

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA

GUILHERME VICENZI

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA FABRICAÇÃO DE PINO DE
CENTRO PARA FEIXE DE MOLAS**

CAXIAS DO SUL

2019

GUILHERME VICENZI

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA FABRICAÇÃO DE PINO DE CENTRO PARA FEIXE DE MOLAS

Trabalho de Conclusão de Curso II (MEC0291AI) apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Processos de fabricação, Seleção econômica.

Orientador Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano.

CAXIAS DO SUL

2019

GUILHERME VICENZI

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA FABRICAÇÃO DE PINO DE CENTRO PARA FEIXE DE MOLAS

Trabalho de Conclusão de Curso II (MEC0291AI) apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Processos de fabricação, Seleção econômica.

Aprovado em 19/06/2019.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano.
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Alexandre Fassini Michels
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Sandro Rogério dos Santos
Universidade de Caxias do Sul - UCS

*Dedico este trabalho à minha família,
meus pais e minhas irmãs, que sempre
estiveram ao meu lado.*

RESUMO

O setor automotivo possui representatividade e influência na economia atual brasileira e devido à baixa qualidade das rodovias no país há uma diminuição da vida útil dos componentes, principalmente das peças que compõe o sistema de suspensão de veículos da linha pesada. Neste contexto, objeto de estudo deste trabalho é o pino de centro para feixe de molas, um fixador responsável por unir e manter todas as lâminas do feixe de molas da suspensão mecânica de veículos pesados alinhadas juntamente ao eixo. Este trabalho, desenvolvido em uma empresa metalúrgica caxiense, visa elaborar um estudo de viabilidade técnica e econômica para a fabricação destes itens, que hoje são comprados e revendidos. Para tal, foram utilizados conceitos de engenharia reversa para propor os desenhos do produto e a matéria prima selecionada. Também foram realizados ensaios em amostras do material proposto para a obtenção da curva de escoamento e cálculos analíticos referentes ao processo buscando identificar os esforços e deformações máximas. Para o processo de fabricação que demonstrou necessidade de investimentos foi selecionado equipamento a ser adquirido e posteriormente definidos os custos do produto para fabricação interna. Ao final foi avaliada a viabilidade econômica através do valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o tempo de recuperação de capital investido (*payback time*) para três diferentes cenários, um normal, um pessimista e outro otimista. O estudo apresentou resultados de VPL negativo para o cenário pessimista, VPL levemente negativo para o cenário normal e um VPL positivo para o cenário otimista. O tempo de *payback* atingido para o cenário normal é de 3,4 anos.

Palavras-chave: Fixadores. Engenharia reversa. Forjamento a frio. Viabilidade econômica. Valor presente líquido. Taxa interna de retorno.

ABSTRACT

The automotive sector has representativeness and influence in the current Brazilian economy and due to the poor quality of the highways in the country there is a decrease in the useful life of the components, especially the component parts of the suspension system of vehicles of the heavy line. In this context, the object of study of this work is the center bolt for leaf springs, a fastener responsible for joining and maintaining all the blades of the leaf spring of the mechanical suspension of heavy vehicles aligned along the axis. This work, developed in a metallurgical company, aims to elaborate a technical and economical feasibility study for the manufacture of these items, which are now bought and resold. For this, reverse engineering concepts were used to propose the designs of the product and the selected raw material. Also, tests were carried out on samples of the proposed material to obtain the yield curve and analytical calculations referring to the process in order to identify the maximum stresses and deformations. For the manufacturing process that demonstrated the need for investments, equipment was selected to be acquired and subsequently the costs of the product for internal manufacturing were defined. In the end, the economic viability was evaluated through net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and payback time for three different scenarios, one normal, one pessimistic and one optimistic. The study presented negative NPV results for the pessimistic scenario, slightly negative NPV for the normal scenario and a positive NPV for the optimistic scenario. The payback time reached for the normal scenario is 3.4 years.

Keywords: Fasteners. Reverse engineering. Cold forging. Economical viability. Net present value. Internal rate of return.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pino de centro e feixe de molas	15
Figura 2 - Comparação entre projeto tradicional e projeto via engenharia reversa	18
Figura 3 - Comparativo entre os processos	23
Figura 4 - Laminação com ferramenta de encosto.....	24
Figura 5 - Laminação em gravação única	24
Figura 6 - Laminação de rosca com cilindro e segmento de rosqueamento.....	25
Figura 7 - Estágios de conformação de um elemento de fixação.....	27
Figura 8 - Diagrama de fluxo de caixa.....	29
Figura 9 - Variações do produto.....	33
Figura 10 - Modelos de pinos de centro.....	34
Figura 11 - Representação percentual do volume de comercialização do produto.....	35
Figura 12 - Fluxograma das etapas de trabalho.....	36
Figura 13 - Ensaio de tração com extensômetro	37
Figura 14 - Gráfico tensão convencional por deformação relativa.....	42
Figura 15 - Gráfico de tensão verdadeira x deformação verdadeira	43
Figura 16 - Variações das cotas de diâmetros e cabeças	44
Figura 17 - Fluxograma dos processos.....	45
Figura 18 - Laminadora de rosca em gravação única	46
Figura 19 - Conformação do pino	47
Figura 20 - Prensagem cabeça modelo 9/16" CB	48
Figura 21 - Esboço esquemático redução do diâmetro modelo 9/16" CB.....	50
Figura 22 - Estágios de prensagem da peça.....	51
Figura 23 - Prensa automática dupla ação.....	53
Figura 24 - Comparativo VPL entre cenários propostos	57
Figura 25 - Comparativo TIR entre cenários propostos	58
Figura 26 - Prensagem cabeça modelo M12 CA.....	71
Figura 27 - Prensagem cabeça modelo M12 CB.....	72
Figura 28 - Cotas conformação redução do diâmetro	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Elementos de liga e suas influências nas propriedades dos aços	20
Quadro 2 - Propriedades para fixadores polegadas Grau 5	21
Quadro 3 - Propriedades para fixadores milimétricos Classe 8.8.....	22
Quadro 4 - Comparativo entre fornecedores da prensa automática de duplo estágio	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da análise da composição química.....	40
Tabela 2 - Comparativo material PL 22 x amostra analisada	41
Tabela 3 - Resultados do limite de tensão máxima	43
Tabela 4 - Comparação de custos de produção entre os cenários propostos	55
Tabela 5 - Tempo de recuperação de capital investido entre cenários propostos.....	58
Tabela 6 - Resultados constante da equação e índice de encruabilidade	66

LISTA DE SIGLAS

CA	Cabeça Alta
CAL	Cabeça Alta Larga
CB	Cabeça Baixa
CDB	Certificado de Depósito Bancário
CEA	Cabeça Extra Alta
CL	Cabeça Larga
CLE	Cabeça Larga Especial
CNT	Confederação Nacional do Transporte
ER	Engenharia Reversa
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UNS	<i>Unified National Standard</i>
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

K_f	Tensão de escoamento
C	Constante da curva de escoamento
n	Índice de encruabilidade
φ	Deformação verdadeira
F_p	Força de prensagem
A_{1p}	Área de contato no final da prensagem
K_{f1}	Tensão de escoamento no final da prensagem
μ	Coefficiente de atrito
d_1	Diâmetro no final da prensagem
h_1	Altura após a prensagem
φ_h	Deformação na direção da altura
h_0	Comprimento da geratriz
s	Relação de prensagem
d_0	Diâmetro da geratriz
$VPL(i)$	Valor Presente Líquido
FC_j	Fluxo de caixa para $j = [0; n]$
j	Período genérico percorrendo todo o fluxo de caixa
i	Taxa de desconto
n_p	Número de períodos
A_0	Área inicial
ε	Deformação relativa
F	Força

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	ENGENHARIA REVERSA.....	17
2.2	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA.....	18
2.2.1	Aços e suas classificações.....	18
2.2.2	Elementos de liga e sua influência nas propriedades dos aços.....	19
2.2.3	Aços ao boro.....	20
2.2.4	Normas para fixadores.....	21
2.3	PROCESSOS DE ROSQUEAMENTO.....	22
2.3.1	Tipos de rosqueamento por laminação.....	23
2.4	PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO.....	25
2.4.1	Forjamento a frio.....	25
2.4.2	Curvas de escoamento.....	26
2.4.3	Prensagem.....	26
2.5	ENGENHARIA ECONÔMICA.....	28
2.5.1	Fluxo de caixa.....	29
2.5.2	Taxa mínima de atratividade (TMA).....	29
2.5.3	Valor presente líquido (VPL).....	30
2.5.4	Taxa interna de retorno (TIR).....	30
2.5.5	Tempo de recuperação de capital investido (<i>Payback time</i>).....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1	MODELOS E VARIAÇÕES DO PRODUTO.....	33
3.2	VOLUMES E CUSTOS DE PRODUÇÃO.....	34
3.3	ETAPAS DE TRABALHO.....	35
3.3.1	Teste de composição química.....	36
3.3.2	Seleção de material.....	36

3.3.3	Ensaio de tração	37
3.3.4	Obtenção da curva de escoamento	37
3.3.5	Elaboração dos desenhos dos produtos.....	38
3.3.6	Definição dos processos de fabricação internos e externos.....	38
3.3.7	Cálculos analíticos de Prensagem	38
3.3.8	Seleção e orçamentação de equipamentos	39
3.3.9	Custo final e avaliação da viabilidade econômica	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	TESTE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA	40
4.2	SELEÇÃO DE MATERIAL	40
4.3	ENSAIO DE TRAÇÃO E CURVAS DE ESCOAMENTO	42
4.4	ELABORAÇÃO DOS DESENHOS DO PRODUTO.....	44
4.5	FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	45
4.6	CÁLCULOS ANALÍTICOS DE PRENSAGEM.....	47
4.7	SELEÇÃO E ORÇAMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	52
4.8	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	54
4.8.1	Custos do produto.....	54
4.8.2	Fluxo de Caixa.....	55
4.8.3	Valor presente líquido (VPL)	56
4.8.4	Taxa interna de retorno (TIR).....	57
4.8.5	Tempo de recuperação de capital investido (Payback time)	58
5	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS	62
	APÊNDICE A – DESENHO DOS CORPOS DE PROVA CÍLINDRICOS PARA ENSAIO DE TRAÇÃO.....	65
	APÊNDICE B – MÉDIAS DA CONSTANTE DA EQUAÇÃO E ÍNDICE DE ENCRUABILIDADE DAS CURVAS DE ESCOAMENTO	66
	APÊNDICE C – DESENHO TÉCNICO DOS PINOS DE CENTRO MODELO 9/16” CB	67
	APÊNDICE D – DESENHO TÉCNICO DOS PINOS DE CENTRO MODELO M12 CB	68
	APÊNDICE E – DESENHO TÉCNICO DOS PINOS DE CENTRO MODELO M12 CA.....	69

APÊNDICE F – CÁLCULOS DE Prensagem da Cabeça.....	70
APÊNDICE G – CÁLCULOS DE Prensagem Redução do Diâmetro na EXTREMIDADE	74
APÊNDICE H – CUSTOS DO PRODUTO POR CENÁRIO	77
APÊNDICE I – FLUXOS DE CAIXA POR CENÁRIO	79
ANEXO A – GRAUS DE RESISTÊNCIA E PROPRIEDADES PARA FIXADORES POLEGADAS	82
ANEXO B – CLASSES DE RESISTÊNCIA E PROPRIEDADES PARA FIXADORES MILIMÉTRICOS	83
ANEXO C – TABELA DE DIÂMETROS PRIMITIVOS BÁSICOS	84
ANEXO D – TIPOS DE ROSCA DOS PINOS DE CENTRO.....	85
ANEXO E – TENSÃO DE ESCOAMENTO (k_f) E DEFORMAÇÃO VERDADEIRA (φ)	86
ANEXO F – MATERIAIS PARA CONFORMAÇÃO A FRIO	87
ANEXO G – LAUDO DO ENSAIO DE TRAÇÃO REALIZADO.....	88
ANEXO H – VALORES DE COEFICIENTE DE ATRITO PARA DIFERENTES PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO	89

1 INTRODUÇÃO

O setor automotivo possui representatividade e importante influência na economia atual brasileira. Do ponto de vista da logística, os veículos pesados como caminhões e ônibus desempenham papel fundamental para o escoamento da produção nacional, visto que o transporte no país ocorre em sua maioria através da malha rodoviária. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT) (2018), 60% do total de cargas transportadas no país são conduzidas através de rodovias.

Quando observado então o número de veículos em circulação, conforme levantamento realizado pelo Empresômetro (2018), empresa brasileira de inteligência de negócios em parceria com o Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação (IBPT), a frota circulante no Brasil é de 65,8 milhões de veículos dos mais diversos tipos, sendo que destes, 7,0 milhões são comerciais leves (10,67%), 2 milhões são caminhões (3,09%) e 376,5 mil são ônibus (0,57%). É diante destes números que se demonstra também relevante o mercado de reposição, responsável justamente para que estes veículos possam se manter em boas condições e em funcionamento.

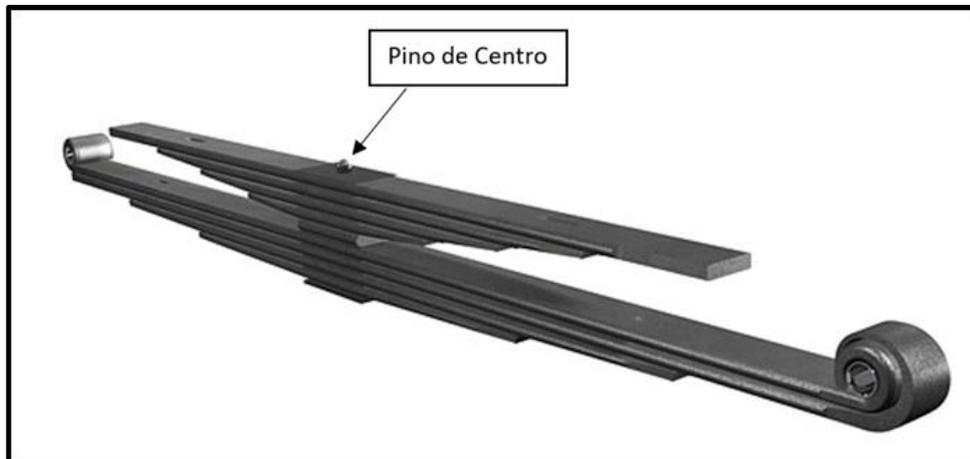
Destaca-se também que além de serem responsáveis pela maior parte do transporte do país, os caminhoneiros ainda enfrentam dificuldades de infraestrutura nas estradas. Segundo o Ministério dos transportes, portos e aviação civil (2018), o Brasil possui 1,53 milhões de quilômetros de rodovias, entre as esferas federais, estaduais e municipais, sendo 64,8 mil quilômetros pavimentados. Em razão deste alto número de rodovias não pavimentadas, e em alguns casos inadequadas ao uso, a vida útil dos equipamentos e componentes fica comprometida e reduzida.

Uma das partes mais afetadas pela má qualidade das estradas é o sistema de suspensão dos veículos, responsável, entre outras funções, por absorver em parte as irregularidades do terreno e manter a estabilidade do veículo. A suspensão necessita de atenção especial por estar totalmente atrelada a um dos quesitos mais importantes, a segurança dos passageiros e cargas transportadas.

É neste contexto que se encontra o objeto deste trabalho, o pino de centro para feixe de molas. O pino de centro para feixe de molas é um item que compõe a suspensão mecânica com a função de fixar e manter todas as lâminas do feixe de molas alinhadas juntamente ao eixo, conforme demonstrado na Figura 1. Para veículos pesados, o sistema

mecânico de suspensão por feixe de molas, é um dos modelos mais utilizados no mercado brasileiro, justamente pela baixa qualidade encontrada nas estradas do país.

Figura 1 - Pino de centro e feixe de molas



Fonte: Adaptado de Rassini-NHK (2018).

1.1 JUSTIFICATIVA

Devido a demanda do setor automotivo, o mercado se torna competitivo e a solução passa pela busca de alternativas que permitam atender aos requisitos de produto e as necessidades dos consumidores com o menor custo possível. Uma alternativa viável para reduções de custos e aumento de competitividade é o desenvolvimento de processos produtivos de produtos até então terceirizados ou comprados.

Este trabalho está sendo desenvolvido na Metalúrgica Luzi LTDA, uma empresa caxiense com mais de 25 anos de existência no ramo de componentes de fixação. Atendendo aos mais diversos segmentos, como: setor moveleiro, agrícola, avícola, rodoviário, telecomunicações, entre outros, a empresa caracterizou-se por fabricar itens especiais, sob desenvolvimento específico para a necessidade dos clientes. A partir de 2014 a empresa também ingressou no segmento de autopeças, mais precisamente autopeças da linha pesada no mercado de reposição, produzindo e comercializando componentes de fixação para suspensão, como: grampos de fixação, porcas e pinos de centro para feixe de molas.

Este último, pino de centro para feixe de molas, objeto de estudo deste trabalho, é um item hoje revendido pela empresa com o foco de compor o catálogo de produtos comercializados ao mercado de reposição. Porém com o aumento de demanda observado

pela organização, este produto é visto com grande potencial para uma maior participação nas vendas ao setor. Hoje o produto representa cerca de 4% do faturamento, porém dados de mercado e pesquisas internas realizadas pela empresa demonstram que o item poderia representar até 25% das vendas totais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar estudo de viabilidade técnica e econômica para desenvolvimento de processo produtivo para a fabricação do pino de centro para feixe de molas.

1.2.2 Objetivos específicos

Estabelecem-se como objetivos específicos:

- a) avaliar o mercado, mensurando tipos, modelos, quantidades e custo objetivo final do produto;
- b) realizar o processo de engenharia reversa com uma peça de mercado, avaliando geometria e propriedades do material;
- c) analisar os dados obtidos com a engenharia reversa e propor projeto do produto, material e processos adequados à fabricação do produto (processos internos e externos);
- d) identificar equipamentos necessários e pesquisar fornecedores para os processos externos (terceirizados);
- e) avaliar viabilidade econômica do processo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É apresentada neste capítulo a revisão bibliográfica do trabalho de conclusão de curso. Primeiramente são abordados conceitos a respeito da Engenharia Reversa e sua aplicação no desenvolvimento de produtos. No seguimento do capítulo, há uma revisão sobre os materiais de construção mecânica, aços e normas técnicas existentes para fixadores. Posteriormente são tratados os processos de rosqueamento e conformação, e ao final são citados conceitos sobre viabilidade econômica.

2.1 ENGENHARIA REVERSA

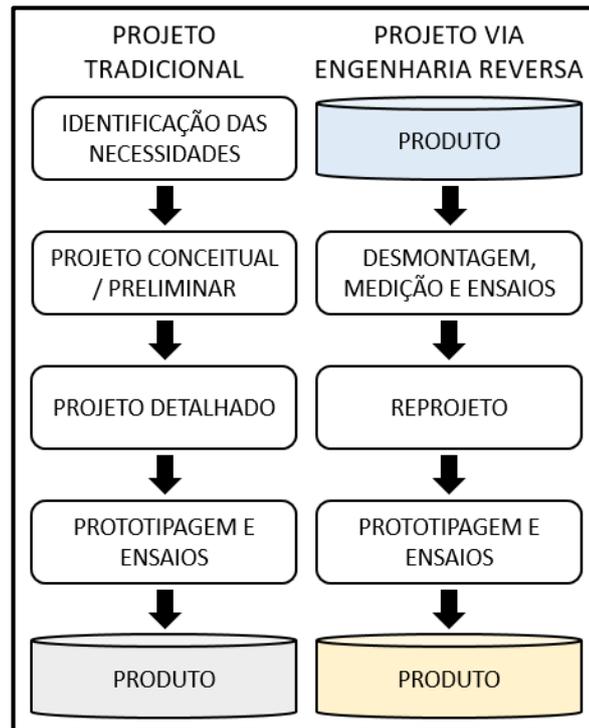
Para Silva et. al (2017), a Engenharia Reversa (ER) pode ser definida como sendo uma filosofia que consiste em produzir peças, produtos ou ferramentas com base em um produto ou componente já existente. Em um conceito muito semelhante Mury (2000), destaca que a ER consiste no processo de desenvolvimento de um produto a partir de um similar já existente, o autor afirma ainda, que há uma diminuição do risco de falhas no projeto ao se utilizar como base um produto já consolidado no seu mercado, assim como proposto pela técnica da ER.

Devido aos seus benefícios e vantagens, a engenharia reversa é empregada, dentre outros setores, no meio industrial. De acordo com Celent, Bajić e Jozić (2016) a ER pode ser utilizada para uma ampla gama de finalidades, como por exemplo, desmontar equipamentos de engenharia ou um produto manufaturado afim de descobrir os materiais de que é feito e suas funcionalidades, e então auxiliar uma empresa a determinar e melhorar os processos de produção e aumentar a eficácia do produto. Para Silva (2014), procedimentos para conhecer os produtos da concorrência, analisando e comparando os mesmos, investigando entre outras coisas, seus modos de funcionamento, processos e materiais utilizados na fabricação, são algumas das possibilidades, a fim de se buscar os dados e informações relevantes para o desenvolvimento de um novo projeto.

Segundo Nogueira (2007), a ER é um método de projeto que atrai grande interesse e a sua utilização possibilita o desenvolvimento de novos produtos em menores intervalos de tempo e com maiores chances de sucesso, se comparada às metodologias convencionais. Na Figura 2 é possível observar uma comparação entre um projeto desenvolvido nos moldes tradicionais de desenvolvimento com um projeto desenvolvido

através da ER. Nesta Figura o autor destaca que na etapa de projeto conceitual da metodologia tradicional há uma substituição na proposta da engenharia reversa por uma etapa denominada de desmontagem, medição e ensaios, visando justamente a obtenção das informações relevantes ao projeto através de um produto já existente.

Figura 2 - Comparação entre projeto tradicional e projeto via engenharia reversa



Fonte: Adaptado de Nogueira (2007).

