de retornar a sua configuração inicial após ter sofrido alguma deformação e pode-se definir como mola, aquele componente que exerce uma força quando ele sofre qualquer tipo de deformação. Desta forma, será possível efetuar o cálculo da força necessária que o encolhedor exerça para efetuar a deflexão em 2 mm do conjunto de molas das placas dos pistões.

Basicamente, a Equação 1 da constante elástica é utilizada para descrever a relação entre a força aplicada a uma mola e a deformação que ela sofre como resultado dessa força.

Com isso, é necessário conhecer alguns parâmetros do material que é feito a mola para ser possível determinar a constante  $k$  da mesma.

$$k = \frac{dG}{8C^3N_a} \quad (1)$$

Onde:

$k$  = constante elástica da mola ou rigidez da mola

$F$  = carga axial atuante (N)

$y$  = deflexão da mola (mm)

$d$  = diâmetro do arame (mm)

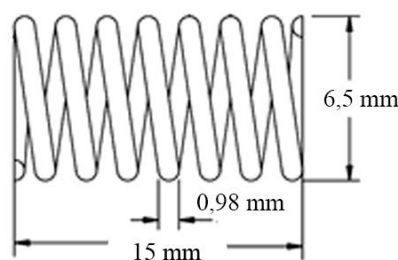
$G$  = módulo de elasticidade transversal do material (N/mm<sup>2</sup>)

$C$  = índice de curvatura da mola (adimensional)

$N_a$  = número de espiras ativas (adimensional)

Ainda, Budynas e Nisbett (2016) citam que o material mais comum utilizado em molas de compressão com diâmetros que variam entre 0,8 mm e 12 mm e que necessitam de alta resistência para vida em fadiga e resistência é o material de fio de aço cromo-vanádio com tratamento térmico recozido ou pré-revenido, com um coeficiente elasticidade  $G$  de 77200 MPa. Este material é amplamente utilizado em molas de válvulas de motor e em molas de retorno de pistões de câmbio automático. A mola da figura 16 possui as dimensões de molas utilizadas nas placas dos pistões, esses dados foram utilizados para a realização dos cálculos.

Figura 16 - Cálculos de rigidez de uma única mola do conjunto da placa de retorno



Fonte: Autor

Em seguida, realizou-se o cálculo de rigidez de uma única mola que é utilizada nas placas de pistões de câmbios automáticos, através das equações apresentadas acima.

$$k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot Na}$$

Logo,

$$D = d - e$$

$$D = 6,5 - 0,98$$

$$D = 5,52 \text{ mm}$$

Então,

$$k = \frac{(0,98)^4 \cdot (77200)}{8 \cdot (5,52)^3 \cdot 6,5}$$

$$k = 8,14 \text{ N/mm}^2$$

Com isso, foi possível verificar que a rigidez de uma única mola de um conjunto de placa de retorno dos pistões possui o valor de  $k = 8,14 \text{ N/mm}^2$ , desta forma, aplica-se esse resultado na equação geral para determinar qual a força necessária que o encolhedor desempenhará durante o processo de recuo do conjunto.

### 3.5 Força aplicada nas placas dos pistões

No estudo anterior pode-se verificar que em uma única mola a sua rigidez é de  $k = 8,14 \text{ N/mm}^2$ , deste modo, aplicando a Equação (2) que trata da rigidez de mola quando o máximo deslocamento do conjunto é de 2 mm. Desta forma, obteve-se:

$$F = k \cdot y$$

$$F = 8,14 \cdot 2$$

$$F = 16,28 \text{ N em cada mola da placa}$$

As placas de conjunto de molas em sua grande maioria levam de 15 a 20 molas, instaladas paralelamente, com isso, multiplica-se o valor de força unitário por mola pela quantia total de molas existentes no conjunto.

$$F = 16,28 \cdot 20$$

$$F = 325,6 \text{ N na placa dos pistões}$$

De acordo com a placa apresentada da Figura 17, é possível observar que ela leva o número máximo de 20 molas, sendo que a força total para deslocar o conjunto em no máximo 2 mm é de  $F = 325,6 \text{ N}$ . Com isso, é possível prosseguir com o estudo para a definição da geometria do

encolhedor e as dimensões necessárias para que ele agüente a força aplicada e ao mesmo tempo seja uma ferramenta ergonomicamente correta, obedecendo as normas de ergonomias.

Figura 17 - Cálculos de força aplicada no conjunto da placa de retorno

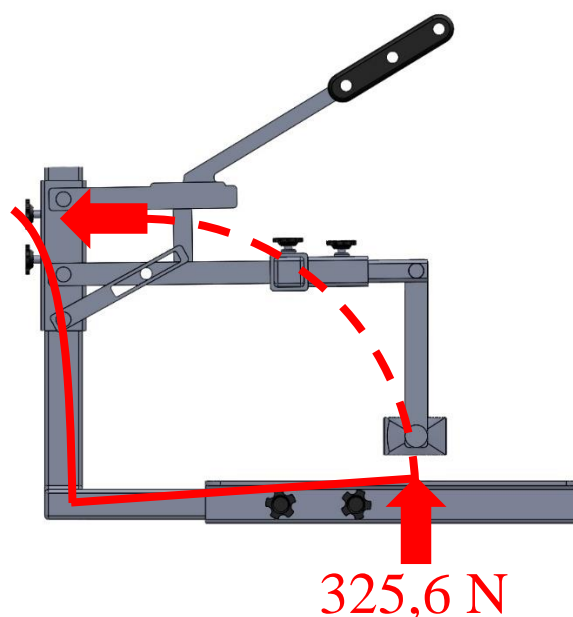


Fonte: Placa de pistão de embreagem câmbio toyota A245E

### 3.6 Cálculo do momento fletor na haste do encolhedor

Após a definição do esboço definitivo do dispositivo, tendo as dimensões, as corretas localizações dos componentes da ferramenta, os seus movimentos e o material que será utilizado, realizou-se uma simulação através de um software de cálculos, buscando o maior valor de momento fletor desenvolvido na haste do encolhedor. Este momento é desenvolvido quando a ferramenta está regulada na máxima altura, no final da seção do tubo da haste, cerca de 600mm da base do encolhedor e quando a ferramenta está com sua alavanca de travamento do sistema acionada, deixando a ferramenta tensionando as molas das placas dos pistões, desta forma, a força desenvolvida é contrária daquela aplicada na alavanca de acionamento. Desta forma será possível calcular as tensões máximas de cisalhamento ao longo do tubo, escolhendo qual as dimensões necessárias que o tubo deve possuir para que resista a força aplicada sem falhar. Na Figura 18 é possível verificar como o momento fletor é desenvolvido ao longo da haste da ferramenta durante o processo de recuo das placas dos pistões.

