



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
PERNAMBUCO - CAMPUS CARUARU**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
MARIA ARIELE DO NASCIMENTO SILVA ALMEIDA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E MECÂNICO DE UMA MATRIZ DE  
INJETORA CONFECCIONADA COM AÇO FERRAMENTA H13 E VND**

Caruaru – PE

Janeiro/2023

MARIA ARIELE DO NASCIMENTO SILVA ALMEIDA

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E MECÂNICO DE UMA MATRIZ DE  
INJETORA CONFECCIONADA COM AÇO FERRAMENTA H13 E VND

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Mecânica do Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia Campus Caruaru, em  
cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Bacharel em Engenharia  
Mecânica.

**Orientador:** Prof. Dr. Diniz Ramos de  
Lima Júnior.

Caruaru – PE

Janeiro/2023

A447e

Almeida, Maria Ariele do Nascimento Silva

Estudo do comportamento térmico e mecânico de uma matriz de injetora confeccionada com aço ferramenta H13 e VND / Maria Ariele do Nascimento Silva Almeida; orientação de Diniz Ramos de Lima Júnior. – Caruaru, 2023.  
43 f.

Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia Mecânica) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, 2023.

1. Engenharia de materiais. 2. Engenharia Mecânica – Processos de fabricação. 3. Aço – Tratamento térmico. 4. Aço – Ensaio. 5. Tratamento térmico de têmpera. 6. Engenharia Mecânica - IFPE. I. Lima Júnior, Diniz Ramos de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. III. Trabalho de Conclusão de Curso. IV. Título.

CDD: 620.11

CDU: 621

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida, por toda palavra de conforto e ajuda e aos meus amigos que fiz ao longo dessa caminhada.

Gostaria de agradecer ao meu orientador e amigo, Diniz Ramos, por aceitar conduzir meu trabalho, por todos os conselhos e ajuda que me foi dada, ele com certeza foi uma pessoa fundamental para minha formatura. E por fim, gostaria de agradecer ao IFPE Caruaru e todo corpo docente pelo elevado grau de ensino que me foi dado.

E um agradecimento mais que especial ao meu pai, João Batista (*in memoriam*), que sonhou junto comigo e sempre me apoiou em cada momento do curso.

## RESUMO

Um molde de injeção pode ser exemplificado por um conjunto de sistemas funcionais, possibilitando que a peça seja moldada, em um espaço delimitado pela cavidade, seja preenchido em condições controladas pelos outros sistemas que comprovam a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas.

Para a correta seleção do material para uma determinada aplicabilidade é necessário testar as propriedades mecânicas dos materiais H13 e VND, antes e após o tratamento térmico. Assim, os aços selecionados foram submetidos ao ensaio de dureza e tração. Desta maneira, efetuando um melhor comparativo para realizar a seleção do mais apto para o projeto dos moldes.

O tratamento térmico de têmpera é usado com a finalidade de conferir maior dureza no material e maior vida útil à ferramenta, e consiste em aquecer o aço num forno com temperatura acima da zona crítica, permanece nessa temperatura por tempo necessário para se transformar em austenita e em seguida mergulhada em água ou óleo. Esse tratamento além de aumentar a dureza, permite o aumento do limite de escoamento, da resistência à tração, à compressão e ao desgaste. Com esse intuito, as amostras dos aços H13 e VND foram submetidas ao tratamento de têmpera. Os ensaios de dureza e tração foram realizados na sequência para melhor comparação e deste modo elegendo o mais aplicável para construção dos moldes.

O estudo comparativo das propriedades mecânicas dos materiais VND e H13, a fim de selecionar aquele mais adequado para projeto de uma matriz injetora, foi eficaz, pós ao final deste estudo o aço ferramenta VND se mostrou mais eficiente para aplicação sugerida.

**Palavras-chave: aço ferramenta, H13, VND, moldes de injeção, tratamento térmico, dureza.**

## **ABSTRACT**

An injection mold can be exemplified by a set of functional systems, allowing the part to be molded, in a space delimited by the cavity, to be filled in conditions controlled by other systems that prove the dimensional and structural quality of the parts produced.

For the correct selection of the material for a given applicability, it is necessary to test the mechanical properties of the H13 and VND materials, before and after the heat treatment. Thus, the selected steels were submitted to hardness and traction tests. In this way, making a better comparison to carry out the selection of the most suitable for the design of the molds.