Considerando os conceitos abordados para a ER, os próximos tópicos tratarão a respeito dos materiais de construção mecânica e processos de fabricação pertinentes ao objeto de estudo.

2.2 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA

2.2.1 Aços e suas classificações

Conforme Chiaverini (2005), os aços são ligas ferro-carbono que possuem geralmente de 0,008% até 2,11% de carbono, além de outros elementos residuais dos processos de fabricação. Callister (2002), define que os aços comuns ao carbono possuem, além de carbono e um pouco de manganês, apenas concentrações residuais de impurezas,

já no caso de aços-liga, outros elementos de liga são adicionados de forma intencional em concentrações específicas. Quanto a classificação dos aços-liga, Chiaverini (2005) relata que quanto ao teor dos elementos de liga em um aço carbono, considera-se que acima de 8% se trata de um aço com alto teor de liga e abaixo de 8% um aço de baixo teor de liga.

Os aços podem ser classificados de acordo com a concentração de carbono presente em sua composição, sendo divididos em três grupos: aços de baixo teor de carbono, aços de médio teor de carbono e aços de alto teor de carbono. Os aços de baixo teor de carbono são aços que possuem boa conformabilidade porém baixa temperabilidade. De acordo com Callister (2002), os aços de baixo teor de carbono geralmente possuem menos de 0,25% de carbono e não respondem a tratamentos térmicos com o fim de formar martensita. A sua microestrutura consiste nos microconstituintes ferrita e perlita, e em razão disso são ligas relativamente moles e fracas, porém com uma ductilidade e tenacidade excepcionais.

Já os aços de médio teor de carbono possuem melhor temperabilidade que os aços com baixo teor de carbono, porém possuem menor ductilidade e tenacidade. Segundo Callister (2002), estas ligas podem ser tratadas termicamente através de austenitização, têmpera, e depois revenimento a fim de melhorar as propriedades mecânicas. Os aços com médio teor de carbono tem baixa endurecibilidade e só podem ser tratados termicamente em seções muito delgadas e com taxas de resfriamento muito rápidas. Os aços de alto teor de carbono são definidos como aços que possuem teores de carbono entre 0,6% e 1,4%, sendo os mais duros e resistentes porém os menos dúcteis dentre os aços carbono. São utilizados em sua grande maioria, na condição endurecida e revenida, sendo especialmente capazes de resistir ao desgaste e à abrasão.

2.2.2 Elementos de liga e sua influência nas propriedades dos aços

De acordo com Callister (2002), os aços são ligados geralmente por razões como: melhorar a sua resistência a corrosão ou torna-los acessíveis a um determinado tratamento térmico. Chiaverini (2005), cita que os elementos de liga são introduzidos nos aços carbono quando se deseja alcançar alguns efeitos como: aumentar a dureza e a resistência mecânica, conferir resistência a corrosão, elevar a resistência ao calor, elevar a resistência ao desgaste, aumentar a capacidade de corte e melhorar as propriedades elétricas e magnéticas. O Quadro 1 apresenta alguns dos elementos de liga usualmente

utilizados e seus efeitos específicos, visando detalhar mais especificamente a influência destes elementos nas propriedades dos aços.

Quadro 1 - Elementos de liga e suas influências nas propriedades dos aços

Elemento	Influência nas propriedades do aço
Alumínio (Al)	É um desoxidante eficiente e restringe o crescimento de grão.
Boro (B)	Em pequenas quantidades, eleva a temperabilidade dos aços.
Cobalto (Co)	Contribui na dureza a quente dos aços.
Cromo (Cr)	Eleva a resistência à corrosão e oxidação, aumenta a endurecibilidade. Juntamente com concentrações elevadas de carbono, melhora a resistência ao desgaste.
Fósforo (P)	Eleva a usinabilidade dos aços.
Manganês (Mn)	Eleva a dureza e resistência mecânica dos aços e auxilia a atenuar o efeito nocivo do enxofre.
Molibdênio (Mo)	Eleva a temperabilidade, a dureza e a resistência a tração dos aços.
Níquel (Ni)	Eleva os limites de resistência a tração dos aços sem afetar sensivelmente a ductilidade.
Silício (Si)	É um elemento desoxidante. Eleva a resistência mecânica e a resistência à corrosão nos aços.
Titânio (Ti)	Eleva o limite de resistência à abrasão e melhora o desempenho do aço a temperaturas elevadas.
Tungstênio (W)	Eleva a dureza dos aços. Também promove o aumento da resistência a altas temperaturas.
Vanádio (V)	Eleva a temperatura de crescimento de grão e aumenta a endurecibilidade dos aços

Fonte: Adaptado de Chiaverini (2005).

Dentre os elementos de liga citados, destacam-se os aços que contêm Boro, pois além de serem amplamente aplicados na fabricação de elementos de fixação, também possuem vantagens comerciais devido ao seu custo e sua acessibilidade. O próximo tópico aborda os Aços ao Boro, bem como as suas vantagens e características.

2.2.3 Aços ao boro

Os aços ao boro foram introduzidos na década de 40. Durante a segunda guerra mundial ocorreu uma falta dos elementos de liga responsáveis pelo aumento de temperabilidade, criando um grande estímulo ao uso de boro como alternativa a estes elementos estratégicos (SANTOS, 2015). Segundo Suski (2007), uma das características importantes que definem a aplicação de determinado aço é a sua temperabilidade. O autor

ainda coloca que, a excelente capacidade do boro em elevar a temperabilidade em aços baixo e médio carbono está sendo muito estudada nas última décadas.

Atualmente, além dos elementos de liga tradicionais, o uso do boro permite novas possibilidades na produção viável economicamente de aços microligados. É possível obter-se melhorias nas propriedades do material, como o aumento da temperabilidade e o aumento da resistência mecânica, através da adição de pequenas quantidades deste elemento (SOUZA et. al, 2016).

Segundo Saeed, Hoda e Mamdouh (2012), os aços que contém boro também são menos suscetíveis a trincas e distorções durante o tratamento térmico, conseqüentemente, estes aços são amplamente utilizados em aplicações automotivas, de construção, entre outras. Gonçalves (2013) também ressalta que das diversas aplicações dos aços ligados ao boro, uma das mais relevantes é a sua utilização em elementos de fixação, principalmente nos fixadores de alta resistência.

2.2.4 Normas para fixadores

Segundo Thomé (2015), os fixadores são normalmente fabricados a partir de aços-carbono e devem atender a norma da *Society of Automotive Engineers* (SAE) J429:2014 para o caso dos fixadores plegadas. No Quadro 2 são apresentadas as especificações da norma SAE J429:2014 para o grau 5 de resistência a respeito da resistência à tração, material e tratamento térmico e composição química.

Quadro 2 - Propriedades para fixadores plegadas Grau 5

Grau	Resistência à Tração	Material e Tratamento Térmico	Limites de Composição Química (%)					
			C		P	S	B	
	Mín.		Mín.	Máx.	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.
5	830 (N/mm ²)	Aço médio carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	-
		Aço carbono com aditivo (Ex.: B, Mn ou Cr) temperado e revenido	0,15	0,40	0,025	0,025	0,0005	0,003

Fonte: Adaptado de Thomé (2015).

De modo muito semelhante aos fixadores polegadas, os fixadores milimétricos devem seguir as especificações da norma *International Organization for Standardization* (ISO) 898-1:2013, que são apresentadas para a classe 8.8 no Quadro 3.

Quadro 3 - Propriedades para fixadores milimétricos Classe 8.8

Classe	Resistência à Tração	Material e Tratamento Térmico	Limites de Composição Química (%)				
			C		P	S	B
	Mín.		Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	
8.8	830 (N/mm ²)	Aço carbono com aditivo (Ex.: B, Mn ou Cr) temperado e revenido	0,15	0,40	0,025	0,025	0,003
		Aço carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
		Aço liga temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	

Fonte: Adaptado de Thomé (2015).

As especificações contendo dados de dureza, resistência à tração, material e tratamento térmico e composição química para os demais graus de fixadores polegada podem ser visualizadas no Anexo A e para as demais classes de fixadores milimétricos no Anexo B.

2.3 PROCESSOS DE ROSQUEAMENTO

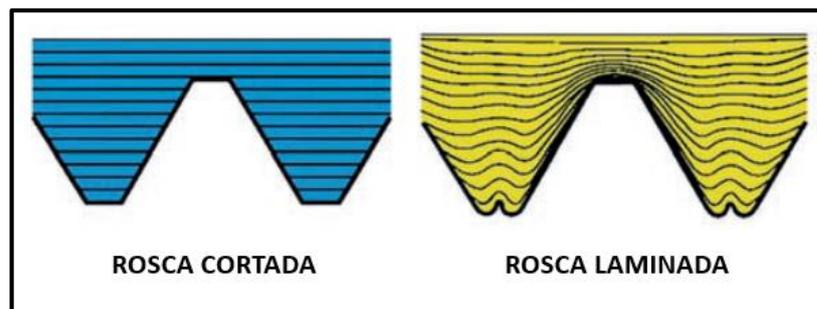
Conforme definido por Norton (2013), as formas das roscas são padronizadas e atendem a dois principais sistemas, *Unified National Standard* (UNS) padronizados no Canadá, Inglaterra e Estados Unidos e o sistema de acordo com a ISO, padronizado na Europa. No Anexo C se encontra a tabela de diâmetros primitivos básicos para ambos os sistemas padronizados, onde é possível verificar a rosca, passo e diâmetros primitivos mínimos e máximos para a conformação das roscas.

Um processo mecânico, realizado por meio de usinagem ou conformação, o rosqueamento visa a obtenção de filetes com perfis roscados em superfícies cilíndricas ou cônicas através da abertura de um ou mais sulcos helicoidais de passo uniforme. É um processo com movimentos de avanço e rotação entre ferramenta e peça, onde uma rotaciona enquanto a outra se desloca simultaneamente, ou ainda, uma delas realiza

ambos os movimentos, ou seja, enquanto uma permanece parada a outra avança e rotaciona (CARVALHO, 2011).

Os processos mais utilizados para a fabricação de roscas são a usinagem e laminação. No processo por usinagem há remoção de material, já no processo por laminação, não há remoção e sim conformação do material. Comparando-se os dois processos para a formação de roscas, a laminação apresenta diversas vantagens em relação a usinagem, segundo Ciuccio et. al (2011), a laminação a frio é um processo de transformação que forma roscas mais resistentes e com um acabamento final de melhor qualidade, não gerando cavacos e tornando a limpeza quase desnecessária. A Figura 3 apresenta um comparativo entre os dois processos, usinagem, onde a rosca é cortada e laminação, onde a rosca é conformada.

Figura 3 - Comparativo entre os processos

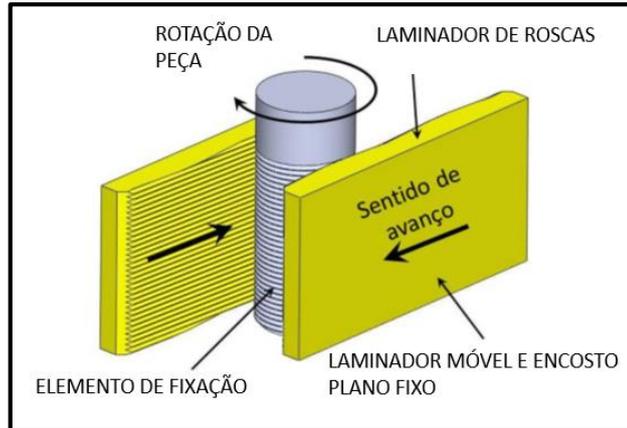


Fonte: Adaptado de Ciuccio et. al (2011).

2.3.1 Tipos de rosqueamento por laminação

Nestes processos de conformação para a formação do perfil da rosca externa a laminação ocorre entre rolos laminadores ou entre placas planas. Para necessidades de alta produtividade, como nos casos da fabricação de elementos de fixação, existem três principais modelos para produção de roscas externas: laminação com ferramenta de encosto, laminação em gravação única e laminação com cilindro e segmento de rosqueamento. Na Figura 4 é apresentado o processo de laminação com ferramenta de encosto, onde há duas placas, uma fixa e outra com função de movimento linear paralelo. Devido ao movimento de avanço de uma das placas, os filetes de rosca se formam a medida que a peça gira (CARVALHO, 2011).

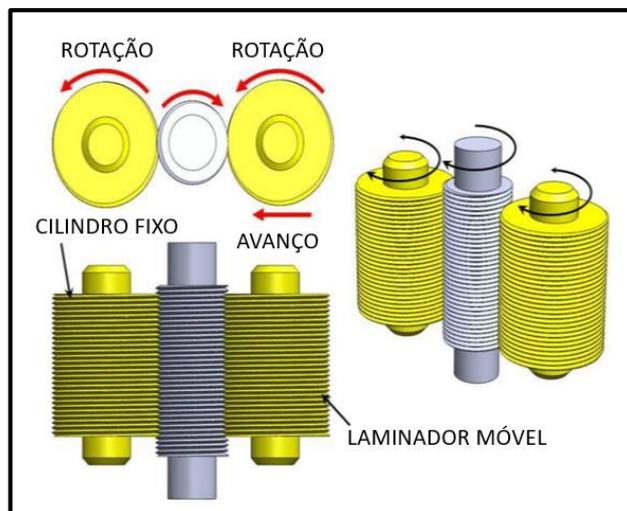
Figura 4 - Laminação com ferramenta de encosto



Fonte: Adaptado de Carvalho (2011).

O processo por laminação em gravação única é demonstrado na Figura 5. A peça é posicionada entre os dois cilindros que giram em mesma velocidade e direção de rotação. Um cilindro se movimenta radialmente enquanto o outro fica fixo em um mancal. A peça por sua vez fica apoiada em uma régua (CARVALHO, 2011).

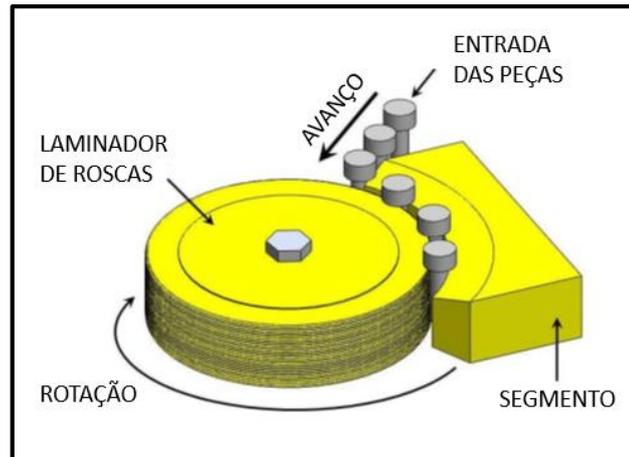
Figura 5 - Laminação em gravação única



Fonte: Adaptado de Carvalho (2011).

Segundo Carvalho (2011), a laminação de roscas com cilindro e segmento de rosqueamento, que pode ser verificado na Figura 6, é utilizado para grandes lotes devido a sua grande produtividade. O sistema é composto pela ferramenta laminadora posicionada e rotacionando sobre seu eixo e do segmento de rosca, na qual o produto é apoiado para a confecção da rosca.

Figura 6 - Laminação de rosca com cilindro e segmento de rosqueamento



Fonte: Adaptado de Carvalho (2011).

2.4 PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

2.4.1 Forjamento a frio

Cetlin e Helman (2005) consideram que o forjamento de um metal consiste na sua deformação através do martelamento ou prensagem, sendo usualmente um processo realizado a quente, no entanto recentemente também tem sido executado a frio. Conforme definido por Schaeffer (2006), o forjamento a frio ocorre na temperatura ambiente, destacando que podem ser deformados a frio todos os materiais que apresentam uma determinada ductilidade nesta temperatura.

Os processos de forjamento produzem pouco ou nenhum refugo e geram a geometria final da peça em um período de tempo muito curto, geralmente em poucos golpes de uma prensa ou martelo. Especialmente, as técnicas de forjamento a frio apresentam diversas vantagens, como: a obtenção de um bom acabamento superficial, a inexistência de usinagem secundária e a não ocorrência de problemas de oxidação (RAJESHKANNAN; SHANMUGAM, 2018).

Schaeffer (2006) também cita algumas vantagens do forjamento a frio em comparação a outros processos de fabricação como usinagem, soldagem e forjamento a quente, como sendo: menor quantidade de matéria-prima requerida, melhoria das propriedades mecânicas da peça, possibilidade de utilização de matéria-prima mais barata, obtenção de formas especiais e precisão dimensional.

2.4.2 Curvas de escoamento

As curvas de escoamento são parâmetros fundamentais nos processos de forjamento, e podem ser construídas considerando os resultados de testes mecânicos (compressão de corpos cilíndricos e tração para pequenas deformações, entre outros). Após a sua obtenção física, podem ser descritas através de uma expressão matemática (SCHAEFFER, 2006). Abaixo pode ser visualizada a Equação 1, que descreve a variação da tensão de escoamento com a deformação.

$$K_f = C \cdot \varphi^n \quad (1)$$

onde: K_f é a tensão de escoamento [N/mm²];

C constante [N/mm²];

n índice de encruabilidade [-];

φ é a deformação verdadeira [-].

Conforme Schaeffer (2006), para a quantificação das forças e deformações de processos de forjamento como, por exemplo, prensagem, tratado no próximo tópico, torna-se imprescindível o conhecimento da curva de escoamento do material a ser conformado.

2.4.3 Prensagem

Sendo empregado na fabricação das cabeças de parafusos, pregos, válvulas e esferas, a prensagem é um processo de conformação, onde é aplicada pressão em uma extremidade do material, geralmente de seção uniforme, para formar uma secção transversal alongada. É um processo que pode ser realizado a quente ou a frio, onde frequentemente é empregado para formar um estágio intermediário na fabricação de forjados podendo ainda muitas vezes ser combinado com o processo de extrusão. (SCHAEFFER, 2006). Este estágio intermediário na fabricação de forjados combinado com o processo de extrusão fica demonstrado na Figura 7, do corte ao formato final da peça.

Figura 7 - Estágios de conformação de um elemento de fixação



Fonte: Adaptado de Bueno (2012).

Para a determinação das forças de prensagem por meio de cálculos analíticos, Schaeffer (2006) propõe a Equação 2:

$$F_p = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) \quad (2)$$

onde: F_p é a força de prensagem [N];

A_{1p} é a área de contato no final da prensagem [mm²]

K_{f1} é a tensão de escoamento no final da prensagem [N/mm²];

μ é o coeficiente de atrito [-];

d_1 é o diâmetro no final da prensagem [mm];

h_1 é a altura após a prensagem [mm].

As deformações também são importantes para um correto dimensionamento das forças. Segundo Schaeffer (2006), a deformação verdadeira e o comprimento da geratriz são calculadas pelas Equações 3 e 4, respectivamente.

$$\varphi_h = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) \quad (3)$$

$$h_0 = h_1 \cdot e^{\varphi_h} \quad (4)$$

onde: φ_h é deformação na direção da altura [-];
 h_0 é o comprimento da geratriz [mm];
 h_1 é a altura após a prensagem [mm].

Outro fator importante que deve ser analisado é a relação de prensagem, pois esta relação estabelece a condição para que não ocorra flambagem. Segundo Schaeffer (2006), a flambagem ocorre quando é excedido um valor limite máximo de prensagem. Segundo o autor, quando a relação de prensagem ultrapassa em geral o valor de 2,4, são necessárias operações intermediárias. A relação de prensagem pode ser calculada pela Equação 5.

$$s = \frac{h_0}{d_0} \quad (5)$$

onde: s é a relação de prensagem [-];
 h_0 é o comprimento da geratriz [mm];
 d_0 é o diâmetro da geratriz [mm].

2.5 ENGENHARIA ECONÔMICA

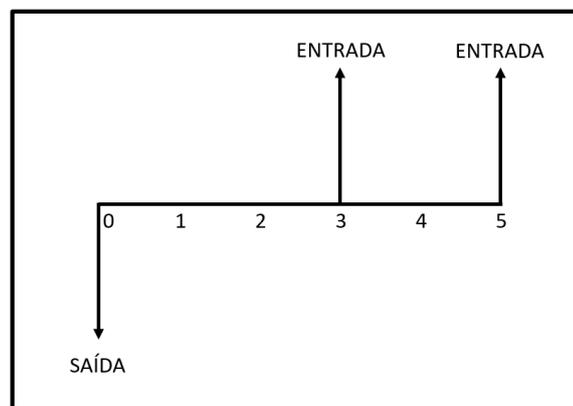
Para Casarotto e Kopittke (2010), a engenharia econômica tem por objetivo a análise econômica de decisões sobre investimentos, sejam eles de empresas, de particulares ou de entidades governamentais. Feldens (2006) destaca que a área de conhecimento da engenharia econômica aborda critérios e fatores econômicos utilizados para selecionar dentre algumas possibilidades uma alternativa de investimento.

A engenharia econômica, entre outros fatores, visa por meio de métodos determinísticos analisar as possibilidades e objetivos, auxiliando na tomada de decisões sobre investimentos. Para tal, os próximos tópicos abordarão conceitos de fluxo de caixa e taxa mínima de atratividade, juntamente com três métodos de análise de investimentos, método do valor presente líquido, método da taxa interna de retorno e método do tempo de recuperação do capital investido (*payback time*).

2.5.1 Fluxo de caixa

Casarotto e Kopittke (2010) definem que através de uma representação gráfica de maneira simples, como o diagrama denominado de fluxo de caixa, fica facilitada a visualização de um problema envolvendo receitas e despesas, considerando instantes diferentes de tempo. Na Figura 8 é apresentado um exemplo deste diagrama, onde a representação do fluxo de caixa do projeto consiste em uma escala horizontal, onde as setas para cima representam as entradas e as setas para baixo as saídas de caixa e na qual são marcados os períodos de tempo.

Figura 8 - Diagrama de fluxo de caixa



Fonte: Adaptado de Casarotto e Kopittke (2010).

