

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNICURITIBA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**ADILSON DOS SANTOS**

**FABRICAÇÃO DE AÇO CA-60 POR AMARRAS DE FIO-MÁQUINA**

**Orientador: Prof. Marcelo Silva Custódio**

**CURITIBA  
2023**

**ADILSON DOS SANTOS**

**FABRICAÇÃO DE AÇO CA-60 POR AMARRAS DE FIO-MÁQUINA**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para obtenção  
do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica do  
Centro Universitário Unicuritiba.**

**Orientador: Marcelo Silva Custódio**

**CURITIBA  
2023**

# FABRICAÇÃO DE AÇO CA-60 POR AMARRAS DE FIO-MÁQUINA

**ADILSON DOS SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário Unicuritiba, e aprovado pela Banca Examinadora.

.....  
Coordenador (a) de Curso

Banca Examinadora integrada pelos Professores:

.....  
Prof. Orientador(a)

.....  
Prof. Banca Examinadora

.....  
Prof. Banca Examinadora

Dedico este trabalho à minha esposa e meus colegas acadêmicos que sempre me apoiaram e contribuíram grandemente para o feito.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus, pela oportunidade e força em todo esse período de estudo.

À minha esposa, que esteve ao meu lado e com sua determinação e garra não permitiu que eu desistisse em muitos momentos de dificuldades.

Aos colegas Felipe Girardi, Lauro Xavier, Rafael Mangi, Humberto Ferreira, Jeovani Almeida, Mário Henrique de Andrade, Thiago Lúcio e Pedro Paulo Ferraz, que no decorrer do curso me auxiliaram no desenvolvimento de várias atividades e trabalhos.

Aos professores e coordenadores, que entenderam minhas limitações devido às questões religiosas.

Ao professor Marcelo Silva Custódio pela orientação e suporte, juntamente com toda sua contribuição técnica.

E a todos que de alguma maneira participaram e contribuíram para a realização deste trabalho, seja no fornecimento dos materiais ou com informações necessárias para o desenvolvimento deste processo.

## RESUMO

**Resumo:** Esse trabalho tem por objetivo realizar uma comparação entre um aço CA60 convencional com um aço CA60 produzido através de material utilizado na amarração de bobinas de fio-máquina. Sendo assim realizamos os testes necessários para sabermos a resistência à tração desse novo material.

**Palavras-chave:** Amarras. Trefilação. Laminação à frio.

## **ABSTRACT**

**Abstract:** Abstract: This work aims to make a comparison between a conventional CA60 steel produced using material used in the lashing of wire rod coils. Therefore, we performed the necessary tests to know the tensile strength of this new material.

**Keywords:** Moorings. Drawing. Cold lamination.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. PROBLEMA .....	10
3. HIPÓTESE .....	10
4. JUSTIFICATIVA .....	11
5. OBJETIVOS .....	11
5.1. OBJETIVO GERAL.....	11
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
6. REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
6.1. PROCESSO SIDERÚRGICO .....	12
6.2. TREFILAÇÃO.....	13
6.3. FERRAMENTAS NA TREFILAÇÃO .....	13
7. METODOLOGIA.....	15
7.1. DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO .....	15
7.2. ETAPAS .....	15
7.3. MATERIAL.....	15
7.4. TREFILAÇÃO E LAMINAÇÃO.....	17
7.5. LUBRIFICAÇÃO NA TREFILAÇÃO.....	18
7.6. ENDIREITAMENTO DO AÇO .....	18
7.7. ENSAIO DE TRAÇÃO .....	18
7.8. RESULTADOS .....	20
8. CONCLUSÃO.....	21
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22

## **1. INTRODUÇÃO**

O consumo de materiais para construção civil vem crescendo consideravelmente nos últimos anos e causando várias discussões sobre o impacto ambiental. Quando falamos sobre aço, esse assunto se torna muito mais delicado, pois a extração de minério exige muito de nosso meio ambiente, mesmo com o empenho da sociedade em reciclar materiais isso ainda prejudica e muito nosso planeta. Diante desses fatos buscamos alternativas para minimizar esses impactos e desenvolver um material que possa ser reaproveitado e utilizado na construção civil, diminuindo seu descarte e contribuindo com a viabilidade econômica para o setor.