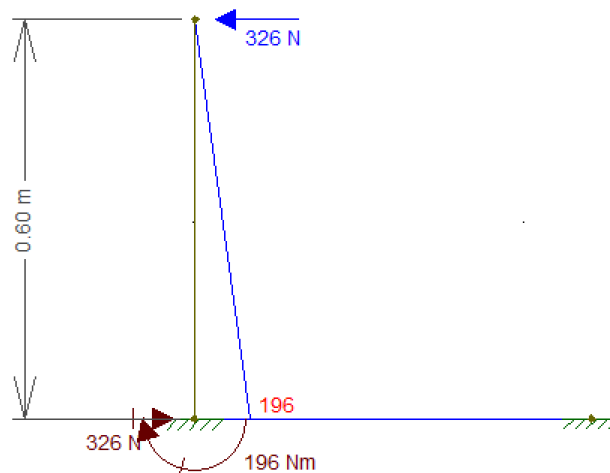
Figura 18 - Exemplo do momento fletor desenvolvido na ferramenta



Fonte: Autor

Através da simulação do software *ftool*, chegou-se a o resultado do máximo momento fletor desenvolvido na haste da ferramenta, em sua máxima altura de trabalho. A Figura 19 demonstra o resultado da simulação obtida como 196Nm, desta forma é possível efetuar o dimensionamento do tamanho do tubo, verificando através das tensões de cisalhamento, o tamanho das seções transversais e espessura da chapa do tubo.

Figura 19 - Máximo momento fletor



Fonte: Autor

### 3.7 Dimensionamento da haste do encolhedor

Com os valores de momento fletor obtidos no estudo anterior é possível determinar qual será o diâmetro do tubo para que resista o momento fletor gerado durante a compressão das molas. Inicialmente é definido um tubo com diâmetros de base para os cálculos de acordo com o catálogo da ArcelorMittal, devido a sua precisão das informações fornecidas, contendo informações detalhadas sobre os diâmetros, espessuras de parede, comprimentos e propriedades mecânicas, desta forma inibe-se problemas relacionados a erros de dimensões dos tubos na hora da aquisição do material para a produção da ferramenta. Na Tabela 1 é possível observar o tubo selecionado e as suas respectivas medidas, em seguida será realizado os cálculos para verificação se o tubo irá aguentar os esforços solicitados durante o trabalho.

As dimensões do tudo escolhido através do catálogo são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Dimensões iniciais do tubo

Dimensões iniciais do tubo com o centro vazado				
Largura externa	Espessura	Centroide	Material	Tensão de Escoamento
40 x 40 mm	1,5 mm	20 mm	Aço SAE 1020	250 MPa

Fonte: Catálogo Comercial ArcelorMittal, (2017)

Apos definir as dimensões do tubo, foi verificado se a tensão normal gerada no componente devido ao momento fletor não ultrapassa o limite de escoamento do material. Esse cálculo foi realizado utilizando a equação da resistência dos materiais conforme estabelecido por Hibeller, descrita pela Equação 3.

Primeiramente, é importante entender que o momento fletor induz tensões normais na seção transversal do tubo, as quais devem ser cuidadosamente avaliadas para garantir que o material não atinja ou exceda seu limite de escoamento. O limite de escoamento é a tensão máxima que o material pode suportar antes de sofrer uma deformação plástica permanente.

A equação de resistência dos materiais utilizada para este cálculo, conforme apresentada por Hibeller, considera os parâmetros geométricos do tubo e as propriedades do material. A fórmula para a tensão normal ( $\sigma$ ) causada pelo momento fletor ( $M$ ) é dada por:

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (3)$$

Onde:

$\sigma_{max}$  = tensão normal máxima no elemento, que ocorre em um ponto na área da seção transversal mais afastado do eixo neutro

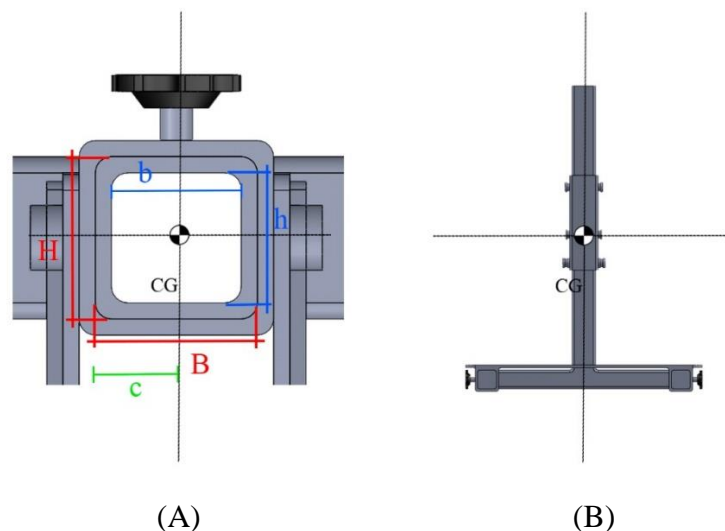
$M$  = momento interno resultante, determinado pelo método das seções e pelas equações de equilíbrio, calculado em torno do eixo neutro da seção transversal

$C$  = distância perpendicular do eixo neutro a um ponto mais afastado do dele

$I$  = momento de inércia da área da seção transversal em torno do eixo neutro

O momento de inércia ( $I$ ) da seção transversal do tubo é um parâmetro fundamental para determinar a resistência do tubo ao dobramento. Ele depende das dimensões geométricas do tubo, tais como o diâmetro externo, o diâmetro interno e a espessura da parede, conforme demonstrado na Figura 20. Na Figura 20 (A) observa-se o momento de inércia do tubo da haste em uma vista superior, já na Figura 20 (B), apresenta-se o momento de inércia do tubo da haste vista da parte frontal do equipamento.

Figura 20 - Momento de inércia do tubo da haste do encolhedor



Fonte: Autor

Para um tubo de seção transversal quadrada, o momento de inércia da seção transversal é calculado com base nas dimensões geométricas do tubo. Este cálculo leva em consideração a largura externa e a largura interna do tubo, refletindo a distribuição da massa do material ao longo da seção transversal. A diferença entre as larguras externa e interna é crucial para determinar a resistência do tubo ao dobramento, pois afeta diretamente o momento de inércia. O cálculo de inércia é representado pela Equação 4.



$$I = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12} \quad (4)$$

Onde:

$B = a$  largura externa do tubo

$H = a$  altura externa do tubo

$b = a$  largura interna do tubo

$h = a$  altura interna do tubo

Desta forma, determinou-se o momento de inércia do tubo quadrado selecionado, considerando suas dimensões externas de 40 mm x 40 mm e espessura de parede de 1,5 mm e posteriormente calculou-se a máxima tensão normal desenvolvida com um fator de segurança de 2. A Tabela 2 representa os dados iniciais para o cálculo.

