

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA  
SOUZA**

**ETEC TRAJANO CAMARGO  
Curso Técnico em Metalurgia**

**Ana Paula Baltazar Costa**

**Anderson Chelis**

**Guilherme Prado Archangelo**

**Rosana Cristina de Almeida**

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO DE DECAPAGEM QUÍMICA  
PARA AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 302**

**Limeira – SP**

**2021**

**Ana Paula Baltazar Costa**  
**Anderson Chelis**  
**Guilherme Prado Archangelo**  
**Rosana Cristina de Almeida**

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO DE DECAPAGEM QUÍMICA  
PARA AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 302**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Metalurgia da Etec Trajano Camargo, orientado pelo Prof. José Edenil Gomes dos Santos, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Metalurgia.

**Limeira – SP**  
**2021**



## FICHA DE AVALIAÇÃO DO TCC

### AVALIAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC - ANO 2021

ETEC: TRAJANO CAMARGO	
Aluno(a): Ana Paula Baltazar Costa; Anderson Chelis; Guilherme Prado Archangelo; Rosana Cristina de Almeida	
Módulo: 3º módulo	Turma: Noite
Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em Metalurgia	
Professor Responsável: José Edenil Gomes dos Santos	
Tema do Trabalho: Desenvolvimento de processo de decapagem química para aço inoxidável austenítico aisi 302	
<b>Trabalho Escrito (obrigatório)</b>	

Item	MB	B	R	I	Observações
Pertinência do tema do trabalho à Habilitação Profissional					
Coerência e consistência teórico-metodológica (justificativa, objetivos, referencial teórico, metodologia, análises e resultados)					
Atendimento da forma (padrão definido)					
Nível de abrangência (profundidade, originalidade e aplicabilidade)					
Apresentação oral: utilização de termos técnicos e da modalidade padrão da língua portuguesa					
Criatividade					
Aplicabilidade no mercado de trabalho					

Análise (Considerando os critérios adotados): Os critérios estabelecidos para aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso foram atingidos satisfatoriamente.

O Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, submetido à avaliação docente, atendeu as exigências estabelecidas no Plano de Curso da Habilitação Profissional, correspondendo à carga horária suplementar de 120 horas a serem certificadas no Histórico Escolar.

Assinatura do Professor Responsável:

Data: / / 2021

De acordo,

Adriana Justina Rizzo - Diretor de Escola

Limeira, de de 2021.

*Num tempo em que corremos de um lado para o outro, trabalhando cada vez mais para gastar mais, e o consumo é soberano onde gasta-se com o que não é necessário, escravizando adultos e crianças de países pobres em nome de negócios milionários e supérfluos como o fast fashion., surge um vírus que nos obriga a comprar apenas o essencial. Ir ao supermercado? Apenas para o essencial. Ir a farmácia? Somente para o essencial e, em fila, apenas duas pessoas de cada vez.*

*Num tempo em que deixamos de educar os filhos e os entregamos ao alheamento de visores eletrônicos e a escola. Uma sociedade onde nas livrarias há títulos como “Regras para educar filhos e alunos” numa clara alusão a que o professor também deve educar, há um vírus que fecha as escolas e recorda que é você o único responsável pelo seu filho.*

*Num tempo em que impera o individualismo e o salve-se quem puder, vem um vírus que diz que você faz parte da humanidade e que essa humanidade deve ser respeitada e protegida, a sua e a do outro. Num tempo em que trocamos o contato físico e os olhos nos olhos por mensagens e encontros virtuais, chega um vírus e proíbe o contato físico e a presença do outro. E só agora, na impossibilidade mostrada pelo vírus, na ausência de abraços, nos damos conta da real dimensão da presença do outro, como o condenado que só no cárcere, conhece o verdadeiro significado da liberdade.*

*Num tempo em que a humanidade se vangloria do avanço tecnológico, de drones tripulados e do turismo na lua... um vírus vem nos lembrar que nada verdadeiramente mudou, continuamos a mercê de epidemias e catástrofes, tal como os homens do ano 500 a.C., do século XIV e XVIII. Um vírus vem nos igualar e lembrar que todos temos o mesmo corpo frágil, que dói, adocece e morre.*

*Que esse tempo de incertezas e suspensão de rotinas possa ser também um tempo de reflexão, um salto de consciência para uma vida com mais significado, mais responsabilidade e muito mais feliz.*

*Margot Cardoso, jornalista e pós-graduada em filosofia.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente à Deus por nos conceder o dom da vida, nos alimentar com força e esperança mesmo em tempos difíceis, para superarmos todos os desafios.

Agradecemos aos colegas de grupo por toda a dedicação para o desenvolvimento deste trabalho, pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

Somos gratos aos nossos professores, que nos atenderam prontamente, deram força, apoio e orientações para realizarmos um bom trabalho respeitando os prazos de entrega. No entanto, por não termos criado um arquivo para fazer alimentação diária dos nomes daqueles que nos auxiliaram e não deixar sequer ninguém sem citação nesse momento, queremos agradecer em bloco a todos os professores e, em especial ao professor João Rafael Aparecido Ambroschecia que nos acompanhou e auxiliou em todas as etapas (do início ao fim) e, também ao nosso coordenador de TCC José Edenil Gomes dos Santos, que contribuiu com todas as orientações necessárias, inclusive o fornecimento de um dos ácidos utilizados para o desenvolvimento do nosso trabalho.

Gostaríamos de deixar aqui nossa gratidão pelos esforços, incentivo e compreensão de todos nossos familiares e amigos, agradecemos de todo coração, muito obrigado a todos.

*"Em nosso trabalho, na enorme aspiração para a vitória, forja-se o caráter".  
(N. Ostrovski).*

## RESUMO

Dia após dia nossos clientes se fazem mais exigentes com relação a qualidade e ao acabamento superficial dos seus produtos, e o processo de decapagem química, consiste na remoção da camada de óxidos (carepa, impurezas) pelo ataque do ácido ao material em processo. Para isso é fundamental determinar um fluxo de processos adequado para atender as necessidades dos clientes e ao mesmo tempo garantir a viabilidade do processo perante as variáveis existentes.

O presente trabalho de conclusão do curso Técnico em Metalurgia, contempla informações e discorre sobre um determinado tipo de processo de fabricação denominado decapagem química. Neste trabalho será abordado o conceito relacionado ao processo em questão, que ajudará a desenvolver o ideal processo para um determinado produto: bobina de fio máquina de aço inoxidável AISI 302.

Palavra(s)-chave: Processo. Decapagem Química. Aço Inoxidável

## ABSTRACT

Day after day our customers make themselves more demanding about the quality and surface finish of their products and the Chemical pickling process that we will study, consisting of removing the oxide layer (*carepa, purezas*) by the acid attack in the material in process. For this, is essential to determinate the ideal process flow that correspond the costumers necessity and the same time, guarantee the process viability face to the existing variables.

The present completion of course work of Technician in Metallurgy contemplate information and discourse about a specific kind of manufacturing process named "Chemical pickling (Decapagem Química)". In this work, it will approach the concept related to the process mentioned before, that will help us to develop the ideal procedure to a specific product: wire machine (fio máquina) of stainless steel AISI: 302.

Keywords: Process. Chemical pickling. Stainless steel.

## **Lista de tabelas**

Tabela 1- Tabela de resistência à tração INOX AISI 302 Unid. Kgf/mm .....	18
Tabela 2- Defeitos comuns das superfícies do aço inoxidável origem e soluções .....	33
Tabela 3: Tabela de variáveis do processo inicial.....	53
Tabela 4: Tabela de variáveis do processo ideal.....	54

## Lista de figuras

Figura 1 - Fluxograma Simplificado do Processo de Decapagem Química .....	13
Figura 2 - Esquema do processo de laminação contínua .....	20
Figura 3 - Fio máquina em bobina .....	22
Figura 4 - Microestrutura do aço por diversos tipos de lixamento .....	28
Figura 5 - Área marcada de baixa resistência à corrosão. Tais camadas marcadas deixadas pelas escovas de aço inox são fontes potenciais de material corrosivo. ....	29
Figura 6 - Processo de repassivação do aço inoxidável .....	35
Figura 7 - Vista lateral dos tanques para decapagem eletrolítica .....	36
Figura 8 - Camadas ricas em óxidos de ferro .....	38
Figura 9: Recebimento e identificação correta do material utilizado.....	47
Figura 10: Ferramenta utilizada para o corte das amostras.....	48
Figura 11 - Corte das amostras com o comprimento de 100mm.....	49
Figura 12 – Medição dimensional das amostras.....	49
Figura 13 – Lixamento das extremidades das amostras.....	50
Figura 14 – Amostras com acabamento nas extremidades.....	50
Figura 15 – Pesagem das amostras brutas.....	51
Figura 16 – Parâmetros da norma ASTM A380-17.....	52
Figura 17 – Preparação das soluções químicas.....	52
Figura 18 – Decapagem das amostras brutas.....	53
Figura 19: Foto do experimento em análise.....	54
Figura 20: Foto das amostras decapadas.....	56
Figura 21: Foto das amostras 2 e 8.....	56
Figura 22: Foto das amostras 6 e 4.....	56

## **Lista de quadros**

Quadro 1 - O quadro abaixo apresenta os elementos e suas concentrações na composição química do aço AISI 302 .....17

## **Diagramas**

Diagrama 1- Diagrama do processo inicial .....	46
Diagrama 2- Diagrama do processo ideal .....	58

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.2. Objetivo</b> .....	11
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
<b>2.1 Definição de Processo</b> .....	12
<b>2.1.2 Fluxograma de processos</b> .....	12
<b>2.1.3 Tempo de ciclo de produção</b> .....	13
<b>2.2 O AÇO</b> .....	13
<b>2.2.1 Definição de Aço</b> .....	14
<b>2.2.2 Propriedades do aço</b> .....	15
<b>2.2.3 Aço AISI   ASTM 302</b> .....	16
<b>2.2.3.1 Aplicações dos aços AISI 302</b> .....	16
<b>2.2.3.2 Composição química</b> .....	16
<b>2.2.3.3 Densidade</b> .....	17
<b>2.2.3.4 Limite de escoamento</b> .....	17
<b>2.2.3.5 Resistência a tração</b> .....	18
<b>2.2.3.6 Tensão admissível</b> .....	18
<b>2.2.3.7 Módulo de elasticidade</b> .....	18
<b>2.2.3.8 Alongamento</b> .....	18
<b>2.2.3.9 Condutividade térmica do aço austenítico AISI 302</b> .....	18
<b>2.2.3.10 Coeficiente de expansão térmica do aço austenítico AISI 302</b> .....	19
<b>2.3 PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA</b> .....	19
<b>2.3.1 Trefilação</b> .....	19
<b>2.3.2 Laminação</b> .....	20
<b>2.3.2.1 Fio máquina</b> .....	21
<b>2.4. TRATAMENTO TÉRMICO DO AÇO</b> .....	22
<b>2.4.1 Formação de carepa</b> .....	22
<b>2.5. CORROSÃO</b> .....	23

<b>2.5.1 Corrosão eletroquímica</b> .....	24
<b>2.5.2 Corrosão química</b> .....	24
<b>2.5.3 Corrosão eletrolítica</b> .....	25
<b>2.6. PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA</b> .....	26
<b>2.6.1 Métodos mecânicos</b> .....	26
<b>2.6.1.1 Lixamento</b> .....	27
<b>2.6.1.2 Escovamento</b> .....	29
<b>2.6.1.3 Jateamento</b> .....	30
<b>2.6.2 Métodos químicos</b> .....	31
<b>2.6.2.1 Limpeza</b> .....	32
<b>2.6.2.2 Desincrustação</b> .....	33
<b>2.6.2.3 Passivação</b> .....	33
<b>2.6.2.4 Decapagem eletrolítica</b> .....	35
<b>2.6.2.5 Decapagem química</b> .....	37
<b>2.6.2.5.1 Ácido sulfúrico</b> .....	38
<b>2.6.2.5.2 Ácido fluorídrico</b> .....	40
<b>2.6.2.5.3 Ácido clorídrico</b> .....	40
<b>2.6.2.5.4 Ácido nítrico</b> .....	41
<b>2.6.2.5.5 Neutralização do (Ca)</b> .....	42
<b>2.7. ANÁLISE DE QUALIDADE</b> .....	42
<b>2.7.1 Ensaio dimensional</b> .....	43
<b>2.7.2 Ensaio visual</b> .....	44
<b>2.8. DESENVOLVIMENTO</b> .....	44
<b>2.8.1 Análise do processo atual</b> .....	45
<b>2.8.2 Execução dos testes</b> .....	47
<b>2.8.2.1 Recebimento do material</b> .....	47
<b>2.8.2.2 Retirada das amostras</b> .....	48

<b>2.8.2.3 Preparação das amostras</b> .....	<b>48</b>
<b>2.2.8.4 Preparação das Soluções químicas</b> .....	<b>51</b>
<b>2.2.8.5 Decapagem das amostras</b> .....	<b>52</b>
<b>2.2.8.6 Análise das amostras decapadas</b> .....	<b>54</b>
<b>2.8.3 Análise dos resultados</b> .....	<b>55</b>
<b>2.8.4 Definição do processo ideal</b> .....	<b>57</b>
<b>3. CONCLUSÕES</b> .....	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>60</b>

## 1.INTRODUÇÃO

Empregado de forma intensiva nas construções, cozinhas industriais, hospitais, laboratórios, máquinas em geral, o aço é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, com percentuais deste último variando entre 0,008% e 2,11%) tem a resistência necessária para os mais variados usos em nosso cotidiano. Entre os atributos do aço pode-se mencionar a resistência a grandes variações de temperatura, ductilidade, longa durabilidade e baixo custo de manutenção.

Tal é a importância industrial deste material que a sua metalurgia recebe a designação especial de siderurgia. A fronteira entre o ferro e o aço foi determinada na revolução industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes características como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo, na década de 80, o aço já representava cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial. (CHIAVERINI, 1988).

A grande parte dos metais, como o aço, possuem a tendência em liberar elétrons para se estabilizarem eletronicamente, por isso combinam-se facilmente com espécies oxidantes, como o oxigênio, e reagem de modo que o metal seja sempre desgastado. Porém, a oxidação pode ser atenuada ou até mesmo inibida por alguma intervenção, como pintura, revestimento, ou quando é formada uma camada de óxidos em sua superfície, também conhecida por carepa. (BRASIL, 2021).

O processo de decapagem, é um dos meios de remoção de sujidades ou impurezas de uma superfície metálica, e é uma etapa muito importante no processo industrial de produção de metais, no sentido de lhe conferir melhor qualidade superficial e melhor aspecto visual (ARANHA, 1994).

Durante a remoção das sujidades por decapagem ácida, existe o risco da oxidação do material metálico pelo banho decapante, ocasionando perdas econômicas.

Os aços inoxidáveis, quando em sua fabricação, passam por processos a alta temperatura, provocando oxidação e a conseqüente formação de óxidos (carepa) sobre a superfície metálica. Portanto serão realizados testes de decapagem com diferentes concentrações dos banhos ácidos, diferentes temperaturas e tempo de imersão do material nas soluções, objetivando atender os requisitos de qualidade exigidos pelo cliente e evitando reprocesso.