The quench heat treatment is used in order to give greater hardness to the material and longer useful life to the tool, and consists of heating the steel in an oven with a temperature above the critical zone, remaining at that temperature for the time necessary to transform it into austenite and then immersed in water or oil. This treatment, in addition to increasing hardness, allows for increased yield strength, tensile, compression and wear resistance. For this purpose, samples of H13 and VND steels were submitted to tempering treatment. The hardness and traction tests were carried out in sequence for better comparison and thus choosing the most applicable for mold construction.

The comparative study of the mechanical properties of the VND and H13 materials, in order to select the most suitable one for the design of an injection mold, was effective, after the end of this study, the VND tool steel proved to be more efficient for the suggested application.

**Keywords: tool steel, H13, VND, injection molds, heat treatment, hardness**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fundição sob pressão em câmara fria. ....	12
Figura 2. Molde de Duas Placas. ....	14
Figura 3. Classificação dos Moldes. ....	15
Figura 4. Molde Duas Placas. ....	16
Figura 5. Molde Três Placas. ....	17
Figura 6. Diagrama TTT esquemático para um aço eutetóide. ....	21
Figura 7. Diagrama de Resfriamento Contínuo sobreposto ao Isotérmico. ....	22
Figura 8. Curvas de Resfriamento no diagrama de transformação para resfriamento contínuo. ....	23
Figura 9. Representação esquemática do efeito da secção da peça sobre a velocidade de esfriamento em meios diferentes. ....	23
Figura 10. Processos em um ensaio de dureza Rockwell. ....	28
Figura 11. Corpos de prova para ensaio de tração. ....	29
Figura 12. Fluxograma do trabalho. ....	30
Figura 13. Amostras. ....	31
Figura 14. Forno tipo Mufla e controlador de temperatura utilizados para realização do tratamento térmico. ....	32
Figura 15. Forno tipo Mufla e controlador de temperatura. ....	32
Figura 16. Corpos de prova para o ensaio de tração. ....	33
Figura 17. Corpos de prova instalado na máquina para o ensaio de tração. ....	34
Figura 18. Resfriamento em óleo com agitação. ....	35
Figura 19. Curva tensão-deformação do aço VND. ....	38
Figura 20. Curva tensão-deformação do aço H13. ....	38

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Tipos de aços ferramentas (AISI/SAE). ....	19
Quadro 2. Composição química dos principais aços ferramentas. ....	20
Quadro 3. Microestruturas de um aço médio carbono. ....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais elementos de liga em matrizes e suas características. ....	18
Tabela 2. Valores numéricos para dimensionamento dos corpos de prova. ....	30
Tabela 3. Resultados do ensaio Dureza Rockwell B . ....	34

Tabela 4. Composição química do Aço H13.....	35
Tabela 5. Composição química do Aço VND. ....	35
Tabela 6. – Resultado do ensaio de dureza do VND pós Tratamento térmico de tempera. ....	36
Tabela 7. Resultado do ensaio de dureza do Aço H13 pós Tratamento térmico de tempera. ..	36
Tabela 8. Resultado do ensaio de tração do Aço VND. ....	37
Tabela 9. Resultado do ensaio de tração do Aço H13. ....	37

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÕES.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1 MOLDAGEM POR INJEÇÃO.....	11
3.2 MOLDES.....	13
3.2.1. CLASSIFICAÇÃO DOS MOLDES.....	14
3.3 ELEMENTOS DE LIGA UTILIZADOS EM AÇOS FERRAMENTAS.....	17
3.4 AÇOS FERRAMENTAS.....	18
3.5 DIAGRAMA TEMPO-TEMPERATURA-TRANSFORMAÇÃO (TTT).....	20
3.6 DIAGRAMA DE TRANSFORMAÇÕES POR RESFRIAMENTO CONTÍNUO (TRC) .....	22
3.7 TRATAMENTOS TÉRMICOS DOS AÇOS PARA MOLDES.....	24
3.8 ENSAIO DE DUREZA.....	27
3.9 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 MATERIAIS.....	31
4.1.1 AMOSTRA.....	31
4.2 MÉTODOS.....	31
4.2.1 TRATAMENTO TÉRMICO EM FORNO ELÉTRICO.....	31
4.2.2 ENSAIOS DE DUREZA.....	32
4.2.3 ENSAIOS DE TRAÇÃO.....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
5.1 DUREZA ROCKWELL.....	34
5.2 TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA.....	35
5.3 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL C NA FACA CONFECCIONADA.....	36
5.4 ENSAIOS DE TRAÇÃO.....	37
6 CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXO A.....	43

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÕES**

Segundo Callister (2002) a ciência dos materiais tem como objetivo principal a obtenção de conhecimentos básicos sobre a estrutura interna, as propriedades e o processamento de materiais, já a engenharia dos materiais volta-se principalmente para a utilização de conhecimentos básicos e aplicados acerca dos materiais de tal forma que estes possam ser transformados em produtos necessários ou desejados pela sociedade.