## **2. PROBLEMA**

Visando o aproveitamento de material descartável e a redução do custo para fabricação do aço, buscou-se um aço alternativo, sem perder sua característica principal: A sua resistência.

Nos últimos dois anos acompanhamos um aumento desproporcional de vários produtos e matérias primas, e o aço se destacou negativamente. De janeiro/2021 a outubro/2021, os vergalhões e arames de aço ao carbono já aumentaram 48,39% e, nos últimos 12 meses, 60,74%. Considerando o período de julho/2020 a outubro/2021, o aumento registrado pelos vergalhões foi de 91,97%. O custo com materiais e equipamentos aumentou 22,00% nos primeiros 10 meses de 2021, 27,45% em 12 meses e de julho/20 até outubro/2021: 40,80%.

Tendo esses dados, o desafio é viabilizar um produto com custo menor garantindo a resistência exigida por norma.

## **3. HIPÓTESE**

Desenvolver a capacidade de retirar materiais que ora seriam descartados no meio ambiente e transforma-los em um aço capaz de alcançar as mesmas características à resistência do aço convencional alinhado com redução nos custos, claramente vale o empenho para a tentativa de alcançar os resultados esperados para dispor de um aço alternativo.

#### **4. JUSTIFICATIVA**

A extração e consumo de recursos naturais vem crescendo ano após ano e isso tem valor significativo quanto a degradação do meio ambiente, somos responsáveis por nossos atos, cabe a nós a tentativa de reverter o quadro atual.

As amarras geralmente são descartadas e voltam para o processo de reciclagem sem valor comercial e novamente passarão pelo processo de laminação a quente enchendo e misturando-se com outros insumos nos alto fornos das siderúrgicas.

Esse trabalho visa dar destinação adequada às amarras tendo em vista o grande volume gerado pelas indústrias siderúrgicas e trefilarias, um material com alta possibilidade de reaproveitamento e não explorado pelas grandes indústrias.

#### **5. OBJETIVOS**

##### **5.1. OBJETIVO GERAL**

Realizar estudo de viabilidade para o aproveitamento das amarras.

##### **5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Aplicar conhecimento prático em trefilação.

Desenvolver o aço atendendo a resistência conforme norma.

Comparação de resistência obtidas.

## 6. REFERENCIAL TEÓRICO

### 6.1. PROCESSO SIDERÚRGICO

A fabricação do aço pode ser dividida em uma preparação inicial e quatro etapas: preparação da carga, redução, refino e laminação.

Na preparação da carga grande parte do minério de ferro (finos) é aglomerada utilizando-se cal e finos de coque.

O produto resultante é chamado de sinter.

O carvão é processado na coqueria e transforma-se em coque.

Na redução, essas matérias-primas, agora preparadas, são carregadas no alto forno.

Oxigênio aquecido a uma temperatura de 1000°C é soprado pela parte de baixo do alto forno.

O carvão, em contato com o oxigênio, produz calor que funde a carga metálica e dá início ao processo de redução do minério de ferro em um metal líquido: o ferro-gusa.

O gusa é uma liga de ferro e carbono com um teor de carbono muito elevado.

No refino as aciarias a oxigênio ou elétricas são utilizadas para transformar o gusa líquido ou sólido e a sucata de ferro e aço em aço líquido.

Nessa etapa parte do carbono contido no gusa é removido juntamente com impurezas.

A maior parte do aço líquido é solidificada em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir semi-acabados, lingotes e blocos.