Tabela 2 - Dados iniciais para o cálculo

Dados iniciais para o cálculo	
Dimensões externas (B = H) = 40 mm	M = 196 x 10 <sup>3</sup> Nm
Espessura parede = 1,5 mm	c = 20 mm
Dimensões internas (b = h) = b - 2t = 40 - 2.1,5 mm = 37 mm	Fator de segurança = 2

Fonte: Autor

$$I = \frac{40 \cdot 40^3 - 37 \cdot 37^3}{12} = 57153,25 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{197 \times 10^3 \cdot 20}{57153,25} = 68,93 \text{ Mpa}$$

Verificou-se que a tensão máxima atingida no tubo da haste do encolhedor é de 63,93 MPa. Ao aplicar este valor a um fator de segurança de 2, crucial para projetos de ferramentas manuais, determina-se a seleção final do tubo para o projeto. A Equação 5 representa o cálculo realizado.

$$Fs = \frac{\sigma_y}{\sigma_{all}} \quad (5)$$

$$Fs = \frac{250}{68,93} = 3,62$$

$$Fs = 3,62 > 2 \text{ (Tubo aprovado)}$$

Diante disso, constata-se que a tensão máxima calculada é consideravelmente menor que a tensão máxima permitida para o projeto. Portanto, conclui-se que o tubo de 40 x 40 x 1,5 mm será capaz de suportar os esforços do momento fletor desenvolvido ao longo da ferramenta.

Com as dimensões do tubo, foi possível obter um coeficiente de segurança maior que 2. Este resultado reflete uma margem de segurança robusta, que é essencial para garantir a confiabilidade e a durabilidade da ferramenta sob condições de operação exigentes.

O processo de seleção envolveu a utilização de dados precisos fornecidos pelo catálogo da ArcelorMittal, que incluíam informações detalhadas sobre diâmetros, espessuras de parede, comprimentos e propriedades mecânicas dos tubos. A escolha do tubo com dimensões de 40 x 40 x 1,5 mm foi fundamentada em cálculos rigorosos que levaram em conta as propriedades mecânicas do material, como resistência à tração, módulo de elasticidade e limite de escoamento.

Durante os testes preliminares, diversos parâmetros foram considerados, incluindo as cargas máximas esperadas durante o uso da ferramenta. A metodologia de cálculo adotada garantiu que o tubo selecionado não apenas cumprisse, mas também superasse as exigências de desempenho estrutural. O coeficiente de segurança obtido, sendo maior que 2, indica que o tubo possui capacidade de suportar cargas mais que o dobro das cargas máximas previstas, proporcionando uma margem de segurança adequada para prevenir falhas.

A aprovação do tubo 40 x 40 x 1,5 mm confirma que ele é adequado para a aplicação específica, atendendo aos requisitos de segurança e desempenho. Este nível elevado de segurança é crucial para aplicações industriais onde a falha do componente poderia resultar em consequências significativas.

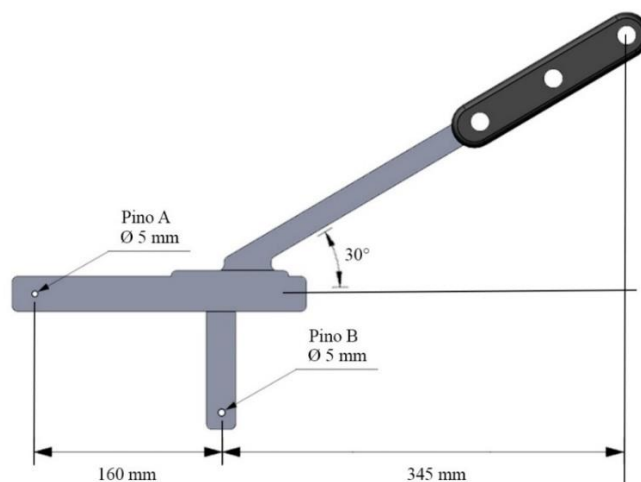
Em conclusão, a cuidadosa seleção das dimensões do tubo, aliada a uma análise técnica detalhada e à validação através de testes preliminares, assegurou a escolha de um componente que atende plenamente às necessidades do projeto. O uso de dados precisos e a obtenção de um coeficiente de segurança superior a 2 garantem que o tubo 40 x 40 x 1,5 mm não apenas cumpre os requisitos estruturais, mas também proporciona uma operação segura e eficiente da ferramenta.

Com o tubo da haste e o corpo do encolhedor já definido, segue para a próxima etapa de dimensionamento do sistema de acionamento.

### 3.8 Cálculo das forças de reações da alavanca e cisalhamento dos pinos

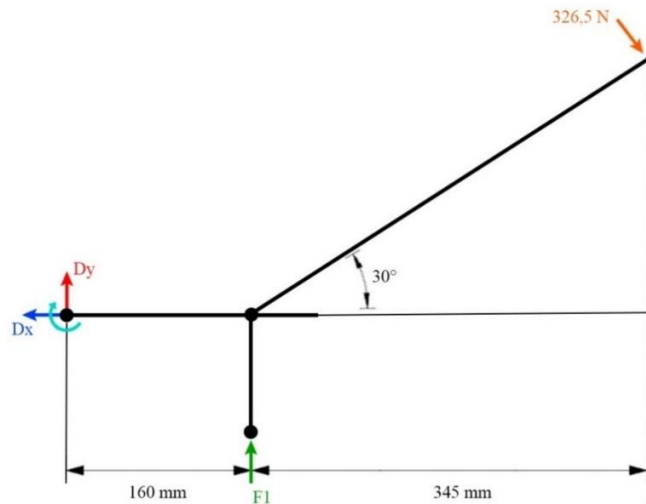
Com o cálculo das reações das forças ao longo do sistema de acionamento da alavanca do encolhedor, é possível verificar a tensão de cisalhamento nos pinos que seguram e compõem o conjunto. Essa análise é essencial para garantir a integridade estrutural e a segurança do equipamento. Na Figura 21 é possível verificar as dimensões do componente da alavanca com seus respectivos diâmetros dos pinos que a compõem.

Figura 21 - Dimensões do componente alavanca e dos pinos



Com base nessas dimensões, foi criado o diagrama de corpo livre do sistema, permitindo uma análise detalhada das forças envolvidas e a verificação das tensões atuantes nos pinos, assegurando que estas estejam dentro dos limites de segurança do material conforme mostra a Figura 22. Com o diagrama de corpo livre definido, calcula-se as reações de equilíbrio.

Figura 22 - Diagrama de corpo livre sistema alavanca e pinos



Fonte: Autor

Então,

$$\begin{aligned}
 EMD &= 0 \\
 - 326,5 \text{ N} \cdot \text{SEN}(30^\circ) \cdot (345 + 160 \text{ mm}) + F1 \cdot 160 \text{ mm} &= 0 \\
 - 82214 \text{ Nm} &= - F1 \cdot 160 \text{ mm} \\
 F1 &= \frac{- 82214 \text{ Nm}}{- 160 \text{ mm}} \\
 F1 &= 513,83 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Prosseguindo,

$$\begin{aligned}
 EFX &= 0 \\
 Dx + 0 \\
 Dx &= 0
 \end{aligned}$$

e,

$$\begin{aligned}
 EFY &= 0 \\
 - 326,5 \text{ N} \cdot \text{SEN}(30^\circ) + F1 + Dy &= 0 \\
 - 163,25 \text{ N} + 513,83 \text{ N} + Dy &= 0 \\
 Dy &= + 163,25 \text{ N} - 513,83 \text{ N} \\
 Dy &= - 350,58 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Depois de determinar as forças de reação, a tensão de cisalhamento nos pinos é verificada. Esses pinos mantêm a alavanca unida e transmitem as forças aplicadas. A tensão de cisalhamento é calculada dividindo a força de cisalhamento pela área da seção transversal do pino, assegurando que não exceda a resistência do material, prevenindo falhas através da Equação 6. Essa etapa é crucial para avaliar a capacidade de cada pino em suportar as forças de cisalhamento aplicadas durante a operação do sistema. A análise das tensões de cisalhamento é fundamental para garantir que os pinos não excedam os limites de resistência do material, evitando falhas estruturais e assegurando a segurança e integridade do equipamento.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (6)$$

Onde:

$V$  = força de cisalhamento exercida no pino

$A$  = área da seção do pino

A Equação para calcular a área da seção transversal dos pinos é definida pela Equação 7.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (7)$$

A tabela 3 organiza os dados para o cálculo das tensões de cisalhamento de cada pino.