Neste contexto, podemos destacar a invenção dos moldes de injeção, ainda no século XIX, pelos irmãos Hyatt nos Estados Unidos como um item de alta aplicabilidade na indústria confeccionado pelo avanço do conhecimento científico dos materiais.

Segundo Garcia (2009) um molde de injeção pode ser entendido como um conjunto de sistemas funcionais, que permitem que o espaço em que a peça vai ser moldada, definido pela cavidade, seja preenchido em condições controladas pelos outros sistemas, que garantem a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas.

Guillen (2014) enfatiza que os moldes de injeção são caracterizados por uma série de requisitos necessários à sua aplicação, da quais podemos destacar propriedades como resistência mecânica, resistência ao desgaste, usinabilidade, polibilidade, soldabilidade, resposta à nitretação e resposta à texturização. Por isso é de extrema importância o entendimento do processo de aplicação do aço e a escolha do material adequado para determinada aplicabilidade.

Partindo desse princípio que é importante a adequada seleção de material de forma a prover uma maior vida útil aos equipamentos fabris, Faccio (2011) evidencia em seu trabalho que a manutenção é um fator estratégico para garantir alta produtividade em sistemas industriais. E que fatores como a crise econômica global, faz com que as empresas busquem ainda mais a redução de despesas trazendo consequências de grande impacto à manutenibilidade e confiabilidade de seus ativos.

Há um papel estratégico para a Manutenção, que precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização. É preciso, sobretudo, deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz, ou seja, não basta apenas reparar o equipamento ou a instalação tão rápida quanto possível, mas é preciso principalmente, manter a função do equipamento disponível para a operação, reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não planejada. (KARDEC E NASCIF, 2013).

Desta forma, este trabalho se propõe a estudar a seleção de material para projeto de uma matriz de uma injetora, fundamentado sob os conceitos de ciências e engenharia dos materiais e também processos de fabricação. Tal aplicação tem por finalidade aumentar a vida útil das matrizes utilizadas, reduzir a frequência de troca do equipamento, e consequentemente reduzir os custos de manutenção neste aspecto.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Esse trabalho pretendeu estudar as propriedades mecânicas dos materiais VND e H13, a fim de selecionar aquele mais adequado para projeto de uma matriz injetora.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterização da matriz injetora a ser substituída;
- Seleção de um novo material para uma matriz em função dos parâmetros de trabalho de acordo com as devidas normativas, buscando maior durabilidade para indicação de uma nova matriz a ser fabricada pela indústria;
- Realização de testes em condições similares a da matriz a ser substituída;

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Ao longo deste capítulo serão apresentados, primeiramente, conceitos relacionados aos moldes e o processo de injeção, em seguida a classificação dos aços, características e principais aplicações, e mais adiante, serão apresentados os ensaios utilizados para caracterização dos aços, e por fim, serão discutidos os principais tratamentos térmicos utilizados na engenharia de materiais e o seu impacto correspondente nas características térmicas e mecânicas para estes materiais.

### **3.1 MOLDAGEM POR INJEÇÃO**

Um dos métodos de manufatura comumente escolhido para a produção em massa de partes de alumínio é o processo por injeção em moldes sob pressão. Uma grande variedade de produtos diversificados em tamanho e formato podem ser facilmente produzidos usando a injeção em moldes. Este processo requer o uso de uma máquina injetora, alumínio cru e um molde. O metal líquido entra na câmara de injeção para o interior da cavidade de um molde fabricado em aço, com o auxílio de um pistão, na sequência o ar é eliminado da câmara de