2.5.2 Taxa mínima de atratividade (TMA)

Para Feldens (2006), a taxa mínima de atratividade (TMA) determina, para a realização um investimento, qual o retorno mínimo do capital exigido. É utilizada uma taxa para remunerar a aplicação do capital, levando em consideração as condições de risco do mercado, da empresa e do projeto. Casarotto e Kopittke (2010), destacam que ao ser analisado uma proposta de um determinado investimento deve ser avaliado o fato de se estar perdendo a oportunidade de receber retornos pela aplicação deste mesmo capital em outros projetos. Para a nova proposta se confirmar atrativa, deve render minimamente a taxa de juros correspondente a rentabilidade das aplicações correntes e de baixo risco.

A definição da TMA está totalmente atrelada ao perfil do investidor e ao prazo do investimento. Para pessoas físicas é comum a utilização da TMA como sendo igual a

rentabilidade da caderneta de poupança ou de aplicações de renda fixa em bancos, resultando em um baixíssimo risco e alta liquidez. Já para empresas, a TMA depende do prazo ou da importância estratégica das alternativas, onde para investimentos de curto prazo pode se utilizar o certificado de depósito bancário (CBD), para investimentos de médio prazo, considerados até seis meses, pode-se considerar a TMA como uma média ponderada dos rendimentos de capital de giro, e por fim, para investimentos de longo prazo a TMA passa a ser uma meta estratégica levando em consideração por exemplo, crescimento de patrimônio e política de distribuição de dividendos (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2010).

2.5.3 Valor presente líquido (VPL)

O método do valor presente líquido (VPL) pode ser caracterizado como a soma de todos os fluxos de caixa descontados para o instante inicial do investimento. É utilizada a TMA como remuneração mínima aceita pelo capital investido, onde os valores do fluxo de caixa são descontados utilizando esta taxa. O valor resultante da operação serve para comparação entre possíveis opções de investimento, logo, são considerados projetos viáveis aqueles que possuem VPL maior ou igual a zero. O método do VPL pode ser descrito através da Equação 6 (MOTTA; CALÔBA, 2013).

$$VPL(i) = FC_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (6)$$

onde: $VPL(i)$ é o valor presente líquido [R\$];

FC_j é o fluxo de caixa para $j = [0; n]$ [R\$];

j é o período genérico ($j = 0$ a $j = n$), percorrendo todo o fluxo de caixa [-];

i é a taxa de desconto [%];

n_p é o número de períodos [-];

2.5.4 Taxa interna de retorno (TIR)

Conforme Casarotto e Kopittke (2010) em alguns casos há a necessidade ou o interesse de se comparar determinado investimento com taxas oferecidas por outras

aplicações, e então a taxa interna de retorno (TIR) pode ser útil, apresentando o indicador como uma taxa de remuneração. Para Motta e Calôba (2013) a TIR é o valor da taxa de desconto que anula o valor presente líquido dos fluxos de caixa e pode ser entendida como um índice que mede a rentabilidade de um investimento em um dado período de tempo, considerando que hajam receitas e investimentos envolvidos. Para a tomada de decisão pela taxa interna de retorno, considera-se que:

- a) se TIR maior que TMA, o projeto é economicamente viável;
- b) se TIR menor que TMA, o projeto é economicamente inviável;
- c) se TIR igual a TMA, é indiferente investir recursos em determinado projeto ou deixá-lo rendendo juros à taxa mínima de atratividade.

Motta e Calôba (2013), descrevem a TIR pela Equação 7.

$$\sum_{j=0}^n FC_j \cdot \left(\frac{1}{1+i}\right)^j = 0 \quad (7)$$

onde: i é a taxa de retorno, ou TIR [%];

FC_j é o fluxo de caixa para $j = [0; n]$ [R\$];

j é o período genérico ($j = 0$ a $j = n$), percorrendo todo o fluxo de caixa [-];

n_p é o número de períodos [-];

2.5.5 Tempo de recuperação de capital investido (*Payback time*)

Ambos os métodos apresentados anteriormente, método do valor presente líquido e método da taxa interna de retorno, são métodos exatos, sendo equivalentes e ajustando-se perfeitamente ao conceito de equivalência da matemática financeira. No entanto ainda são utilizados métodos não exatos, como por exemplo o tempo de recuperação de capital investido (*payback time*). O tempo de recuperação de capital investido, trata de medir o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2010).

Feldens (2006) ressalta que este método acaba desprezando eventuais futuras despesas e receitas que venham a influenciar o retorno sobre o investimento, pois após o atingimento da igualdade entre os somatórios do fluxo de caixa e o investimento inicial este método não reconhece nenhum outro fluxo de caixa. De acordo com Motta e Calôba

(2013), o *payback* pode ser utilizado para avaliar a atratividade relativa de opções de investimento, entretanto, deve ser encarado com reservas, somente como um indicador, não servindo como critério de seleção entre possíveis alternativas de investimento.

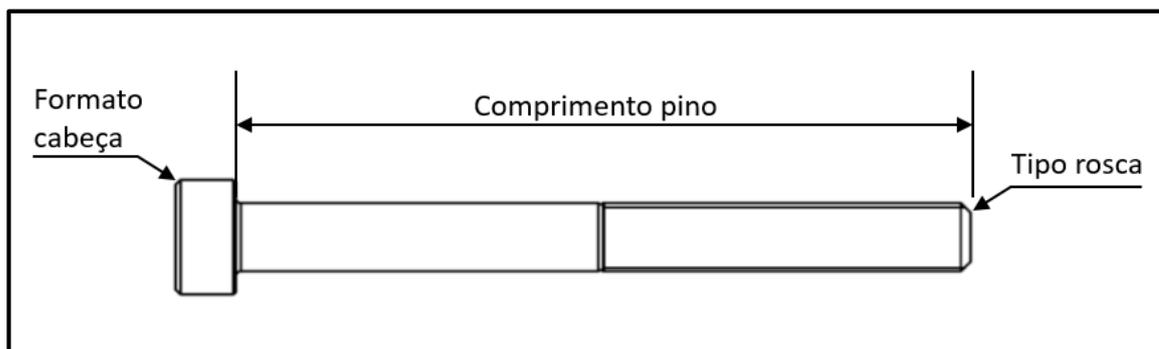
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os métodos e materiais utilizados para a realização do estudo proposto. Inicialmente são apresentadas maiores informações técnicas conhecidas do produto, bem como os dados do estado atual e futuro do objeto de estudo, como: modelos e variações existentes para os diferentes grupos de produtos, volumes e custos do produto. Posteriormente são colocadas as etapas de execução do trabalho e detalhamento das atividades realizadas para a obtenção dos resultados.

3.1 MODELOS E VARIAÇÕES DO PRODUTO

O pino de centro para feixe de molas, conforme citado ao longo do trabalho, é um item de fixação responsável por manter as lâminas do feixe de molas unidas e alinhadas juntamente ao eixo do veículo. Para exercer tal função, a peça possui cabeça em uma extremidade, corpo liso no centro e rosca na outra extremidade. Na Figura 9 é possível visualizar todas as variações citadas neste tópico: formato da cabeça, rosca e bitola, e comprimento.

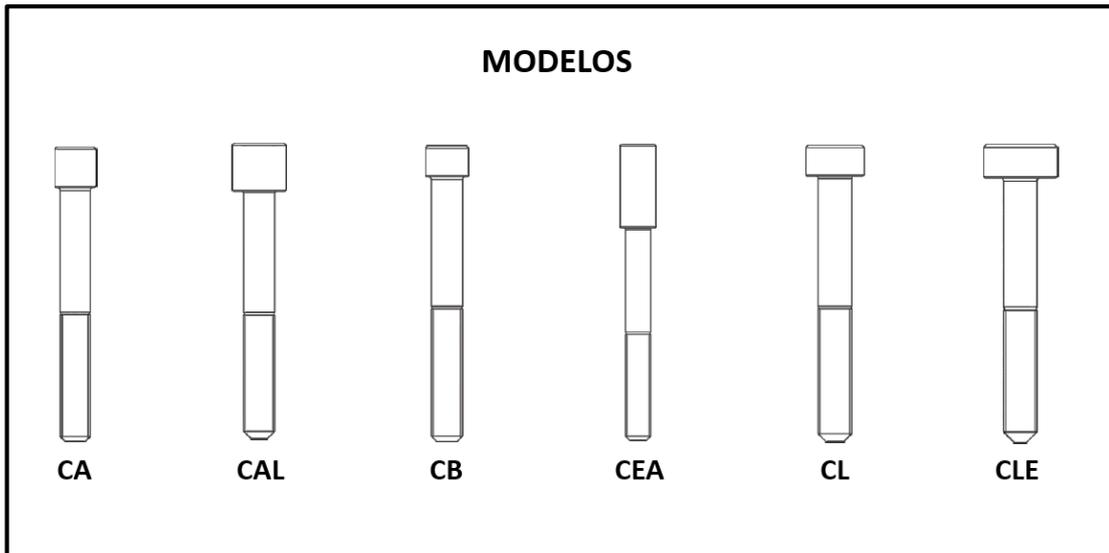
Figura 9 - Variações do produto



Fonte: O autor (2018).

Dentre as variáveis do produto, os pinos de centro podem ser divididos por diferentes tipos de cabeça, assim como demonstrado na Figura 10. A denominação dos modelos utilizados pela empresa seguem o padrão de mercado, onde as peças são disponibilizadas em seis formatos de cabeças distintas: cabeça alta (CA), cabeça alta larga (CAL), cabeça baixa (CB), cabeça extra alta (CEA), cabeça larga (CL) e cabeça larga especial (CLE).

Figura 10 - Modelos de pinos de centro



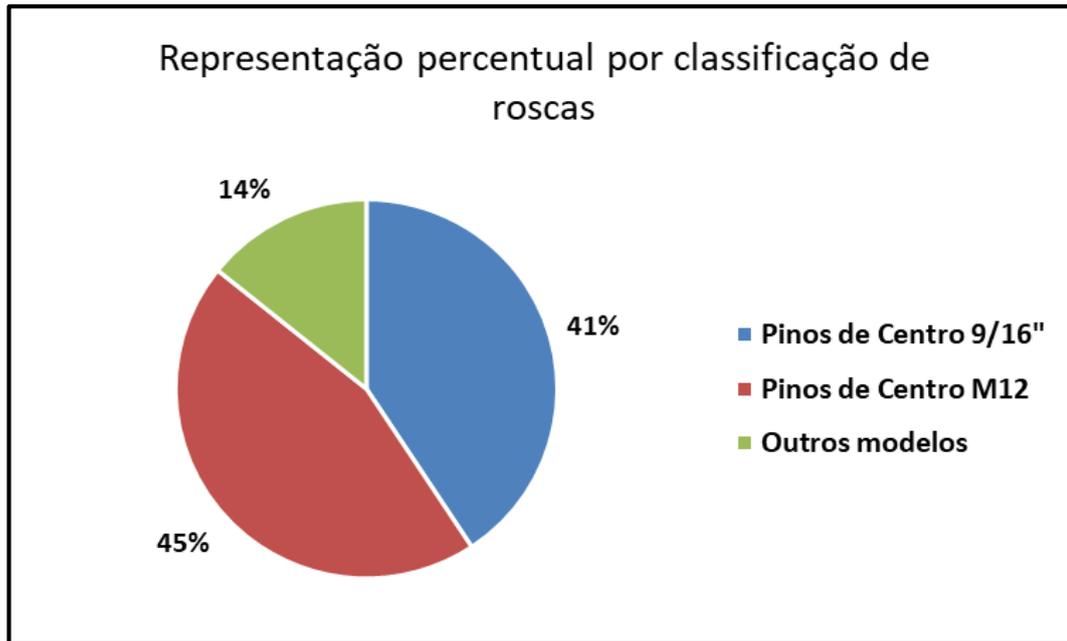
Fonte: Adaptado de Metalúrgica Luzi LTDA (2018).

Além da diferenciação por modelos de cabeça, os produtos também são classificados quanto a rosca e bitolas. Esta classificação se divide quanto a rosca métrica e rosca polegada, totalizando 10 tipos de roscas diferentes, conforme demonstrado no Anexo D. Quanto a classe de resistência, os pinos de centro com roscas milimétricas atendem a classe 8.8 da norma ISO 898-1:2013 e os produtos com roscas polegadas atendem o grau 5 da norma SAE J429:2014. Por fim, os pinos de centro também podem ser classificados quanto ao seu comprimento, variando esta medida de diferente maneira para cada tipo de rosca, mas que no geral vão de comprimentos mínimos de 152,4 mm (6 polegadas) e máximos de 254 mm (10 polegadas).

3.2 VOLUMES E CUSTOS DE PRODUÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, os pinos de centro são classificados de três principais formas: quanto ao seu modelo de cabeça, quanto a sua rosca e quanto ao seu comprimento. Na Figura 11, são apresentados os volumes atuais de comercialização dos pinos de centro pela classificação de roscas em termos de representação percentual sobre o total comercializado, onde fica evidenciado que os pinos de centro da classe de roscas 9/16" e M12 são os mais representativos. A partir destes números fica delimitado que o estudo de viabilidade será realizado para estas duas classes de roscas, que somadas chegam a 86% do total comercializado pela empresa nesta linha de produtos.

Figura 11 - Representação percentual do volume de comercialização do produto



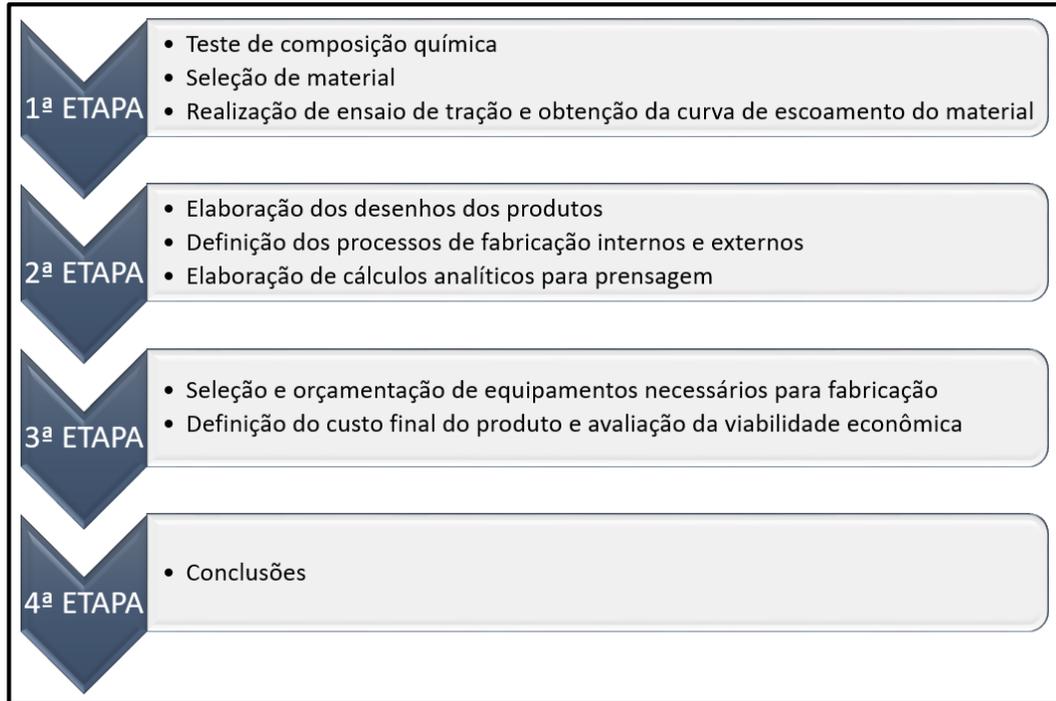
Fonte: O autor (2018).

Atualmente a linha de produtos de pinos de centro representam cerca de 4% do faturamento da empresa e poderia chegar a cerca de 25% do faturamento total, desde que seja atingido um menor custo para o produto. Traduzindo em números de peças, a partir de dados internos da empresa, chega-se ao número atual de comercialização para os 4% do faturamento de cerca de 9 mil peças mês. Já para os possíveis 25% do faturamento, projeta-se um crescimento em quantidade para cerca de 63 mil peças mês, representando um aumento considerável de 7 vezes em quantidade de peças comercializadas. Com relação a custos do produto, visando a proteção de informações estratégicas para a empresa, neste trabalho os valores serão demonstrados com a utilização de uma unidade de referência.

3.3 ETAPAS DE TRABALHO

Neste tópico são apresentadas as etapas de trabalho visando a obtenção dos resultados. Primeiramente as etapas são apresentadas em forma de fluxograma, com especificação das atividades de forma macro, conforme mostrado na Figura 12. Posteriormente, visando um maior esclarecimento, são descritas as atividades de cada etapa de forma mais detalhada.

Figura 12 - Fluxograma das etapas de trabalho



Fonte: O autor (2018).

3.3.1 Teste de composição química

Foi selecionada uma peça comercializada atualmente pela empresa e realizado uma análise de composição química sobre a mesma. A análise de composição química foi realizada no laboratório físico, químico, metalográfico e metrológico da empresa Gerdau Aços Longos em sua unidade em Sapucaia/RS. A análise foi realizada em um espectrômetro de emissão ótica por centelhamento para a análise direta de amostras metálicas sólidas, onde o equipamento utilizado foi o espectrômetro multibase modelo ARL 3460.

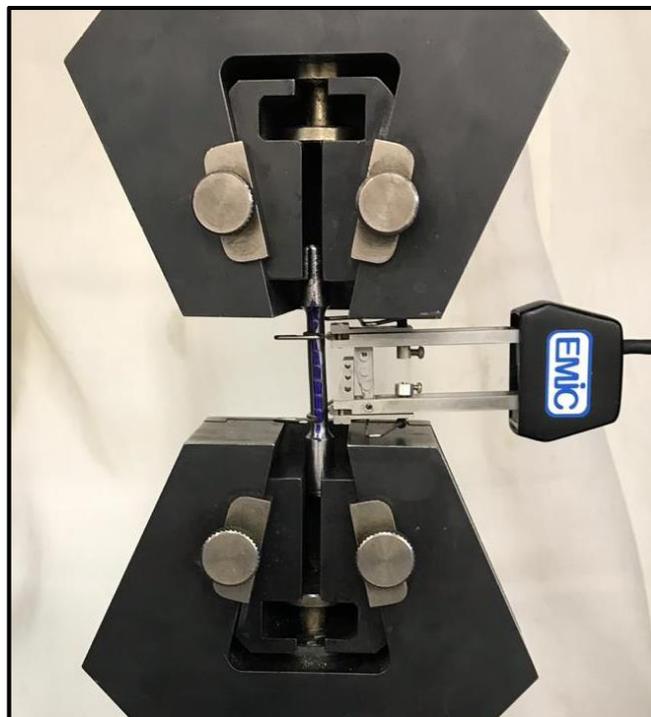
3.3.2 Seleção de material

Com base nos resultados da atividade anterior, e de posse da composição química do material encontrada nos produtos atualmente comercializados pela empresa, foi possível identificar junto a fornecedores de matéria-prima materiais comerciais que atendam às necessidades especificadas nas normas ISO 898-1:2013 e SAE J429:2014. Desta forma, foi proposta uma matéria prima para a confecção das peças levando em consideração as normas já citadas, a análise realizada e também aspectos econômicos.

3.3.3 Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UCS, em equipamento da marca EMIC, modelo DL 20000 com capacidade de 200 kN. A partir de uma amostra do fornecedor de matéria prima foram confeccionados três corpos de prova através de usinagem das amostras nas cotas conforme demonstrado no Apêndice A. Para a realização do ensaio foi seguida a norma NBR ISO 6892-1:2018, com velocidade do ensaio de 5 mm/min. e utilização de extensômetro conforme demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Ensaio de tração com extensômetro



Fonte: O autor (2019).

3.3.4 Obtenção da curva de escoamento

Os resultados obtidos a partir do ensaio de tração foram utilizados para a geração da curva de escoamento, onde os dados obtidos de força e deformação foram transferidos para o *Software Excel* e gerados os gráficos de tensão convencional e deformação relativa. Posteriormente, foram gerados os gráficos de tensão de escoamento (k_f) e deformação verdadeira (φ) para as deformações relativas de 1 % a 15%, para cada um dos três corpos de prova. Os cálculos para a definição da tensão de escoamento (k_f) e a deformação verdadeira (φ), foram realizados com base nos conceitos que podem ser encontrados no

Anexo E. A fim de se obter uma equação equivalente ao descrito na Equação 1, assim como proposto por Scopel (2014), foi adicionado uma linha de tendência do tipo potência para cada uma das curvas geradas. A partir das equações obtidas, foram adquiridos a constante do material (C) e o índice de encruabilidade (n).

3.3.5 Elaboração dos desenhos dos produtos

Com o auxílio do *Software SolidWorks* foram elaborados os desenhos dos produtos, onde para a definição das medidas principais foi utilizado como base um produto atualmente já comercializado pela empresa. Também foram definidas as especificações técnicas necessárias, como: material, tratamento térmico e propriedades mecânicas (dureza), com base nas normas ISO 898-1:2013 e SAE J429:2014.

3.3.6 Definição dos processos de fabricação internos e externos

Após a conclusão dos desenhos e a partir das especificações elaboradas, foi desenvolvido um fluxograma dos processos necessários para a fabricação do produto. Neste fluxograma foram então definidos os processos internos e externos de fabricação, onde com base na bibliografia pesquisada, foram propostas as etapas de fabricação bem como os equipamentos necessários para cada fase do processo. Para os processos de fabricação externos, foram pesquisados possíveis fornecedores com base nos quesitos de custo, capacidade produtiva e tecnologia dos equipamentos.

3.3.7 Cálculos analíticos de Prensagem

Com o objetivo de conhecer a força máxima, as deformações e o número de operações intermediárias necessárias para os processos de prensagem da cabeça em uma extremidade e da redução do diâmetro na outra extremidade, foram elaborados os cálculos analíticos de acordo com a revisão bibliográfica contida neste trabalho. Os cálculos foram realizados para as variações de produto existentes levando em consideração o maior esforço requerido dentre os modelos de produto estudados.