As técnicas empregadas nesse trabalho serão:

- Análises de concentração dos banhos dos ácidos;
- Análises do tempo de imersão nas soluções decapantes;
- Avaliação visual e dimensional.

O emprego de inibidores de corrosão em banhos de decapagem apresenta duas grandes vantagens:

- econômica, à medida que impede a dissolução do metal e diminui o consumo de ácido;
- e de otimização de produção, à medida que diminui o tempo e o processo de decapagem, garantindo assim atender todos os processos dentro dos prazos necessários e determinados sem precisar utilizar de serviços externos.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é focar na decapagem por ação química, em especial a decapagem ácida, e estudar o emprego de novos ciclos de decapagem industrial como inibidor de corrosão para o aço inoxidável austenítico AISI 302 em banhos de decapagem industrial de ácido sulfúrico no processo inicial, e ácido nítrico e fluorídrico em processo final, onde trabalhos anteriores realizados em laboratório mostraram que tais ácidos são inibidores efetivos para o aço inoxidável AISI 302.

Para reduzir o tempo e número de ciclos de decapagem, será reavaliado os ciclos de decapagem química para aços austeníticos objetivando a definição de apenas um ciclo de decapagem.

Neste trabalho, os estudos serão estendidos a concentrações de ácidos e temperaturas diferentes das que são utilizadas atualmente, e sobre dois tipos distintos de superfície: polidas e com carepa (proveniente de etapas anteriores do processo industrial), com o objetivo de verificar a eficiência do processo de decapagem em proteger a superfície metálica e ao mesmo tempo permitir a dissolução da carepa.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Definição de Processo**

Trata-se de processo produtivo o conjunto de operações e fases realizadas sucessivamente e de maneira planejada que são necessárias para a obtenção de um bem ou serviço, levando em conta as características do mercado de maneira que possam ajustar-se as demandas para estar alinhados e em sintonia a fim de evitar as situações de crise que acontecem, sem causar carestia ou desabastecimento, uma vez que as necessidades do mercado do processo produtivo geram uma crise sobre a produção. (CONCEITOS, 2010-2020).

O estudo da filosofia Just In Time (JIT) de administração da manufatura, tem por objetivo a melhoria do processo produtivo em ganhos de qualidade e produtividade, usando estratégia para ajudar uma empresa a alcançar e/ou manter vantagem competitiva em custo. O sistema Just In Time aborda parte do conhecimento e seus principais objetivos, conceituando o custo real (valor agregado) e definindo os indicadores de produtividade e qualidade, onde se identificam os desperdícios da produção e apresenta as ferramentas do Just In Time para combatê-los, dando uma atenção especial ao sistema Kanban e ao sistema da qualidade. (CBC, 2020).

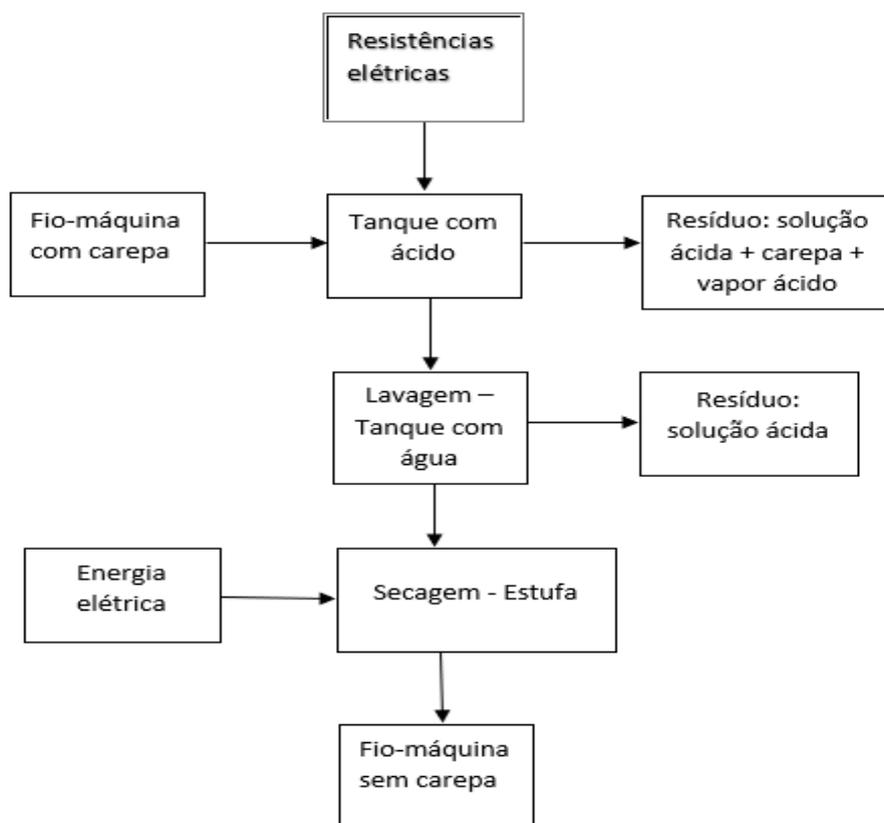
Na área metalúrgica, os processos são utilizados para transformar metais em produtos, passando por diferentes etapas relacionadas à fundição e ao tratamento dos metais e suas ligas. (GUIA DA CARREIRA, 2021).

#### **2.1.2 Fluxograma de processos**

Fluxograma de processos é uma representação gráfica que descreve os passos e etapas sequenciais de um determinado processo. Além disso, esta ferramenta pode ser utilizada para abordar os processos de qualquer organização. (Templum, 2021).

Para um apanhado geral sobre a decapagem química, foi feito um fluxograma do processo, como mostrado na Figura 1 (RUDY, 2002).

Figura 1 – Fluxograma Simplificado do Processo de Decapagem Química



Fonte: (S. F. Rudy, 2002).

### 2.1.3 Tempo de ciclo de produção

Em relação ao tempo de decapagem, este depende basicamente de duas variáveis: características específicas do aço a decapar, como a natureza do aço, composição, estrutura e espessura da camada de óxidos. E características da solução de banho ácido como concentração, temperatura e tipo de ácido. O tempo de imersão também deve ser controlado para conter o ataque à superfície (ENGHAG, 2002).

## 2.2 O AÇO

O desenvolvimento do aço pode ser rastreado desde o início da idade do ferro, quando ficou provado ser mais viável que o bronze, metal que vinha sendo amplamente utilizado na fabricação de armas e ferramentas, no entanto, a qualidade do ferro

produzido iria depender tanto do minério disponível como dos métodos de produção, que na época eram ineficientes devido sua fragilidade (COSIAÇO, 2021).

No atual estágio de desenvolvimento da sociedade, é impossível imaginar o mundo sem o uso do aço.

A produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país, onde o consumo cresce proporcionalmente à construção de edifícios, execução de obras públicas, instalação de meios de comunicação e produção de equipamentos, por suas ótimas características mecânicas e sua adaptabilidade que tornaram esses materiais corriqueiros no cotidiano (AVANZI. CAIO, SILVA. 2011).

Porém, fabricá-los exige técnica que deve ser renovada de forma cíclica, por isso as siderúrgicas investem constantemente em pesquisas, dando início ao processo de aperfeiçoamento do uso do ferro representando grandes desafios e conquistas para a humanidade (INSTITUTO AÇO BRASIL,2011).

### **2.2.1 Definição de Aço**

Aço é uma liga metálica formada principalmente de ferro e carbono, e possui maior aplicação que o próprio ferro devido suas propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão e baixo custo, podendo ser usado para produzir outras ligas. (TERMOVALE, 2016).

Em geral, o que chamamos de ferro, é na verdade aço. O minério de ferro é um óxido de ferro, misturado com areia fina que não tem resistência mecânica e é usado em grades, portões e guarda-corpos decorativos, onde se aproveita a plasticidade do material trabalhando no estado líquido para permitir a moldagem de desenhos ricos em detalhes, o ferro é encontrado em toda crosta terrestre, fortemente associado ao oxigênio e à sílica. O carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas. Na siderurgia, usa-se carvão mineral, e em alguns casos, o carvão vegetal (TERMOVALE, 2016).

Já o aço, é basicamente uma liga de ferro e carbono, e é empregado quando a responsabilidade estrutural entra em jogo.

### 2.2.2 Propriedades do aço

Suas propriedades são de fundamental importância, especificamente no campo de estruturas metálicas, cujo projeto e execução nelas se baseiam. Não são exclusivas dos aços, mas, de forma semelhante, servem a todos os metais. Em um teste de resistência, ao submeter uma barra metálica a um esforço de tração crescente, ela irá apresentar uma deformação progressiva de extensão, ou seja, um aumento de comprimento. Através da análise deste alongamento, pode-se chegar a alguns conceitos e propriedades dos aços (TERMOVALE, 2016):

A plasticidade é uma propriedade inversa à elasticidade, ou seja, o material não volta ao normal no fim da atuação da tensão externa, permanecendo com a deformação plástica que altera a estrutura do metal, aumentando sua dureza. (AÇOS NOBRE, 2021).

Podemos dizer que ductilidade é a capacidade de um material sofrer certa deformação considerada permanente, ou seja, plástica antes de chegar ao seu ponto de ruptura, o que é de extrema importância para prevenir acidentes. (Monferrato, 2021).

Resiliência é a capacidade que o material tem em absorver energia mecânica quando é deformado elasticamente (INFOESCOLA, 2021).

Já a tenacidade é a energia total, plástica ou elástica, que o material pode absorver até a ruptura. Assim, um material dúctil com a mesma resistência de um material frágil irá requerer maior energia para ser rompido, portanto é mais tenaz (TERMOVALE, 2016).

Fluência é a capacidade que um metal tem de alterar o seu tamanho e a sua resistência mecânica ao longo do tempo quando sujeito à uma força constante e uma temperatura de 40% da sua temperatura de fusão, no caso dos aços, essas temperaturas é significativa em casos de incêndios por ser superior a 350° C. Após esta fluência ocorre a deformação continua levando a uma redução da área do perfil transversal da peça (denominada estrição). (DEECC, 2010).

É importante citar ainda a fadiga, processo progressivo e localizado de modificações estruturais permanentes ocorridas em um material submetido a condições que produzam tensões e deformações cíclicas que pode culminar em trincas ou fratura após um certo número de ciclos. (ENSUS, 2021).

Por fim, dureza é a capacidade do material em resistir ao atrito e à abrasão. É importante notar que, embora possa significar o mesmo que força e tenacidade na linguagem coloquial, isso é muito diferente de força e tenacidade no contexto das propriedades do aço. (AÇOS NOBRE, 2021).

### **2.2.3 Aço AISI | ASTM 302**

O aço AISI 302 é um aço inox austenítico com cromo e níquel. Possui maior resistência a corrosão que o 301 graças ao Ni maior, porém não endurece tão rápido quanto um 301. (LUZ, 2021).

#### **2.2.3.1 Aplicações dos aços AISI 302**

O aço inoxidável austenítico é utilizado em elementos arquitetônicos, equipamentos hospitalares e farmacêuticos, equipamentos para indústria de alimentos e bebidas, máquinas de embalagens, molas, peças de tubulações, utensílios domésticos, artigos esportivos etc. (VILLARESMETALS, 2021).

#### **2.2.3.2 Composição química**

São aços carbonos constituídos basicamente de ferro, carbono, silício, manganês e adições significativas de cromo e níquel. Outros elementos na composição química são resíduos do processo de fabricação (LUZ, 2018).

Quadro 1 - O quadro abaixo apresenta os elementos e suas concentrações na composição química do aço AISI 302.

<b>Elementos</b>	<b>Concentração (%)</b>
Manganês, Mn	2 (Max)
Carbono, C	0,15 (Max)
Cromo, Cr	18 (Max)
Níquel, Ni	9 (Max)
Silício, Si	1 (Max)
Enxofre, S	0,03 (Max)
Fósforo, P	0,045 (Max)
Ferro, Fe	O que sobra

Fonte: LUZ, 2018

### 2.2.3.3 Densidade

8,0 g/cm<sup>3</sup> ou 0.289 lb/in<sup>3</sup>. (ALLOY WIRE INTERNATIONAL, 2021).

### 2.2.3.4 Limite de escoamento

Esta é uma propriedade obtida do ensaio de tração do AISI 302.

O limite de escoamento ou tensão de escoamento é de 275 MPa ou 39900 psi (Gelson, 2018).

### 2.2.3.5 Resistência a tração

Tabela 1- Tabela de resistência à tração INOX AISI 302 (Unid. Kgf/mm)<sup>2</sup>

PADRÃO	ATÉ	FAIXA DE DIÂMETRO									
		ACIMA 0,21 ATÉ 0,40	ACIMA 0,41 ATÉ 0,70	ACIMA 0,71 ATÉ 1,01	ACIMA 1,01 ATÉ 1,51	ACIMA 1,51 ATÉ 2,00	ACIMA 2,01 ATÉ 2,80	ACIMA 2,81 ATÉ 4,00	ACIMA 4,01 ATÉ 6,00	ACIMA 6,01 ATÉ 8,00	ACIMA 8,01 ATÉ 10,00
ASI	224	214	204	194	184	174	164	154	143	133	128
	ATÉ 250	ATÉ 240	ATÉ 229	ATÉ 219	ATÉ 209	ATÉ 199	ATÉ 189	ATÉ 179	ATÉ 169	ATÉ 159	ATÉ 153
302	168	163	163	153	143	138	132	122	112	107	
1	ATÉ 194	ATÉ 189	ATÉ 189	ATÉ 179	ATÉ 168	ATÉ 163	ATÉ 158	ATÉ 147	ATÉ 137	ATÉ 132	
31 6	.6900	194	189	189	179	168	163	147	137	132	

Fonte: AZC INOX, 2021.

OBS.: \* Conforme norma NBR 13366 (DIN 17224)

\*Tabela base para aplicações de molas e artefatos em geral.

\*Após o endireitamento em barras, a resistência à tração pode diminuir em até 10%.

### 2.2.3.6 Tensão admissível

Depende do coeficiente de segurança do projeto. (Gelson, 2018).

### 2.2.3.7 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade do aço AISI 302 é de 187,5 KN/mm<sup>3</sup> ou 27195 ksi. (ALLOY WIRE INTERNATIONAL, 2021).

### 2.2.3.8 Alongamento

55% (recozido) com a base de medida de 50 mm. (Gelson, 2018).

### 2.2.3.9 Condutividade térmica do aço austenítico AISI 302

16.2 W/mK ou 112 BTU in/hr.ft<sup>2</sup>. °F a 100°C (Gelson, 2018).

### **2.2.3.10 Coeficiente de expansão térmica do aço austenítico AISI 302**

$\alpha [10^{-6}/^{\circ}\text{C}]_{\text{térmica}}(DT=0-100^{\circ}\text{C}) 17,5$  (RPGBALLS,2021).

## **2.3 PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA**

Os processos de conformação mecânica são aqueles que alteram a geometria do material (forma) por deformação plástica, através de forças aplicadas por ferramentas adequadas, que podem variar desde pequenas matrizes até grandes cilindros. As vantagens com este processo são muitas: bom aproveitamento da matéria, rapidez na execução, possibilidade de controle das propriedades mecânicas e possibilidade de grande precisão e tolerância dimensional.