Tabela 3 - Forças atuantes em cada pino

$\tau$	Pino A	Pino B
Força atuante	350,58 N	513,83 N
Tipo de Cisalhamento	Duplo	Simple

Fonte: Autor

Quando se fala que o pino A possui um cisalhamento duplo, isto quer dizer que o pino está engastado em ambas as extremidades, ou seja, são dois pontos de contato para ele, desta forma multiplica-se o valor da área por dois conforme o cálculo abaixo.

$$\tau_{pA} = \frac{350,58 \text{ N}}{2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 5^2}{4}\right)}$$

$$\tau_{pA} = \frac{350,58 \text{ N}}{39,26 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{pA} = 8,92 \text{ Mpa}$$

Para o cálculo da tensão de cisalhamento do pino B, considerou-se o cisalhamento simples, pois ele é engastado apenas em uma única seção, bem ao centro do pino.

$$\tau_{pA} = \frac{513,83 \text{ N}}{\left(\frac{\pi \cdot 5^2}{4}\right)}$$

$$\tau_{pA} = \frac{350,58 \text{ N}}{19,63 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{pA} = 26,16 \text{ Mpa}$$

Com isso, definiu-se as tensões de cisalhamento do pino A e B, que foram calculadas usando as respectivas fórmulas de tensão de cisalhamento e áreas de seção transversal dos pinos. Essas tensões são essenciais para avaliar a capacidade de cada pino em resistir às forças de cisalhamento aplicadas durante a operação do sistema. A análise das tensões de cisalhamento ajuda a garantir que os pinos não excedam os limites de resistência do material, promovendo assim a segurança e a integridade das conexões estruturais. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos de cada pino.

Tabela 4 - Tensão de cisalhamento em cada pino

$\tau$	Pino A	Pino B
Tensão de Cisalhamento	8,92 Mpa	26,16 Mpa

Fonte: Autor

Portanto, como o pino B tem a maior tensão de cisalhamento, ele será usado para o cálculo de falha aplicando o fator de segurança.

A análise de falha envolverá comparar a tensão de cisalhamento máxima no pino B com a resistência ao cisalhamento do material do pino que é o AÇO SAE 1020, o mesmo material de toda estrutura do encolhedor e a sua tensão limite de ruptura é de 250 Mpa, levando em consideração o fator de segurança aplicado. Se a tensão máxima estiver dentro dos limites de resistência do material multiplicada pelo fator de segurança, o pino será considerado seguro. Caso contrário, serão necessárias revisões no projeto para garantir a segurança adequada do sistema.

$$F_s = \frac{\sigma_y}{\sigma_{all}}$$

$$F_s = \frac{250}{26,16} = 9,55$$

$$F_s = 9,55 > 2 \text{ (Pino aprovado)}$$

Em conclusão, o fator de segurança calculado para o pino atende ao critério de segurança estabelecido. Neste caso, o valor do fator de segurança (Fs) é 9,55, e ele é comparado com o valor mínimo aceitável, que é 2. A comparação mostra que o fator de segurança é significativamente

maior do que o necessário, o que indica que o pino está adequadamente dimensionado e é capaz de suportar as cargas aplicadas com uma ampla margem de segurança.

Portanto, com base nessa análise, o pino é considerado aprovado e atende aos requisitos de segurança do projeto.

### 3.9 Dimensionamento do tubo do sistema de acionamento

Para o tubo que compõe e suporta o sistema de acionamento da alavanca, escolheu-se um tubo que se ajustasse perfeitamente sobre o tubo da haste do encolhedor. Isso foi feito ao selecionar um novo tubo do catálogo da ArcelorMittal. Para determinar a dimensão ideal desse tubo, utilizou-se uma fórmula para calcular seu diâmetro interno, comparando-o com o tubo principal da haste, onde será inserido. Optou-se por um tubo com um diâmetro ligeiramente maior que o da haste, escolhendo dimensões de 45x45x2,25. Através da Equação 8, obteve-se o resultado:

$$D_i = b - 2 \cdot t \quad (8)$$

Onde:

$b$  = dimensões do lado externo do tubo

$t$  = espessura da parede do tubo

Desta forma,

$$D_i = 45 - 2 \cdot 2,25$$

$$D_i = 40,5 \text{ mm}$$

Conclui-se que o tubo de 45x45x2,25 é o tamanho ideal para o sistema de acionamento, pois encaixará perfeitamente e ainda deixará uma margem de 0,5 mm para a movimentação axial do sistema.

### 3.10 Esforço máximo do operador

O cálculo do esforço máximo do operador ao usar uma alavanca se baseia no princípio da alavanca, onde a relação entre a carga e a força é determinada pelas distâncias dos pontos de aplicação da força e da carga ao ponto de apoio. Utilizando a fórmula da alavanca através da Equação 9, a força necessária pode ser calculada considerando as distâncias e a carga.

$$F \cdot df = C \cdot dc \quad (9)$$

Onde:

$F$  = força aplicada pelo operador

$df$  = distância ao ponto de aplicação da força

$C = \text{carga a ser movida}$

$dc = \text{distância ao ponto de aplicação da carga}$

Desta forma, obteve-se o seguinte resultado:

$$F = \frac{C \cdot dc}{df}$$

$$F = \frac{325,6 \text{ N} \cdot 0,345 \text{ m}}{0,345 \text{ m}}$$

$$F = 325,6 \text{ N esforço pelo operador}$$

Posteriormente, é essencial verificar se o esforço calculado está dentro dos limites seguros, conforme especificado pelas normas de segurança ocupacional e considerando fatores ergonômicos. Qualquer ajuste necessário deve ser feito para garantir a segurança e eficiência do trabalho.

A NR-17, que foca na ergonomia, não aborda diretamente as forças em alavancas, mas estabelece diretrizes gerais para garantir que as condições de trabalho sejam adaptadas às necessidades dos trabalhadores. Isso inclui garantir que as atividades, como o levantamento, transporte e descarga de materiais, sejam realizadas de forma a não sobrecarregar a capacidade física dos trabalhadores.

Embora a norma não especifique valores exatos para forças em alavancas, o esforço de 325,6 N não é considerado excessivamente elevado em muitos contextos. Isso sugere que a maioria dos trabalhadores deveria ser capaz de operar uma alavanca dessa magnitude sem risco significativo de lesões.