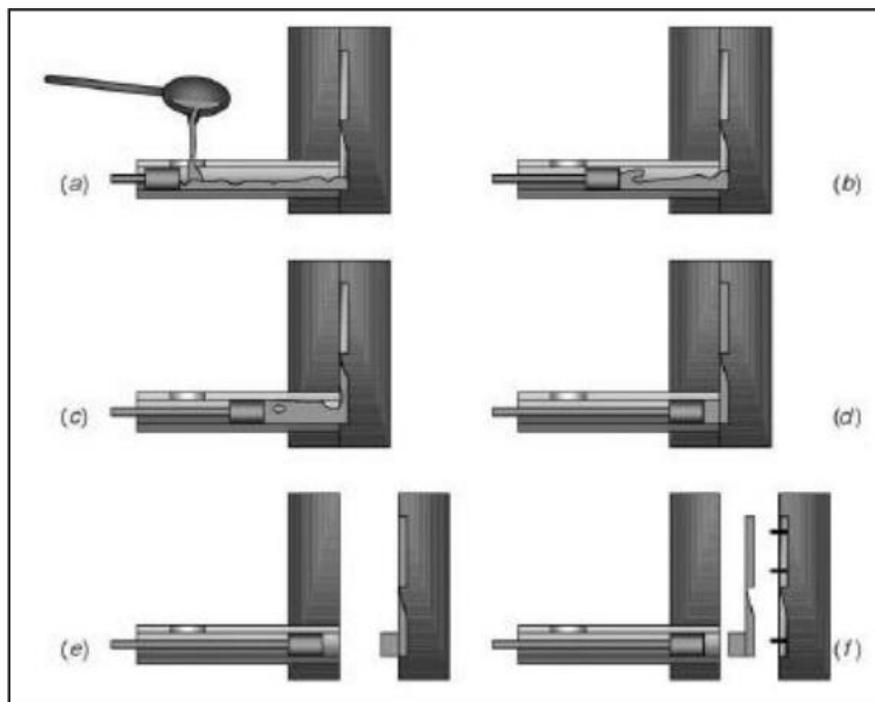
injeção. Em seguida há um rápido preenchimento do molde pelo metal fundido. Por último, a compactação do metal para diminuir o volume das microporosidades (FREGULIA, 2006).

O processo de fundição sob pressão apresenta benefícios como alta produtividade, baixo custo de produção, excelente acabamento superficial e precisão dimensional e confecção de peças com espessuras finas (De Moura 2006).

Em termos conceituais, Lumley (2011), relata que a primeira fase é denominada como “fase de aproximação”, onde esta, é iniciada com o vazamento do metal líquido retirado do forno de manutenção para uma câmara, chamada de camisa do pistão apresentado como apresentado na Figura 1.

Na mesma figura, o pistão é acionado ao longo desta câmara que injeta o metal líquido no molde através de um cilindro hidráulico controlado, a velocidade de injeção. No interior da camisa do pistão, evita-se absorção de gases pelo contato prolongado do metal líquido com o ar (figura 1c). Nesta etapa, o metal pode começar a solidificar na superfície da camisa do pistão.

**Figura 1. Fundição sob pressão em câmara fria.**



Fonte: Viana, 2012.

A segunda fase chamada de fase de enchimento, e é a fase mais importante da injeção (figura 1d). As injetoras que trabalham com pressões reduzidas, deve-se elevar a velocidade de injeção para corrigir a falta de pressão. Principalmente precisa optar por pressões de trabalho elevadas, operando com velocidades de injeção baixas, garantindo que o fluxo de

metal líquido seja suficientemente lento para permitir a expulsão do ar do interior do molde, por meio dos orifícios de ventilação. (Lumley, 2011)

Segundo Campos (2008), no momento em que a cavidade do molde está totalmente preenchida, a liga entra em um rápido estágio de solidificação. O pistão aplica um aumento extra de pressão com o objetivo de compactar a liga, compensando a contração do metal e diminuindo o tamanho de eventuais poros internos.

A terceira fase, a fase de compactação, onde pressões de 40 a 160 MPa são aplicadas. O produto fundido é arrefecido pela alta transferência de calor com o molde até que a peça atinja uma temperatura ideal para a abertura do molde (figura 1e) e a desmoldagem do fundido por pinos ejetores (figura 1f). (Lumley, 2011)

### **3.2 MOLDES**

Segundo Garcia (2009) um molde tem função de produzir peças de qualidade, num tempo de ciclo o mais curto possível, além de ter o mínimo de manutenção durante o tempo de serviço. Podemos destacar também a função do molde em definir o volume com a forma da peça a produzir, assegurando a reprodutibilidade dimensional.