É importante observar, entretanto, que o ferramental e os equipamentos possuem um custo muito elevado, exigindo grandes produções para justificar o processo economicamente, e existem algumas centenas de processos unitários de conformação mecânica, desenvolvidos para aplicações específicas. Mas é possível classificá-los num pequeno número de categorias, com base em critérios tais como: o tipo de esforço, deformação do material, variação relativa da espessura da peça, o regime da operação de conformação e o propósito da deformação, que se dividem em vários processos, sendo basicamente o de trefilação e laminação os mais importantes nesse trabalho em questão. (NOBERTO, 2007).

### **2.3.1 Trefilação**

Trata-se de um processo mecânico que confere ao material precisão dimensional e melhores propriedades mecânicas, o processo trefilação tem a finalidade de obter fios de dimensões, acabamento superficial e propriedades mecânicas controladas, (BRASIL ESCOLA,2021).

Reduz a seção transversal de uma barra, fio ou tubo, “puxando-se” a peça através de uma ferramenta (fieira ou trefila) em forma de “funil”. É o processo comum para obtenção de fios de todo tipo (NOBERTO, 2007).

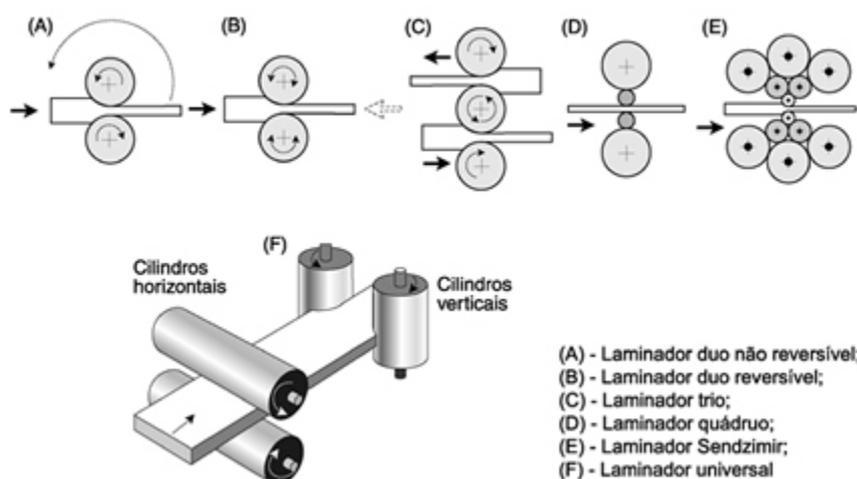
Em geral a seção transversal do aço trefilado apresenta simetria circular, embora isso não seja um requisito obrigatório. Com a redução sucessiva de diâmetro obtida mediante a trefilação, podem ser fabricados diferentes produtos, como barras, vergalhões e arames, dependendo do produto semielaborado resultante do processo de trefilação, que também pode ser realizada em tubos ocios, podendo utilizar, ou não, um mandril, com o objetivo de obter melhor controle de espessura final (INFOMET, 2021).

### 2.3.2 Laminação

Laminação é o processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, utilizado para se obter chapas metálicas passando-a entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmo chamados de laminadores. A laminação pode ser feita tanto a quente quanto a frio. (TMJR, 2021)

A seção transversal é retangular e está diretamente relacionada a produtos laminados planos de alumínio e suas ligas, desde chapas grossas com espessuras de 150 mm, usadas em usinas atômicas, até folhas com espessura de 0,005 mm, usadas em condensadores. Atualmente, a indústria também se utiliza da laminação contínua. (ABAL,2021).

Figura 2- Esquema do processo de laminação contínua.



Fonte: Abal (Associação Brasileira do Alumínio)

A redução inicial dos lingotes em blocos, tarugos ou placas é realizada pelo processo de laminação a quente, que transforma o produto em chapas grossas, tiras, vergalhões, barras, tubos, trilhos ou perfis estruturais. A laminação a frio ocorre para produzir peças de excelente acabamento superficial, com boas propriedades mecânicas e controle dimensional do produto bastante rigoroso. Assim, até a laminação final o material poderá ser submetido a várias passagens pelos cilindros. Os produtos resultantes da laminação podem ser placas, chapas, barras de diferentes seções, trilhos, perfis diversos, anéis e tubos. (CIMM, 2021).

### **2.3.2.1 Fio máquina**

Fio máquina é o produto(arame) adquirido a partir da laminação a quente do tarugo, extraído O minério de ferro extraído por umas das melhores reservas de minério do mundo, somado ao uso do carvão vegetal de produção da AVB, produz o ferro gusa líquido, vindo da Aciaria e da origem ao fio máquina, produto(arame) adquirido a partir da laminação a quente do tarugo e não se fabrica em diâmetros menores que 5,5 mm. Por outro lado, ao longo das etapas de trefilação o material é encruado, ou seja, sua resistência mecânica cresce à medida em que a redução de área aumenta. (AVB,2021)

Desta forma, em função das características do fio-máquina laminado a quente, das características finais do produto ou da necessidade de uma maior redução de área, faz-se necessário um tratamento térmico de recozimento. Durante a trefilação, que é realizada abaixo da temperatura de recristalização, o fio sofre um aumento da sua resistência mecânica e redução da sua ductilidade, devido à deformação plástica, caracterizando o denominado efeito de encruamento.

Acima de um certo grau de encruamento não é mais possível trabalhar o fio, sendo então necessário, para o prosseguimento do processo de trefilação, a aplicação de um tratamento térmico para o controle das propriedades mecânicas do fio durante o processo de trefilação é muito importante para que este possa ter prosseguimento, sem ruptura do fio, e para que o fio, ao final do processo apresente as características dimensionais, mecânicas e metalúrgicas exigidas por sua utilização. (BRASIL ESCOLA, 2021).

Figura 3- Fio máquina em bobina



Fonte: Unicom Representações.

## **2.4. TRATAMENTO TÉRMICO DO AÇO**

Devido a exposição do aço em ambientes severos, o material deve ser tratado termicamente para alcançar características de resistência a corrosão, sendo possível alcançar propriedades desejadas como resistência à tração, tenacidade, dureza entre outras. (LUZ, 2021).

### **2.4.1 Formação de carepa**

Carepa ou Calamina é uma superfície escura e escamosa deixada no aço laminado a quente, e consiste nos óxidos de Ferro óxido de ferro (II) ( $\text{FeO}$ ), óxido de ferro (III) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), e óxido de ferro (II, III), ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , magnetita).

No ramo siderúrgico, a oxidação da superfície do aço quando submetida à ação do tempo ou gradiente térmico, gera um coproduto denominado carepa, esse fenômeno provém, basicamente, das operações de lingotamento contínuo e laminação. A carepa é benéfica até ser quebrada devido ao manuseio do aço ou devido a alguma outra

causa mecânica, possui cor escura devida sua formação eletroquímica catódica, usualmente tem menos de 0,1 mm de espessura e é aderida a superfície do aço protegendo o mesmo da corrosão atmosférica. (CUNHA, A.F. et All, 2006)

A carepa é um sério problema quando o aço deve ser processado e pode ser removida através dos processos de decapagem ou jateamento abrasivo. Atualmente, a maioria das aciarias podem entregar seus produtos sem a carepa e protegidos com uma tinta primer sob a qual os processos de soldagem e pintura podem ser feitos sem problemas.

A carepa gerada nos rolos de laminação a quente é coletada e enviada a siderúrgica para sua reciclagem.

## 2.5. CORROSÃO

Corrosão é a reação de oxidação de um metal em presença de alguma substância ou elemento que sofre redução, e se resume a deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, associada ou não a esforços mecânicos, e incide sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços e ligas de cobre, ou não metálicos, como plásticos, cerâmicas ou concreto, onde o processo progride através do material até sua destruição total.

A maneira mais comum da oxidação se apresentar é em forma ferrugem, onde o Ferro reage com a água e o oxigênio do ar e libera hidróxido de ferro, aquela (camada avermelhada sobre a superfície), tipo de corrosão que ocorre em equipamentos que trabalham aquecidos como fornos, caldeiras, equipamentos de siderurgia, tubulações de exaustão, bicos injetores etc., devida à temperatura muito elevada.

Essas reações ocorrem de três maneiras, onde o meio age sobre o material, degradando-o; isso, classifica a corrosão em:

- Eletroquímica;
- Química, e;
- Eletrolítica.

### 2.5.1 Corrosão eletroquímica

Corrosão eletroquímica é a mais comum, ocorre com o metal na presença de água, estando o metal em contato com um eletrólito ou quando dois metais são ligados por um eletrólito gerando uma pilha de corrosão.

BRASILESCOLA, 2021).

Corrosão eletroquímica é um campo de estudo que abarca não somente questões relacionadas não apenas à corrosão, e sim a formação de pilhas (ou células eletroquímicas), fenômeno altamente ligado à oxirredução, onde um componente oxida e cede elétrons para o outro, que reduz conhecida como corrente elétrica.

Essas pilhas possuem três componentes essenciais:

O cátodo, onde ocorre a redução;

O ânodo onde ocorre a oxidação;

E o eletrólito, onde a corrente elétrica flui do cátodo para o ânodo por conta da diferença de potencial.

### 2.5.2 Corrosão química

Corrosão química é o ataque de algum agente químico diretamente sobre determinado material, que pode ou não ser um metal, que não precisa estar na presença de água e não há transferência de elétrons como na corrosão eletroquímica.

A corrosão química, é conhecida por corrosão seca, ou seja, ocorre com contato direto entre o material e o agente corrosivo, sem a necessidade de solução aquosa, e ocorre em temperaturas acima do ponto de orvalho, devido à reação com o oxigênio ou outros gases, formando uma fina camada de óxido. Em temperaturas mais elevadas, onde é mais fácil acontecer a corrosão, essa camada torna-se mais espessa, é a conhecida oxidação em altas temperaturas, onde a umidade reage com a camada de oxido, tornando o material passível ao ataque localizado. (RIJEZA, 2021)

### 2.5.3 Corrosão eletrolítica

Corrosão eletrolítica, é o processo que ocorre com a aplicação externa de uma corrente elétrica, de maneira não espontânea, e quando elas escapam para o solo formam-se pequenos furos nas instalações. (BRASILESCOLA, 2021)

Esta oxidação é definida como a tensão gerada pelo anodo e catodo em relação a um eletrodo neutro de referência, sendo ele o eletrodo de hidrogênio que é atribuído, por convenção, o valor zero para o seu potencial a 25°C, onde ocorre a corrosão devido às diferenças de materiais existentes como: soldas, conexões ou simplesmente diferenças superficiais no mesmo metal. Os métodos de controle de corrosão consistem em intercalar uma camada protetora entre o metal e o meio corrosivo interrompendo a corrente elétrica responsável pela perda de material. (SCIELO)

Resumidamente, as formas mais usuais de corrosão são: (PROPEQ)

- Puntiforme- Ao longo da superfície do sistema ocorre a formação de cavidades puntiformes,
- Alveolar- está relacionada a formação de cavidades superficiais, com o detalhe que nesse modelo as cavidades assemelham-se bastante a alvéolos.
- Intergranular- o processo corrosivo se dá entre os cristais ao longo de uma determinada região.

Os aços inoxidáveis, por serem ligas de boa propriedade mecânica a resistência, à corrosão e são economicamente viáveis, para aplicações em linha de escoamento onshore e offshore, geralmente exibem boa resistência à corrosão, tenacidade e soldabilidade, estando diretamente relacionada a corrosão localizada por pite, sendo o processo mais difícil de controlar apresentando uma microestrutura mais refinada e maior quantidade de estruturas dendríticas, que podem atuar como sítios nucleantes no processo de corrosão.(SCIELO, 2021).

Os aços inoxidáveis se dividem em autenítico, ferríticos e martensíticos, onde nos 2 últimos a fratura é intercrystalina e diretamente relacionada ao contorno de grão, e nos auteníticos é comum a fratura transgranular em meios clorídricos. (GENTIL, 1982).

## 2.6. PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA

Os diferentes tipos de aços são denominados de aços inoxidáveis ou de antiferrugem, pois a formação de ferrugem ou camada de óxidos, é impedida sob as condições normais do meio, por exemplo, na presença de humidade e oxigénio. Na maioria dos aços inoxidáveis, após sofrerem tratamentos térmicos e químicos, formam-se camadas de óxidos de cromo (conhecida como camadas passivas), sob as superfícies dos materiais, e que conferem a propriedade de resistir à corrosão (FILHO, 1997).

*A limpeza dos aços está diretamente associada ao conteúdo de óxidos deles, sendo que os diferentes tipos de inclusões não-metálicas presentes podem prejudicar desde os processos de fabricação e conformação até as características necessárias para a aplicação do produto. As inclusões se formam e se modificam ao longo dos processos de fabricação, e estão relacionadas principalmente às práticas de refino secundário e de lingotamento. Essas inclusões estão sempre presentes nos aços, de modo que é impossível se produzir um aço completamente livre das mesmas. Atualmente, existe uma série de pesquisas buscando o desenvolvimento de práticas e de processos para incrementar a limpeza dos aços. Entre essas está o desenvolvimento de novos materiais refratários adequados às diversas etapas de uma Aciaria. Com especial importância na limpeza dos aços estão as práticas e tecnologias aplicadas no lingotamento contínuo. (SILVA JÚNIOR, 2021).*

Os revestimentos aplicados diretamente sobre o aço dependem da qualidade da preparação à qual a superfície do metal foi submetida. Para fazer a remoção de carepas soltas de laminação, regiões oxidadas e tintas envelhecidas pode usar métodos mecânicos para realizada de forma manual, ou métodos químicos.

### 2.6.1 Métodos mecânicos

Inúmeros são os métodos empregados para o tratamento anticorrosivo de estruturas metálicas. A pintura é o método mais utilizado na construção civil, consistindo na aplicação de camadas de reduzida espessura sobre o elemento a ser tratado, formando uma película protetora. (GRUPO FULL ESTRUTURAS, 2017).

O processo de pintura deve ser precedido do tratamento superficial, que consiste na remoção de materiais que impeçam o contato da tinta com o aço, tais como pós,

gorduras, óleos, ferrugem, carepa de laminação, entre outros. O grau de limpeza superficial influencia diretamente na qualidade da pintura e conseqüentemente na durabilidade da estrutura.

Na limpeza mecânica empregam-se escovas rotativas, pneumáticas e elétricas. A qualidade do tratamento é superior a obtida pela limpeza manual, entretanto, também poderá apresentar impurezas.

São métodos conhecidos como limpeza técnica (mecânica) que consiste na remoção de resíduos indesejáveis presentes no aço (tubulações, peças e equipamentos), feito através de ação manual por meio de escovas de aço, lixamento e raspagem, ou por meio da ação mecânica de uma máquina, ferramenta ou equipamento como lixadeiras elétricas, escovas de aço e pistoletes de agulha. (INDA, 2021).

Os métodos mecânicos são:

- Processo de lixamento;
- Processo de escovamento;
- Processo de jateamento e hidrojateamento.

### **2.6.1.1 Lixamento**

É o único método usado para remover defeitos e riscos profundos, por meio de um disco de lixamento adequado pra tratar defeitos desta natureza, onde o método de lixamento usado nunca deve ser mais rugoso do que o necessário.