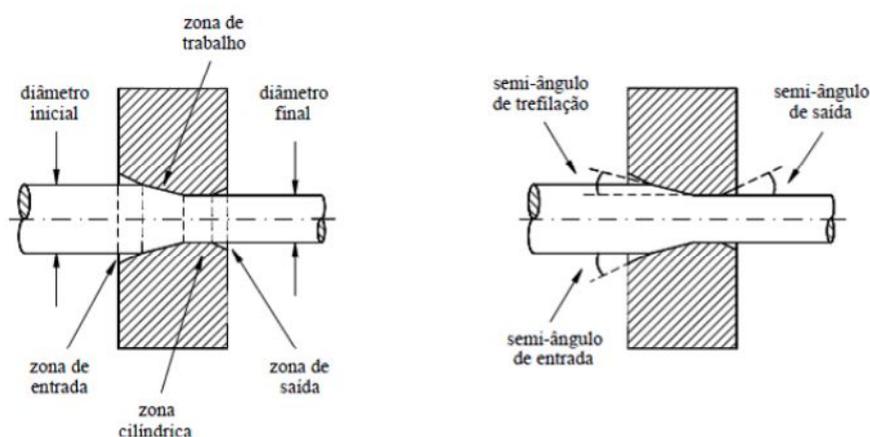
Os semi-acabados, lingotes e blocos são processados por equipamentos chamados laminadores e transformados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos, cuja nomenclatura depende de sua forma e/ou composição química.

## 6.2. TREFILAÇÃO

Na conformação mecânica é considerada uma das operações mais antiga e importante para a produção de produtos metálicos, através do tracionamento da matéria-prima por uma matriz (fieira) sua geometria e dimensões são alcançadas (BUTTON, 2008).

Neste processo, a trefilação é utilizada para a fabricação de diversos produtos dentro da área automotiva, ferramentas e equipamentos industriais, aço para construção civil, arames e fios. Sejam produzidos de aço, ligas de alumínio, cobre ou materiais nobres (AGOSTINHO; VILELLA; BUTTON, 2004; MONDARDO, 2012; SOARES, 2012).

A trefilação é um processo de fabricação que permite a produção de produtos contínuos, com os mais variados perfis obtidos de grande variedade de materiais. É por isto também, um dos processos mais estudados para obtenção de barras (NEVES, 2003).



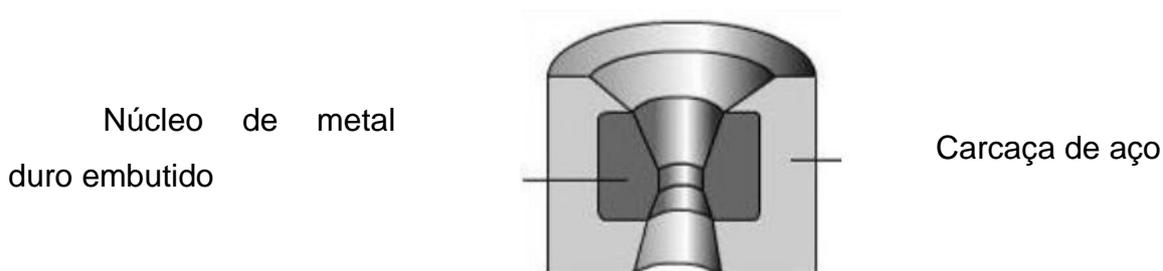
**Figura 1.1:** Esquema de trefilação (CORREA, 2004).

## 6.3. FERRAMENTAS NA TREFILAÇÃO

De um modo geral, a matriz é constituída de um núcleo de material resistente ao desgaste e suficientemente duro para resistir aos esforços aplicados, encarcado em outro material menos nobre. A matriz reage ao esforço aplicado, induzindo tensões compressivas que facilitam o escoamento do material, de modo

que o esforço axial necessário para a deformação resulta menor do que seria sem a presença daquela ferramenta (NEVES, 2003).