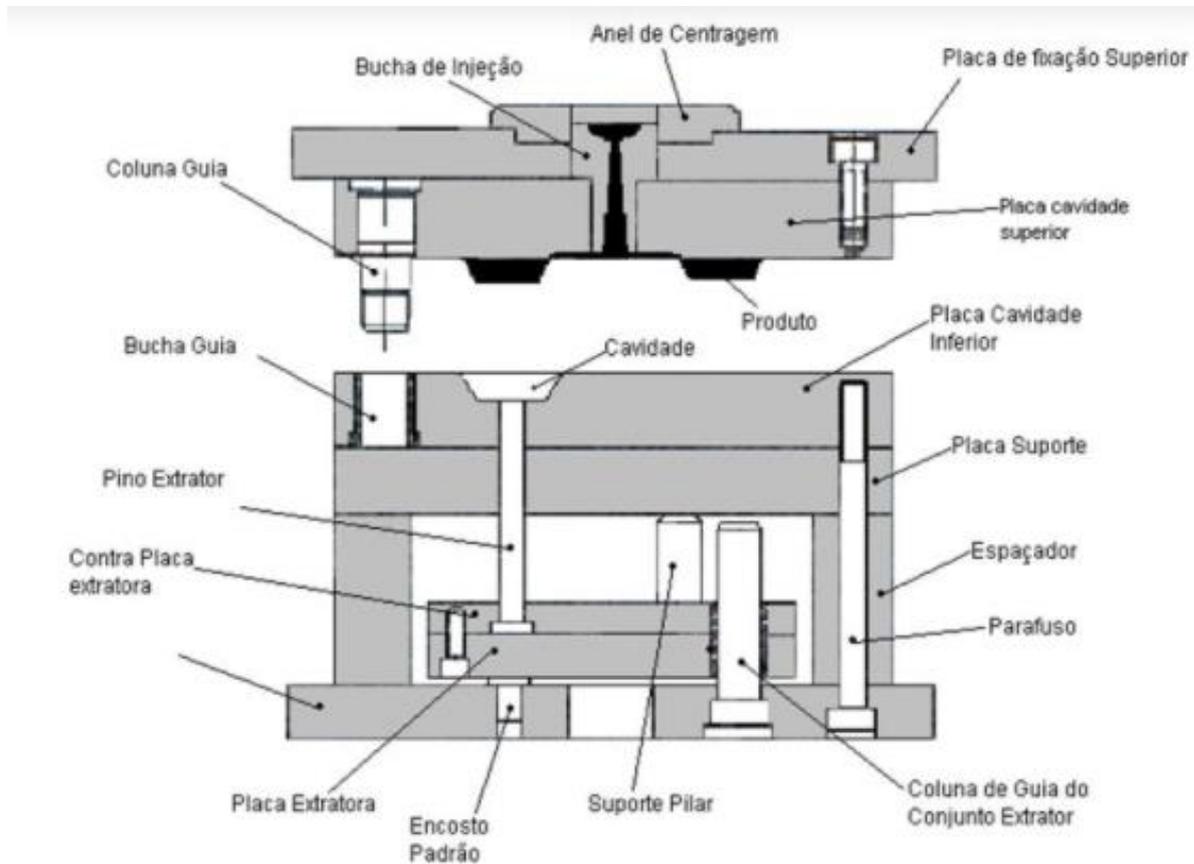
Os sistemas funcionais de um molde são:

- a) Cavidades (zonas moldantes);
- b) Sistema de alinhamento;
- c) Sistema de alimentação;
- d) Sistema de ventagem (escape de gases);
- e) Sistema de resfriamento;
- f) Sistema de extração.

Garcia (2009) define cada um desses sistemas na seguinte forma: As cavidades (zonas moldantes) são os espaços definidos pela conjugação da cavidade e do macho, que dará a forma à peça a ser confeccionada. O sistema de alinhamento é aquele que permite, montar o molde na máquina, por um lado, e pelo outro, permite ajustar as duas (ou mais) partes do molde, garantindo assim a reprodutibilidade dimensional das peças. O sistema de alimentação permite fluxo do material fundido desde o cilindro da injetora até às zonas moldantes, assegurando o seu preenchimento. O sistema de escape de gases é o sistema que estabelece que o ar existente nas zonas moldantes, possibilitando o seu preenchimento. O sistema de resfriamento é o que constitui para um resfriamento rápido das peças. Por fim, o sistema de extração é o que permite retirar as peças em seu formato final. Os moldes podem variar sua

geometria e algumas de suas características, mas no geral, podemos representar o molde de acordo com a Figura 2.