3.3.8 Seleção e orçamentação de equipamentos

A partir da definição dos processos internos e externos, nesta etapa foi realizada a seleção e orçamentação de equipamentos necessários para os processos de fabricação internos, onde foram pesquisados potenciais fornecedores do equipamento abrangendo o ponto de vista técnico e econômico. Sob o ponto de vista técnico, o equipamento deve possuir capacidade de conformação coerente com os cálculos analíticos realizados. Do ponto de vista econômico a orçamentação do equipamento foi vital tanto para a definição do custo final do produto, bem como para a avaliação da viabilidade econômica do processo produtivo.

3.3.9 Custo final e avaliação da viabilidade econômica

A definição do custo final do produto foi realizada com o auxílio do *software ERP* utilizado pela empresa a qual está sendo realizado o trabalho. Para a avaliação da viabilidade econômica, os cálculos foram realizados para três possíveis cenários: um cenário normal (com os dados de quantidades de venda esperadas pela empresa), um cenário pessimista (com 30% menos da quantidade esperada) e outro cenário otimista (com 30% a mais da quantidade esperada). Os desenvolvimentos destes cálculos foram realizados via planilhas eletrônicas com o auxílio do *Software Microsoft Excel*, obtendo-se os valores de VPL, TIR e *payback*, para cada um dos cenários propostos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TESTE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Considerando que o produto final deve possuir características mecânicas semelhantes ou superiores ao do modelo atualmente comercializado, o teste de composição química auxilia na análise da matéria-prima empregada. Desta forma, encontra-se na Tabela 1 o resultado da análise da composição química realizada no espectrômetro de emissão ótica em amostra de uma peça comercializada pela empresa, realizada na Gerdau Aços Longos no laboratório físico, químico, metalográfico e metrológico de sua unidade em Sapucaia/RS, conforme detalhado no item 3.3.1.

Tabela 1 - Resultado da análise da composição química

C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Sn [%]	B [%]	N ₂ [ppm]
0,21	1,16	0,21	0,001	0,021	0,010	0,132	0,013	0,001	0,001	0,0022	82

Fonte: O autor (2019)

Por meio do resultado expresso no Quadro 4 é possível concluir que os resultados atendem ambas as normas, ISO 898-1:2013 para os fixadores métricos e SAE J429:2014 para os fixadores polegadas, nos limites de carbono (C), fósforo (P), enxofre (S) e boro (B). Salienta-se também que é possível concluir que se trata de um material de baixo carbono, com destaque para as presenças de Manganês (Mn) em uma maior concentração, responsável por garantir melhores propriedades mecânicas, e de Boro (B), elemento responsável por aumentar e melhorar a temperabilidade do material, quando em pequenas concentrações.

4.2 SELEÇÃO DE MATERIAL

A escolha do material apropriado foi realizada tomando como base os materiais do fornecedor Belgo Bekaert Arames destinados a arames para fixadores conformados a frio, que podem ser encontrados no Anexo F. Dentre estes materiais disponíveis, destaca-se o aço PL22, sendo este considerado um aço ao boro, com baixo teor de carbono e com uma maior concentração de manganês (Mn).

Desta forma, foi elaborado um comparativo entre a análise da composição química efetuada no tópico anterior 4.1 e a composição química do aço PL22, conforme demonstrado na Tabela 2. Através desta comparação, é possível concluir que o material analisado e sua composição química encontram-se na faixa de tolerância do PL22 nos elementos químicos de carbono (C), manganês (Mn), silício (Si), enxofre (S), fósforo (P), cromo (Cr) e boro (B).

Alguns elementos encontrados na amostra, como cobre (Cu), níquel (Ni), molibdênio (Mo) e estanho (Sn) não são mencionados na composição química do material e o único elemento da composição química do PL22 não encontrado na amostra analisada, trata-se do alumínio (Al). Apesar destas ressalvas, pode-se dizer que dentre as possibilidades de materiais disponíveis no Anexo F, o PL 22 é aquele que demonstrou melhor compatibilidade com a amostra analisada.

Tabela 2 - Comparativo material PL 22 x amostra analisada

Composição química	PL 22	Amostra analisada
C [%]	0,190 – 0,230	0,21
Mn [%]	1,050 – 1,250	1,16
Si [%]	0,150 – 0,300	0,21
S [%]	0,025 máx.	0,001
P [%]	0,025 máx.	0,021
Cu [%]	-	0,010
Cr [%]	0,100 – 0,200	0,132
Ni [%]	-	0,013
Mo [%]	-	0,001
Sn [%]	-	0,001
Al [%]	0,020 – 0,080	-
B [%]	0,001 – 0,003	0,0022
N ₂ [ppm]	-	82

Fonte: O autor (2019).

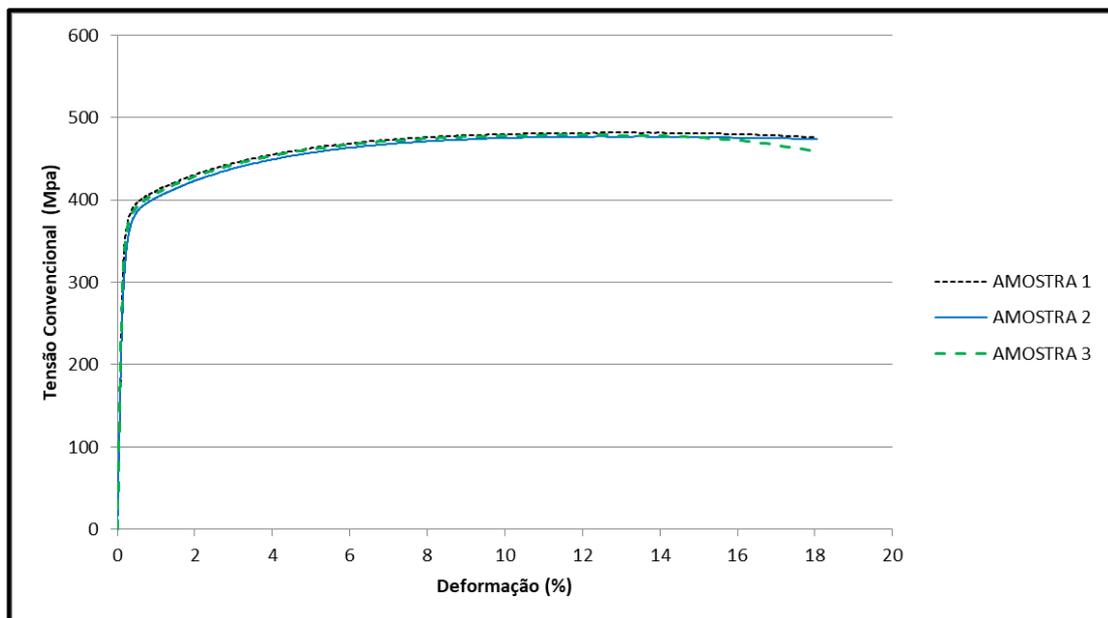
Além da compatibilidade com o material atualmente utilizado, o aço PL22 também se demonstrou atrativo quanto ao viés econômico, pois dentre os materiais citados no Anexo F é o aço que apresenta melhores condições comerciais e de custo de aquisição.

Deste modo, para a sequência do desenvolvimento do estudo, foi então selecionado o material PL22. O aço é produzido pela siderúrgica ArcelorMittal e trefilado pela Belgo Bekaert Arames, sendo entregue trefilado, esferoidizado e fosfatizado na bitola solicitada pelo cliente. Segundo a Belgo Bekaert Arames (2019), os arames para fixadores fornecidos possuem algumas vantagens, como: dureza uniforme ao longo do rolo, camada de fosfato adequada ao uso e excelente desempenho em estampagem, extrusão e tratamento térmico.

4.3 ENSAIO DE TRAÇÃO E CURVAS DE ESCOAMENTO

Afim de conhecer o comportamento plástico do material, e para que seja possível os cálculos de esforços necessários para a fabricação dos pinos, foi realizado um ensaio de tração em uma amostra do material selecionado PL 22 esferoidizado, conforme abordado no item 3.3.3. Os dados de deformação e forças para os instantes de tempo obtidos através de extensômetro foram utilizados para gerar o gráfico da tensão convencional pela deformação relativa, conforme demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Gráfico tensão convencional por deformação relativa.



Fonte: O autor (2019)

O laudo completo obtido através do teste pode ser encontrado no Anexo G, onde podem ser verificados os dados referentes a tensão de escoamento, tensão máxima, módulo de elasticidade e comprimento inicial e final das amostras. Realizando uma

análise dos resultados no que tange ao limite de tensão máxima, onde os dados fornecidos pelo fabricante do aço encontram-se dentro das faixas de um limite mínimo de 431 MPa e máximo de 569 MPa, os valores encontrados no ensaio se demonstram coerentes e dentro da faixa estabelecida, conforme é possível observar na Tabela 3.

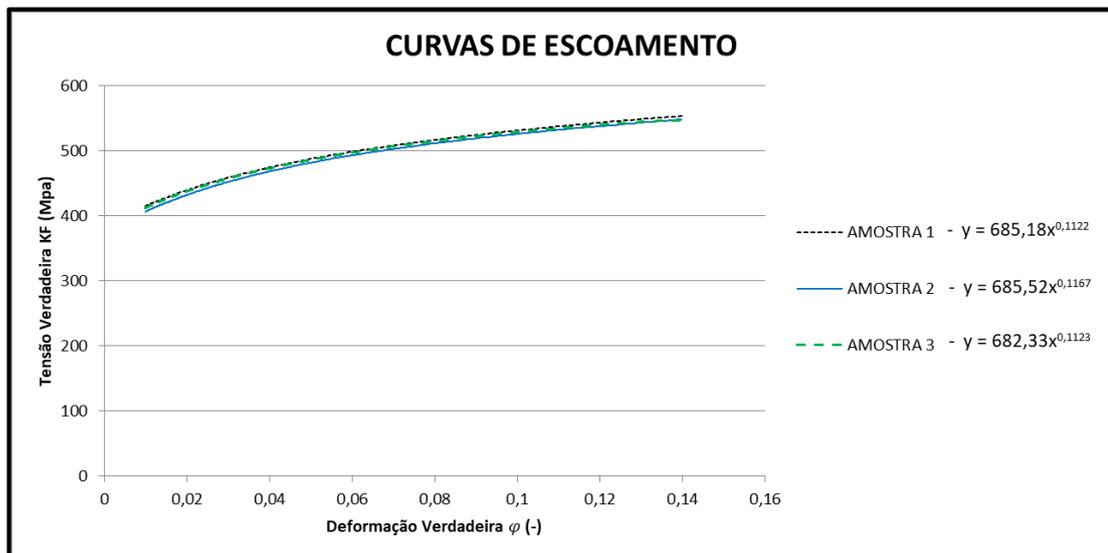
Tabela 3 - Resultados do limite de tensão máxima

Amostras	Limites de Tensão Máxima (MPa)
CP 1	481,8
CP 2	477,1
CP 3	479,0
Média	479,3

Fonte: O autor (2019).

O comportamento do material na região plástica pode ser verificado na Figura 15, onde foi gerado o gráfico de tensão verdadeira pela deformação verdadeira para os três corpos de prova.

Figura 15 - Gráfico de tensão verdadeira x deformação verdadeira



Fonte: O autor (2019).

Para a geração das curvas de escoamento conforme a Equação 1, y corresponde a k_f , o C é a constante da equação, x é igual a deformação verdadeira (φ), e o expoente da equação é correspondente ao índice de encruabilidade (n). A partir da curva de

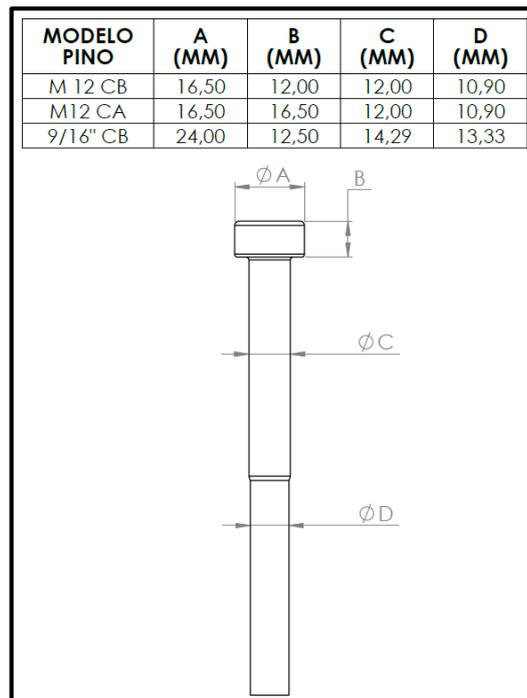
escoamento gerada para cada uma das três amostras, foi então realizada a média aritmética para as constantes das equações (C) e para os índices de encruabilidade (n), conforme demonstrado no Apêndice B. Foram então definidos através das médias os valores de $C = 684,34$ e $n = 0,1137$, e através da Equação 1 obtida a curva de escoamento final, como sendo: $K_f = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137}$.

4.4 ELABORAÇÃO DOS DESENHOS DO PRODUTO

Após a definição do material, foram confeccionados os desenhos dos produtos considerando as variações existentes nas medidas disponibilizadas ao mercado. As cotas constadas nos desenhos foram elaboradas baseando-se nos produtos atualmente comercializados.

Como o produto possui rosca paralela, o que significa que a medida do corpo liso do pino deve ser igual a medida sobre a rosca já conformada, foi levado em consideração na extremidade da peça o diâmetro primitivo correto para posterior laminação da rosca, e no corpo liso da peça o diâmetro da bitola inicial. Para a definição do diâmetro primitivo para laminação da rosca foi seguida a tabela que se encontra no Anexo C. A Figura 16 demonstra estes detalhes abordados e também as cotas principais das cabeças dos pinos.

Figura 16 - Variações das cotas de diâmetros e cabeças



Fonte: O autor (2019).

Como também pode ser verificado na Figura 16, no que tange a cabeça do pino, os pinos M12 possuem dois modelos de cabeça, sendo cabeça alta (CA) e cabeça baixa (CB), enquanto os pinos 9/16" são comercializados somente no modelo de cabeça baixa (CB). No entanto para os três modelos de cabeças as cotas variam entre si para as medidas de diâmetro final e altura.

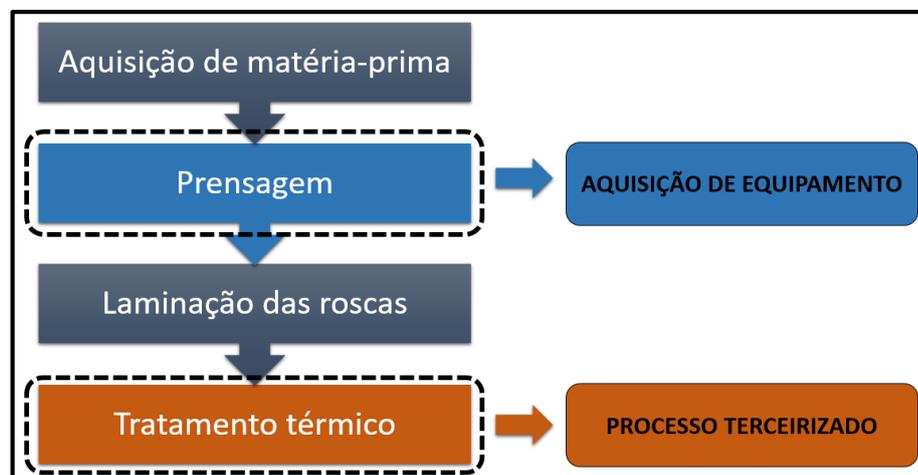
Com relação aos comprimentos, notou-se que para ambas as bitolas, a variação se encontra entre o comprimento mínimo de 152,4 mm e máximo de 254 mm, com variação de 25,4 mm entre cada item. Destaca-se que a medida do comprimento das roscas é igual para todos os pinos, sendo esta medida fixada a cota de 95 mm.

Para as propriedades mecânicas finais do produto, foram definidas as especificações técnicas conforme as normas ISO 898-1:2013 para os fixadores métricos e SAE J429:2014 para os fixadores polegadas. Onde fica definido para os pinos 9/16" o tratamento térmico de tempera e revenimento com dureza de 25 a 34 HRC e para os pinos M12 uma dureza de 23 a 32 HRC. Os desenhos completos encontram-se nos Apêndices C, D e E.

4.5 FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Para a fabricação das peças, o material é fornecido em bobinas de arames no diâmetro do corpo liso de cada modelo. Sendo necessário realizar os processos de prensagem na cabeça e na redução do diâmetro na extremidade, laminação da rosca e tratamento térmico de tempera e revenimento, assim como demonstrado na Figura 17.

Figura 17 - Fluxograma dos processos



Fonte: O autor (2019).

Assim como demonstrado no fluxograma da Figura 17, a primeira operação a ser realizada é o processo de prensagem, e salienta-se que no fluxograma proposto, para a realização desta operação internamente é necessário investimento na aquisição de um equipamento apropriado para a conformação de acordo com as características das peças.

Para a laminação das roscas foram considerados os equipamentos já disponíveis pela empresa através do processo de laminação de rosca em gravação única, sem a necessidade de investimentos adicionais para esta operação. A empresa dispõe atualmente de sete laminadoras de roscas, porém os equipamentos disponíveis atualmente para o processo com capacidade suficiente e ferramentas (cilindros laminadores) já adequadas para a confecção das roscas dos pinos de centro são três laminadoras da marca Cavour, conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Laminadora de rosca em gravação única



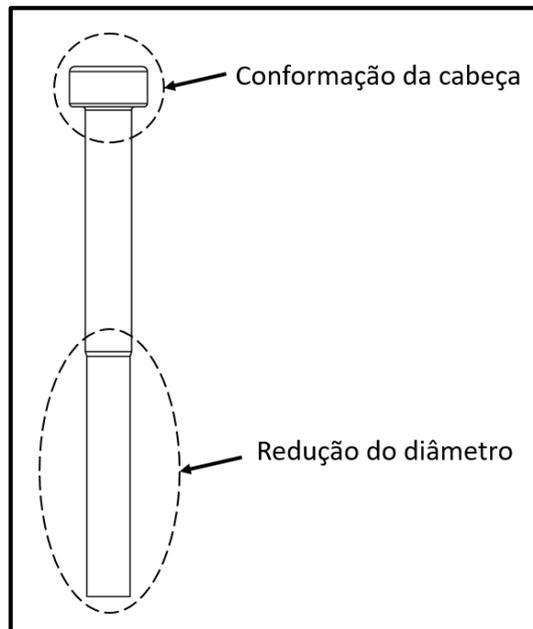
Fonte: O autor (2019).

O processo de tempera e revenimento foi considerado neste estudo como terceirizado, sendo desenvolvido fornecedor habilitado para este serviço. Foram pesquisados fornecedores a nível nacional, considerando custo, capacidade produtiva e tecnologia dos equipamentos. O fornecedor selecionado para este processo de tempera e revenimento é certificado na norma ISO 9001:2015 e possui em sua infraestrutura laboratórios químico, metalúrgico e metrológico capazes para o controle e garantia da qualidade. Com relação a equipamentos e tecnologia, o terceiro possui capacidade produtiva de 400 toneladas mês para o tratamento térmico de tempera e revenimento através de linhas contínuas e monitoradas via sistema supervisorio.

4.6 CÁLCULOS ANALÍTICOS DE PRENSAGEM

Com o intuito de identificar e mensurar os esforços necessários para a conformação dos pinos nos processos de prensagem, foram realizados cálculos analíticos de prensagem para os três modelos de pinos. Para a realização dos cálculos, as peças foram separadas entre as duas principais conformações necessárias, sendo elas: a conformação da cabeça em uma extremidade e na outra extremidade a redução do diâmetro do corpo liso para o diâmetro primitivo e posterior laminação da rosca, conforme demonstrado na Figura 19.

Figura 19 - Conformação do pino



Fonte: O autor (2019).

Primeiramente, com o auxílio do *Software SolidWorks* foram obtidos os volumes e calculadas as alturas necessárias para as conformações das cabeças dos 3 modelos de pinos. Após a definição das alturas, foram calculadas as relações de prensagem através da Equação 5 para as conformações das cabeças, com o fim de verificar se a prensagem poderia ser realizada em um só estágio, ou se haveria o risco de flambagem no momento da conformação.

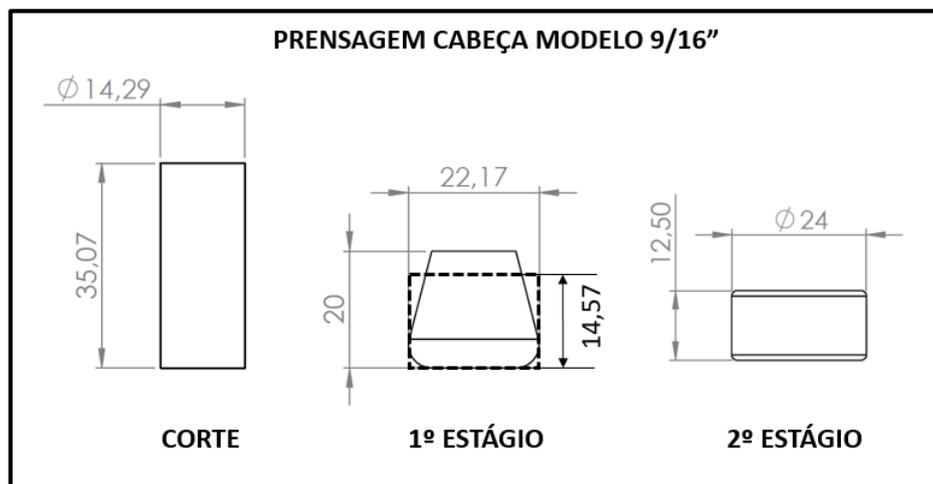
O desenvolvimento completo dos cálculos pode ser verificado no Apêndice F, onde obteve-se uma relação de prensagem de 2,5 para o pino 9/16" CB, de 1,9 para o pino M12 CB e de 2,6 para o pino M12 CA. Assim como proposto por Schaeffer (2006), quando

o valor da relação de prensagem em geral ultrapassa o valor 2,4 há a necessidade da conformação ocorrer em mais de uma etapa, através de operações intermediárias. Desta forma, para o pino M12 CB a conformação poderia ocorrer em somente um estágio, em contrapartida para os pinos 9/16" CB e M12 CA a conformação deve ocorrer em mais de um estágio.