A lixa possui três partes principais: o lado dos grãos que é a que remove a superfície do metal chamamos de grãos abrasivos o outro lado é o suporte onde os grãos são fixados em que chamamos de costado e tem a cola ou resina que é o que mantém unido os grãos ao costado. Os grãos mais usados são os de óxido de alumínio e os de carbeto de silício. A maior diferença está no tamanho dos grãos quanto maior o número da lixa menor é o grão e mais fina é a lixa. (GENTIL, 1996)

Lembrando que, uma roda de abrasão é sempre suficiente para remover a coloração de solda ou contaminação da superfície.

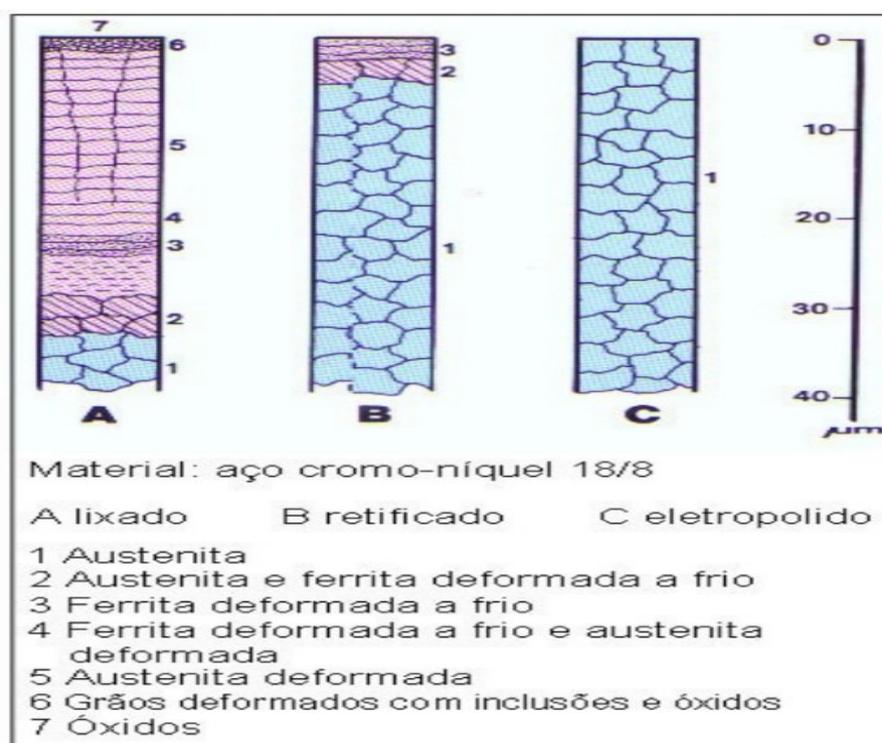
Os seguintes pontos devem ser considerados:

- Usar as ferramentas certas para lixamento, livres de ferro e auto cortantes para aço inoxidável que não tenham sido usadas para lixar ligas mais baixas;

- Não produzir superfícies muito rugosa, todo lixamento com rugosidade de disco grama 40-60, deve ser seguido de um lixamento mais fino (cinta esfregão) para obter um acabamento superficial correspondente à grana 180. Caso as exigências forem exatas será necessário um polimento;
- Para não superaquecer a superfície, aplique menor pressão no lixamento para evitar coloração por calor;
- Verificar se todos os defeitos foram removidos. (HUMMA, 2006).

O lixamento com rodas PG's superaquece e deforma a superfície até camadas de profundidade considerável, como ilustra a Figura abaixo. O lixamento, mesmo feito com rodas PG limpas, deveria limitar-se a remover defeitos previamente ao retrabalho de soldagem; e para remover soldas reforçadas, quando a remoção é absolutamente necessária por razões de processo. O calor provocado pelo lixamento afeta a superfície até uma profundidade que só pode ser restabelecida por posterior eletropolimento. (TUTHILL, 2021).

Figura 4- Microestrutura do aço por diversos tipos de lixamento



Fonte: Núcleo Inox

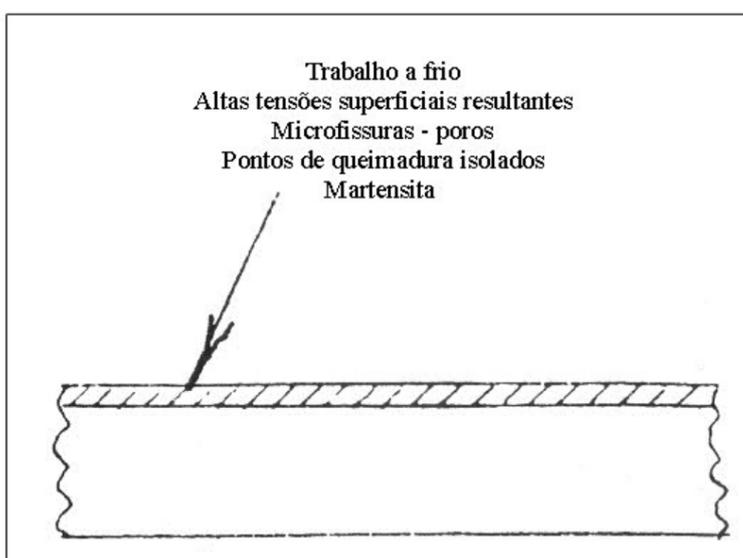
### 2.6.1.2 Escovamento

Escovamento é o método de limpeza mais comum usado depois do lixamento, que utiliza escovas de aço inox para fazer a limpeza da área a ser limpa, esse procedimento pode gerar marcas no material aumentando nessa região possibilidade de corrosão posteriormente.

O escovamento do aço inox produz uma aparência discreta com um brilho suave e aspecto fino, alterando para melhor a resistência à corrosão e a outras propriedades úteis do aço inoxidável pelo aumento do teor de cromo, ou pela adição de outros elementos, como molibdênio, níquel e nitrogênio. Por exemplo: na linha 200, o teor de Cromo varia entre 16% e 18%, na linha 304, entre 18% e 20%, na linha 430, temos uma variável de 14% a 18%. Vale ressaltar que o aço inoxidável não será corroído se a escolha da aplicação for feita de maneira correta e com os devidos cuidados, independente do uso pretendido. (BMG, 2021).

*Discos abrasivos limpos e rodas PG's limpas são métodos comumente utilizados para remover camadas de óxido formadas na região de solda e outras contaminações de superfície. Estes métodos de lixamento levam também deixam uma camada marcada na superfície de baixa resistência à corrosão. A Figura acima identifica os problemas com camadas marcadas por operações de lixamento leves. Camadas superficiais marcadas têm menor resistência à corrosão e são uma fonte potencial de problemas de corrosão em serviços posteriores. (GRUPOHUMMA, 2021,).*

Figura 5– Área marcada de baixa resistência à corrosão. Tais camadas marcadas deixadas pelas escovas de aço inox são fontes potenciais de material corrosivo.



Fonte: Núcleo Inox.

### 2.6.1.3 Jateamento

Jateamento é o método químico que utiliza o impacto de partículas abrasivas (areia ou esferas de aço), movimentadas em alta velocidade com o objetivo de remover carepa, pintura, ferrugem, cascas de fundição e outros materiais contaminantes da superfície do aço. Existem diferentes tipos de jateamento, portanto antes de submeter o aço a esses processos, é preciso retirar gorduras, graxas ou óleos da superfície. O desengorduramento deve ser feito com solventes, vapores de solventes ou outros métodos que eliminem estes contaminantes. Dentre os métodos de jateamento podemos citar:

- Jateamento de partículas abrasivas: utilizado para remover carepas de laminação soltas, ferrugem e matérias estranhas, por meio de ar comprimido de forma manual, o processo não consegue obter uma rugosidade uniforme na superfície. Para evitar uma grande quantidade de partículas sólidas em suspensão, recomenda-se o uso de granalha metálica em substituição à areia seca. Em seguida a superfície deve ser limpa imediatamente com aspirador, ar comprimido limpo e seco ou escova limpa. A aparência final deve corresponder aos padrões fotográficos e visuais, conforme Sa1. Este tratamento não se aplica a superfícies que apresentem grau A de intemperismo. Para os demais, os padrões de tratamento são: B Sa 1, C Sa 1 e D Sa 1 da Norma SIS 05 5900 – 1988. (DHRA, 2021)
- Jateamento de areia: é realizado por ar comprimido com adição de água, o que minimiza a poluição do ambiente. Em contrapartida, é necessário utilizar um inibidor de corrosão ou realizar a secagem imediata, a fim de evitar corrosão do aço. (INDA, 2021).
- Jateamento por Turbinas: por meio de granalhas de aço que são projetadas por forças radiais e tangenciais através da turbina e recuperadas por processo magnético, retornando ao sistema. O pó gerado é recolhido por aspiração. Esse é um método não é poluente, que garante rugosidade uniforme e superfície limpa; (INDA, 2021).
- Jateamento com granalhas de aço: conhecido tecnicamente como *shot peening*, é feito sobre a superfície das peças e definido como um tratamento mecânico superficial e a frio de peças metálicas, obtido através de impacto

uniformemente distribuído com objetos de forma arredondada, como partículas esféricas metálicas, ou de vidro, aceleradas com velocidades controladas por intermédio de um jato de ar comprimido ou por rotação. Este processo está relacionado à melhoria das características mecânicas na superfície dos metais, conferindo aos materiais processados aumento na resistência à fadiga mecânica, resistência à corrosão e controle de parâmetros superficiais (rugosidade, porosidade, dureza e tensão residual) vinculados ao funcionamento de componentes mecânicos ou estruturais, particularmente turbina hidráulicas instaladas em usinas hidroelétricas. (SERIZAWA, 2005).

- Areia quartzídica: indicada para peças de fácil deformação, com paredes não muito finas e para metais com coloração natural e alumínio, assim como para peças a serem esmaltadas. O grau de aspereza depende da pressão do ar, da rotação da centrífuga e do tamanho do grão, que geralmente apresenta pressões de 2 a 3 atm para o ferro, e de 1 a 1,5 atm para os metais de coloração natural e ferro fundidos. As arestas da areia quartzídica são vivas e tem diâmetro médio entre 1,5 e 3,0 mm. Para chapas de metal leve o diâmetro recomendado é 0,5mm, onde ângulo de incidência mais vantajoso é 450; (CIMM, 2021).
- Esferas de aço: indicadas para uso em material duro, onde a qualidade da superfície resultante depende da distância entre bocais, que pode ser otimizada. As esferas de aço são mais eficientes do que a areia, entretanto encarecem o processo pois a sua produção é onerosa. Apresenta pressão de ar é de 2,6 atm e as esferas têm diâmetros entre 0,5 e 2,0 mm. Pode ser usado um formato alternativo que são pequenos cilindros de aço especial (resistência de 180 kgf/ mm<sup>2</sup> com diâmetros entre 1 e 2,5 mm, com ângulo de incidência deve ficar entre 30 e 400. Pressões ou tempos excessivos podem conduzir ao encruamento da peça. (CIMM, 2021).

### **2.6.2 Métodos químicos**

O objetivo do processo químico no aço inoxidável é obter uma superfície metálica limpa após a remoção da camada de óxido e posteriormente promover a formação de

uma camada de óxido fina (camada passiva) sobre a superfície metálica com resistência à corrosão (VALENTINO et al., 2001).

Alguns metais tem baixa reação de oxidação, portanto são pouco atacados, mas para outros a reação pode ser desastrosa. Nesses casos para remover óxido de alta temperatura e contaminação de ferro sem danificar o acabamento da superfície do material são utilizados determinados métodos químicos.

A capacidade de reagir com o oxigênio, com maior ou menor facilidade, determina se um metal é mais ou menos nobre que outro. Assim, o metal que tem preferência por ficar no estado metálico é considerado mais nobre que outro que, nas mesmas condições, reagiria com o oxigênio formando óxidos. O óxido é tanto mais estável quanto maior for a energia liberada durante a sua formação (NACE, 1984).

Após a remoção dos contaminantes orgânicos, geralmente são utilizados os seguintes procedimentos:

- Limpeza;
- Desincrustação química;
- Passivação;
- Decapagem eletrolítica ou eletrodecapagem;
- Decapagem química.

### **2.6.2.1 Limpeza**

O dicionário fornece várias definições de limpeza. Nesse conteúdo, “limpeza” irá referir-se a superfícies de aço inoxidável livres de óleo, graxa, ferro encravado, impurezas e outras matérias estranhas, e com o filme de óxido de cromo intacto.

O procedimento de limpeza pode ser realizado de maneira química ou mecânica e ainda combinada. Normalmente, melhores resultados são esperados com o método de limpeza química. Entretanto, muitas vezes o problema de descarte desses produtos inviabiliza a sua utilização.

As usinas produtoras de aço inoxidável realizam um esforço combinado visando fornecer aço inoxidável com uma superfície livre de todas as formas de contaminação. Para chapas e lâminas, o padrão de acabamento superficial “2B” normalmente utilizado nas chapas representa um padrão de referência prático para “limpeza” quando comparado a qualquer outro tipo de acabamento superficial. (TUTHILL, 2021)

A Figura abaixo mostra os defeitos mais comuns que ocorrem nas superfícies de aço inoxidável, a origem e a maneira de resolvê-los de uma forma que fica fácil compreendermos a prevenção e a remoção dos defeitos da superfície.

Tabela 2 -Defeitos comuns das superfícies do aço inoxidável; origem e soluções.

DEFEITO	ORIGEM	SOLUÇÃO
Inclusões de MnS Incrustações	Fabricação na usina	Decapagem
Inclusões de Ferro Graxa Giz Arranhões	Manuseio	Desengraxe e Decapagem
Batidas de Arco de Solda Respingos de Solda Fluxo Zona Termicamente Afetada Marcas de Lixa	Soldagem	Limpeza Pós-Soldagem
Depósitos de Sedimentos	Processo	Limpezas Programadas

Fonte: TUTHILL, 2021.

Entre os métodos químicos, podemos citar Desincrustação química, Decapagem química, Decapagem eletrolítica ou eletrodecapagem e Passivação.

### 2.6.2.2 Desincrustação

Desincrustação é um processo químico de remoção de uma incrustação de óxido de com espessura visível da superfície, feito constantemente na fabricação de aços laminados antes do produto ser entregue.

### 2.6.2.3 Passivação

O tratamento básico de passivação para aço inoxidável é sua exposição ao ar. O padrão de acabamento 2B de usina nas chapas de aço inoxidável é um acabamento uniforme, limpo e durável, o qual alcança a maior parte dos requerimentos relativos a

limpeza, mas somente se ele puder ser preservado durante seu transporte, manuseio, fabricação, construção e serviço. (BANES, 1990)

Esses princípios se baseiam na cinética eletroquímica, que resulta da formação de películas protetoras sobre a superfície de metais por imposição de correntes. (IUPAC, 2019).