**Figura 2. Molde de Duas Placas.**

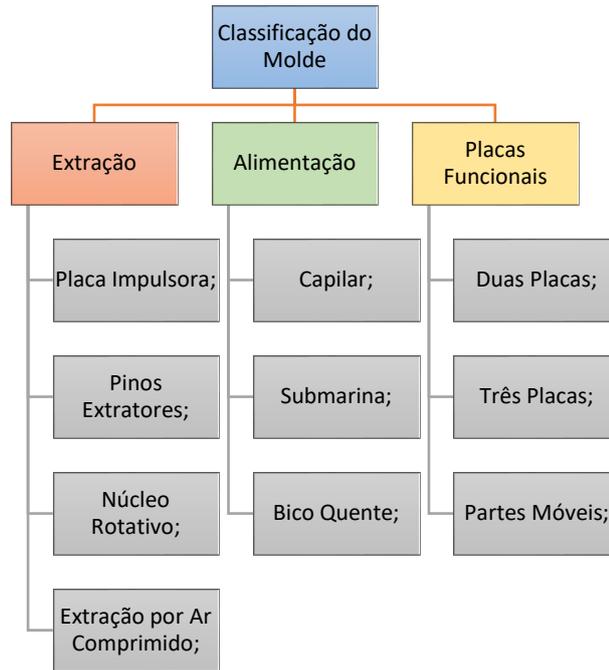


Fonte: Stark Ferramentaria. Disponível em:< <https://www.starkferramentaria.com.br/blog/27/entendendo-o-processo-de-injecao-plastica.->>

### 3.2.1. CLASSIFICAÇÃO DOS MOLDES

Os moldes podem classificados primariamente de acordo com a Figura 3 abaixo:

**Figura 3. Classificação dos Moldes.**



Fonte: CBMIP (2021)

A companhia brasileira Moldes Injeções Plásticas (2021), traz de forma breve algumas informações sobre algumas das classificações dos moldes:

A) Classificação por Extração:

- **Extração por placa impulsora:** no sistema de extração por placa impulsora, a barra de extração da injetora avança e atua sobre o conjunto extrator do molde. O recuo do sistema de extração pode ocorrer por mola, pela ação dos pinos de retorno ou pela própria ação da barra.
- **Extração com pinos extratores:** a extração por pinos extratores é a mais utilizada, pela facilidade no processo de fabricação.
- **Extração com núcleo rotativo:** utilizado para componentes injetados que possuem regiões com roscas. Apresenta alto custo de manutenção.

B) Classificação pelo tipo de Alimentação:

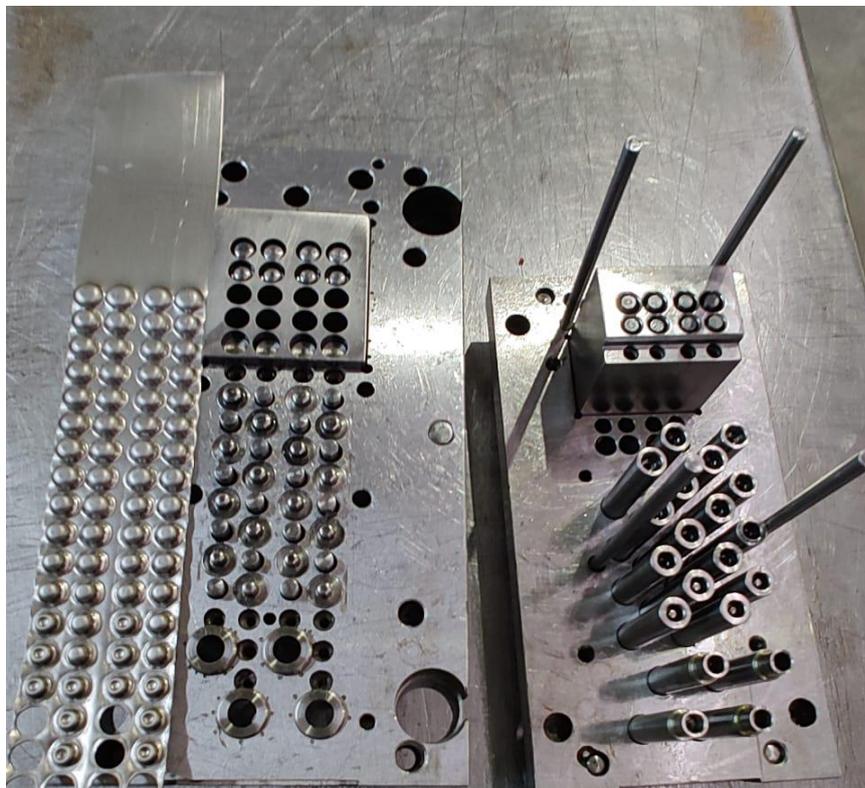
- **Entrada Capilar:** é usada principalmente em moldes de três placas e câmara quente, assim ela pode ser destacada da peça automaticamente durante a extração sem causar danos, além disso esse tipo de entrada permite um controle mais fluido do fluxo do material para a cavidade, sendo fundamental para equilibrar as entradas de molde com muitas cavidades.