Na sequência, considerando então a prensagem em 2 estágios para ambos os modelos de pinos, foram calculadas as deformações principais a partir da proposta de uma operação intermediária. Os cálculos completos e detalhados para os três modelos de pinos podem ser encontrados no Apêndice F, porém na sequência do trabalho foi dada ênfase ao modelo 9/16" CB, por este modelo apresentar os maiores esforços de conformação.

Para uma altura inicial de 35,07 mm, foi proposta uma operação intermediária com altura final de 20 mm e um último estágio atingindo a altura final de 12,5 mm desejada para o modelo. Através da Figura 20 é possível observar a sequência e formato dos dois estágios propostos, onde para a definição das cotas foi considerado o volume constante e utilizado o *Software SolidWorks* para a obtenção das formas.

Figura 20 - Prensagem cabeça modelo 9/16" CB



Fonte: O autor (2019).

As deformações principais foram calculadas de acordo com a Equação 3, onde para o cálculo da deformação principal do primeiro estágio, foi considerada a altura equivalente conforme demonstrado na Figura 20 e obtido o resultado de 0,8785. O cálculo completo para as alturas equivalentes de todos os modelos está demonstrado no apêndice F.

$$\varphi_{h_1} = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \ln\left(\frac{14,57}{35,073}\right) = 0,8785$$

E para o segundo estágio, foi encontrada uma deformação de 0,4700.

$$\varphi_{h_2} = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \ln\left(\frac{12,5}{20}\right) = 0,4700$$

A partir das deformações principais foram calculadas a tensão de escoamento referentes as deformações em cada estágio conforme Equação 1 para os dois estágios, considerando a curva de escoamento obtida no item 4.3. Para o primeiro estágio foi encontrada a tensão de 674,33 MPa.

$$K_{f1} = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137} = 684,34 \cdot 0,8785^{0,1137} = 674,33 \text{ MPa}$$

Já para o segundo estágio, foi obtida a tensão de 628,04 MPa.

$$K_{f1} = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137} = 684,34 \cdot 0,4700^{0,1137} = 628,04 \text{ MPa}$$

Na sequência, após os cálculos de tensão de escoamento, as forças de prensagem foram calculadas conforme Equação 2, onde para o primeiro estágio foi encontrada uma força de 273,5 kN.

$$F_{p1} = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = 386,030 \cdot 674,33 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot \frac{22,17}{14,57}\right) = 273,5 \text{ kN}$$

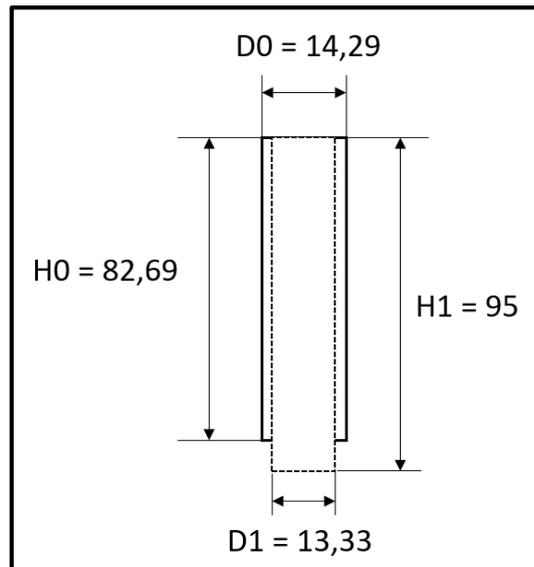
No segundo estágio, a força encontrada foi de 302,3 kN.

$$F_{p2} = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = 452,389 \cdot 628,04 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot \frac{24}{12,5}\right) = 302,3 \text{ kN}$$

Após a definição dos valores de forças de prensagem para a conformação da cabeça dos pinos, foram realizados os cálculos para a obtenção dos valores de deformações e forças de prensagem para a redução do diâmetro na outra extremidade das peças. Para a definição da altura final, foi selecionado o modelo 9/16" CB com

comprimento de rosca padrão de 95 mm, sendo este o modelo que apresentou maior força de conformação dentre as variações existentes. Na Figura 21 pode ser visualizado o esboço esquemático com as cotas de altura inicial, diâmetro inicial, altura final e diâmetro final para o modelo de pino 9/16" CB, e os cálculos completos para todos os modelos podem ser encontrados no Apêndice G.

Figura 21 - Esboço esquemático redução do diâmetro modelo 9/16" CB



Fonte: O autor (2019).

Inicialmente foram calculados os volumes a partir da altura e diâmetro final desejados para a peça, e então foi obtida a altura final de 82,69 mm. Após, com os dados de alturas iniciais e finais, encontrou-se como resultado, aplicando a Equação 3, uma deformação principal de 0,1387 para esta redução de diâmetro.

$$\varphi_{h_1} = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \ln\left(\frac{95}{82,693}\right) = 0,1387$$

Da mesma forma como calculado para a conformação na cabeça do pino, a partir da deformação principal foi calculada a tensão de escoamento com a aplicação da Equação 1 com a curva de escoamento do material obtida no item 4.3, obtendo-se um valor de tensão de 546,67 MPa.

$$K_{f1} = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137} = 684,34 \cdot 0,1387^{0,1137} = 546,67 \text{ MPa}$$

Para a definição da força de prensagem para a operação de redução do diâmetro, foi utilizada a Equação 2, obtendo-se como resultado uma força de 76,6 kN.

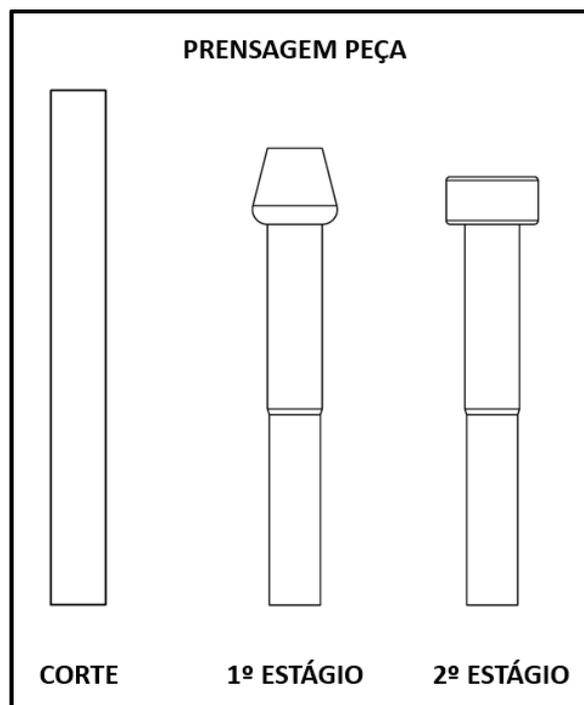
$$F_{p3} = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = 139,556 \cdot 546,67 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot \frac{13,33}{95}\right) = 76,6 \text{ kN}$$

Por fim, uma vez definidos os números de estágios e as forças de prensagem necessárias para a conformação da cabeça em uma extremidade e a redução do diâmetro na outra extremidade, foram definidos os estágios conforme Figura 22. É possível observar que a operação intermediária da formação da cabeça do pino foi somada a redução do diâmetro na extremidade no primeiro estágio, apresentando uma força de prensagem total de 350,1 kN.

$$F_{estágio\ 1} = F_{p1} + F_{p3} = 273,5 + 76,6 = 350,1 \text{ kN}$$

O último estágio compreende a conformação da cabeça na sua medida final a partir da operação intermediária formada no primeiro estágio, contemplando uma força de prensagem de 302,3 kN, já calculada anteriormente.

Figura 22 - Estágios de prensagem da peça



Fonte: O autor (2019).

4.7 SELEÇÃO E ORÇAMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Conforme abordado no item 4.5, para a realização do processo de prensagem, a empresa deverá realizar investimento na aquisição de maquinário específico. O equipamento a ser adquirido deve ser capaz de realizar tal operação com as características baseadas nos cálculos de prensagem realizados, como a necessidade de dois estágios de prensagem e capacidade mínima para conformar 350,1 kN.

Primeiramente, foram pesquisados equipamentos nacionais, onde foi encontrado um de prensas automáticas para conformação de fixadores. Também foi encontrado um fornecedor de Taiwan, fabricante de prensas automáticas para fixadores. Ambos os fabricantes classificam as prensas entre dois principais tipos: prensas de dupla ação, e prensas de múltiplos estágios.

As prensas de dupla ação são equipamentos que como o próprio nome já explica, realizam a operação de conformação em dois estágios, com a utilização de uma matriz e dois martelos, sendo indicadas para peças menos complexas. Já as prensas múltiplos estágios, são equipamentos de três a seis estágios, indicados para peças mais complexas e de altas deformações. Ambos os equipamentos, são capazes de endireitar o material (fornecido em bobinas pela usina), cortar, prensar e extrair as peças de maneira automática.

Devido ao fato de que as peças em estudo exigem dois estágios para conformação, foi escolhido a classe de prensas automáticas de duplo estágio por atenderem este quesito e possuírem a necessidade de menores investimentos, se comparadas as prensas de múltiplos estágios. Foi realizado uma cotação do equipamento nacional e também do equipamento estrangeiro.

Ambos os equipamentos cotados apresentaram dados técnicos muito semelhantes nos quesitos como: produtividade, capacidade máxima de conformação e tecnologia de regulagem e monitoramento do processo. Destaca-se no equipamento nacional, o atendimento a norma NR-12 e a facilidade na assistência técnica e no equipamento estrangeiro destaca-se possibilidade de operação com diâmetros e comprimentos máximos de extração maiores. Uma análise comparativa entre os dois fornecedores pode ser visualizada no Quadro 4.

Quadro 4 - Comparativo entre fornecedores da prensa automática de duplo estágio

Quesito	Equipamento nacional	Equipamento estrangeiro
Diâmetro (máx.)	14,3 mm	16 mm
Comprimento de extração (máx.)	254 mm	320 mm
Produtividade (máx.)	50 pç/min	50 pç/min
Capacidade (máx.)	784 kN	784 kN
Regulagem automática	Sim	Sim
Monitoramento do processo	Sim	Sim
Atendimento a norma NR-12	Sim	Não
Assistência técnica	Nacional	Internacional

Fonte: O autor (2019).

Com relação aos aspectos econômicos, o equipamento nacional apresentou maiores vantagens devido a facilidade de transporte, treinamento e assistência na aquisição do maquinário. O equipamento estrangeiro, devido aos custos de importação e frete se demonstrou ao final da cotação com um custo mais elevado se comparado ao equipamento nacional. Desta forma então, foi selecionado o equipamento nacional para a continuação do desenvolvimento. Uma imagem ilustrativa do equipamento pode ser visualizada na Figura 23.

Figura 23 - Prensa automática dupla ação



Fonte: Adaptado de Prensas Schuster (2019).

4.8 VIABILIDADE ECONÔMICA

Os cálculos de viabilidade econômica foram realizados para três diferentes cenários, sendo eles denominados: o cenário normal, um pessimista e outro otimista, a partir dos volumes de vendas previstos. O cenário normal foi realizado com a quantidade de 54180 peças mensais, sendo este o valor correspondente aos 86% da quantidade total prevista pela empresa, conforme demonstrado no item 3.2. O cenário pessimista foi feito com uma quantidade de 37926 peças mensais, correspondente a uma quantidade 30% inferior ao cenário normal. Já o cenário otimista foi realizado considerando uma quantidade mensal de 70434 peças, sendo este o volume correspondente a uma quantidade 30% superior ao cenário normal.

Devido a variação existente dos modelos e comprimentos, e também de uma difícil previsibilidade de volume de vendas para cada uma destas referências, para a definição dos custos e cálculo da viabilidade econômica foi selecionado o modelo 9/16" de comprimento 152,4 mm. Este modelo foi escolhido devido ao fato de o mesmo representar o valor médio de venda baseado no histórico atual da empresa. Para a demonstração dos resultados envolvendo a viabilidade econômica, foi utilizada uma unidade de referência que foi multiplicada pelos valores reais.

4.8.1 Custos do produto

Os custos do produto foram definidos com base nos dados do centro de custo atualmente utilizado pela empresa. Para tal, foi cadastrada a estrutura do produto e o roteiro de produção do item selecionado anteriormente no *software ERP* da empresa. Para o cadastro da estrutura do produto, foram considerados os custos da matéria prima, embalagem do produto e serviços terceirizados, e suas respectivas quantidades. Para o cadastro do roteiro de produção, foram considerados os tempos de produção para cada uma das operações necessárias e os valores de custo hora direto e indireto utilizados atualmente.

O custo dos produtos para cada um dos cenários pode ser visualizado na Tabela 4. Destaca-se que a diferença de custos existentes entre os cenários se deve as diferentes previsões de quantidades e por consequência, melhores negociações com fornecedores. As planilhas de custos completas utilizadas podem ser verificadas no Apêndice H, onde

também podem ser verificadas as incidências de *mark-up* utilizadas para a formação do preço de venda.

Tabela 4 - Comparação de custos de produção entre os cenários propostos

Custo	Cenário Normal	Cenário Pessimista	Cenário Otimista
Custo de materiais	R\$ 2,5303	R\$ 2,5911	R\$ 2,4695
Custo de mão de obra direta	R\$ 0,0625	R\$ 0,0625	R\$ 0,0625
Custos indiretos	R\$ 0,2851	R\$ 0,3677	R\$ 0,2407
Custo total de produção	R\$ 2,8779	R\$ 3,0213	R\$ 2,7727

Fonte: O autor (2019).

Em comparação com o custo atual do produto comprado, as reduções de custos proporcionadas pelos cenários normal, pessimista e otimista são: 16,82%, 12,68% e 19,86%, respectivamente.

4.8.2 Fluxo de Caixa

Após a definição dos custos de produção dos três cenários propostos, foram elaborados os fluxos de caixa, também para cada um dos cenários. Os fluxos de caixa contemplam as previsões de entradas e saídas projetadas para um período de 5 anos. Os fluxos de caixa para os cenários normal, pessimista e otimista podem ser encontrados na íntegra no Apêndice I, respectivamente.

Para as entradas foram considerados a venda dos produtos, levando em consideração o preço de venda elaborado através do *mark-up* e a quantidade anual vendida em cada cenário. As saídas do caixa estão divididas entre: custos de produção e entrega, investimentos e despesas tributárias e ao final o fluxo do período e o saldo resultante.

Os custos de produção e entrega se referem ao custo de matéria-prima, embalagens, serviços terceirizados e fretes. Outros custos estão associados a mão de obra direta de produção e custos indiretos de produção. Existem ainda as despesas do tipo comissões e taxas, entre outras. Salienta-se que a depreciação do novo investimento foi somada aos custos indiretos de produção. As despesas administrativas estão consideradas no campo de outras despesas.

O campo de investimentos contempla o equipamento apresentado no item 4.7, uma prensa automática de dupla ação com a capacidade plena para realizar as operações de prensagem necessárias no valor de R\$ 1.148.060,00, com valores já inclusos de frete e instalação. Também foram orçadas as ferramentas necessárias para a operação com o mesmo fornecedor do equipamento, onde foram cotados três kits de ferramentas, um para cada modelo de produto, M12 CA, M12 CB e 9/16" CB. Cada kit orçado no valor de R\$ 38.360,00 é composto de matrizes, martelos, pinos extratores, buchas e facas de corte, contemplando também as variações de comprimento existentes para cada modelo. Então, o investimento total fica no valor total de R\$ 1.263.140,00 e para o estudo em questão foi realizado considerando capital próprio da empresa, sem a realização de investimentos para tal.

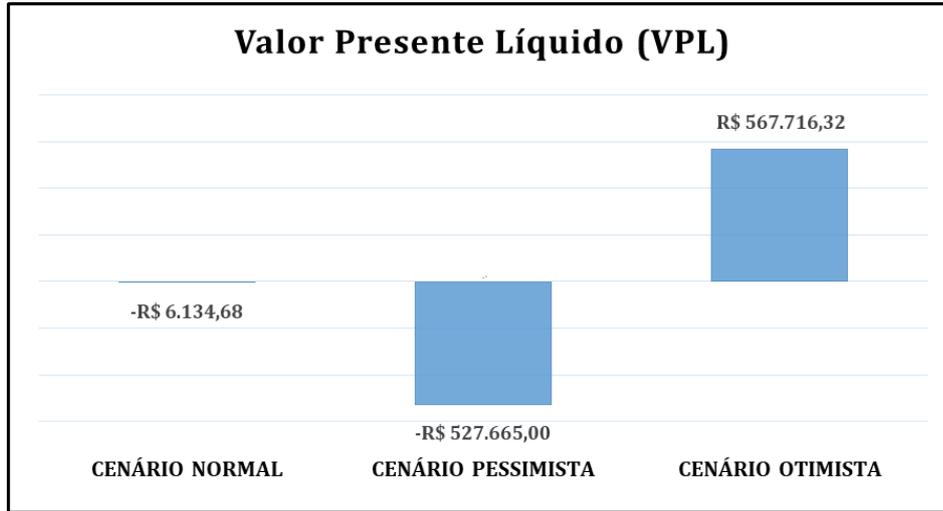
No campo de despesas tributárias dos fluxos de caixa encontram-se os impostos a pagar e as provisões de impostos sobre os lucros. Para os impostos a pagar, como a empresa se encontra no regime fiscal de lucro real, foram considerados os mesmos impostos incidentes sobre o *mark-up*, sendo eles o ICMS, o PIS e o COFINS. Já na provisão de impostos sobre os lucros, foi considerado uma alíquota de imposto de renda de 25% para lucros líquidos superiores a R\$ 240.000,00 anuais e de 15% para lucros inferiores a este valor. Nos impostos sobre os lucros também foi considerada a alíquota de 9% de contribuição social sobre o lucro líquido.

Nos itens a seguir são demonstrados os resultados da viabilidade econômica para o valor presente líquido (VPL), a taxa de retorno (TIR) e o tempo de recuperação de capital investido (*payback*) para cada um dos cenários propostos. Para a realização destes cálculos foi utilizada uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 15% para os três cenários propostos.

4.8.3 Valor presente líquido (VPL)

Os resultados para o VPL de cada cenário podem ser visualizados na Figura 24, onde é possível analisar comparativamente os valores obtidos. Pode se observar que os valores presentes líquidos apresentados para os cenários normal e pessimista foram negativos, enquanto que para o cenário otimista o valor presente líquido apresentado ficou positivo.

Figura 24 - Comparativo VPL entre cenários propostos



Fonte: O autor (2019).

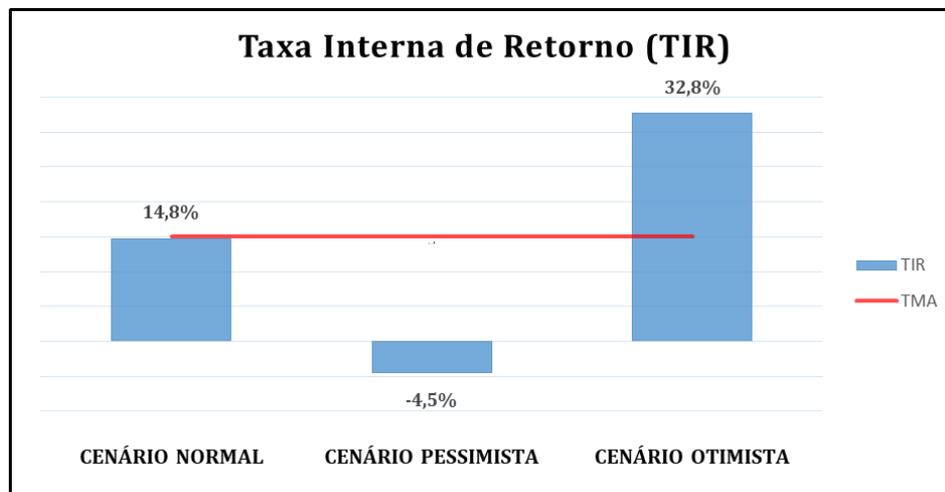
Analisando comparativamente o VPL, é possível salientar que o cenário normal apresenta um valor negativo, porém muito próximo de um valor neutro se comparado ao cenário pessimista, que apresentou valor consideravelmente negativo. Deste modo, pode-se analisar que para os valores presentes líquidos apresentados, o cenário que se demonstrou mais viável foi o otimista, enquanto o cenário normal pode ser avaliado como viável com ressalvas, visto que seu valor se aproximou do neutro e o cenário pessimista demonstrou-se inviável.

4.8.4 Taxa interna de retorno (TIR)

Os valores encontrados para as taxas internas de retorno podem ser visualizados de forma comparativa na Figura 25. É possível observar que os valores encontrados para as taxas internas de retorno apresentaram variação considerável entre os diferentes cenários. Assim como proposto por Motta e Calôba (2013), a TIR deve ser comparada a taxa mínima de atratividade (TMA) para a avaliação da viabilidade do projeto.

Desta forma, analisando os cenários e as taxas internas de retorno apresentadas, pode-se avaliar que o cenário normal apresentou uma TIR positiva e muito próxima a TMA utilizada para análise, enquanto o cenário pessimista apresentou uma TIR negativa e portanto inferior a TMA, e por fim o cenário otimista apresentou uma TIR positiva e consideravelmente superior a TMA.

Figura 25 - Comparativo TIR entre cenários propostos



Fonte: O autor (2019).