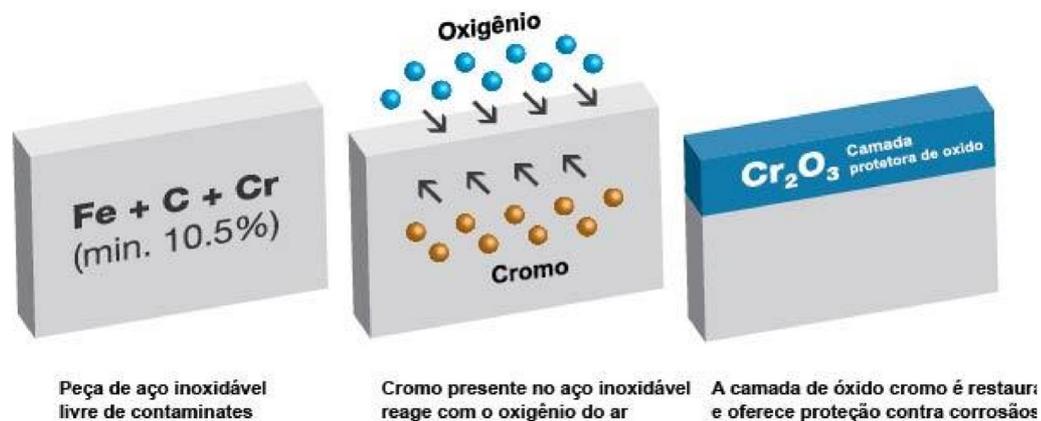
A passivação assegura a resistência à corrosão do componente ou peça e, conseqüentemente, sua durabilidade sem mudar sua aparência, destinadas a aplicações em temperaturas próximas do ambiente contam com a camada passiva, fina e transparente para a sua resistência à corrosão. (ELECTRO GLO, 2021)

A resistência que o aço inoxidável e outros metais apresenta em relação à corrosão depende das condições da superfície, particularmente relacionada a presença maior ou menor da camada passiva de óxido de cromo, onde a mudança que ocorre na superfície do aço inoxidável é definida como passivação. Portanto, se passivação protege contra a corrosão, pode-se dizer que esta mudança condiciona o aço inoxidável, conforme mostra a figura abaixo, onde as peças destinadas a aplicações em temperaturas próximas do ambiente contam com a camada passiva, fina e transparente para resistência à corrosão como o cítróde que auxilia na formação da camada passiva. A camada passiva que se desenvolve sobre o aço inoxidável não é uma camada ou óxido simples, como aquela que se forma ao aquecer-se o material. Os metais e ligas metálicas que se passivam como o cromo, são os formadores de películas. (WALTER, 2021)

Exemplos:

- Cromo, níquel, titânio, aço inoxidável, a liga monel que se passivam na grande maioria dos meios corrosivos, especialmente na atmosfera;
- O alumínio é o principal exemplo de camada de passivação que se transforma em Óxido de alumínio,  $Al_2O_3$ .
- Chumbo que se passiva na presença de ácido sulfúrico;
- O ferro que se passiva na presença de ácido nítrico concentrado e não se passiva na presença de ácido nítrico diluído;
- A maioria dos metais e ligas passivam-se na presença de meios básicos, com exceção dos metais anfóteros (Al, Zn, Pb, Sn e Sb).

Figura 6- Processo de repassivação do aço inoxidável



Fonte: Walter tecnologia em superfícies

É de conhecimento que repetidos tratamentos de passivação com ácido nítrico causam poucos danos aos aços inoxidáveis, porém são desnecessários, a menos que sejam parte do procedimento utilizado para remover da superfície depósitos de processo.

Ácido nítrico concentrado, eles repentinamente ficam protegidos contra a encontrado nos dias de Faraday, (1) é chamado de passivação eletroquímica de (SATO, 1981).

#### 2.6.2.4 Decapagem eletrolítica

Na decapagem eletrolítica ou eletrodecapagem, a capacidade de atingir e manter um nível de desempenho das linhas contínuas de produção, que resultará na degradação zero da qualidade do produto, é o principal requisito de um sistema de controle de processo. Portanto, é importante entender as condições que influenciam tanto mecanicamente, quanto diretamente relacionada à configuração do seu sistema de controle. Esses fatores mecânicos e a configuração de sistema resultaram, no passado, em projetos de equipamentos mecânicos e arranjos de linha de passe<sup>2</sup>, que renderam bandas com tolerância ampla o suficiente para absorver limitações inerentes do sistema elétrico. (TAINER, NEMURA, 2011).

A elaboração de projetos de equipamentos com rolos mais do que fisicamente necessários para transportar a tira com as forças de trações é utilizada na linha de produção. Máquinas complexas foram projetadas para permitir a coordenação dos

processos mecânicos. Estas considerações de projeto levaram à elevação dos custos de equipamentos mecânicos, bem como aumentos no número de máquinas elétricas e potência total aplicada. (TAINER, e NEMURA, 2011).

A carepa é um produto oriundo da oxidação da superfície do aço, quando esta passa por aquecimento, resfriamento, tratamento de superfície e/ou ação do tempo (oxidação lenta sobre a superfície) (CUNHA, FILHO, et al., 2006).

Para determinados materiais, esta oxidação se torna um inconveniente necessitando, então, da realização de uma decapagem. Esta decapagem é realizada através de dois tanques chamados de B2.1 e B2.2, os quais contém os eletrodos que são alimentados por 12 retificadores com suas correntes calculadas, através de modelo matemático, e controladas, objetivando evitar a baixa decapagem ou sobre decapagem, onde conforme apresentado na Figura abaixo, a tira de aço inoxidável é mergulhada em solução de sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) numa concentração de 200g/l, ocorrendo a decapagem eletrolítica. O controle da concentração da solução nos tanques, é realizado pela adição de água purificada ou eletrólito novo. (KERAMCHEMIE GMBH, 1997).

A temperatura é um fator muito importante para manter a homogeneização da solução, sendo a mesma controlada a 35°C ou 60°C, de acordo com o tipo de aço em processamento, que se encontra referenciado na NTA (Normas Técnicas da Aaperam).

Figura 7- Vista lateral dos tanques para decapagem eletrolítica.



Fonte: NTA (Normas Técnicas da Aaperam).

### 2.6.2.5 Decapagem química

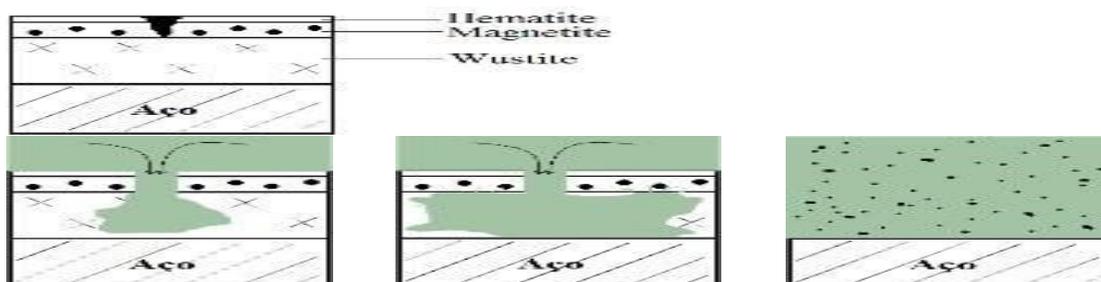
Decapagem é a remoção de uma fina camada de metal da superfície do aço inoxidável, onde normalmente são usadas mistura de ácidos nítrico e hidrófluorídrico. Uma aplicação muito corriqueira da decapagem está relacionada à remoção do “queimado de solda” (*heat tint*) da superfície das juntas soldadas, onde ocorreu uma redução superficial do teor de cromo (RANDON, 2021).

*O tratamento superficial do aço consiste na remoção da camada de óxidos (carepa) através da decapagem química. Durante o ataque do ácido à carepa, é formado o sulfato ferroso, que se mantém dissolvido na solução ácida, perdendo sua finalidade decapante quando atinge um teor de sulfato ferroso dissolvido de 85-95%, necessitando assim de descarte ou tratamento. Foi investigada a influência de três variáveis: temperatura, tempo, concentração e constatou-se que o fator tempo apresenta a maior influência no aumento da porosidade do aço, ou seja, quanto maior o tempo de permanência no banho ácido, maior a profundidade dos poros. (SEMANA ACADÊMICA REVISTA CIENTÍFICA, 2021).*

A decapagem química é adequada a aços *macios*, por meio de mergulho em banhos de ácidos clorídrico ou muriático, ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido fluorídrico, ácido nítrico, cada um desses ácidos são usados em situações específicas dependendo do grau de oxidação ou do tipo de carepa ou incrustação a ser removida, podendo em alguns casos ser necessário o uso de decapantes mais elaborados, agregando compostos que associados ao ácido tendem a acelerar o processo de decapagem química em aço carbono, nesses decapantes podem ser inseridos também tensoativos conhecidos também como inibidores. (DILETA, 2021).

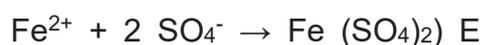
A decapagem do aço inoxidável através do processo químico é descrito por reações eletroquímicas que ocorrem na camada de óxidos na superfície do metal, na qual se pode observar três camadas: a óxido junto à base do metal e constituída por FeO; a magnetite, que é a camada intermédia e é constituída por Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; e a camada externa a hematite, constituída por Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. No decorrer da formação destes óxidos, a camada de óxido sofre um arrefecimento rápido que leva a alterações físicas, uma vez que a camada de óxido é parcialmente decomposta em magnetite. (DOMINGUES, 2015) Quando o material metálico é imerso no banho ácido, o ácido penetra através dos microporos das camadas de hematite e magnetite (camadas ricas em óxidos de ferro), por forma a atacar a camada de óxido, tal como está ilustrado na Figura 8. (DOMINGUES, 2015).

Figura 8- Camadas ricas em óxidos de ferro



Fonte: Domingues 2015

O ácido sulfúrico ou clorídrico concentrado, a uma temperatura de 100°C e 85°C respectivamente, durante a imersão de um minuto a um mês. O processo se dá pela ação do íon sulfato e do íon cloreto oriundos do ácido sulfúrico e do ácido clorídrico, respectivamente, que vão reagir com o ferro do aço e produzir sulfato de ferro (II):



Cloreto de ferro:



Com tais combinações do ferro ativo da superfície do metal, esta fica limpa.

Por outro lado, os banhos de decapagem em ácido sulfúrico funcionam com um processo de regeneração parcial, que consiste em precipitar o ferro sob a forma de sulfato heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), por esfriamento e cristalização da solução. (PDFCOFFEE Decapagem de LF,2021).

Os subprodutos dos processos de decapagem, também apresentam diferenças quanto ao aproveitamento. O sulfato de ferro, como subproduto da decapagem em ácido sulfúrico, era utilizado na agricultura, sendo atualmente, quase abandonado. Os óxidos de ferro sob a forma de hematite, subprodutos da precipitação e filtragem da decapagem em ácido clorídrico, são utilizados em eletrônica, na fabricação ferrites, mas não ganham grande valor, pois contém muitas impurezas.(PDFCOFFEE Decapagem de LF,2021).

#### 2.6.2.5.1 Ácido sulfúrico

Se tem registrado e relatado em literaturas, a produção do ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) desde aproximadamente o século X. Este ácido também era conhecido como o óleo

de vitríolo, palavra que advém do latim “vitrum”, a qual se refere à aparência dos cristais de sais inorgânicos (CAMPOS, 2011, p. 1).

Para entendermos um pouco mais sobre a história e a evolução do ácido sulfúrico na indústria, no século XV, Basilius Valentinus usou a queima do nitrato de potássio com enxofre para a preparação do ácido sulfúrico, mas por volta do ano de 1746 John Roebuck criou um método para a produção do ácido sulfúrico em alta escala (CAMPOS, 2011, p. 1).

O objeto deste trabalho não está direcionado ao método de produção do ácido, mas é importante esclarecer que com o passar dos anos, demais cientistas foram aperfeiçoando a maneira como produzi-lo, devido a sua relevância nos diversos processos. Juntamente com o aumento da produção, os métodos também foram se tornando mais eficiente já que foi possível aumentar também a concentração do ácido em produção.

O ácido sulfúrico tem como ponto positivo o seu custo baixo, se comparado com demais tipos de ácidos utilizados no processo de decapagem, sendo assim, se torna um dos ácidos mais utilizados para essa finalidade, já que também é possível obtê-lo em diversas concentrações e classificações. O ponto de atenção no uso do ácido sulfúrico é que pode haver a necessidade de ter de trabalhar com temperaturas elevadas, aumentando assim o custo da operação. Em aços com teor alto de carbono, há também a possibilidade de produzir superfícies escurecidas (ARANHA, 1994, p. 4). Devido ao seu baixo custo, o ácido sulfúrico é utilizado no processo de decapagem química geralmente na primeira etapa de alguns materiais austeníticos, onde no início do processo o objetivo é retirar uma boa parte de impurezas antes de direcionar o material para as demais soluções com custo maior. Isso é feito para que as demais soluções sejam menos contaminadas e conseqüentemente suportem maiores tempos de processamento sem precisar descartá-las.

*A importância do ácido sulfúrico é tão significativa que, o consumo per capita deste produto químico, é um dos indicadores para medir o desenvolvimento industrial de um país. Este ácido é um dos produtos químicos mais fabricados e utilizados no mundo, e sua produção mundial gira em torno de 200 milhões de toneladas por ano. (CAMPOS, 2011, p.3).*

### 2.6.2.5.2 Ácido fluorídrico

A descoberta do ácido fluorídrico se deve a descoberta da fluorita, um minério constituído por cálcio e flúor. A fluorita é a precursora de diversos processos químicos metalúrgicos e foi mencionada pela primeira vez por volta do século XV por Basilius Valentinus. (FIGUEREDO, 2021).

*Diante do novo elemento isolado da fluorita, o flúor passou a ser objeto de vários estudos. O primeiro passo foi realizado por Thénard e Gay-Lussac, na preparação do ácido fluorídrico concentrado, no qual descreveram em detalhes a experiência, onde a nova substância rapidamente dissolveu o vidro e causou fortes queimaduras. (FIGUEREDO, 2021).*

O ácido fluorídrico é publicamente muito conhecido pela sua capacidade de dissolver vidros, e isso se dá devido o seu forte poder de corrosão. Sabendo disso, o ácido fluorídrico deve sempre ser armazenado em recipientes de polietileno ou politetrafluoroetileno. O ácido fluorídrico também possui habilidades de agredir e assim dissolver muitos óxidos de metais e semimetais. (SCIENTIA, 2021).

Se tratando do processo de Decapagem Química, o ácido fluorídrico juntamente com o ácido nítrico, são os principais responsáveis pela agressão do metal e retirada de impurezas da sua superfície, isso se deve à sua forte agressão e poder de corrosão. Este é considerado o ácido mais agressivo e que oferece maiores riscos à segurança durante o processo.

### 2.6.2.5.3 Ácido clorídrico

O ácido clorídrico foi descoberto pelo alquimista árabe Jabir Ibne Haiane por volta do ano 800 D.C, considerado o pai da alquimia árabe. Ele sintetizou a substância com base em uma reação entre o sal marinho (NaCl) e o ácido sulfúrico (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). (ESCOLA, 2021).

Geralmente o ácido clorídrico é comercializado para o consumo nas indústrias na concentração de 35%. Por seu ponto de ebulição se encontrar à -85°C ele é considerado um ácido volátil, ou seja, passa facilmente para o estado de vapor mesmo em temperaturas ambientes. O ácido clorídrico é o principal componente do suco

gástrico presente em nosso estômago, sendo o responsável por facilitar a digestão dos alimentos. (MANUAL, 2021).