No entanto, é importante ressaltar que a segurança não depende apenas da força aplicada, mas também de fatores como postura, técnica adequada e treinamento dos operadores. Portanto, embora o esforço de 325,6 N possa ser considerado razoável, é essencial garantir que as práticas de trabalho estejam em conformidade com as diretrizes de segurança e ergonomia para prevenir lesões e promover um ambiente de trabalho saudável.

### **3.11 Altura de trabalho da ferramenta**

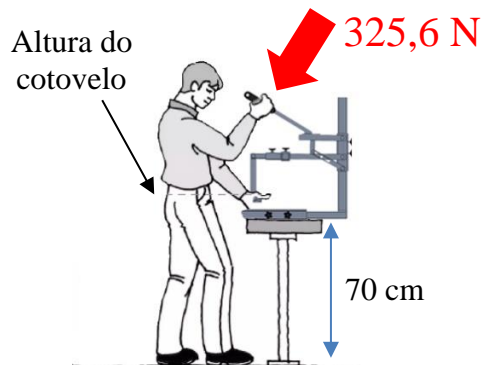
Para garantir que o operador mantenha uma postura correta durante a operação do dispositivo, é essencial que este seja instalado em uma bancada com altura padrão de 70 cm em relação ao solo. Esta altura foi cuidadosamente selecionada para assegurar que o operador trabalhe conforme as normas de ergonomia discutidas no capítulo anterior.

A instalação adequada permite que a coluna do operador permaneça ereta, com os movimentos sendo realizados principalmente pelo cotovelo e pelo braço, o que reduz significativamente o risco de lesões musculoesqueléticas. A altura de 70 cm mantém o cotovelo do operador em uma posição confortável e ergonômica, promovendo não apenas a segurança, mas também a eficiência no trabalho.

Além disso, a bancada deve ser estável e robusta para suportar o dispositivo sem oscilações. Na Figura 23, é possível observar a instalação correta da ferramenta, destacando a postura ideal

do operador e a disposição do equipamento. Seguir essas diretrizes é crucial para garantir um ambiente de trabalho seguro e produtivo, minimizando a fadiga e o desconforto durante a operação.

Figura 23 - Altura de trabalho da ferramenta



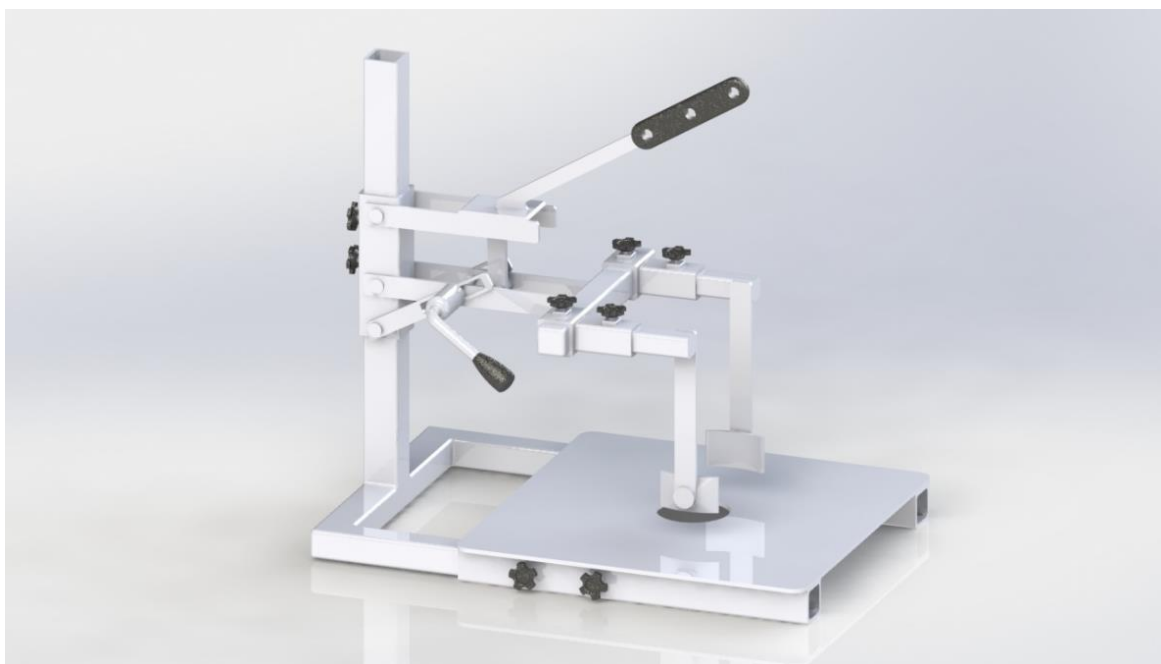
Fonte: Autor

Para garantir que a ferramenta permaneça imóvel sobre a bancada, recomenda-se fixá-la soldando sua base diretamente na mesa da bancada. Esse procedimento elimina os riscos de queda da ferramenta e assegura maior precisão durante sua operação. Além de aumentar a segurança, a fixação adequada contribui para a estabilidade da ferramenta, permitindo que o operador execute tarefas com mais eficiência e confiança.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo expõe os resultados alcançados durante o desenvolvimento do projeto. Nele, é apresentado o encolhedor de molas de pistão automático, que inclui uma alavanca de travamento para o sistema de encolhimento em sua versão final. Foi utilizado um modelo 3D para gerar vistas isométricas, explodidas e detalhadas, com o objetivo de facilitar a compreensão do projeto e auxiliar na montagem final do equipamento, reduzindo os possíveis erros na fabricação do produto. A Figura 24 exibe uma imagem renderizada do equipamento na sua forma final.