Quanto a viabilidade econômica de cada cenário analisada através da TIR, pode-se dizer que o cenário normal por apresentar um resultado muito semelhante a TMA, do ponto de vista exclusivo deste índice, apresenta-se como um investimento pouco atrativo. O cenário pessimista por sua vez, se demonstra um projeto inviável haja visto que a taxa interna de retorno além de não atingir a TMA prevista, também se demonstrou negativa pela análise do fluxo de caixa. Já o cenário otimista por outro lado apresentou um resultado atrativo, com uma TIR que excedeu o valor da TMA, se demonstrando um investimento viável deste ponto de vista.

4.8.5 Tempo de recuperação de capital investido (Payback time)

O tempo de recuperação de capital investido (*payback time*) encontrado para cada um dos cenários pode ser visualizado na Tabela 5, onde é possível notar a diferença razoável existente entre os resultados para os diferentes cenários.

Tabela 5 - Tempo de recuperação de capital investido entre cenários propostos

Cenário	Tempo de recuperação de capital investido
Cenário Normal	3,4 anos
Cenário Pessimista	5,8 anos
Cenário Otimista	2,3 anos

Fonte: O autor (2019).

Vale salientar que assim como já citado anteriormente, de acordo com Motta e Calôba (2013), o tempo de recuperação de capital investido (*payback time*) deve ser utilizado apenas como um indicador, não sendo o método de avaliação mais adequado para seleção de investimentos. Porém como um indicador complementar, pode ser analisado através dos resultados que o cenário normal apresenta um tempo de recuperação de capital investido razoável de 3,4 anos. Já o cenário pessimista oferece um elevado tempo de recuperação de capital investido de 5,8 anos e em contrapartida o cenário otimista resulta em um tempo de recuperação de capital investido de 2,3 anos, sendo este o melhor dos cenários propostos neste indicador.

5 CONCLUSÃO

Os objetivos traçados ao início do trabalho foram contemplados, onde para a avaliação dos quesitos técnicos para a fabricação dos pinos, foram utilizados conceitos de engenharia reversa aplicados ao produto atualmente já comercializado. Para tal, foram confeccionados os desenhos técnicos dos pinos com as principais variações encontradas e realizado um teste para identificação da composição química do produto atual.

A seleção do material para a fabricação dos pinos envolveu aspectos técnicos e econômicos. Do ponto de vista técnico, a matéria prima proposta apresentou compatibilidade com o material atualmente já utilizado pelo fornecedor, além de também atender os limites de composição química impostos pelas normas ISO 898-1:2013 e SAE J429:2014. Do ponto de vista econômico, o material escolhido também apresentou condições comerciais favoráveis, fator este essencial para a obtenção de um custo do produto adequado.

Com relação a definição dos processos de fabricação, destaca-se que somente a operação de prensagem evidenciou necessidade de investimentos. O processo de laminação de rosca foi considerado realizável internamente a partir da estrutura já existente da empresa, e a operação de tratamento térmico é terceirizada.

A partir do ensaio de tração e das curvas de escoamento geradas foi possível realizar os cálculos de prensagem, onde verificou-se que dois estágios são necessários para conformar os modelos de pinos estudados e que a força máxima de conformação é de 350,1 kN. Desta forma, a prensa escolhida atende tecnicamente as necessidades de processo, sendo automática de duplo estágio e com capacidade de conformação de 784 kN, superior a necessária para o maior esforço encontrado.

A partir das avaliações e índices econômicos realizados através dos fluxos de caixa do projeto, pode se observar que dos três possíveis cenários, o otimista foi o que apresentou melhores resultados e o pessimista os resultados menos agradáveis. Desta forma o VPL positivo de R\$ 567.716,32 juntamente com uma TIR de 32,8%, encontrados para o cenário positivo, comprovam a viabilidade econômica para este cenário. Por outro lado, no cenário pessimista, o VPL de R\$ -527.665,00 e a TIR negativa de 4,5% apresentados evidenciam que neste cenário o projeto não é viável economicamente.

O destaque fica para o cenário normal, que apresentou um VPL de R\$ -6.134,68, sendo este um valor negativo, entretanto tendo em vista a magnitude do investimento

total de R\$ 1.263.140,00, se torna um valor praticamente neutro. A TIR apresentada para o cenário normal de 14,8%, também foi muito próxima a TMA de 15% sugerida. É possível concluir então, através destes dois indicadores que o cenário normal se encontra no limite da viabilidade econômica.

Em geral, no que tange a questão econômica final do projeto salienta-se a influência determinante das quantidades a serem comercializadas. Sendo assim, a decisão final para a realização do investimento depende diretamente das quantidades traçadas nos cenários propostos, onde volumes de venda iguais ou superiores ao cenário normal demonstram viabilidade positiva para o projeto.

Para a sequência do presente trabalho, uma abordagem não realizada e que serviria como apoio a decisão na tomada de investimentos, seria realizar uma análise de riscos sobre os investimentos e receitas previstas, analisando os fatores financeiros e mercadológicos cabíveis.

Também pode ser desenvolvido como trabalho futuro um estudo de mercado com foco no produto e seu atual ramo de atuação. Buscando compreender melhor a relação do produto com o mercado de reposição em termos de volume, giro e utilização dos pinos de centro.

Outra análise que também pode ser realizada é em relação ao fluxograma dos processos, onde no presente estudo foi considerada a etapa de laminação por gravação única com equipamento já disponível. Um estudo envolvendo esta alteração do processo sob o ponto de vista econômico poderia avaliar as necessidades de investimento e os possíveis ganhos em competitividade.

Do ponto de vista técnico, uma sequência do trabalho poderia focar no desenvolvimento das ferramentas e matrizes para a fabricação do produto. Desta forma, poderia ser aprofundada a questão das etapas de prensagem, deformações e esforços necessários fazendo uso de *software* de análise numérica, visando a otimização do processo.

REFERÊNCIAS

BELGO BEKAERT ARAMES. **Soluções em arames para fixadores**. Disponível em: <[http:// www.belgobekaert.com.br/](http://www.belgobekaert.com.br/)>. Acesso em: 08 mar. 2019.

BUENO, K. **Desenvolvimento do SAE 1312 modificado ao nióbio para parafusos classe 8.8 conformados a frio**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Siderurgia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012.

CASAROTTO, F. N.; KOPITTKE, B. H.; **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégica empresarial**. 11 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CALLISTER, Jr., William D.; **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CARVALHO, A. O. **Análise da dinâmica do processo de roscamento por conformação na liga de magnésio AM60**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei. 2011.

CELENT, L.; BAJIĆ, D.; JOZIĆ, S. Reverse engineering process application in single item production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE “MECHANICAL TECHNOLOGIES AND STRUCTURAL MATERIALS”, 6. 2016. Split, Croácia. **Anais do 6º MTSM**. Split, 2016.

CETLIN, P. R.; HELMAN, H.; **Fundamentos da conformação mecânica dos metais**. 2ed. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

CHIAVERINI, V.; **Aços e ferros fundidos**. 7ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

CIUCCIO, R. C. et al. Aplicação do processo de conformação mecânica laminação a frio em parafusos de fixação de próteses dentárias. **Innov. Implant J., Biomater. Esthet.**, São Paulo, v. 6, n. 3, p 33-37, set./dez. 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. CNT. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Modal/modal-rodoviario-cnt>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

FELDENS, A. G. F. **Sistemática para Desenvolvimento de Políticas de Substituição de Frotas de Ônibus para Transporte Público Urbano: Uma Abordagem Multicritério**. 2006. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; DOS SANTOS, C. A. **Ensaio dos materiais**. 2ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GONÇALVES, F. V. **Influência na temperatura de revenido na fragilização por hidrogênio no aço ABNT 10B22 modificado**. 2013. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E TRIBUTAÇÃO. IBPT. **Real frota circulante no Brasil é de 65,8 milhões de veículos, indica estudo**. Disponível em: <<https://ibpt.com.br/noticia/2640/REAL-FROTA-CIRCULANTE-NO-BRASIL-E-DE-65-8-MILHOES-DE-VEICULOS-INDICA-ESTUDO>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

METALÚRGICA LUZI. Disponível em: <<http://www.metalurgicaluzi.com.br/>>. Acesso em: 20 out. 2018.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/rodovias-brasileiras.html>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Atlas, 2013.

MURY, L. G. M. **Uma metodologia para adaptação e melhoria de produtos a partir da engenharia reversa**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

NOGUEIRA, T. B. R. **Um método de projeto mecatrônico para as necessidades das pequenas e médias empresas**. 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2007.

NORTON, R. L.; **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PRENSAS SCHUSTER. Disponível em: <<http://prensasschuster.com.br/produtos/dupla-acao/>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

RAJESHKANNAN, A.; SHANMUGAM, S. Study on densification behaviour under cold forging of sintered high carbon alloy steels. **Key Engineering Materials**, Índia, v. 777, p 311-315, ago. 2018.

RASSINI – NHK. Disponível em: <<http://www.rassini-nhk.com.br/>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

SAEED N. G.;, HODA S. E.; MAMDOUH M. E. Influence of boron additions on mechanical properties of carbon steel. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, Egito, v. 11, n. 10, p 995-999, out. 2012.

SANTOS, R. J. C. **Estudo das propriedades mecânicas do aço ao boro 50b35 com diferentes tamanhos de grãos**. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-

Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2015.

SCHAEFFER, L.; **Conformação mecânica**. 2ed. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004.

SCHAEFFER, L.; **Forjamento: Introdução ao processo**. 2ed. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2006.

SCOPEL, T. **Avaliação da estampabilidade do alumínio (1100) no processo de estampagem profunda**. 2014. Monografia (Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul. 2014.

SILVA, D. E. N. **O design industrial e as engenharias: uma possibilidade de integração por intermédio da engenharia reversa**. 2014. 392 f. Tese (Doutorado em Design) – Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Estadual Paulista, Bauru. 2014.

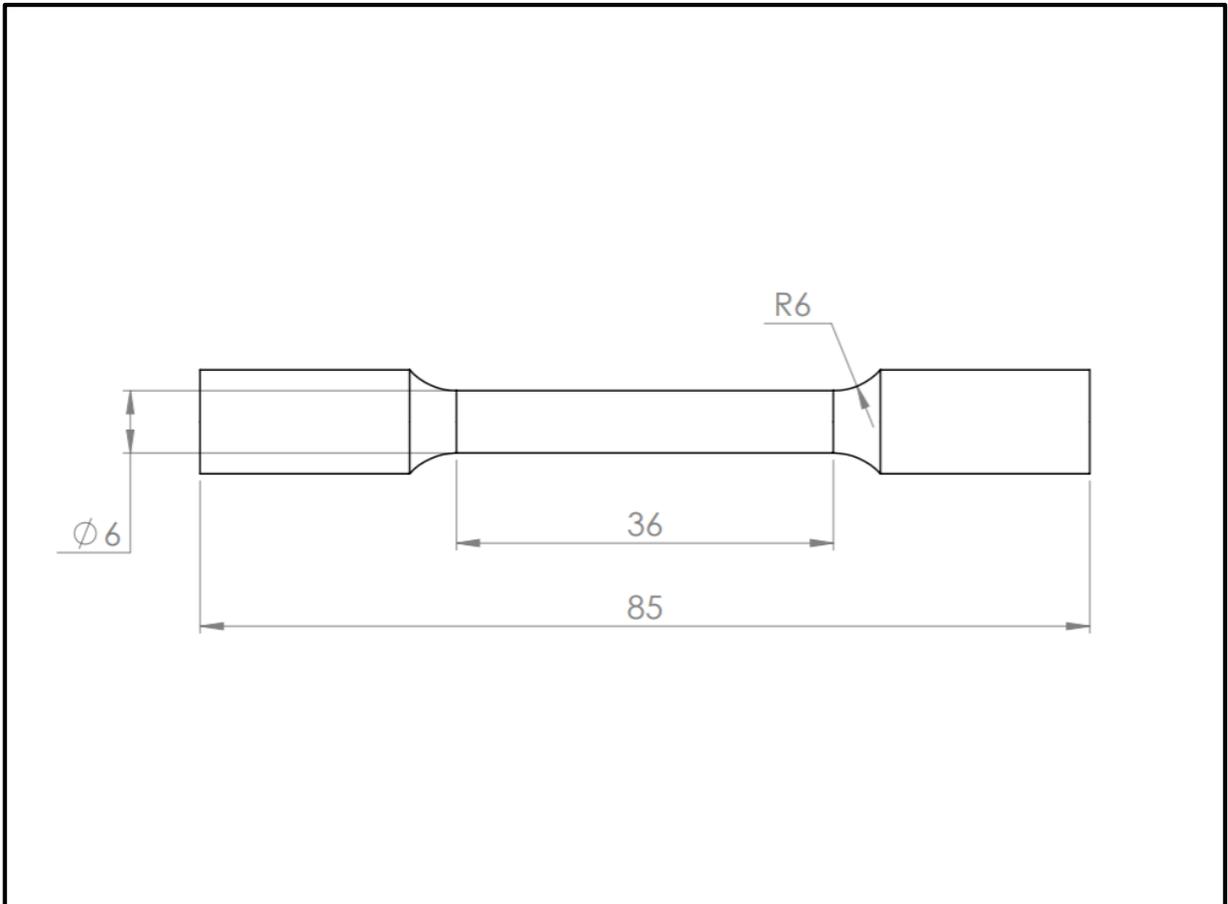
SILVA, D. C. et al. Aplicação da engenharia reversa no redesign de um molde de sopro. **Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM**. Marília, v. 10, n. 1, p 390-401, out. 2017.

SOUZA, W. M. et al. Efeito da têmpera e revenimento em aços microligados contendo boro e titânio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22. 2016. Natal. **Anais do 22º CBECiMat**. Natal, 2016.

SUSKI, C. A. Estudo da Influência da Adição de Boro nos Aços de Baixo Carbono. **Revista do Parafuso**, São Paulo, Edição 07, dez. 2007.

THOMÉ, E. **Proposta de alteração do processo de produção do parafuso de roda mantendo as propriedades de montagem**. 2015. Monografia (Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Univates, Lajeado. 2015.

**APÊNDICE A - DESENHO DOS CORPOS DE PROVA CÍLINDRICOS PARA ENSAIO DE
TRAÇÃO**



Fonte: O autor (2019)

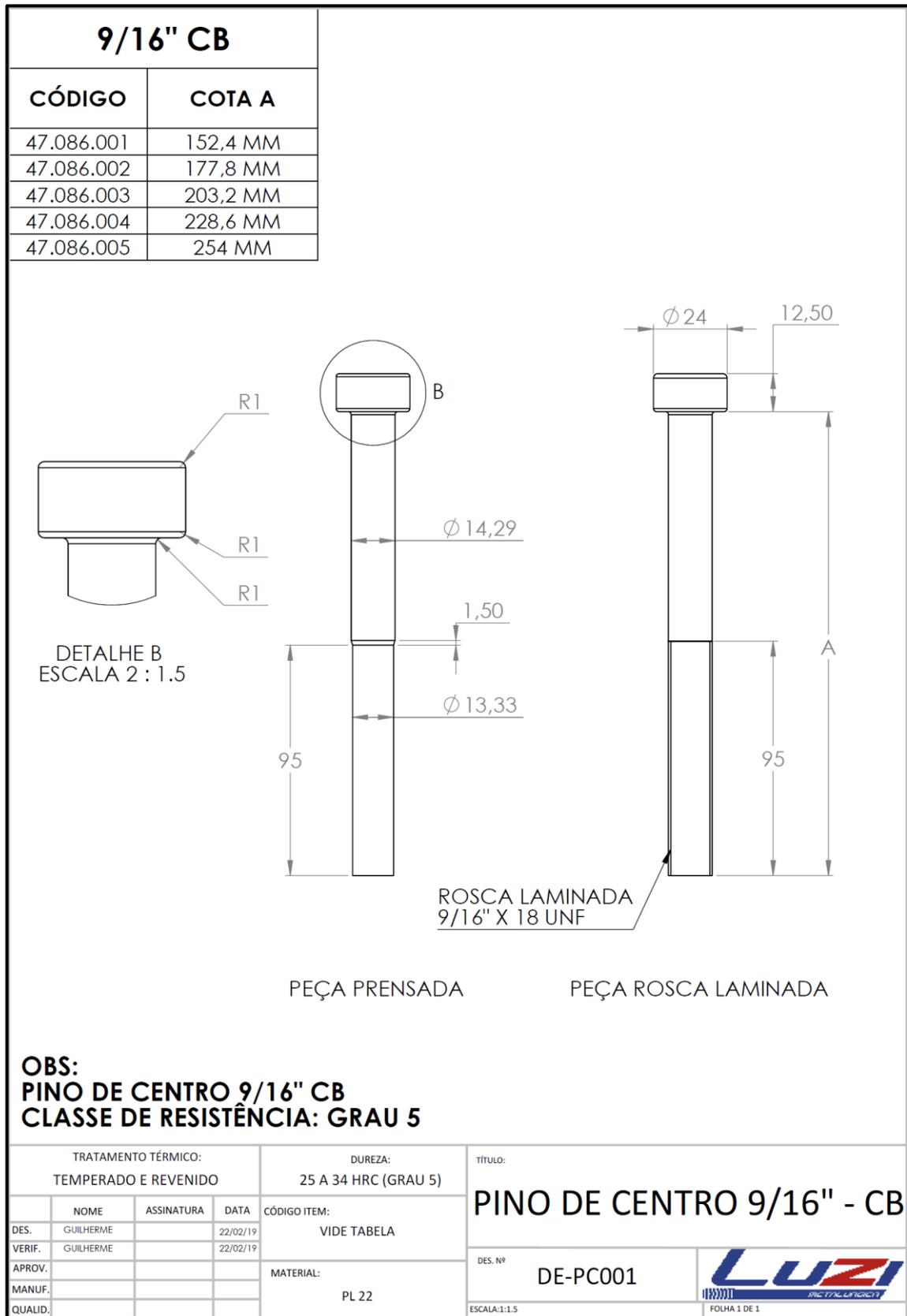
APÊNDICE B – MÉDIAS DA CONSTANTE DA EQUAÇÃO E ÍNDICE DE ENCRUABILIDADE DAS CURVAS DE ESCOAMENTO

Tabela 6 - Resultados constante da equação e índice de encruabilidade

Amostras	C	<i>n</i>
CP 1	685,18	0,1122
CP 2	685,52	0,1167
CP 3	682,33	0,1123
Médias	684,34	0,1137

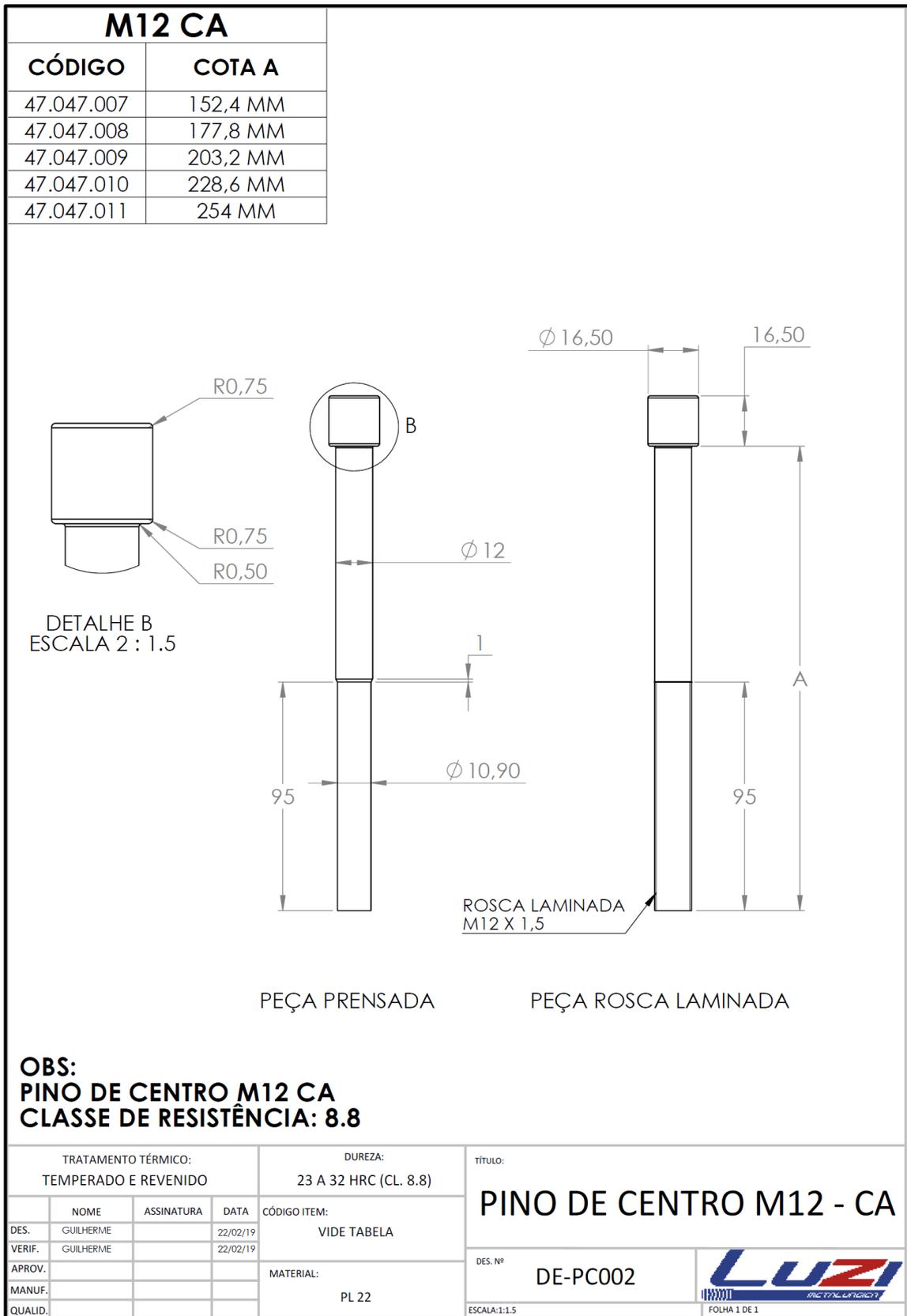
Fonte: O autor (2019).