Essa matriz é conhecida com fieira, seu núcleo geralmente é fabricado em metal duro e sua carcaça de aço SAE-1045. Para trefilação de materiais mais finos, utiliza-se fieiras com núcleo diamantado, pois sua resistência ao desgaste é superior às de metal duro.



**Figura 1.2:** Detalhe construtivo de uma fieira com núcleo de metal duro (NEVES, 2003).

A região de entrada, promove o guiamento da matéria-prima em direção a zona de trabalho.

Na região de trabalho, ocorre a deformação plástica do material pelo seu escoamento convergente. Esta é, portanto, a região onde é aplicado ao material o esforço de compressão e onde o atrito deve ser minimizado para reduzir o desgaste da matriz.

Adota-se o perfil cônico para a zona de trabalho por duas razões principais: primeiro, torna-se mais fácil a manufatura da matriz e, em segundo lugar, porque facilita o arraste do lubrificante para a zona de deformação, tornando a lubrificação mais eficiente (MARTINEZ, 1998).

A região de calibração, representada pela zona cilíndrica, é responsável pela definição da geometria e das dimensões do produto trefilado. O comprimento do cilindro de calibração determina a quantidade de atrito na região. Comprimentos excessivos dessa região podem causar o aumento da tensão de trefilação e, desta forma, reduzir a redução máxima possível por passe e aumentar a possibilidade de desgaste da fieira. O comprimento da zona de calibração dependerá da redução que

se deseja impor, do ângulo de trabalho aplicado, do material em trabalho e da característica da operação, além dos passes iniciais ou finais e da tolerância dimensional do produto final.

A região de saída, é onde o produto sofre a recuperação elástica devida ao término dos esforços compressivos e deve proporcionar uma saída livre do material sem causar danos nas superfícies da fieira e do material (BUTTON, 2007; NEVES, 2003).

A lubrificação é indispensável nesse processo, geralmente utiliza-se lubrificante em pó (sabão) para a redução do atrito entre fieira e material. Existe também lubrificantes líquidos que são utilizados para processos submersos e em materiais mais finos como fios de cobre.

## **7. METODOLOGIA**

### **7.1. DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO**

O presente trabalho consistiu na análise do resultado da resistência à tração após um passe de trefilação em um tipo de material utilizado na amarração de fio-máquina produzido por siderúrgicas.

### **7.2. ETAPAS**

Recebimento da amarra;  
Corte do nó;  
Esmerilhamento da ponta para entrada na fieira;  
Trefilação e laminação das nervuras;  
Endireitamento;  
Corte das amostras.

### **7.3. MATERIAL**

O aço utilizado neste trabalho chegou através de um lote de fio-máquina produzido pela siderúrgica Aço Verde do Brasil, este fio-máquina foi destinado para trefilação de fios e aços nervurados pela empresa Aramatrix (São José dos Pinhais), a composição química do fio-máquina está descrita abaixo, porém a da amarra não

foi possível indicar, nas siderúrgicas não se pode afirmar que o material utilizado nas amarrações são os mesmos das bobinas.

A bitola da amarra foi identificada com diâmetro de 7,00mm – coincidentemente o mesmo diâmetro do material que foi envolvido pela amarra.

Composição Química do Aço em peso (%)											
Bitola (mm)	Lim. Resist. (MPa)	C	Mn	P	S	Si	Al	N	O	H	As
7,0	334	,07	,45	,09	,014	,022	,022	,047	,01	,003	,001

**Figura 2.1:** Certificado de Qualidade ( Aço Verde Brasil, 2022).

**Bobinas de Fio-Máquina (nota-se as amarras)**



**Figura 2.2:** Bobinas de Fio-Máquina (O AUTOR).

#### 7.4. TREFILAÇÃO E LAMINAÇÃO

O material utilizado na trefilação, a amarra, antes de ser trefilada, foi retirado o nó e feito a ponta com esmerilhadeira angular e disco de desbaste para passar pela matriz (fieira). Após este processo, a amarra foi trefilada em uma máquina de fabricação do autor. Esta máquina possui apenas um passe de trefilação, tendo a capacidade de trefilar arames entre 7,00 mm e 5,50 mm de diâmetro. Além disso, sua velocidade nominal de trefilação chega 0,305 metros por segundo.