Figura 24 - Modelamento 3D renderizado do equipamento



Fonte: Autor

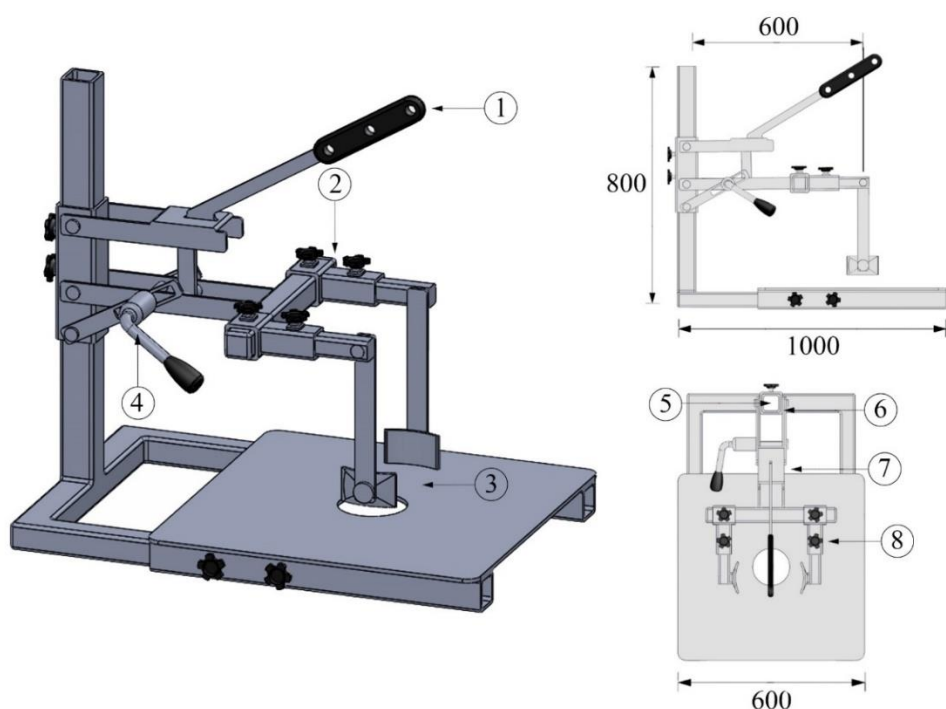


#### 4.1 Fase 4: Detalhamento do projeto

Como mencionado anteriormente, a fase 4 do processo envolve o detalhamento completo do projeto, fornecendo uma descrição detalhada do produto. Essa etapa é elaborada com o objetivo de facilitar o entendimento e a fabricação do equipamento, e é considerada a última fase antes da conclusão do projeto.

O modelo tridimensional do equipamento, ilustrado na Figura 25, exibe o produto junto com seus respectivos conjuntos e componentes. Este modelo é composto por vários conjuntos desenvolvidos especificamente para atender às necessidades do equipamento, permitindo que ele realize duas funções distintas: a compressão das molas das placas dos pistões e a fixação em uma posição estática, de modo que o técnico possa remover a trava que compõe o conjunto. Após a remoção da trava, o técnico pode retrair o conjunto. O resultado desse processo são as peças desmontadas.

Figura 25 - Modelamento 3D, componentes e dimensões



1. Alavanca de acionamento
2. Porcas de travamento
3. Sistema de adaptador universal
4. Alavanca de travamento do sistema

5. Tubo haste 40x40x1,5mm
6. Tubo 45x45x2,25mm
7. Pinos Ø 5mm
8. Porcas rosca M8

(A)

(B)

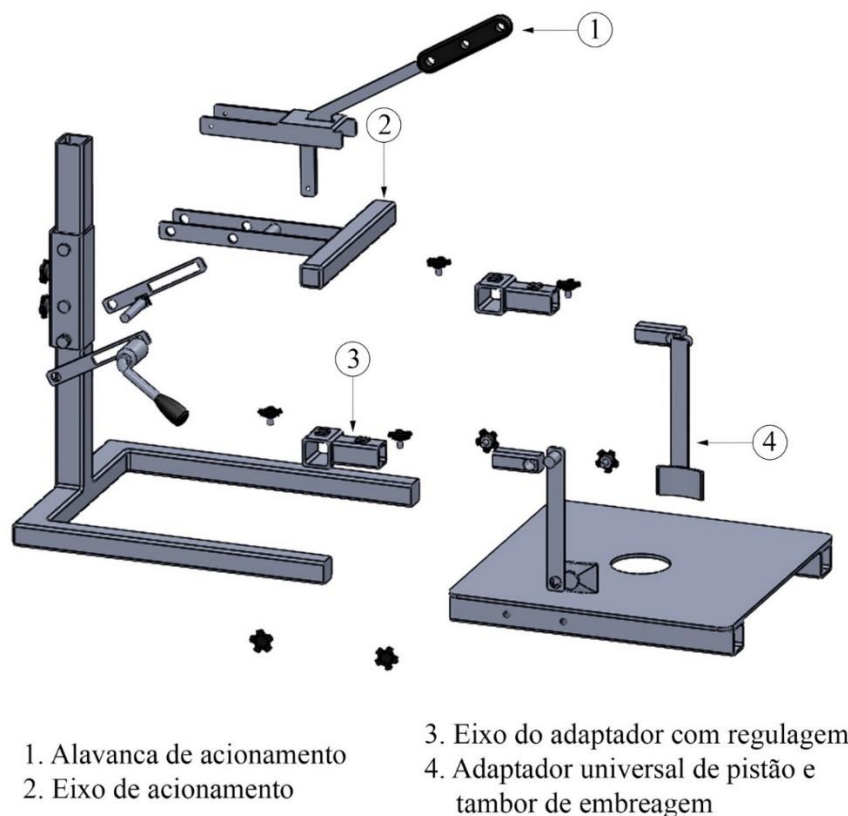
Fonte: Autor

De acordo com a vista isométrica da Figura 25 (A), todos os principais componentes do equipamento estão representados, a alavanca de acionamento, a alavanca de travamento, as porcas de travamento o corpo do encolhedor e o adaptador universal que atende qualquer tipo de cambio e tambor de embreagem, isso facilita uma percepção mais detalhada dos conjuntos e peças que constituem o produto. Essa representação proporciona uma compreensão clara de como cada peça se encaixa e interage dentro do sistema completo. As vistas superiores e laterais do lado da Figura 25 (B) exibem a geometria e as dimensões tanto do corpo do encolhedor quanto dos diâmetros dos pinos das junções, estes são adaptados tanto para atender tambores de embreagens pequenos e as

carcaças de câmbios grandes, assim oferecendo um entendimento mais preciso dessas geometrias. Essas vistas detalhadas ajudam a esclarecer a configuração e a interação entre os diversos componentes, permitindo uma visualização abrangente e intuitiva do funcionamento e montagem do equipamento.

Para facilitar a montagem e visualização do equipamento, foi desenvolvida uma vista explodida. Esta vista exhibe todos os componentes do equipamento separados, mas organizados de maneira que suas posições e relações dentro do conjunto final são claramente compreensíveis. Cada peça é mostrada em sua localização correta em relação às outras, o que ajuda a identificar onde cada componente deve ser instalado. A vista explodida da Figura 26 também permite visualizar como as peças se conectam e interagem, oferecendo uma orientação detalhada para a montagem correta do equipamento e minimizando possíveis erros durante esse processo.

Figura 26 - Vista isométrica explodida do equipamento



Fonte: Autor

## 4.2 Funcionamento do equipamento

Basicamente o funcionamento da ferramenta é simples, porém bastante eficaz para a desmontagem do conjunto. As etapas de funcionamento são as seguintes:

- **Aplicação da Força na Alavanca:** o operador aplica força na alavanca da ferramenta.
- **Acionamento do Sistema:** a força aplicada faz com que o sistema de acionamento desça.
- **Contato com a Placa de Molas:** o sistema de acionamento entra em contato com a placa de molas dos pistões.
- **Recuo da Placa de Molas:** a placa de molas recua a uma distância suficiente para aliviar a pressão na chaveta que trava o conjunto.
- **Alavanca de travamento:** através da alavanca de travamento acionada o sistema se manterá travado na posição das molas recuadas, liberando as mãos do operador.

- **Remoção da Chaveta:** com a pressão aliviada, é possível retirar a chaveta usando um alicate.
- **Desmontagem do Conjunto:** após a remoção da chaveta, todo o conjunto pode ser desmontado.

Este processo simples permite a desmontagem eficiente e segura da ferramenta, garantindo uma operação fácil e precisa.