APÊNDICE C - DESENHO TÉCNICO DOS PINOS DE CENTRO MODELO 9/16" CB



Fonte: O autor (2019).

APÊNDICE E – DESENHO TÉCNICO DOS PINOS DE CENTRO MODELO M12 CA



Fonte: O autor (2019).

APÊNDICE F – CÁLCULOS DE PENSAGEM DA CABEÇA

Altura inicial

Através dos cálculos de volumes das peças, foi determinado as alturas iniciais das peças para os três modelos de pinos de centro:

Modelo M12 CA:

$$\text{Área inicial} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 113,097 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área final} = \frac{\pi \cdot 16,5^2}{4} = 213,825 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume obtido através do software Solidworks} = 3515,85 \text{ mm}^3$$

$$\text{Altura inicial } (h_0) = \frac{\text{Volume}}{\text{Área inicial}} = \frac{3515,85}{113,097} = 31,087 \text{ mm}$$

Modelo M12 CB:

$$\text{Área inicial} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 113,097 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área final} = \frac{\pi \cdot 16,5^2}{4} = 213,825 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume obtido através do software Solidworks} = 2553,64 \text{ mm}^3$$

$$\text{Altura inicial } (h_0) = \frac{\text{Volume}}{\text{Área inicial}} = \frac{2553,64}{113,097} = 22,579 \text{ mm}$$

Modelo 9/16" CB:

$$\text{Área inicial} = \frac{\pi \cdot 14,2875^2}{4} = 160,325 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área final} = \frac{\pi \cdot 24^2}{4} = 452,389 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume obtido através do software Solidworks} = 5623,11 \text{ mm}^3$$

$$\text{Altura inicial } (h_0) = \frac{\text{Volume}}{\text{Área inicial}} = \frac{5623,11}{160,325} = 35,073 \text{ mm}$$

$$\text{Altura equivalente } (h_{eq}) = \frac{\text{Volume}}{\text{Área projetada}} = \frac{5623,11}{386,030} = 14,57 \text{ mm}$$

Relação de prensagem

Através da Equação 5, foram calculadas as relações de prensagem para os três modelos de pinos de centro:

Modelo M12 CA:

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{31,087}{12} = 2,6$$

Modelo M12 CB:

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{22,579}{12} = 1,9$$

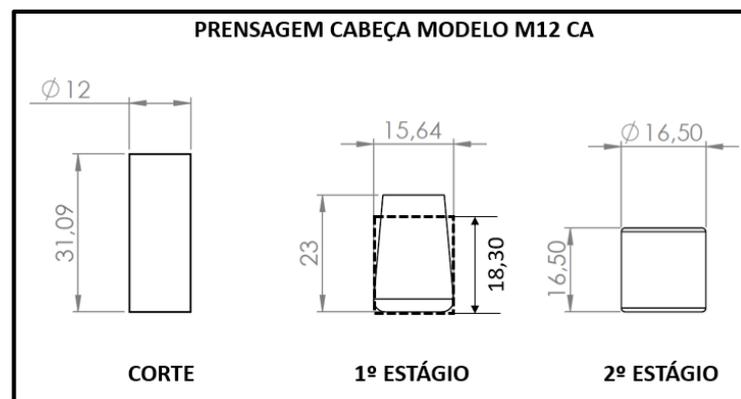
Modelo 9/16" CB:

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{35,073}{14,2875} = 2,5$$

Deformação principal

Através da Equação 3, foram calculadas as deformações principais para os dois modelos de pinos de centro M12. As deformações principais foram calculadas para os 2 estágios, seguindo as cotas demonstradas nas Figuras 23 e 24, para os modelos M12 CA, M12 CB, respectivamente. Para o primeiro estágio foi calculada primeiramente a altura equivalente para posterior cálculo da deformação principal:

Figura 26 - Prensagem cabeça modelo M12 CA



Fonte: O autor (2019).

Modelo M12 CA:

Estágio 1:

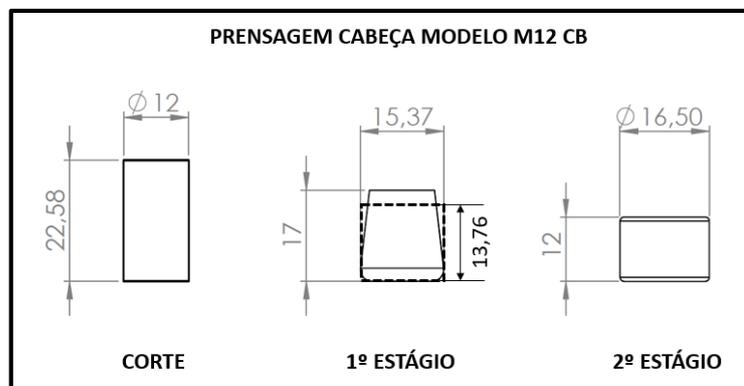
$$\text{Altura equivalente } (h_{eq}) = \frac{\text{Volume}}{\text{Área projetada}} = \frac{3515,85}{192,12} = 18,30 \text{ mm}$$

$$\varphi_{h_1} = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \ln\left(\frac{18,30}{31,087}\right) = 0,5299$$

Estágio 2:

$$\varphi_{h_2} = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \ln\left(\frac{16,5}{23}\right) = 0,3321$$

Figura 27 - Prensagem cabeça modelo M12 CB



Fonte: O autor (2019).

Modelo M12 CB:

$$\text{Altura equivalente } (h_{eq}) = \frac{\text{Volume}}{\text{Área projetada}} = \frac{2553,64}{185,54} = 13,76 \text{ mm}$$

Estágio 1:

$$\varphi_{h_1} = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \ln\left(\frac{13,76}{22,579}\right) = 0,4952$$

Estágio 2:

$$\varphi_{h_2} = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \ln\left(\frac{12}{17}\right) = 0,3483$$

Tensão de escoamento

As tensões de escoamento foram calculadas conforme Equação 1 para os dois estágios dos dois modelos de pinos de centro M12. A curva de escoamento utilizada foi a obtida no item 4.3.

Modelo M12 CA:

Estágio 1:

$$K_{f1} = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137} = 684,34 \cdot 0,5299^{0,1137} = 636,67 \text{ MPa}$$

Estágio 2:

$$K_{f1} = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137} = 684,34 \cdot 0,3321^{0,1137} = 603,73 \text{ MPa}$$

Modelo M12 CB:

Estágio 1:

$$K_{f1} = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137} = 684,34 \cdot 0,4952^{0,1137} = 631,78 \text{ MPa}$$

Estágio 2:

$$K_{f1} = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137} = 684,34 \cdot 0,3483^{0,1137} = 607,00 \text{ MPa}$$

Força de prensagem da cabeça

As forças de prensagem foram calculadas conforme Equação 2, sendo obtidas as forças para os dois estágios de conformação dos dois modelos de pinos de centro M12. Para o coeficiente de atrito foi atribuído o valor para forjamento a frio de pequenas deformações para o aço, com base no material encontrado no Anexo H.

Modelo M12 CA:

Estágio 1:

$$F_{p1} = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_{eq}}\right) = 192,116 \cdot 636,67 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot \frac{15,64}{18,30}\right) =$$

125,8 kN

Estágio 2:

$$F_{p2} = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = 213,825 \cdot 603,73 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot \frac{16,5}{16,5}\right) = 133,4 \text{ kN}$$

Modelo M12 CB:

Estágio 1:

$$F_{p1} = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = 185,54 \cdot 631,78 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot \frac{15,37}{13,76}\right) = 121,6 \text{ kN}$$

Estágio 2:

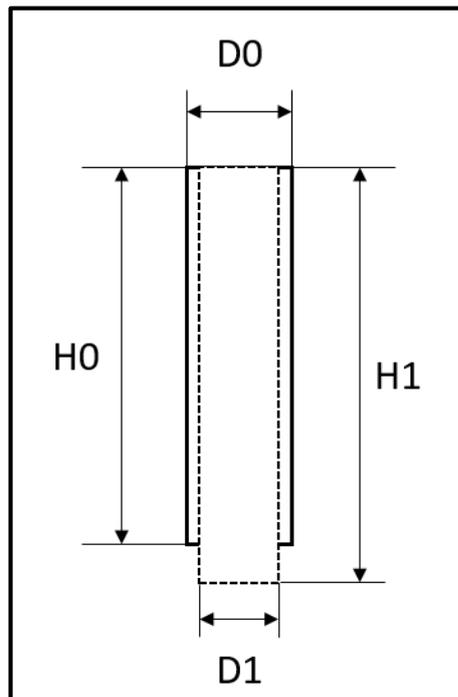
$$F_{p2} = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = 213,825 \cdot 607,00 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot \frac{16,5}{12}\right) = 135,7 \text{ kN}$$

APÊNDICE G – CÁLCULOS DE Prensagem REDUÇÃO DO DIÂMETRO NA EXTREMIDADE

Altura inicial

Os cálculos foram realizados para a bitola 9/16” e para a bitola M12, independentemente dos modelos de cabeça, tendo em vista que para os dois modelos de cabeça dos pinos M12 a redução na extremidade é igual. Primeiramente foram calculadas as alturas iniciais através dos volumes e áreas iniciais e finais, com base nas cotas demonstradas, onde a altura final (h1) tem a medidas de 95 mm para ambos os modelos na Figura 25:

Figura 28 - Cotas conformação redução do diâmetro



Fonte: O autor (2019).

Pino M12:

$$\text{Área inicial} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 113,097 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área final} = \frac{\pi \cdot 10,9^2}{4} = 93,313 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume} = 93,313 \cdot 95 = 8864,735 \text{ mm}^3$$

$$\text{Altura inicial (h}_0\text{)} = \frac{\text{Volume}}{\text{Área inicial}} = \frac{8864,735}{113,097} = 78,382 \text{ mm}$$

Pino 9/16”:

$$\text{Área inicial} = \frac{\pi \cdot 14,2875^2}{4} = 160,325 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área final} = \frac{\pi \cdot 13,33^2}{4} = 139,556 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume} = 139,556 \cdot 95 = 13257,82 \text{ mm}^3$$

$$\text{Altura inicial } (h_0) = \frac{\text{Volume}}{\text{Área inicial}} = \frac{13257,82}{160,325} = 82,693 \text{ mm}$$

Deformação principal

Após a definição das alturas iniciais, foram calculadas as deformações principais para a bitola M12, através da Equação 3. Os cálculos de deformação principal para a bitola 9/16” podem ser encontrados no item 4.6.

Modelo M12:

$$\varphi_{h_1} = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \ln\left(\frac{95}{78,382}\right) = 0,1923$$

Tensão de escoamento

A partir das deformações principais calculadas, foram determinadas as tensões de escoamento com a utilização da Equação 1, para ambas a bitola M12. Os cálculos de tensão de escoamento para a bitola 9/16” podem ser encontrados no item 4.6. A curva de escoamento utilizada foi a obtida no item 4.3.

Modelo M12:

$$K_{f1} = 684,34 \cdot \varphi^{0,1137} = 684,34 \cdot 0,1923^{0,1137} = 567,36 \text{ MPa}$$

Força de prensagem da redução do diâmetro

As forças de prensagem para a redução do diâmetro foram calculadas para a bitolas M12 conforme Equação 2. Os cálculos de forças de prensagem para a redução do

diâmetro para a bitola 9/16" podem ser encontrados no item 4.6. Para o coeficiente de atrito, assim como na prensagem da cabeça, foi atribuído o valor para forjamento a frio de pequenas deformações para o aço, com base no material encontrado no Anexo H.

Modelo M12:

$$F_{p3} = A_{1p} \cdot K_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = 93,313 \cdot 567,36 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot \frac{10,9}{95}\right) = 53,1 \text{ kN}$$

APÊNDICE H – CUSTOS DO PRODUTO POR CENÁRIO

CENÁRIO NORMAL				
Pino de centro 9/16" x 152,4 mm				
QUANTIDADE DE PEÇAS/MÊS			54180	
PREÇO DE VENDA UNITÁRIO			R\$ 6,0270	
FATURAMENTO BRUTO MENSAL			R\$ 326.545,0814	
	Unitário	Mensal	Anual	
CPV				
Matéria Prima	R\$ 1,7610	R\$ 95.410,8716	R\$ 1.144.930,46	
Embalagens	R\$ 0,0151	R\$ 816,4926	R\$ 9.797,91	
Serv. Terceirizados	R\$ 0,7543	R\$ 40.869,1660	R\$ 490.429,99	
ROTEIRO				
Custo MO Direta	R\$ 0,0625	R\$ 3.384,7330	R\$ 40.616,80	
Custo Indiretos	R\$ 0,2851	R\$ 15.446,5555	R\$ 185.358,67	
DESPESAS (MARK-UP)				
Outras despesas ADM	3,50% R\$ 0,2109	R\$ 11.429,08	R\$ 137.148,93	
Comissões	3,00% R\$ 0,1808	R\$ 9.796,35	R\$ 117.556,23	
Frete	4,00% R\$ 0,2411	R\$ 13.061,80	R\$ 156.741,64	
ICMS	18,00% R\$ 1,0849	R\$ 58.778,11	R\$ 705.337,38	
PIS	1,65% R\$ 0,0994	R\$ 5.387,99	R\$ 64.655,93	
COFINS	7,60% R\$ 0,4581	R\$ 24.817,43	R\$ 297.809,11	
TOTAL IMPOSTOS	27,25% R\$ 1,6424	R\$ 88.983,53	R\$ 1.067.802,42	

Fonte: O autor (2019).

CENÁRIO PESSIMISTA				
Pino de centro 9/16" x 152,4 mm				
QUANTIDADE DE PEÇAS/MÊS			37926	
PREÇO DE VENDA UNITÁRIO			R\$ 6,0270	
FATURAMENTO BRUTO MENSAL			R\$ 228.581,5570	
	Unitário	Mensal	Anual	
CPV				
Matéria Prima	R\$ 1,7610	R\$ 66.787,6101	R\$ 801.451,32	
Embalagens	R\$ 0,0151	R\$ 571,5448	R\$ 6.858,54	
Serv. Terceirizados	R\$ 0,8152	R\$ 30.915,3789	R\$ 370.984,55	
ROTEIRO				
Custo MO Direta	R\$ 0,0625	R\$ 2.369,3131	R\$ 28.431,76	
Custo Indiretos	R\$ 0,3677	R\$ 13.945,6936	R\$ 167.348,32	
DESPESAS (MARK-UP)				
Outras despesas ADM	3,50% R\$ 0,2109	R\$ 8.000,35	R\$ 96.004,25	
Comissões	3,00% R\$ 0,1808	R\$ 6.857,45	R\$ 82.289,36	
Frete	4,00% R\$ 0,2411	R\$ 9.143,26	R\$ 109.719,15	
ICMS	18,00% R\$ 1,0849	R\$ 41.144,68	R\$ 493.736,16	
PIS	1,65% R\$ 0,0994	R\$ 3.771,60	R\$ 45.259,15	
COFINS	7,60% R\$ 0,4581	R\$ 17.372,20	R\$ 208.466,38	
TOTAL IMPOSTOS	27,25% R\$ 1,6424	R\$ 62.288,47	R\$ 747.461,69	

Fonte: O autor (2019).

CENÁRIO OTIMISTA				
Pino de centro 9/16" x 152,4 mm				
QUANTIDADE DE PEÇAS/MÊS			70434	
PREÇO DE VENDA UNITÁRIO			R\$	6,0270
FATURAMENTO BRUTO MENSAL			R\$	424.508,6058
	Unitário	Mensal	Anual	
CPV				
Matéria Prima	R\$ 1,7610	R\$ 124.034,1331	R\$ 1.488.409,60	
Embalagens	R\$ 0,0151	R\$ 1.061,4404	R\$ 12.737,28	
Serv. Terceirizados	R\$ 0,6935	R\$ 48.845,5564	R\$ 586.146,68	
ROTEIRO				
Custo MO Direta	R\$ 0,0625	R\$ 4.400,1528	R\$ 52.801,83	
Custo Indiretos	R\$ 0,2407	R\$ 16.954,0977	R\$ 203.449,17	
DESPESAS (MARK-UP)				
Outras despesas ADM	3,50%	R\$ 0,2109	R\$ 14.857,80	R\$ 178.293,61
Comissões	3,00%	R\$ 0,1808	R\$ 12.735,26	R\$ 152.823,10
Frete	4,00%	R\$ 0,2411	R\$ 16.980,34	R\$ 203.764,13
ICMS	18,00%	R\$ 1,0849	R\$ 76.411,55	R\$ 916.938,59
PIS	1,65%	R\$ 0,0994	R\$ 7.004,39	R\$ 84.052,70
COFINS	7,60%	R\$ 0,4581	R\$ 32.262,65	R\$ 387.151,85
TOTAL IMPOSTOS	27,25%	R\$ 1,6424	R\$ 115.678,60	R\$ 1.388.143,14

Fonte: O autor (2019).

APÊNDICE I - FLUXOS DE CAIXA POR CENÁRIO

CENÁRIO NORMAL						
Fluxo de Caixa	Ano I	Ano II	Ano III	Ano IV	Ano V	TOTAL
1 ENTRADAS	3.918.540,98	3.918.540,98	3.918.540,98	3.918.540,98	3.918.540,98	19.592.704,88
1.1 Venda de Produtos e Serviços	3.918.540,98	3.918.540,98	3.918.540,98	3.918.540,98	3.918.540,98	19.592.704,88
1.2 Empréstimos	-	-	-	-	-	-
1.3 Capital Próprio Investido na Empresa	-	-	-	-	-	-
1.4 Receitas Diversas	-	-	-	-	-	-
2 SAIDAS	(1.263.140,00)	(3.543.556,74)	(3.543.556,74)	(3.543.556,74)	(3.543.556,74)	(17.717.783,70)
2.1 Despesas de Produção/Entrega	(1.801.900,00)	(1.801.900,00)	(1.801.900,00)	(1.801.900,00)	(1.801.900,00)	(9.009.500,01)
2.1.1 Compras/Matéria-prima/Serviços terc.	(1.635.360,45)	(1.635.360,45)	(1.635.360,45)	(1.635.360,45)	(1.635.360,45)	(8.176.802,26)
2.1.2 Embalagens	(9.797,91)	(9.797,91)	(9.797,91)	(9.797,91)	(9.797,91)	(48.989,56)
2.1.3 Fretes	(156.741,64)	(156.741,64)	(156.741,64)	(156.741,64)	(156.741,64)	(783.708,20)
2.2 Demais Despesas	(480.680,62)	(480.680,62)	(480.680,62)	(480.680,62)	(480.680,62)	(2.403.403,12)
2.2.1 Custos MOD	(40.616,80)	(40.616,80)	(40.616,80)	(40.616,80)	(40.616,80)	(203.083,98)
2.2.2 Custos Indiretos	(185.358,67)	(185.358,67)	(185.358,67)	(185.358,67)	(185.358,67)	(926.793,33)
2.2.3 Comissões e taxas	(117.556,23)	(117.556,23)	(117.556,23)	(117.556,23)	(117.556,23)	(587.781,15)
2.2.4 Outras desp. (ADM)	(137.148,93)	(137.148,93)	(137.148,93)	(137.148,93)	(137.148,93)	(685.744,67)
2.3 Investimentos	(1.263.140,00)					-
2.4 Despesas Tributárias	(1.260.976,11)	(1.260.976,11)	(1.260.976,11)	(1.260.976,11)	(1.260.976,11)	(6.304.880,57)
2.4.1 Impostos a Pagar	(1.067.802,42)	(1.067.802,42)	(1.067.802,42)	(1.067.802,42)	(1.067.802,42)	(5.339.012,08)
2.4.2 Provisão para Impostos sobre o lucro	(193.173,70)	(193.173,70)	(193.173,70)	(193.173,70)	(193.173,70)	(965.868,49)
3 FLUXO DO PERÍODO	(1.263.140,00)	374.984,24	374.984,24	374.984,24	374.984,24	1.874.921,18
SALDO =	(1.263.140,00)	(888.155,76)	(513.171,53)	(138.187,29)	236.796,95	611.781,18
Análise de Investimento						
Pay Back - Retorno do Investimento	3,369 ANOS					
Atratividade	Taxa de atratividade: 15,00% ao ano					
	Investimento Inicial: (1.263.140,00)					
	Valor Presente: 1.257.005,32					
VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) =	(6.134,68)					
TIR - Taxa Interna de Retorno	14,8%					

Fonte: O autor (2019).