O ácido clorídrico possui diversas aplicações, ele é bastante usado na fabricação de produtos de limpeza, processamento de alimentos, produtos fármacos e para o nosso objeto de estudo: a decapagem química de metais. Este ácido ajuda na remoção das impurezas superficiais dos metais. Não é tão corrosivo ou agressivo aos metais quanto ao ácido fluorídrico que estudamos anteriormente e nem ao ácido nítrico que estudaremos a seguir.

#### **2.6.2.5.4 Ácido nítrico**

O ácido nítrico é um composto químico representado pela fórmula  $\text{HNO}_3$ , líquido viscoso, inodoro e incolor, muito volátil, forte oxidante, corrosivo, miscível em água. Ele é o segundo ácido mais fabricado para fins industriais, ficando atrás somente do ácido sulfúrico, o qual já conhecemos anteriormente. (ESCOLA, 2021).

O ácido nítrico é representado pela fórmula  $\text{HNO}_3$  e a sua produção se dá a um processo chamado Ostwald, em que se utiliza amoníaco aquecido com um catalisador (platina) para a formação do óxido nítrico, que, por sua vez, sofre oxidação, formando dióxido de nitrogênio e depois reagem com água, dando origem, finalmente, a esse ácido. Infelizmente a produção desse ácido polui o meio ambiente, pois durante o processo é liberado gases que contribuem para a formação de chuvas ácidas, agravando assim o efeito estufa. (ESCOLA, 2021).

Misturas de ácidos nítrico e fluorídrico são normalmente usadas para decapar aços inoxidáveis. Os mais importantes constituintes de produtos de decapagem de aço inoxidável são ácidos nítrico e fluorídrico. Ácido nítrico sozinho apenas passivará superfícies de aço inoxidável. Não é um ácido efetivo para decapar aços inoxidáveis. Ácido nítrico é extremamente útil para isto e é largamente usado em tratamentos de passivação de aço inoxidável disponíveis comercialmente. (HUMMA, 2006).

A aplicação do ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) na indústria metalúrgica, contribui para a refinação de metais preciosos, como o ouro e a prata e na indústria de impressão é usado como agente de gravação em fotogravura e litografia. Esse ácido é utilizado pelos fotógrafos que utilizam filmes de nitrocelulose e pela indústria farmacêutica, na composição e na destruição de medicamentos. (ESCOLA, 2021).

### **2.6.2.5.5 Neutralização do (Ca)**

Devido à exposição do material as etapas de decapagem química, a neutralização se faz necessário para conter a corrosão causada pelo ataque ácido ao material (fio máquina).

Os resíduos de decapagem favorecem a corrosão, portanto uma lavagem final cuidadosa é indispensável, seguida de uma neutralização alcalina fraca. (RUDY, 2002).

Após a neutralização no tanque de solução alcalina, o material ainda necessita passar por um rápido banho de água industrial para que seja removida toda e qualquer solução química da superfície.

Além do material em processo, toda a solução química em forma de resíduo gerado pelo processo de decapagem química, necessita passar pelo processo de neutralização para ser descartado às Estações de Tratamento de água, interna ou externa.

## **2.7. ANÁLISE DE QUALIDADE**

A qualidade sempre existiu na realidade humana e com o passar dos tempos, foi ganhando mais e mais importância. Juntamente com a nossa espécie, a qualidade se mantém em constante evolução.

Podemos encontrar inúmeras definições sobre o que possa resumir qualidade, porém a definição mais utilizada atualmente é que qualidade significa atender os requisitos ou necessidades de uma parte interessada do produto ou processo.

Com o passar dos anos, a qualidade sofre alterações na sua abordagem, são descobertas novas ferramentas e métodos de realização.

Podemos compreender isso, pois sabemos que durante a revolução industrial, que ocorreu entre 1760 e 1840, a qualidade estava nas mãos dos Mestres e Supervisores das fábricas, ou seja, estava apenas nas mãos dos chefes.

Já a abordagem de qualidade hoje, é dada ênfase nos próprios inspetores das fábricas, que são quem realmente conhecem das características dos produtos e das dificuldades enfrentadas nos processos.

Em tempos da primeira guerra mundial, por volta de 1914 e 1918, foi criada a figura do inspetor de qualidade como responsável pelos materiais que saíam da sua companhia.

Já nos tempos de hoje, vemos a qualidade como fatores estratégicos para as empresas, tendo uma abordagem voltada à não só a melhoria do seu produto, mas também como do seu processo e serviços prestados.

### **2.7.1 Ensaio dimensional**

O Ensaio dimensional, assim como o ensaio visual que comentamos logo acima, também se enquadra na esfera dos Ensaio Não Destrutíveis. O Ensaio Dimensional se refere as verificações das dimensões dos produtos em processo, ou seja, medição de grandezas métricas que comparam os valores encontrados com os valores especificados pelo cliente.

Sabemos que as grandezas métricas existem desde o primórdio e que ao longo do tempo, essa tecnologia foi se aprimorando, sofrendo alterações de padrões de acordo com a sociedade e a cultura. Algumas das medidas conhecidas historicamente são:

- Cúbito real;
- Pés;
- Polegadas;
- Jardas;
- Metro.

Hoje em dia, os padrões de grandeza mais utilizados nas indústrias são a medida em polegada e a medida em metro, que em escala menor, trabalhamos em milímetros.

Conforme foram aumentando a necessidade por verificações das grandezas de tamanho, o ser humano sentiu a necessidade de criar padrões de medição para facilitar a determinação numérica dos valores desejados, o que usualmente chamamos hoje de instrumentos de medição.

Os instrumentos de medição nos ajudam a determinar de forma precisa os valores numéricos de medidas. No objeto de estudo do nosso trabalho, durante o ensaio dimensional, trabalharemos com o micrômetro, instrumento que tem a capacidade de medir milésimos de milímetros.

### 2.7.2 Ensaio visual

O ensaio visual de qualidade se enquadra na classe dos Ensaio Não Destrutíveis, comumente chamados de *END*. Isso se deve pelo fato de que o ensaio visual não destrói o produto ou corpo de prova durante o processo.

Podemos afirmar que o ensaio visual foi o primeiro ensaio não destrutível criado e aplicado pelo homem. Este ensaio necessita que o seu padrão ou referência, precise estar claramente definido para que não haja erros de interpretação por parte do ser humano.

O ensaio visual, pode sofrer inúmeras interferências se não utilizado de maneira correta, como por exemplo deficiência na luminosidade do ambiente, ângulo de observação, chamado também como erro de paralaxe, atividades repetitivas também faz com que o operador não se possibilite a entregar todas com o mesmo nível de qualidade.

Neste trabalho o ensaio visual se aplica para a qualidade da superfície do material que passou pelo processo de decapagem química. Estudaremos com mais profundidade a seguir.

## 2.8. DESENVOLVIMENTO

O experimento deste trabalho consiste em reavaliar os ciclos de Decapagem para o aço austenítico V302T (AISI 302) da Villares Metals, objetivando apenas um ciclo de decapagem, devido ser atualmente o aço com maior volume de demanda e seu processo de produção tem a necessidade de passar por três ciclos de Decapagem, o que se resume em retrabalhos.

Premissas:

Determinar a melhor condição de acabamento sem sujidades, marcas de carepa etc.

Determinar a perda de massa ótima (melhor superfície x menor perda);

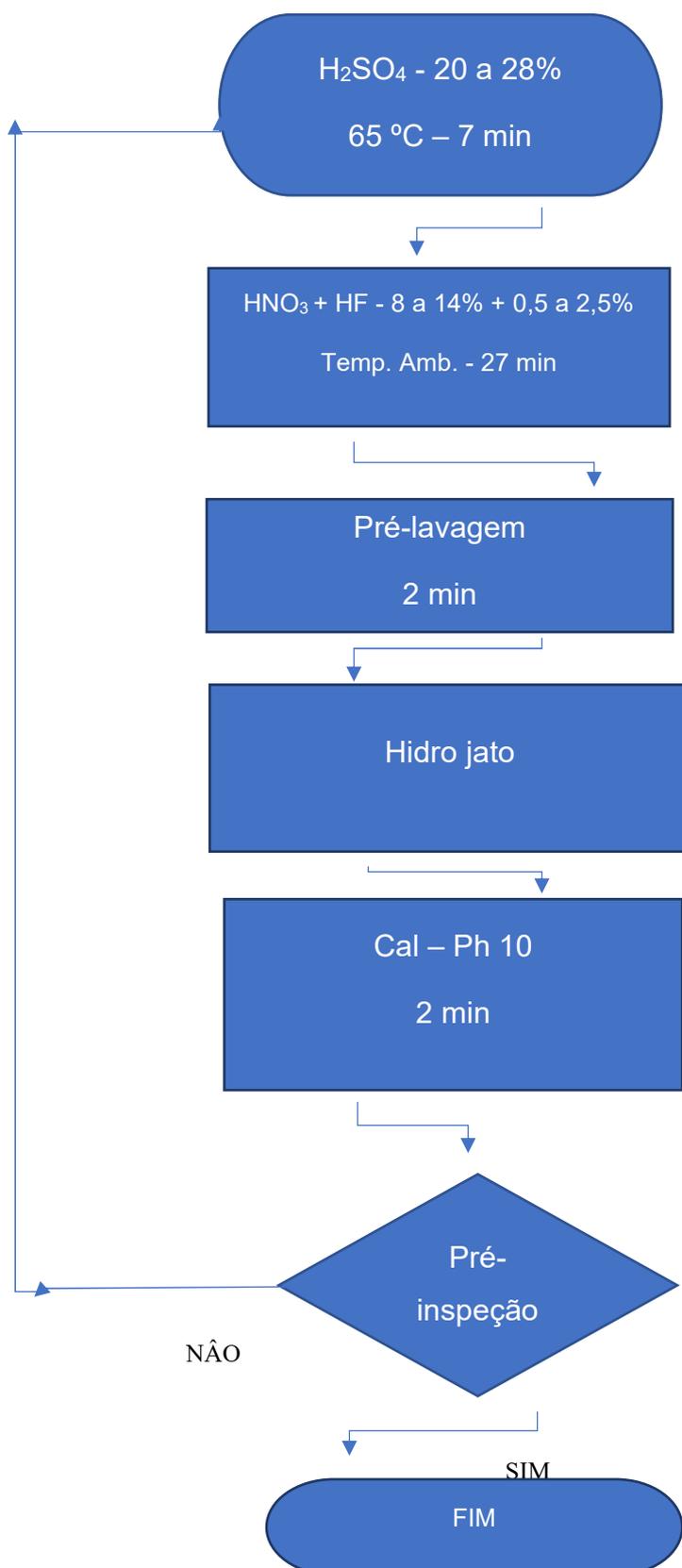
Determinar melhor rugosidade superficial após decapagem;

Utilizar os banhos ácidos já existentes no processo produtivo.

### **2.8.1 Análise do processo atual**

Para um bom acabamento superficial, as bobinas de V302T necessitam atualmente de até dois ciclos adicionais, isto reduz a capacidade e a produtividade da área, com o aumento do volume para os próximos meses, a decapagem não terá capacidade para atendimento da demanda, sendo necessário a contratação de serviço externo. São observados frisos em uma das faces longitudinais, que para sua remoção é necessário aplicação de mais “energia”, e tempo de processamento. Veja abaixo o fluxo de processo atual.

Diagrama 1- Diagrama do processo atual



Fonte: Guilherme Prado Archangelo

## 2.8.2 Execução dos testes

### 2.8.2.1 Recebimento do material

O material usado para a execução dos testes é recebido na produção em formato de bobina de fio máquina. Para o correto recebimento, foi realizado a conferência do material fisicamente pela sua identificação (plaqueta) confrontando a informações do documento Ordem de Produção, garantindo assim a correta liga metálica e dimensão do material.

Figura 9 – Recebimento e identificação correta do material utilizado.



Fonte: Guilherme Archangelo

### 2.8.2.2 Retirada das amostras

Nessa etapa foi necessário utilizar a ferramenta corta vergalhão para obter as amostras no tamanho desejado.

Figura 10 – Ferramenta utilizada para o corte das amostras.



Fonte: Guilherme Archangelo

### 2.8.2.3 Preparação das amostras

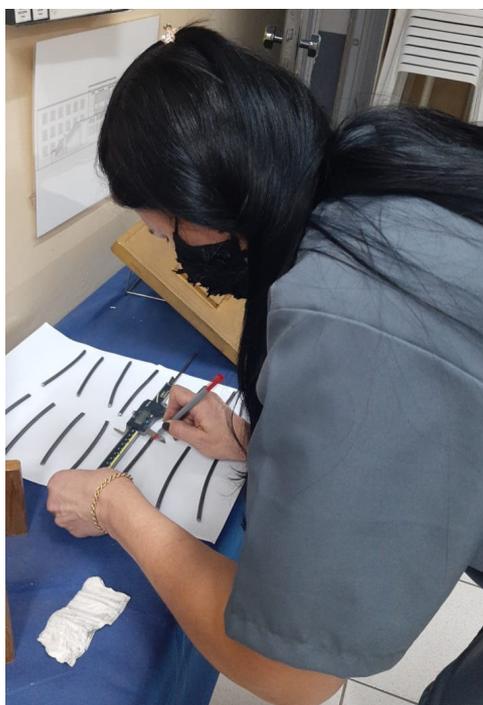
A preparação das amostras foi realizada de forma a obter uniformidade entre elas para evitar variações nos testes, para isso foi utilizado o equipamento de corte e obtido 100mm de comprimento em todas as amostras.

Figura 11 - Corte das amostras com o comprimento de 100mm.



Fonte: Rosana Cristina de Almeida.

Figura 12 – Medição dimensional das amostras.



Fonte: Ana Paula Baltazar.

Após o corte das amostras, foi realizado o lixamento das peças para regularizar as extremidades do material evitando assim uma corrosão desproporcional entre elas.

Figura 13 – Lixamento das extremidades das amostras.



Fonte: Anderson Chelis.

Figura 14 – Amostras com acabamento nas extremidades.



Fonte: Ana Paula Baltazar.

A última etapa da preparação das amostras é a pesagem. Foram pesadas as peças e obtido as medidas iniciais.

Figura 15 – Pesagem das amostras brutas.



Fonte: Guilherme Archangelo.

#### 2.2.8.4 Preparação das Soluções químicas

As soluções de ácido sulfúrico, ácido nítrico e ácido fluorídrico, foram preparadas manualmente em laboratório utilizando instrumentos como pipeta graduada, proveta de plástico, pinça metálica, bastão de vidro e foram acondicionadas em beakers. A solução alcalina foi preparada em becker contendo água e Cal virgem, obtendo pH >8 e <10. Os testes nos quais as soluções precisaram ser aquecidas, foi utilizado o método de banho maria e para controlar a temperatura foi utilizado termômetro de mercúrio. A nova concentração proposta da solução ( $\text{HNO}_3 = 20\%$  e  $\text{HF} 5\%$ ), a temperatura e o tempo de imersão para a realização dos testes foi definida em consenso pelo grupo levando como base os parâmetros recomendados pela norma ASTM A380 para aço inoxidável série 300.

Figura 16 – Parâmetros da norma ASTM A380-17.