## 4.2 Avaliação de custos e viabilidade

A análise dos custos é um dos principais elementos que influenciam a viabilidade de um projeto novo. O custo de fabricação de qualquer produto, especialmente de um projeto inovador, deve ser criteriosamente examinado para assegurar que justifique a sua realização. Isso implica não apenas considerar os gastos diretos associados aos materiais e à mão de obra, mas também os custos indiretos, como despesas administrativas e operacionais. Uma avaliação precisa dos custos é fundamental para determinar se o projeto pode ser executado de maneira rentável, levando em conta os preços de mercado e as expectativas de retorno sobre o investimento.

Para o projeto do encolhedor, há várias variáveis que afetam diretamente o custo de produção do equipamento. Estas incluem a seleção dos materiais utilizados na fabricação, a qualidade do produto final, a precisão dos encaixes, a segurança proporcionada ao reparador e, sobretudo, as modificações que permitem múltiplas funções ao equipamento como a adição da alavanca de travamento.

De acordo com a revisão bibliográfica, o principal objetivo na construção deste encolhedor é atender a qualquer tipo de cambio e tambor de embreagem e de uma maneira mais prática e rápida. Isso faz com que seu custo seja mais elevado do que aqueles escolhedores mais simples que já existem no mercado e que são específicos de um modelo de cambio. Esses fatores ocasionaram mudanças em relação aos equipamentos já existentes, agregando ao equipamento mais componentes e conseqüentemente uma quantidade maior de peças aumenta seu custo de produção. O Quadro 5 fornece detalhes sobre a avaliação de custos relacionados à produção do equipamento.

Quadro 5 - Custos aproximados para a fabricação do encolhedor

<b>CUSTOS APROXIMADOS PARA A FABRICAÇÃO DO ENCOLHEDOR</b>					
	CD.	Descrição	Custo (Uni.)	Qtd.	Custo
Tubos	T40Q	Tubo Quadrado 40x40x1,5mm	R\$ 19,33	2,5	R\$ 48,32
	T45Q	Tubo Quadrado 45x45x2,25mm	R\$ 23,92	1	R\$ 23,92
Chapas	CH1	Chapa Aço 625x605x2mm	R\$ 472,25	1	R\$ 472,25
Porcas	PRM	Porcas Plásticas Manipulo	R\$ 6,80	10	R\$ 68,00
Parafusos	PM8	Parafusos M8x20 Aço Inox	R\$ 4,60	10	R\$ 46,00
Manoplas	MNU	Manoplas Plástica Poliuretano	R\$ 35,58	2	R\$ 71,16
Serviços	SOL	Serviço Solda em Geral	R\$ 25,00	10	R\$ 250,00
	TOR	Serviço Torno em Geral	R\$ 60,00	10	R\$ 600,00
<b>Total</b>					<b>R\$ 1.579,65</b>

Fonte: Autor

Ao comparar-se os custos de produção do encolhedor desenvolvido com um modelo já presente no mercado, percebe-se que o encolhedor desenvolvido é mais caro, o modelo existente é encontrado por cerca de 1.280,00 em pesquisas online, enquanto o encolhedor desenvolvido está cotado em 1.579,65 ainda sem a margem de lucro. No entanto, o encolhedor que foi desenvolvido apresenta uma série de vantagens substanciais em termos de funcionalidade e versatilidade o que justifica o valor mais elevado. Enquanto o modelo pré-existente se limita ao encolhimento de apenas dois tipos específicos de embreagens de pistões, o encolhedor desenvolvido possui um escopo universal, capaz de lidar com uma ampla gama de embreagens, pistões e até mesmo câmbios, tudo isso mantendo o preço acessível. Além disso, a inclusão de uma trava adicional no encolhedor desenvolvido facilita e agiliza o processo de trabalho, proporcionando uma operação mais eficiente e segura. Essas características adicionais não apenas aumentam o valor percebido do encolhedor desenvolvido, mas também o colocam como uma escolha superior em termos de custo-benefício e desempenho para os reparadores.

## 5 CONCLUSÕES

Devido à grande demanda em ferramentas por parte dos reparadores de uma oficina mecânica de câmbios automáticos, principalmente a ferramenta para efetuar a desmontagem do pistão do câmbio, e com o objetivo de melhorar um encolhedor já existente, deu-se início a execução desse trabalho.

Pensando nisso, o presente projeto teve como principal objetivo desenvolver um encolhedor baseado em uma versão mais simplificada da ferramenta, que está em operação por um reparador do ramo, visando algumas melhorias em relação à ergonomia da ferramenta e também que a mesma atenda o maior número de tambores, sem que seja necessária vários números de adaptadores para isso, da mesma forma atenda a carcaça de caixas de câmbios com grandes dimensões, ou seja, uma ferramenta mais ergonômica e universal para qualquer tipo de câmbio.

Para chegar no resultado desejado, inicialmente realizou-se um estudo da força necessária que o encolhedor precisa desempenhar para efetuar o encolhimento do pistão ou do conjunto de placa de molas do pistão, juntamente com o estudo de algumas normas para a execução de ferramentas.

Após isso, desenvolveu-se uma lista de requisitos a serem seguidas para o desenvolvimento do encolhedor, através destes requisitos foi possível criar duas combinações de projeto para a execução da ferramenta. Aplicando-se uma nova filtragem nas duas combinações, foi possível obter uma única solução que melhor se encaixa para os requisitos de projeto, sendo a etapa mais importante para a definição da ferramenta.

Para a execução dessas listas de requisitos da ferramenta, avaliou-se alguns comentários feitos por profissionais que já trabalham na área e possuem um modelo de ferramenta mais simplificado para a execução do serviço, sendo essa uma contribuição muito importante para o projeto.

Finalmente, utilizando as informações coletadas nas etapas anteriores, foi possível elaborar um esboço inicial da ferramenta encolhedor de pistão automático automotivo. Esse esboço proporciona uma visão antecipada do que se espera para a forma final da ferramenta, apresentando todos os componentes e formas do equipamento.

Ao finalizar o desenvolvimento do encolhedor de pistão automático automotivo, além dos passos mencionados, percebeu-se a necessidade de incorporar uma alavanca para travar o sistema de acionamento, visando aprimorar ainda mais a operacionalidade da ferramenta. Esse componente foi dimensionado meticulosamente utilizando fórmulas específicas, levando em consideração as forças envolvidas e as exigências de segurança. Através desse processo, foi possível determinar as dimensões ideais dos tubos das hastes, do sistema de acionamento e dos

pinos que compõem os sistemas móveis do encolhedor. Essa adição não apenas proporciona maior facilidade de uso, mas também aumenta a eficiência e segurança durante o processo de trabalho.

Além dos passos mencionados, também se avaliou os custos envolvidos no processo. Surpreendentemente, constatou-se que, apesar de todas as melhorias implementadas, o custo de produção do encolhedor foi equivalente ao de um encolhedor mais simples disponível no mercado. Isso é um grande feito, pois significa que conseguiu-se agregar valor ao produto sem aumentar significativamente seu preço. Essa equivalência de custo é especialmente significativa considerando as melhorias em termos de funcionalidade, versatilidade e eficiência que o encolhedor oferece em comparação ao modelo existente.