CENÁRIO PESSIMISTA						
Fluxo de Caixa	Ano I	Ano II	Ano III	Ano IV	Ano V	TOTAL
1 ENTRADAS	2.742.978,68	2.742.978,68	2.742.978,68	2.742.978,68	2.742.978,68	13.714.893,42
1.1 Venda de Produtos e Serviços	2.742.978,68	2.742.978,68	2.742.978,68	2.742.978,68	2.742.978,68	13.714.893,42
1.2 Empréstimos	-	-	-	-	-	-
1.3 Capital Próprio Investido na Empresa	-	-	-	-	-	-
1.4 Receitas Diversas	-	-	-	-	-	-
2 SAÍDAS	(1.263.140,00)	(2.523.575,05)	(2.523.575,05)	(2.523.575,05)	(2.523.575,05)	(12.617.875,26)
2.1 Despesas de Produção/Entrega	(1.289.013,55)	(1.289.013,55)	(1.289.013,55)	(1.289.013,55)	(1.289.013,55)	(6.445.067,77)
2.1.1 Compras/Matéria-prima/Serviços terç.	(1.172.435,87)	(1.172.435,87)	(1.172.435,87)	(1.172.435,87)	(1.172.435,87)	(5.862.179,34)
2.1.2 Embalagens	(6.858,54)	(6.858,54)	(6.858,54)	(6.858,54)	(6.858,54)	(34.292,69)
2.1.3 Fretes	(109.719,15)	(109.719,15)	(109.719,15)	(109.719,15)	(109.719,15)	(548.595,74)
2.2 Demais Despesas	(374.073,69)	(374.073,69)	(374.073,69)	(374.073,69)	(374.073,69)	(1.870.368,47)
2.2.1 Custos MOD	(28.431,76)	(28.431,76)	(28.431,76)	(28.431,76)	(28.431,76)	(142.158,78)
2.2.2 Custos Indiretos	(167.348,32)	(167.348,32)	(167.348,32)	(167.348,32)	(167.348,32)	(836.741,62)
2.2.3 Comissões e taxas	(82.289,36)	(82.289,36)	(82.289,36)	(82.289,36)	(82.289,36)	(411.446,80)
2.2.4 Outras desp. (ADM)	(96.004,25)	(96.004,25)	(96.004,25)	(96.004,25)	(96.004,25)	(480.021,27)
2.3 Investimentos	(1.263.140,00)					
2.4 Despesas Tributárias	(860.487,80)	(860.487,80)	(860.487,80)	(860.487,80)	(860.487,80)	(4.302.439,02)
2.4.1 Impostos a Pagar	(747.461,69)	(747.461,69)	(747.461,69)	(747.461,69)	(747.461,69)	(3.737.308,46)
2.4.2 Provisão para Imposto de Renda	(113.026,11)	(113.026,11)	(113.026,11)	(113.026,11)	(113.026,11)	(565.130,56)
3 FLUXO DO PERÍODO	(1.263.140,00)	219.403,63	219.403,63	219.403,63	219.403,63	1.097.018,16
SALDO =	(1.263.140,00)	(1.043.736,37)	(824.332,74)	(604.929,11)	(385.525,48)	(166.121,84)
Análise de Investimento						
Pay Back - Retorno do Investimento	5,757 ANOS					
Atratividade	Taxa de atratividade: 15,00% ao ano					
	Investimento Inicial: (1.263.140,00)					
	Valor Presente: 735.475,00					
VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) =	(527.665,00)					
TIR - Taxa Interna de Retorno	-4,5%					

Fonte: O autor (2019).

CENÁRIO OTIMISTA						
Fluxo de Caixa	Ano I	Ano II	Ano III	Ano IV	Ano V	TOTAL
1 ENTRADAS		5.094.103,27	5.094.103,27	5.094.103,27	5.094.103,27	25.470.516,35
1.1 Venda de Produtos e Serviços	-	5.094.103,27	5.094.103,27	5.094.103,27	5.094.103,27	25.470.516,35
1.2 Empréstimos	-	-	-	-	-	-
1.3 Capital Próprio Investido na Empresa	-	-	-	-	-	-
1.4 Receitas Diversas	-	-	-	-	-	-
2 SAÍDAS	(1.263.140,00)	(4.547.930,35)	(4.547.930,35)	(4.547.930,35)	(4.547.930,35)	(22.739.651,77)
2.1 Despesas de Produção/Entrega	(2.291.057,69)	(2.291.057,69)	(2.291.057,69)	(2.291.057,69)	(2.291.057,69)	(11.455.288,45)
2.1.1 Compras/Matéria-prima/Serviços terc.	(2.074.556,27)	(2.074.556,27)	(2.074.556,27)	(2.074.556,27)	(2.074.556,27)	(10.372.781,37)
2.1.2 Embalagens	(12.737,28)	(12.737,28)	(12.737,28)	(12.737,28)	(12.737,28)	(63.686,42)
2.1.3 Fretes	(203.764,13)	(203.764,13)	(203.764,13)	(203.764,13)	(203.764,13)	(1.018.820,65)
2.2 Demais Despesas	(587.367,72)	(587.367,72)	(587.367,72)	(587.367,72)	(587.367,72)	(2.936.838,60)
2.2.1 Custos MOD	(52.801,83)	(52.801,83)	(52.801,83)	(52.801,83)	(52.801,83)	(264.009,17)
2.2.2 Custos Indiretos	(203.449,17)	(203.449,17)	(203.449,17)	(203.449,17)	(203.449,17)	(1.017.245,86)
2.2.3 Comissões e taxas	(152.823,10)	(152.823,10)	(152.823,10)	(152.823,10)	(152.823,10)	(764.115,49)
2.2.4 Outras desp. (ADM)	(178.293,61)	(178.293,61)	(178.293,61)	(178.293,61)	(178.293,61)	(891.468,07)
2.3 Investimentos	(1.263.140,00)					
2.4 Despesas Tributárias	(1.669.504,95)	(1.669.504,95)	(1.669.504,95)	(1.669.504,95)	(1.669.504,95)	(8.347.524,73)
2.4.1 Impostos a Pagar	(1.388.143,14)	(1.388.143,14)	(1.388.143,14)	(1.388.143,14)	(1.388.143,14)	(6.940.715,70)
2.4.2 Provisão para Imposto de Renda	(281.361,80)	(281.361,80)	(281.361,80)	(281.361,80)	(281.361,80)	(1.406.809,02)
3 FLUXO DO PERÍODO	(1.263.140,00)	546.172,92	546.172,92	546.172,92	546.172,92	2.730.864,58
SALDO =	(1.263.140,00)	(716.967,08)	375.378,75	921.551,66	1.467.724,58	
Análise de Investimento						
Pay Back - Retorno do Investimento	2,313 ANOS					
Atratividade	Taxa de atratividade: 15,00% ao ano					
	Investimento Inicial: (1.263.140,00)					
	Valor Presente: 1.830.856,32					
VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) =	567.716,32					
TIR - Taxa Interna de Retorno	32,8%					

Fonte: O autor (2019).

**ANEXO A - GRAUS DE RESISTÊNCIA E PROPRIEDADES PARA FIXADORES
POLEGADAS**

Grau	Dureza		Resistência à Tração	Material e Tratamento Térmico	Limites de Composição Química (%)					
	Mín.	Máx.			Mín.	C		P	S	B
			Mín.			Máx.	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.
1	70 HRB	100 HRB	415 (N/mm ²)	Aço baixo ou médio carbono	-	0,55	0,025	0,025	-	-
2	80 HRB	100 HRB	510 (N/mm ²)	Aço baixo ou médio carbono	0,15	0,55	0,025	0,025	-	-
4	22 HRC	32 HRC	790 (N/mm ²)	Aço médio carbono	0,28	0,55	0,025	0,13	-	-
5	25 HRC	34 HRC	830 (N/mm ²)	Aço médio carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	-
				Aço carbono com aditivo (Ex.: B, Mn ou Cr) temperado e revenido	0,15	0,40	0,025	0,025	0,0005	0,003
5.1	25 HRC	40 HRC	830 (N/mm ²)	Aço baixo ou médio carbono temperado e revenido	0,15	0,30	0,025	0,025	-	0,003
5.2	26 HRC	36 HRC	830 (N/mm ²)	Aço baixo carbono ao Boro temperado e revenido	0,15	0,25	0,025	0,025	0,0005	0,003
8	33 HRC	39 HRC	1030 (N/mm ²)	Aço carbono com aditivo (Ex.: B, Mn ou Cr) temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	0,003
				Aço médio carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	-
				Aço liga temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	-
8.1	33 HRC	39 HRC	1030 (N/mm ²)	Aço liga médio carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,040	-	-
8.2	33 HRC	39 HRC	1030 (N/mm ²)	Aço baixo carbono temperado e revenido	0,15	0,25	0,025	0,025	0,0005	0,003

Fonte: Adaptado de Thomé (2015).

**ANEXO B – CLASSES DE RESISTÊNCIA E PROPRIEDADES PARA FIXADORES
MILIMÉTRICOS**

Classe	Dureza		Resistência à Tração Mín.	Material e Tratamento Térmico	Limites de Composição Química (%)				
	Mín.	Máx.			C		P	S	B
			Mín.		Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	
4.6	67 HRB	95 HRB	400 (N/mm ²)	Aço carbono ou aço carbono com aditivos	-	0,55	0,05	0,06	-
4.8	71 HRB	95 HRB	420 (N/mm ²)		-	0,55	0,05	0,06	
5.6	79 HRB	95 HRB	500 (N/mm ²)		0,13	0,55	0,05	0,06	
5.8	82 HRB	95 HRB	520 (N/mm ²)		-	0,55	0,05	0,06	
6.8	89 HRB	99 HRB	600 (N/mm ²)		0,15	0,55	0,05	0,06	
8.8	23 HRC	32 HRC	830 (N/mm ²)	Aço carbono com aditivo (Ex.: B, Mn ou Cr) temperado e revenido	0,15	0,40	0,025	0,025	0,003
				Aço carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
				Aço liga temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	
9.8	28 HRC	37 HRC	900 (N/mm ²)	Aço carbono com aditivo (Ex.: B, Mn ou Cr) temperado e revenido	0,15	0,40	0,025	0,025	0,003
				Aço carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
				Aço liga temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	
10.9	32 HRC	39 HRC	1040 (N/mm ²)	Aço carbono com aditivo (Ex.: B, Mn ou Cr) temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	0,003
				Aço carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
				Aço liga temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	
12.9	39 HRC	44 HRC	1220 (N/mm ²)	Aço liga temperado e revenido	0,30	0,50	0,025	0,025	0,003

Fonte: Adaptado de Thomé (2015).

ANEXO C – TABELA DE DIÂMETROS PRIMITIVOS BÁSICOS



TABELA DIÂMETROS PRIMITIVOS BÁSICOS – LAMINAÇÃO DE ROSCAS

ROSCA UNC 60°				ROSCA UNF 60°				ROSCA MÉTRICA DIN13 60°			
Ø Par	Passo	Ø Primitivo		Ø Par	Passo	Ø Primitivo		Ø Par	Passo	Ø Primitivo	
		Min (mm)	Máx (mm)			Min (mm)	Máx (mm)			Min (mm)	Máx (mm)
Nr 1	64	1,532	1,582	Nr 1	72	1,562	1,61	M1	0,25	0,785	0,838
Nr 2	56	1,821	1,875	Nr 2	64	1,862	1,913	M 2	0,4	1,654	1,721
Nr 3	48	2,096	2,154	Nr 3	56	2,146	2,202	M 4	0,7	3,433	3,523
Nr 4	40	2,35	2,413	Nr 4	48	2,423	2,484	M 5	0,8	4,361	4,456
Nr 5	40	2,677	2,743	Nr 5	44	2,718	2,781	M 6	1	5,212	5,324
Nr 6	32	2,898	2,969	Nr 6	40	3,007	3,073	M 8	1,25	7,042	7,16
Nr 8	32	3,553	3,627	Nr 8	36	3,617	3,688	M 9	1,25	8,042	8,16
Nr 10	24	4,028	4,112	Nr 10	32	4,211	4,288	M 10	1,5	8,862	8,994
Nr 12	24	4,686	4,773	Nr 12	28	4,79	4,872	M 12	1,5	10,854	10,994
1/4"	20	5,403	5,497	1/4"	28	5,652	5,735	M 12	1,75	10,679	10,829
5/16"	18	6,888	6,99	5/16"	24	7,127	7,221	M 14	2	12,503	12,663
3/8"	16	8,349	8,461	3/8"	24	8,712	8,809	M 16	2	14,503	14,663
7/16"	14	9,779	9,898	7/16"	20	10,147	10,254	M 18	2,5	16,164	16,334
1/2"	13	11,265	11,392	1/2"	20	11,73	11,841	M 20	2,5	18,164	18,334
9/16"	12	12,741	12,873	9/16"	18	13,221	13,335	M 22	2,5	20,164	20,334
5/8"	11	14,196	14,336	5/8"	18	14,803	14,922	M 24	3	21,803	22,003
3/4"	10	17,203	17,353	3/4"	16	17,857	17,981	M 27	3	24,803	25,003
7/8"	9	20,183	20,343	7/8"	14	20,869	21,006	M 30	3,5	27,462	27,674
1"	8	23,114	23,287	1"	12	23,83	23,98	M 36	4	33,118	33,342
1"1/8	7	25,979	26,162	1"1/8	12	27,003	27,155	M 42	4,5	38,778	39,014
1"1/4	7	29,149	29,337	1"1/4	12	30,173	30,33	M 48	5	44,431	44,681
1"3/8	6	31,91	32,113	1"3/8	12	33,343	33,503	M 52	5	48,431	48,681
1"1/2	6	35,082	35,288	1"1/2	12	36,515	36,678	M 56	5,5	52,088	52,353
1"3/4	5	40,856	41,082	1"3/4	12	42,865	43,028	M 60	5,5	56,088	56,353

Fonte: Metalúrgica Luzi (2018).

ANEXO D – TIPOS DE ROSCA DOS PINOS DE CENTRO

TIPOS DAS ROSCAS DOS PINOS

Linha Polegada			Linha Métrica		
Bitola	Rosca	Fios/ Pol	Bitola	Rosca	Passo
5/16"	UNF	24	M10	MA	1,50
3/8"	UNF	24	M 12	MB	1,50
7/16"	UNF	20	M 14	MB	1,50
1/2"	UNF	20	M 18	MB	1,50
9/16"	UNF	18	-	-	-
5/8"	UNF	18	-	-	-

Fonte: Metalúrgica Luzi LTDA (2018).

ANEXO E - TENSÃO DE ESCOAMENTO (k_f) E DEFORMAÇÃO VERDADEIRA (φ)

De acordo com Schaeffer (2004), a curva que relaciona tensão de escoamento (k_f) com a deformação verdadeira (φ) é denominada curva de escoamento. Diferentemente do gráfico de tensão convencional, onde a força é sempre relacionada a área inicial, nos gráficos de tensão de escoamento, a força é relacionada com a área instantânea.

Para Garcia, Spim e Santos (2012), a obtenção da deformação verdadeira (φ) pode ser definida através da Equação 8:

$$\varphi = \ln (1 + \varepsilon) \quad (8)$$

Os autores ainda definem que a área instantânea pode ser definida pela razão da área inicial (A_0) pela deformação relativa acrescida de uma unidade ($1+\varepsilon$), e que a tensão de escoamento (k_f) pode ser descrita pela Equação 9:

$$k_f = \frac{F}{A_0} \quad (9)$$

ANEXO F – MATERIAIS PARA CONFORMAÇÃO A FRIO

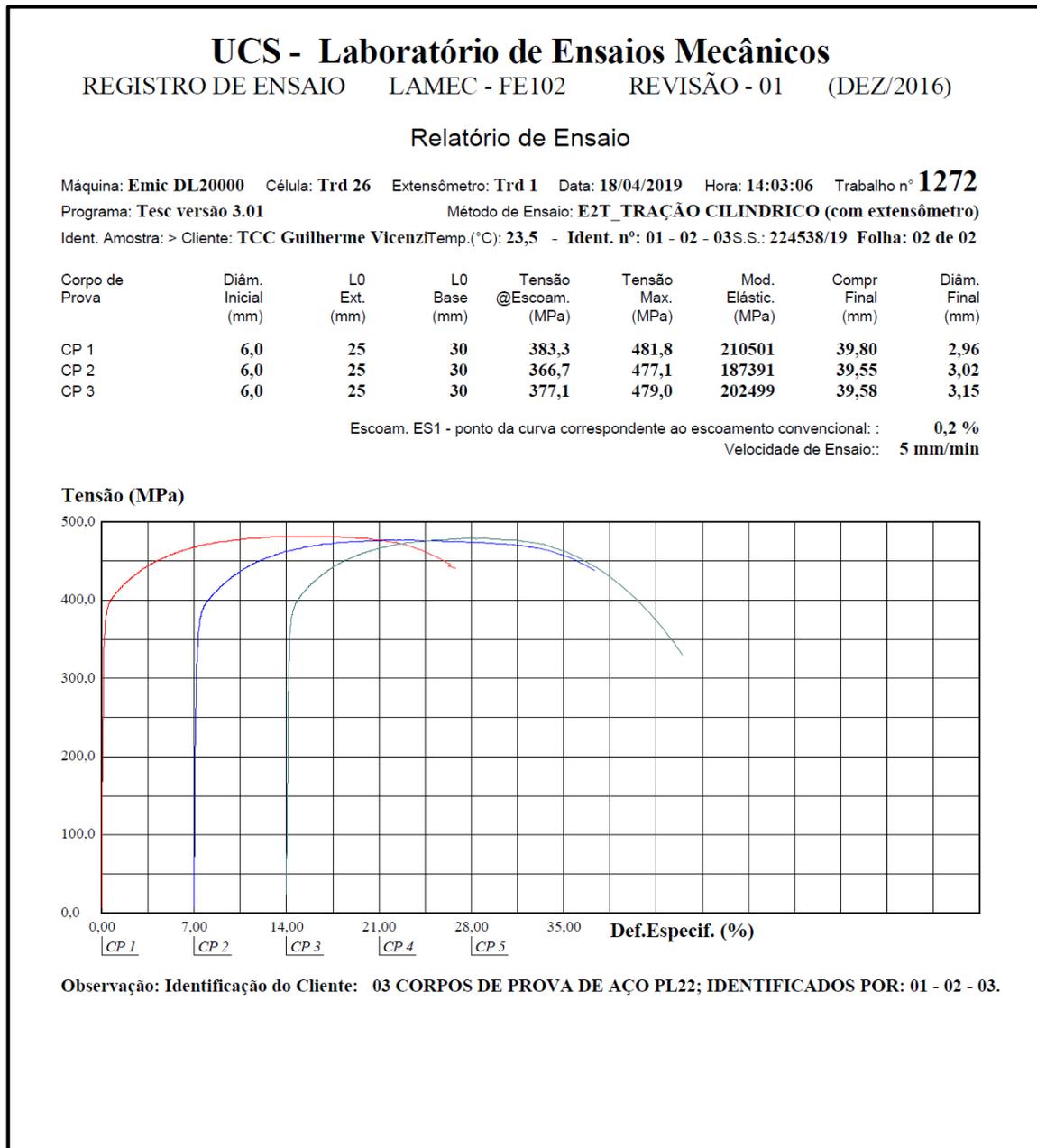
Aços para estampagem a frio (CHQ – Cold Heading Quality)

Aços	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)									CORRESPONDENTE ABNT/SAE/DIN
	S	C	Mn	P	Si	Al	Cr	B	Mo	
PA03	0,025 máx.	0,050 máx.	0,350-0,550	0,025 máx.	0,060 máx.	0,010-0,050	-	-	-	1006 M
1006	0,030 máx.	0,080 máx.	0,250-0,400	0,030 máx.	0,100 máx.	0,020-0,080	-	-	-	1006
1010	0,025 máx.	0,080-0,120	0,300-0,500	0,030 máx.	0,100 máx.	0,020-0,080	-	-	-	1010
PC13	0,015 máx.	0,090-0,140	0,300-0,600	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	-	-	-	1012
1015	0,025 máx.	0,130-0,180	0,300-0,600	0,025 máx.	0,100 máx.	0,020-0,080	-	-	-	1015
1018	0,030 máx.	0,150-0,200	0,600-0,900	0,030 máx.	0,100 máx.	0,020-0,080	-	-	-	1018
1020	0,030 máx.	0,180-0,230	0,300-0,600	0,030 máx.	0,100 máx.	0,020-0,080	-	-	-	1020
1038	0,025 máx.	0,380-0,420	0,850-1,050	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	0,250-0,350	-	-	1038 M
PC25	0,025 máx.	0,180-0,220	0,800-1,000	0,025 máx.	0,100 máx.	0,020-0,080	0,050 máx.	-	0,040 máx.	1022 M
PL22	0,025 máx.	0,190-0,230	1,050-1,250	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	0,100-0,200	0,001-0,003	-	10B22 M
PL30	0,025 máx.	0,300-0,340	0,800-1,000	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	0,300-0,400	0,001-0,003	-	10B30 M
4135	0,025 máx.	0,330-0,370	0,700-0,900	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	0,900-1,100	-	0,150-0,250	4135 / 34CrMo4
4140	0,025 máx.	0,390-0,430	0,800-0,900	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	0,950-1,100	-	0,150-0,250	4140 / 42CrMo4
PL33	0,025 máx.	0,330-0,400	0,300-0,500	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	0,950-1,240	0,001-0,003	0,050 máx.	-
5135	0,025 máx.	0,340-0,380	0,700-0,800	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	0,900-1,050	-	-	5135 / 37Cr4
PL41	0,025 máx.	0,400-0,450	0,700-0,850	0,025 máx.	0,150-0,300	0,020-0,080	1,050-1,200	-	-	41Cr4

Outros aços podem ser desenvolvidos ou fornecidos sob consulta, como por exemplo o **16MnCr5** e o **30MnV56**.

Fonte: Adaptado de Belgo Bekaert Arames (2019).

ANEXO G - LAUDO DO ENSAIO DE TRAÇÃO REALIZADO



Fonte: O autor (2019).

ANEXO H – VALORES DE COEFICIENTE DE ATRITO PARA DIFERENTES PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Processo de conformação	Deformações	Coeficientes de atrito				
		Aço	Aço Inox.	Titânio e ligas de Ti	Cobre e ligas de Cu	Alumínio e ligas de Al
Laminação a frio	-	0,03-0,07	0,07-0,1	0,1	0,03-0,07	0,03
Extrusão a frio	Pequenas	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05
	Grandes	0,05	0,05	-	0,05	-
Forjamento a frio	Pequenas	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05
	Grandes	0,05	0,05-0,1	-	-	-
Trefilação	Pequenas	0,1	0,1	0,05	0,1	0,03
	Grandes	0,05	0,05	-	0,05-0,1	0,05-0,1
Trefilação de barras	-	0,1	0,1	0,05	0,05-0,1	0,05-0,1
Trefilação de tubos	-	0,05-0,1	0,05	-	0,05-0,1	0,05-0,1
Estampagem profunda	Pequenas	0,05	0,1	0,07	0,1	0,05
	Grandes	0,05-0,1	-	-	0,05-0,07	-
Laminação a quente	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Extrusão	-	0,02-0,2	0,02	0,02	0,02-0,2	0,02-0,2
Forjamento a quente	-	0,2	0,2	0,05-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2

Fonte: Adaptado de Schaeffer (2004).