Alloy <sup>A</sup>	Condition <sup>B</sup>	Treatment			
		Code	Solution, Volume, % <sup>C</sup>	Temperature °F (°C)	Time, Minutes
200, 300, and 400 Series, precipitation hardening, and maraging alloys (except free-machining alloys)	fully annealed only	A	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 8–11 % <sup>D</sup>	150–180 (66–82)	5–45 max <sup>E</sup>
200 and 300 Series; 400 Series containing Cr 16 % or more; precipitation-hardening alloys (except free-machining alloys)	fully annealed only	B	HNO <sub>3</sub> , 15–25 % plus HF, 1–8 % <sup>F,G</sup>	70–140 max (21–60)	5–30 <sup>E</sup>
All free-machining alloys and 400 Series containing less than Cr 16 %	fully annealed only	C	HNO <sub>3</sub> , 10–15 % plus HF, ½–1½ % <sup>F,G</sup>	70 (up to 140 with caution)	5–30 <sup>E</sup>

Fonte: [https://kupdf.net/download/norma-astm-a380-27738-1\\_5913c652dc0d60ac33959e99\\_pdf](https://kupdf.net/download/norma-astm-a380-27738-1_5913c652dc0d60ac33959e99_pdf)

Figura 17 – Preparação das soluções químicas.



Fonte: Guilherme Archangelo.

### 2.2.8.5 Decapagem das amostras

As amostras foram imergidas por completas nos beckers contendo as soluções ácidas necessárias e seguiram o fluxo do processo de decapagem. Para acessar as amostras imergidas na solução ácida, foi utilizado pinças metálicas.

Os testes foram executados em laboratórios químicos preparados. Parte das experiências foram realizadas na escola Etec Trajano Camargo e parte na empresa D.G Folheados em Limeira, São Paulo.

O primeiro banho de ácido sulfúrico foi mantido como o padrão devido a sua característica de retirar a sujeira inicial do material, e após foi direcionado à solução de  $\text{HNO}_3 + \text{HF}$  que é mais eficiente na limpeza final do material.

No experimento haverá três variáveis em dois níveis diferentes, conforme tabela abaixo:

Tabela 3: Tabela de variáveis do processo inicial

Am	Concentração $\text{HNO}_3 + \text{HF}$	Tempo de imersão (min)	Temperatura	Peso inicial (gr)	Diâmetro inicial (mm)
1	9% + 1,2%	10	25 °C	19,225	5,53
2	9% + 1,2%	30	25 °C	19,291	5,53
3	9% + 1,2%	10	58 °C	19,345	5,48
4	20% + 5%	30	58 °C	19,285	5,49
5	20% + 5%	10	58 °C	19,344	5,51
6	20% + 5%	30	25 °C	19,323	5,52
7	9% + 1,2%	30	58 °C	19,364	5,49
8	20% + 5%	10	25 °C	19,289	5,50

Fonte: Guilherme Prado Archangelo

Obs: Fluxo inicial amostra 2.

Figura 18 – Decapagem das amostras brutas.



Fonte: Rosana Cristina Almeida.

Figura 19: Foto do experimento em análise



Fonte: Rosana Cristina de Almeida

### 2.2.8.6 Análise das amostras decapadas

Após a realização dos testes de decapagem das amostras, foi realizado a pesagem individual das peças para verificar se houve perda significativa de massa do material assim como a análise dimensional (diâmetro).

Tabela 4: Tabela de variáveis do processo ideal

Am	Concentração HNO <sub>3</sub> + HF	Tempo de imersão (min)	Temperatura	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Diâmetro inicial (mm)	Diâmetro final (mm)
1	9% + 1,2%	10	58 °C	19,345	19,288	5,53	5,50
2	9% + 1,2%	30	25 °C	19,291	19,234	5,53	5,49
3	9% + 1,2%	10	25 °C	19,225	19,168	5,48	5,45
4	20% + 5%	30	58 °C	19,285	19,227	5,49	5,46
5	20% + 5%	10	58 °C	19,344	19,286	5,51	5,50
6	20% + 5%	30	25 °C	19,323	19,265	5,52	5,49
7	9% + 1,2%	30	58 °C	19,364	19,306	5,49	5,46
8	20% + 5%	10	25 °C	19,289	19,232	5,50	5,48

Fonte: Guilherme Prado Archangelo

Obs: Fluxo inicial amostra 2.

Avaliando os número da tabela acima, foi percebido uma diferença pequena entre o peso inicial das amostras e peso final após decapagem. Valores menores que 0,5%. O mesmo aconteceu na análise dimensional, onde não foi percebido uma relação lógica e impactos significativos, levando em consideração que o resultado obtido atende as especificações do cliente.

### **2.8.3 Análise dos resultados**

Para avaliação por inspeção visual, o fator significativo é a qualidade do acabamento superficial da peça. A concentração do banho da solução ácida  $\text{HNO}_3+\text{HF}$  se demonstrou determinante causando um aspecto nítido capaz de visualizar defeitos na superfície do material, seguido por temperatura do banho, além da interação importante entre ambos.

Podemos evidenciar através do aspecto das amostras de número 4, 6 e 8 que tiveram melhor performance em todo o teste.

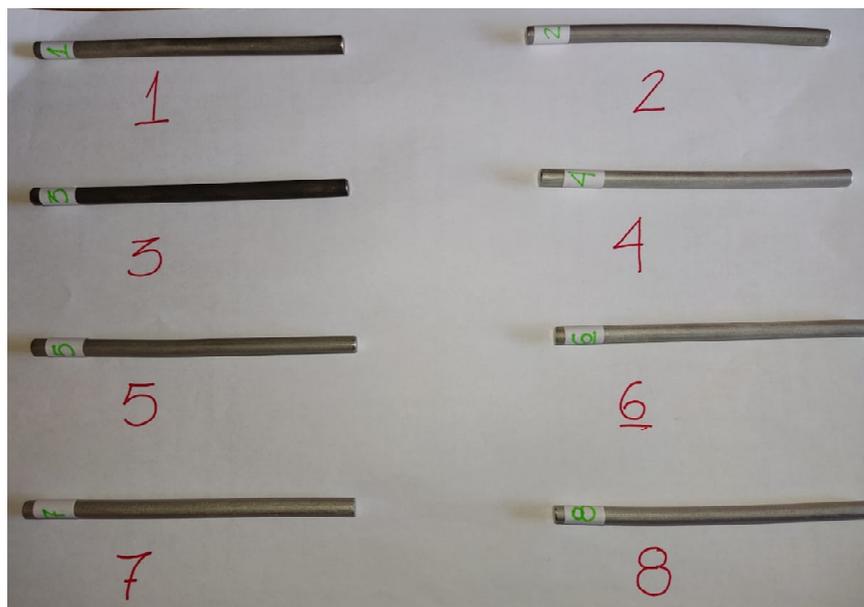
A amostra de número 8 (alta concentração, baixa temperatura e tempo reduzido) apresentou melhor aspecto visual que a condição inicial representado pela amostra de número 2, o que se faz concluir que a concentração teve importância determinante no seu resultado.

A amostra de número 6 (alta concentração, baixa temperatura e tempo normal) apresentou discreta melhora no seu aspecto visual relacionado a amostra de número 8, devido ter permanecido por mais tempo imergido na solução ácida com alta concentração.

Já a amostra de número 4 (alta concentração, alta temperatura e tempo normal) apresentou o melhor resultado dentro dos testes realizados. Isso demonstra que o aumento da concentração da solução, seguido do aumento da temperatura do banho foram fatores determinantes para o bom resultado na inspeção visual do material.

Para perda de massa não houve um fator significativo, as amostras não tiveram variação dimensional considerável para ser um fator de decisão.

Figura 20: Foto das amostras decapadas



Fonte: Rosana Cristina de Almeida

Figura 21: Foto das amostras 2 e 8.



Fonte: Rosana Cristina de Almeida

Figura 22: Foto das amostras 6 e 4.

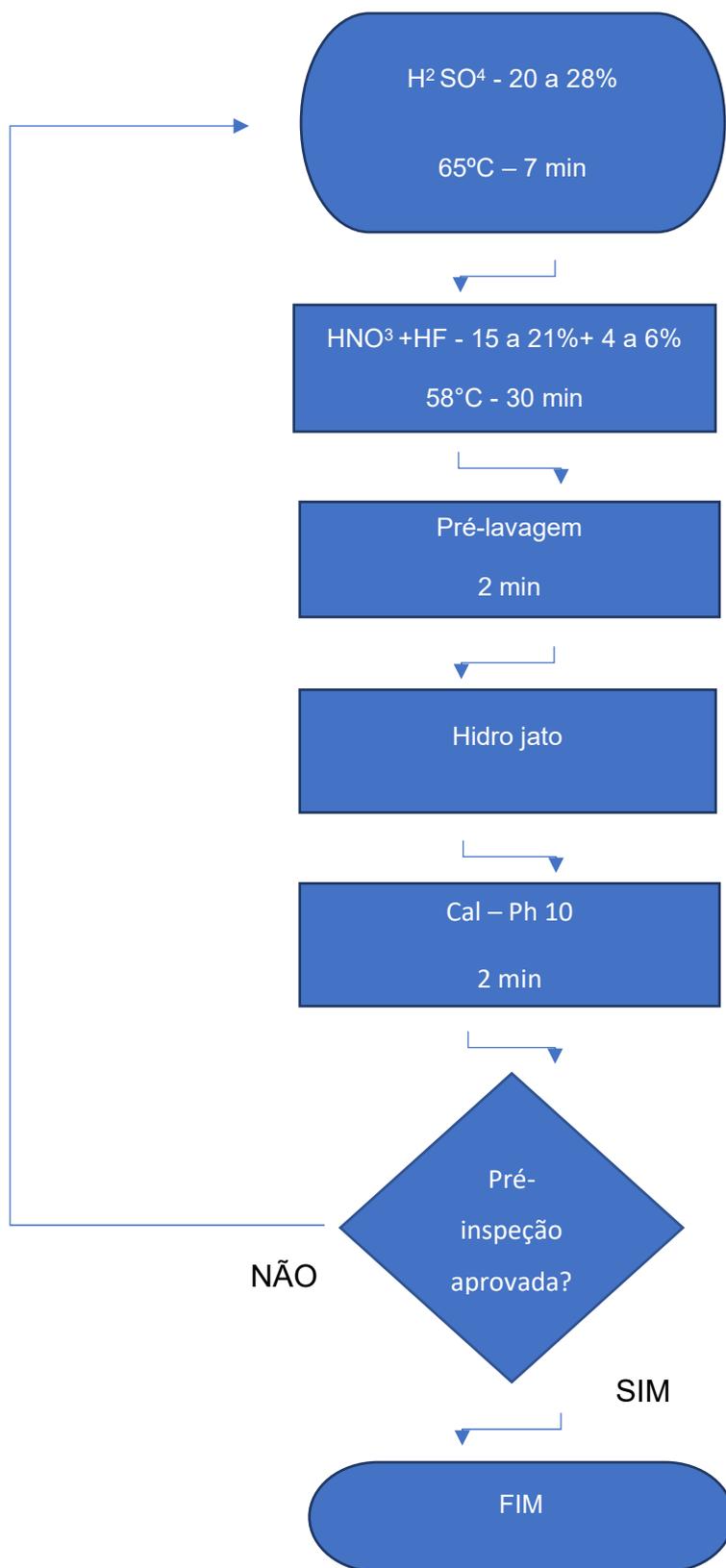


Fonte: Rosana Cristina de Almeida

#### **2.8.4 Definição do processo ideal**

Com base nos resultados das amostras, a peça de número 4 demonstrou melhor acabamento superficial. A concentração da mistura  $\text{HNO}_3$  + HF pelo experimento tem efeito significativo, seguido pela temperatura do banho e interações. Estudando o efeito especificamente das concentrações de  $\text{HNO}_3$  e HF, ficou evidenciado que a concentração de HF tem influência preponderante comparada a variação da concentração de  $\text{HNO}_3$ .

Diagrama 2- Diagrama do processo ideal



Fonte: Guilherme Prado Arcangelo

### 3. CONCLUSÕES

Estudando o efeito especificamente das concentrações de  $\text{HNO}_3$  e  $\text{HF}$ , ficou evidenciado que o seu aumento tem influência determinante no resultado quanto ao acabamento superficial do aço inoxidável AISI 302. Foi percebido também que o fator temperatura potencializa o efeito do banho ácido em contato com a superfície do material, eliminando de maneira eficaz a necessidade de reprocesso (repetição de ciclos de decapagem).

Não foi observado durante a análise visual e dimensional do material o aumento significativo da rugosidade e perda de massa que impactasse no resultado dimensional requerido pelo cliente após a decapagem.

Processo recomendado:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  24±4% - 7 min =>  $\text{HNO}_3$  18±3% +  $\text{HF}$  5±1% - 30±3 min – 54±4 °C.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL, 2021, <http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/laminacao/#:~:text=%C3%89%20um%20processo%20de%20transforma%C3%A7%C3%A3o,em%20torno%20de%20si%20mesmos.>, acessado em 21/11/2021 às 12hr 38 min.

ACOS NOBRE, 2021. <https://acosnobre.com.br/blog/propriedades-do-aco/> acessado em 18/09/2021 às 21hr 35min.

(ALLOY WIRE INTERNATIONAL, 2021), <https://www.alloywire.com.br/products/stainless-steel-302/>, acessado em 20/11/2021 às 22hr 48 min.

ARANHA, Hernani, Aranha. “**O benzotriazol (BTAH) como inibidor de corrosão do aço inoxidável tipo 304 imerso em banhos de decapagem de ácidos**”. Dissertação de mestrado Universidade de São Paulo, 1994, 108 pg.

AVANZI, SILVA, 2011; Antonio Carlos da Silva, Caio Avanzi, “**Mecânica- Tecnologia dos Materiais e industrial**, 2011”.

AVB, 2021, <https://avb.com.br/fio-maquina/#:~:text=O%20Fio%20m%C3%A1quina%20%C3%A9%20o,gusa%20l%20A%20vindo%20da%20Aciaria.>, acessado em 21/11/2021 às 13hr 37 min.

AZC INOX, 2021, file:///C:/Users/Cliente/Downloads/aczinox-tabela-rt-inox-aisi-302-316.pdf, acessado em 20/11/2021 às 21hr 57 min.

BMG, 2021, <https://www.bmginox.com.br/escovamento-aco-inox>, acessado em 21/06/2021 às 22hr 14min

BANES, 1990. Banes P. H., “**Passivation: Understanding and Performing Procedures on Austenitic Stainless Steel Systems**”, Pharmaceutical Engineering, Nov./Dec. 1990 Vol. 10, No. 6 pg 41.

BARRIOS, Daniel Benítez, **Mecânica: métodos e processos industriais** / Daniel Benítez Barrios, Luís Antonio Pivetta, Néelson Kodi Yoshikawa (autores); Edvaldo Angelo (coautor); Antonio Carlos Baffi (revisor); Meire Satiko Fukusawa Yokota (coordenadora). -- São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011 (Coleção Técnica Interativa. Série Mecânica, v. 5) Manual técnico Centro Paula Souza ISBN 978-85-8028-043-2 1. Mecânica - processos industriais 2. Indústria - fundição 3. Indústria - usinagem I. Pivetta, Luís Antonio II. Yoshikawa, Néelson Kodi III. Angelo, Edvaldo IV. Baffi, Antonio Carlos V. Yokota, Meire Satiko Fukusawa VI. Título, 183p.