Além da fieira, o material passou por um conjunto nervurador composto por 2 rolos laminadores para entalhar/nervurar o aço.

Neste experimento, o aço utilizado foi trefilado em um passe a uma velocidade de 0,305 m/s. O percentual da redução foi de 22,56%.

Foi utilizado um sabão (lubrificante) na caixa de fieira sem aplicador ou misturador.

Parâmetros do passe

$d_i$ (mm)	7,00
$d_f$ (mm)	6,16
% r	22,56

**Figura 2.3:** Parâmetros do passe (O AUTOR).

Foram retiradas três amostras do material trefilado para fazer o teste de tração, mas somente duas foram utilizadas.

$$r = \frac{A_i - A_f}{A_i}$$

Onde  $A_i$  e  $A_f$  são as áreas da seção transversal das barras antes e após a trefilação.

### **7.5. LUBRIFICAÇÃO NA TREFILAÇÃO**

Foi utilizado um tipo de lubrificante em pó, o sabão de lubrificação para trefilação Condat Vicafil Decal 600, devido ao elevado teor de cálcio em sua composição química. Esse sabão foi reaproveitado no processo deste trabalho, ele foi retirado das máquinas em operação na Aramatrix, logo, o sabão não era novo.

### **7.6. ENDIREITAMENTO DO AÇO**

Após a trefilação o material foi endireitado em uma máquina de produção do autor devido a trefiladeira puxar o material em um cabrestante de diâmetro de 300mm.

O endireitamento foi feito através de um tracionador e dois conjuntos de roldanas; um conjunto na vertical e outro conjunto na horizontal.

### **7.7. ENSAIO DE TRAÇÃO**

O ensaio de tração foi realizado em duas amostras de 200mm cada, utilizando o equipamento da faculdade; uma máquina de capacidade de 20 kN da marca EMIC DL 2000.

O ensaio foi realizado até o rompimento das amostras e a partir dele foram obtidos a curva tensão – deformação convencional, o limite de resistência e o limite de escoamento.



**Figura 3.1:** Amostras do aço trefilado e nervurado (O AUTOR).



**Figura 3.2:** Após o rompimento (O AUTOR).





## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, Oswaldo Luis; VILELLA, Ronaldo Castro; BUTTON, Sérgio Tonini. **Processos de Fabricação e Planejamento de Processos**. Campinas: UNICAMP, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado**. Rio de Janeiro, 1996.

BUTTON, Sérgio Tonini. **Trefilação**. Belo Horizonte: REDEMAT-UFOP, 2008.

CORRÊA, E. C. S. **Aspectos do Encruamento de Metais Previamente Deformados a Frio**. 2004. 232 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

INFOMET - <https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo.php?codAssunto=130> (em 23/06/2022).

MARTINEZ, G. A. S. **Comportamento da Lubrificação no Tribo-sistema de Trefilação a Altas Velocidades**. São Paulo: UNICAMP, 1998.

MONDARDO, Milena Macarini. **Análise de parâmetros do processo de trefilação de barras cilíndricas de aço AISI 1045 via simulação numérica computacional**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2012.

NEVES, F. O. **Análise das tensões residuais em tubos trefilados de aço inox ABNT 304**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SCHAEFFER, Lirio. Conceitos Básicos. In: \_\_\_\_\_. **Conformação Mecânica**. 2 ed. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004. cap. 2, p. 15-47.

SOARES, Carla Adriana Theis. **Análise das tensões residuais no processo de trefilação considerando os efeitos de anisotropia**. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2012.