Também, calculou-se qual o esforço máximo do operador ao operar o equipamento, resultando em um baixo esforço, onde a maioria dos trabalhadores deveria ser capaz de operar uma alavanca dessa magnitude sem risco significativo de lesões.

Definiu-se a altura ideal para a instalação da ferramenta, garantindo que ela seja posicionada a 70 cm do solo em uma bancada específica. Essa medida foi estabelecida para assegurar a correta ergonomia durante o uso da ferramenta.

Com essa última etapa concluída, o projeto do encolhedor está pronto para avançar para a fase de prototipagem e teste, com a expectativa de oferecer uma solução ainda mais completa e eficaz para os reparadores de câmbios automáticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AKASHI, Alexandre. Câmbio de dupla embreagem: quais são as diferenças, custos de manutenção e problemas. **Revista Auto Esporte**, 2017. Disponível em: <<https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2017/10/cambio-de-dupla-embreagemquais-sao-diferencas-custo-de-manutencao-e-problemas.html>>. Acesso em: setembro de 2023.

Associação dos Profissionais Técnicos em Transmissão Automática, APPTA. **A245-E TOYOTA COROLLA**. São Caetano do Sul, São Paulo, 2003, 168 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO NBR 12100:2013**. Segurança de Máquinas, princípios gerais de projeto. Rio de Janeiro, 2013.

BUDYNAS, R. G.; J. KEITH NISBETH. **Elementos de Máquinas de Shigley - 10ª Edição**. McGraw Hill Brasil, 2016.

CHEN, Y. **Automotive Transmissions: Design, Theory and Applications**. Tianjin, China. Springer Nature, 2020.

GENTA, G.; MORELLO, L. **The automotive chassis: components design**. Heidelberg. Springer Holanda, 2009.

HARALD NAUNHEIMER et al. **Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 10. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2018. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 28 maio 2024.

LECHNER, G.; NAUNHEIMER, H. **Automotive transmission: fundamentals, selection, design and application**. Stuttgart. Springer, 1999.

Ministério do Trabalho e Emprego, Gov. **Norma Regulamentadora No. 17 (NR-17)**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-17-nr-17>>. Acesso em: novembro de 2023.

PAHL, G. et al. **Projeto de Engenharia – Fundamentos no desenvolvimento eficaz de produtos – Métodos e aplicações**. 6ª. ed. S.1: Edgard Blucher, 2005.

MOTA, Thiago Soares, **Implantação de um programa de manutenção preventiva em impressoras**. Minas Gerais, Brasil, 2017.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Sistema de motores e transmissão**. São Paulo: SENAI-SP. 2016.

SILVEIRA, Guilherme, **Câmbio automático, saiba fazer a manutenção**. 2016. Disponível em:<<https://revistaautoesporte.globo.com/Servico/noticia/2014/02/cambio-automatico-saibafazer-manutencao.html>> Acesso em: setembro de 2023.

## ANEXOS

### Anexo 1 – Propriedades mecânicas dos fios de molas da placa do pistão de embreagem

**Tabela 10-5** Propriedades mecânicas de alguns fios de mola.

Material	Limite elástico, porcentagem de $S_{ut}$ torção tração		Diâmetro $d$		$E$		$G$	
			in	mm	Mpsi	Gpa	Mpsi	GPa
Fio musical A228	65-75	45-60	<0,032	<8	29,5	203,4	12,0	82,7
			0,033-0,063	0,8-1,61	29,0	200	11,85	81,7
			0,064-0,125	1,61-3	28,5	196,5	11,75	81,0
			>0,125	>3	28,0	193	11,6	80,0
Mola de fio duro estirado A227	60-70	45-55	<0,032	<8	28,8	198,6	11,7	80,7
			0,033-0,063	0,8-1,6	28,7	197,9	11,6	80,0
			0,064-0,125	1-3	28,6	197,2	11,5	79,3
			>0,125	>3	28,5	196,5	11,4	78,6
Revenido em óleo A239	85-90	45-50			29,5	196,5	11,2	77,2
Mola de válvula A230	85-90	50-60			29,5	203,4	11,2	77,2
Cromo-vanádio A231	88-93	65-75			29,5	203,4	11,2	77,2
			A232	88-93		29,5	203,4	11,2
Cromo-silício A401	85-93	65-75			29,5	203,4	11,2	77,2
Aço inoxidável								
A313*	65-75	45-55			28	193	10	69,0
17-7PH	75-80	55-60			29,5	208,4	11	75,8
414	65-70	42-55			29	200	11,2	77,2
420	65-75	45-55			29	200	11,2	77,2
431	75-76	50-55			30	206	11,5	79,3
Fósforo-bronze B159	75-80	45-50			15	103,4	6	41,4
Berílio-cobre B197	70	50			17	117,2	6,5	44,8
	75	50-55			19	131	7,3	50,3
Liga inconel X-750	65-70	40-45			31	213,7	11,2	77,2

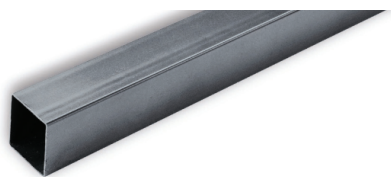
\*Também inclui 302, 304 e 316.

Nota: Ver a Tabela 10-6 para valores de projeto de tensão torcional admissível.

Fonte: Budynas e Nisbett

### Anexo 2 - Catálogo dimensional de tubos

## Tubos Quadrados



kg/6 m

Diâmetro (mm)	Espessura (mm)														
	0,75	0,90	1,06	1,20	1,50	1,90	2,00	2,25	2,65	3,00	3,35	3,75	4,25	4,75	
15 x 15	2,05	2,44	2,85	3,20	3,93										
20 x 20	2,76	3,29	3,85	4,34	5,35	6,67	7,05								
25 x 25	3,47	4,15	4,86	5,48	6,78	8,47	8,97	10,0	11,6						
30 x 30	4,19	5,00	5,87	6,62	8,20	10,3	10,9	12,2	14,2						
35 x 35		5,86	6,87	7,75	9,63	12,1	12,8	14,3	16,7	18,7					
40 x 40		6,71	7,88	8,89	11,0	13,9	14,7	16,5	19,1	21,6					
45 x 45				10,0	12,5	15,7	16,6	18,6	21,8	24,5					
50 x 50				11,2	13,9	17,5	18,6	20,8	24,3	27,4					
55 x 55				12,3	15,3	19,3	20,5	22,9	26,9	30,2					
60 x 60				13,4	16,7	21,1	22,4	25,1	29,4	33,1					
63,5 x 63,5					17,7	22,4	23,7	26,6	31,2	35,1					
70 x 70					19,6	24,7	26,2	29,4	34,5	38,9	43,2	48,2	54,2	60,3	
80 x 80					22,4	28,3	30,1	33,7	39,6	44,6	49,6	55,3	62,4	69,4	
100 x 100					28,1	35,5	37,7	42,3	49,7	56,1	62,5	69,7	78,7	87,6	

Fonte: ArcelorMittal