BRASIL ESCOLA, 2021 <https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/trefilacao.htm> acessado em 23/06/21 às 19hr 32min.

BRASIL ESCOLA, <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-corrosao.htm>,

acessado em 24/11/2021 às 23hr 03 min,

CAMPOS, Vinícius Rangel Campos. **Métodos de Preparação Industrial de Solventes e Reagentes Químicos**, Revista Virtual de Química ISSN 1984-6835, volume 3 números 3, ÁCIDO SULFÚRICO, <http://www.uff.br/rvq>.

CBC - Congresso Brasileiro de Custos, 2020, <http://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3431> acessado em 11/06/2021 às 19hr 37min

CHIAVERINI, 1988, V. Chiaverini. **“Aços e Ferros Fundidos”**. 6ª Edição. Publicação da Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1988.

CIMM, 2021, [https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/6312-decapagem-mecanica#01](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6312-decapagem-mecanica#01), acessado em 06/06/2021 às 18hr 57min.

CIMM, 2021, <https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/582-laminacao> acessado em 21/11/2021 às 12hr 53 min.

CONCEITOS, 2010-2020, <https://conceitos.com/sobre/>, acessado em 20/11/2021 às 23hr 41 min.

COSIAÇO, 2021, <https://www.cosiaco.com.br/blog/a-historia-do-aco-a-partir-da-idade-do-ferro/> 04/05/2021 às 18hr 53 min.

CUNHA, Adriano Ferreira da; Mol, Marcos Paulo Gomes; Martins, Máximo Eleotério; Assis, Paulo Santos (março 2006). **«Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos»**. Rem: Revista Escola de Minas. 59 (1): 111–116. ISSN 0370-4467. doi:10.1590/S0370-44672006000100014 [https://pt.wikipedia.org/wiki/Carepa\\_\(a%C3%A7o\)#:~:text=Carepa%20%C3%A9%20um%20co%2Dproduto,A%20carepa%20possui%20cor%20escura](https://pt.wikipedia.org/wiki/Carepa_(a%C3%A7o)#:~:text=Carepa%20%C3%A9%20um%20co%2Dproduto,A%20carepa%20possui%20cor%20escura)

CUNHA, FILHO, et al., 2006, **Refino e Solidificação dos Metais - Internacional**. Vitória: ABM. 2006. p. 36. CUNHA, A. F. D. et al. Aspectos Técnicos da utilização da Carepa gerada em processos siderúrgicos e tratada por desagregação ultrassônica. Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais - Internacional. Vitória: ABM. 2006. p. 36.

DEECC, 2010 [http://www.deecc.ufc.br/Download/TB793\\_Resistencia\\_dos\\_Materiais/resmatl\\_aula04a.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB793_Resistencia_dos_Materiais/resmatl_aula04a.pdf) acessado em 18/09/2021 às 22hr 27min.

DHRA, 2021, Soluções técnicas e anticorrosiva, <https://www.tintasanticorrosivas.com.br/informacoes-tecnicas/preparacao-da-superficie-metalica-para-pintura/>, acessado em 21/06/2021 às 22hr 27min.

DILETA, 2021-<https://www.dileta.com.br/decapagem-quimica-aco-carbono> acessado em 03/05/2021 às 17hr 55min

DOMINGUES, D.F., 2015, DIMAS FRANCISCO- **Otimização do processo de decapagem química numa empresa de produção de perfis de aço**, julho 2015, Universidade Coimbra, p. 34,35.

DUROCONTROL, 2021, <https://www.durocontrol.com.br/padrao-dureza-vickers>, acessado em 20/11/2021 às 19hr 45 min.

ELETRODECAPAGEM HUMMA – **Tecnologia “EPD-H”**; Engº Fawler Morellato; Grupo Humma, 2006. Sterior.

ELECTRO GLO, 2021, «**Passivation vs Electropolishing – What Are The Differences?**» (em inglês). Electro-Glo Distribution,

ENSUS, 2021. <https://ensus.com.br/fadiga-mecanica/>, acessado em 18/09/2021

ESCOLA, <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/Acido-cloridrico.htm>, acessado em 09/06/2021, 22hr 10min.

FIGUEREDO, Erica Airosa Figueredo. <https://www.infoescola.com/quimica/acido-fluoridrico/>, acessado em 09/06/2021, 20hr 40min.

FILHO, V. L. F. (1997), **Acabamentos dos aços inoxidáveis**. s.l.: Acesita S.A. Associada à Usinor.

GENTIL, V., 1996, TELECURSO 2000 “**PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE**” COMPOSTO POR 10 MODULOS GENTIL, Vicente. Corrosão. 3. Ed. Rio de Janeiro-RJ: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos S/A, 1996.

GENTIL, 1982, GENTIL V.,**CORROSAO** , 2 ED., 1982, editora ABNDR, <https://docero.com.br/doc/58xnc>, acessado em 23/11/2021 às 20hr 01 min.

GRUPOHUMMA, 2021, [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.grupohumma.com.br/biblioteca/a1acoinoxfig.pdf&ved=2ahUKEwjc7ebPr4PxAhW4E7kGHYNRDZUQFjAPegQIHhAC&usg=AOvVaw3oXoshjYRo70zSHnrAPeO\\_](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.grupohumma.com.br/biblioteca/a1acoinoxfig.pdf&ved=2ahUKEwjc7ebPr4PxAhW4E7kGHYNRDZUQFjAPegQIHhAC&usg=AOvVaw3oXoshjYRo70zSHnrAPeO_), acessado em 06/06/2021 às 20hr 32min.

GRUPO FULL ESTRUTURAS, 2017, <http://fullestruturas.com.br/jateamento-abrasivo/> acessado em 23/06/2021 as 21hr 10min.

GUIA DA CARREIRA, 2021, <https://www.guiadacarreira.com.br/profissao/processos-metalurgicos/>, acessado em 20/11/2021.

INDA, 2019, <https://ww2.inda.org.br/blog/2019/06/06/tratamento-termico-tempera/#:~:text=O%20objetivo%20da%20t%C3%AAmpere%20est%C3%A1,C%20e%20870%20%C2%B0C.>, acessado em 19/11/2021 as 23hr 59min.

INDA, 2021, <https://ww2.inda.org.br/blog/2019/06/06/limpeza-e-preparacao-de-superficies/> acessado em 06/06/2021 as 18hr 26min.

INFOESCOLA, 2021. <https://www.infoescola.com/fisica/propriedades-mecanicas/> acessado em 23/09/2021 às 20hr 59min.

INFOMET, 2021, <https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=238> acessado em 23/05/2021 às 18hr 13 min.  
SIDERURGIA BRASILEIRA: PRINCÍPIOS E POLÍTICAS. INSTITUTO DE AÇO BRASIL Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/publicacoes.asp>>. Acesso em 18/09/2021.

IUPAC, 2019, IUPAC Gold Book. *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC).

KERAMCHEMIE GMBH. **Mathematical Model & Acid Management, RB4, Acesita.** KCH. Frankfurt, Alemanha. 1997.

LUZ, 2018. <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/08/aco-aisi-302-propriedades-quimicas-e.html> acessado em 12/05/2021 às 19hr 27 min.

LUZ, 2021, <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/12/ensaio-de-dureza-vickers.html>, acessado em 20/11/2021 às 22hr 31 min.

LUZ, 2021, <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/12/tratamento-termico.html>, acessado em 21/11/2021 às 13hr 19 min.

MANUAL, <https://www.manualdaquimica.com/quimica-inorganica/acido-cloridrico.htm>, em 09/06/2021, 22hr 20min

MATERIAL-AÇO, 2021. - WordPress.com <https://bibliotecmateriais.wordpress.com/material-aco> acessado em 18/09/2021

MONFERRATO, 2021. <https://monferrato.com.br/o-que-e-um-material-ductil/>, acessado 18/09/2021 às 20hr 32min.

MOSTAZA, 2021. <https://mostaza.com.br/laminacao-a- quente-e-a-frio-diferenca/>, acessado em 20/09/2021 às 09hr 21min.

NACE, NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS (NACE). **High temperatures corrosion.** In: NACE, *Corrosion basics*. Houston: BRASUNAS, A., 1984. Chap. 13, p. 275-305.

NOBERTO, 2007 [http://www.norbertocefetsc.pro.br/downloads/pfb\\_conformacaoi.pdf](http://www.norbertocefetsc.pro.br/downloads/pfb_conformacaoi.pdf) acessado em 07/06/2021 às 15hr 05 min.

PDFCOFFEE Decapagem de LF,2021, PDFCOFFEE Decapagem de LF,2021-<https://pdfcoffee.com/qdownload/decapagem-de-lf-pdf-free.html> acessado em 23/06/2021 às 20hr 35min.

P. ENGHAG, 2002. **“Steel Wire Technology. Applied Materials”**. Repro Orebo University, Jun 2002.

PROPEQ, <https://propeq.com/corrosao-eletoquimica/>, acessado em 22/11/2021 às 21hr 15 min.

RIJEZA, <https://rijeza.com.br/blog/corrosao-quimica-saiba-como-prevenir/#:~:text=A%20corros%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%20tamb%C3%A9m%20%C3%A9,uma%20fina%20camada%20de%20%C3%B3xido>, acessado em 22/11/2021 à 22hr 11 min.

RPGBALLS,2021, <https://www.rgpballs.com/pt/esferas-em-a%C3%A7o-inoxid%C3%A1vel-aisi-302-304-304l/>, acessado em 21/11/2021 às 11hr 37 min.

RUDY 2002, S. F. Rudy. "Pickling and Acid Dipping. Metal Finishing." Vol. 100, Jan 2002.

SEMANA ACADÊMICA REVISTA CIENTÍFICA, 2021, [https://semanaacademica.com.br/system/files/artigos/tcc\\_1.pdf4](https://semanaacademica.com.br/system/files/artigos/tcc_1.pdf4) pesquisado em 10/06/2021 as 23hr 58min.

SATO N., Okamoto G. (1981) **Yeager Electrochemical Passivation of Metals**. Em: Bockris JO, Conway BE, E., White RE (eds) Electrochemical Materials Science. Comprehensive Treatise of Electrochemistry, vol. 4. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4825-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4825-3_4)

SATO N. O. G., 1981, Sato N., Okamoto G. (1981) **Yeager Electrochemical Passivation of Metals**. Em: Bockris JO, Conway BE, E., White RE (eds) Electrochemical Materials Science. Comprehensive Treatise of Electrochemistry, vol. 4. Springer, Boston, MA.

SCIENTIA, 2021, <https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/acido-fluoridrico>, acessado em 09/06/2021, 21hr 45min.

SERIZAWA, 2005, SERIZAWA G.H.R; GALLEGO, J. – **Análise estrutural da aplicação do processo de jateamento com granalha de aço (shot peening) em rotores hidroelétricos**, XII congresso de estudantes de engenharia mecânica, 2005.

SCIELO, <https://www.scielo.br/j/rmat/a/sqh74R5z3c3bBytd6kgDsyM/abstract/?lang=pt>, acessado em 10/11/2021 às 19hr 53min.

SCIELO, <https://www.scielo.br/>, acessado em 18/11/2021 às 22:54 min.

SILVA, Antonio Carlos da Silva, **Mecânica: tecnologia dos materiais e industrial** / Antonio Carlos da Silva, Caio Avanzi (autores); Douglas Borges Domingos, Edvaldo Angelo (coautores); Wanda Jucha (revisora); Meire Satiko Fukusawa Yokota (coordenadora). -- São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011 (Coleção Técnica Interativa. Série Mecânica, v. 2)Manual técnico Centro Paula Souza ISBN 978-85-8028-040-11. Mecânica -- tecnologia 2. Mecânica industrial I. Avanzi, Caio II.

Domingos, Douglas Borges III. Angelo, Edvaldo IV. Jucha, Wanda V. Yokota, Meire Satiko Fukusawa VI. Título, 151p.

SILVA Júnior, V, 2021, [https://www.lume.ufrgs.br/discover?filtertype=author&filter\\_relational\\_operator>equals&filter\\_t=Silva%20Junior,%20Valter%20Garcia%20da](https://www.lume.ufrgs.br/discover?filtertype=author&filter_relational_operator>equals&filter_t=Silva%20Junior,%20Valter%20Garcia%20da), acessado em 21/06/2021 às 21hr 52min.

SPILLERE, 2021. <https://www.spillere.com.br/processo-de-laminacao-de-aco/> acessado em 20/09/2021 às 08hr 51min.

TAINER, 2011, TAINER T. F.; P.JEKIELEK, S.; E.NEMURA, R. **Process Line Application Engineer**. TMEIC, Virginia, USA, 2011.

TEMPLUM, 2021, <https://certificacaoiso.com.br/o-que-e-fluxograma-de-processos/#:~:text=O%20fluxograma%20de%20processos%20%C3%A9,os%20processos%20de%20qualquer%20organiza%C3%A7%C3%A3o>, acessado em 20/11/2021.

TERMOVALE, 2016. <https://www.termovale.com.br/pt-br/novidades-e-dicas/o-que-e-aco> acessado em 03/05/2021 às 13hr 15 min.

TMJR, 2021, disponível em [https://tmjr.com.br/processos-de-fabricacao/?https://www.tmjr.com.br/single-post/C%C3%A1culo-de-carga-t%C3%A9mica-o-que-%C3%A9-e-porqu%C3%AA-%C3%A9-importante-realiz%C3%A1-lo&gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZDJqB4ujqSK7YyLQA4waWP16FhXTOVIMjV\\_WTna1WWVn5e9kZk3xYEaAmtXEALw\\_wcB](https://tmjr.com.br/processos-de-fabricacao/?https://www.tmjr.com.br/single-post/C%C3%A1culo-de-carga-t%C3%A9mica-o-que-%C3%A9-e-porqu%C3%AA-%C3%A9-importante-realiz%C3%A1-lo&gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZDJqB4ujqSK7YyLQA4waWP16FhXTOVIMjV_WTna1WWVn5e9kZk3xYEaAmtXEALw_wcB), acessado em 21/11/2021 às 11 hr e 54 min.

TUTHILL, 2021, TUTHULL A.H - **AÇO INOXIDÁVEL: LIMPEZA DA SUPERFÍCIE**-18p. [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.grupohumma.com.br/biblioteca/a1acoinoxfig.pdf&ved=2ahUKEWjc7ebPr4PxAhW4E7kGHYNRDZUQFjAPegQIHhAC&usg=AOvVaw3oXoshjYRo70zSHnrAPeO\\_](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.grupohumma.com.br/biblioteca/a1acoinoxfig.pdf&ved=2ahUKEWjc7ebPr4PxAhW4E7kGHYNRDZUQFjAPegQIHhAC&usg=AOvVaw3oXoshjYRo70zSHnrAPeO_) acessado em 07/06/2021 as 20hr 27min

VALENTINO, 2001, Valentino, G., Bruno, G. P. & Negri, D. (2001, 12 julho).

VILLARES METALS, 2021 <https://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Inoxidaveis/Austeniticos/V302>, acessado em 07/05/2021 à 23hr 03 min.

WALTER, 2021 [https://www.walter.com/pt\\_BR/surfox/processo-de-passivacao](https://www.walter.com/pt_BR/surfox/processo-de-passivacao) acessado em 23/06/2021 as 20hr 10min.