- **Entrada Submarina:** permite a separação do canal e do produto de forma automática durante o processo de moldagem
- **Entrada com canal quente:** muito utilizado em injeção de grandes peças; permite economia de material e automação do ciclo;

C) Classificação por Placas Funcionais:

- **Duas Placas:** é o tipo mais simples, composto da parte móvel e da fixa. É também o mais utilizado pela facilidade de desenvolvimento e custo mais baixo comparado com os outros tipos de moldes. Tem a desvantagem pela dificuldade de se obter produtos injetados de forma geométrica complexa.

**Figura 4. Molde Duas Placas.**



Fonte: Autor (2022).

- **Três placas:** é um tipo de molde que possui uma terceira placa, chamada de placa flutuante ou placa central, que tem como função separar o canal de distribuição do componente injetado. O produto final é separado dos galhos de injeção no momento da abertura do molde, pois a placa flutuante força as partes a ficarem em planos diferentes.

**Figura 5. Molde Três Placas.**



Fonte: Autor (2022).

Este tipo possui múltiplas cavidades com injeção central, é imprescindível sua aplicação para produtos com grande área onde é necessário colocar várias entradas para o melhor preenchimento do produto. Molde com Partes Móveis: São moldes nos quais algum componente da cavidade, ou parte delas, se movem numa segunda direção.

### **3.3 ELEMENTOS DE LIGA UTILIZADOS EM AÇOS FERRAMENTAS**

Chiaverini (1996) cita uma série de características dos aços para matrizes, dentre elas podemos destacar:

- a) Dureza à temperatura ambiente e à Quente;
- b) Resistência ao desgaste;
- c) Temperabilidade;
- d) Tenacidade;
- e) Resistência Mecânica elevada;
- f) Granulação Fina.

Chiaverini (1996), enfatiza que para correta seleção do material para uma determinada aplicabilidade é necessário o entendimento da composição química e tratamento térmico. À respeito da composição química, os elementos de liga comumente presentes para as matrizes são:

**Tabela 1. Principais elementos de liga em matrizes e suas características.**

<b>Elemento de liga</b>	<b>Características</b>
Carbono	Carbonetos fornecem dureza e resistência ao desgaste.
Silício	Geralmente teores baixos (0,10 a 0,30%), adicionado com fins desoxidantes.
Manganês	Também desoxidante até 0,5%. Em teores mais elevados, melhora a temperabilidade consideravelmente.
Cromo	Aumenta a temperabilidade e a resistência ao desgaste.
Vanádio	Desoxidante e controlador do tamanho de grão.
Tungstênio	Melhora a dureza do aço em temperatura ambiente.
Cobalto	Aumenta a dureza a quente
Molibdênio	Dissolve-se na ferrita e tende a formar carbonetos. Também contribui em melhorar a dureza a quente e a ductilidade.

**Fonte: Chiaverini (1986) Adaptado**

### **3.4 AÇOS FERRAMENTAS**

De acordo com Caruso (2001) apresenta em seu trabalho a classificação dos aços ferramentas adotados internacionalmente pela *American Iron and Steel Institute* AISI e pela *Society of Automotive Engineers* SAE. Nesta classificação, os aços ferramentas são classificados segundo uma letra que representa de alguma forma o material, seguida de um ou dois números. No Quadro 1, podemos observar os tipos dos aços ferramentas utilizados e sua respectiva aplicação:

**Quadro 1. Tipos de aços ferramentas (AISI/SAE).**

<b>TIPO</b>	<b>DESIGNAÇÃO</b>	<b>APLICAÇÕES</b>
<b>W</b>	Temperáveis em água ( <b>Water</b> )	Trabalho a frio
<b>S</b>	Resistentes ao choque ( <b>Shock</b> )	Trabalho a frio ou a quente
<b>O</b>	Aço ferramenta para trabalho frio – temperável em óleo ( <b>Oil</b> )	Trabalho a frio
<b>A</b>	Aço ferramenta para trabalho a frio – temperável ao ar ( <b>Air</b> )	Trabalho a frio
<b>D</b>	Aços ferramentas para trabalho a frio – matrizes ( <b>Dies</b> )	Trabalho a frio e a quente
<b>H</b>	Aços ferramentas para trabalho a quente ( <b>Hot</b> )	Trabalho a quente
<b>T</b>	Aços rápidos ao tungstênio ( <b>Tungsten</b> )	Usinagem
<b>M</b>	Aços rápidos ao molibdênio ( <b>Molibden</b> )	Usinagem
<b>P</b>	Aços para moldes ( <b>Plastics</b> )	Molde para injeção de plásticos

Fonte: Caruso (2001)

Já a Quadro 2 abaixo, apresenta os principais aços ferramentas e suas respectivas composições químicas:

Quadro 2. Composição química dos principais aços ferramentas.

TIPO	NOME (*)	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	V (%)	W (%)	Mo (%)	Outros (%)
W	<b>W1</b>	0,6 a 1,4							
	<b>VW-1</b>	1,2	0,4	0,25	0,20	0,10	1,00		
	VAP	0,95							
	VET-3	0,70							
	<b>W2</b>	0,6 a 1,4				0,25			
	VETD	1,00				0,25			
S	<b>S1</b>	0,50		1,00	1,5	0,2	2,00	0,2	
	<b>VW-3</b>	0,45			1,4				
	<b>S2</b>	0,5		1,00				0,5	
	<b>S5</b>	0,55	0,80	2,00				0,4	
	<b>S7</b>	0,50			3,25			1,4	
O	<b>O1</b>	0,90	1,00		0,50		0,50		
	VND	0,95	1,25		0,50	0,12	0,50		
A	<b>A2</b>	1,00			5,00			1,00	
D	<b>D2</b>	1,50		0,30	12,00	0,9		1,00	
	VD-2	1,50			12,00			0,95	
	<b>D3</b>	2,25			12,00	0,2			
	VC-130	2,50			11,50				
	<b>D6</b>	2,10			12,00	0,2	0,80		
	VC-131	2,10			11,50		0,70		
H	<b>H10</b>	0,40			3,25	0,40		2,50	
	VCM	0,32			2,90	0,50		2,80	
	<b>H11</b>	0,35		1,00	5,00	0,40		1,50	
	VPC	0,38			5,00	0,40		1,35	
	<b>H12</b>	0,35		1,00	5,00	0,40	1,25	1,25	
	VPCW	0,35			5,00	0,25	1,35	1,50	
	<b>H13</b>	0,35		1,00	5,00	1,00		1,50	
	VH13	0,40			5,00	1,00		1,50	
<b>H21</b>	0,35			3,25		9,50			
	VW-9	0,30			2,65	0,35	8,50		
T	<b>T1</b>	0,70			4,00	1,00	18,00		
	VWT-1	0,75			4,25	1,10	18,00		
M	<b>M2</b>	0,85			4,00	2,00	6,25	5,00	
	VWM-2	0,90			4,25	1,90	6,20	5,00	
	<b>M7</b>	1,00			4,00	2,00	1,75	8,75	
	VWM-7	1,00			3,80	2,00	1,80	8,70	
	<b>M35</b>	0,80			4,00	2,00	6,00	5,00	5,00 % Co
	VK-5E	0,92			4,15	1,85	6,30	5,00	4,80 % Co
	<b>M41</b>	1,10			4,25	2,00	6,75	3,75	5,00 % Co
	VKM-41	1,10			4,15	2,00	6,80	3,75	5,25 % Co
	<b>M42</b>	1,10			3,75	1,15	1,50	9,50	8,00 % Co
VKM-42	1,10			3,75	1,15	1,50	9,50	8,00 % Co	
P	<b>P4</b>	0,07max			5,00			0,40	
	VEP	0,04max			3,80				
	<b>P20</b>	0,30	0,60		0,75			0,25	1% Ni
	VP-20	0,36			1,80			0,20	

Fonte: Caruso (2001).

É possível observar na Quadro 2 que é feita uma relação de nomenclatura com os aços em negrito que recebem a designação segundo a AISI/SAE, e sua respectiva equivalência pela Villares Metals, empresa referência no Brasil no desenvolvimento de soluções em aço e ligas especiais.

### 3.5 DIAGRAMA TEMPO-TEMPERATURA-TRANSFORMAÇÃO (TTT)

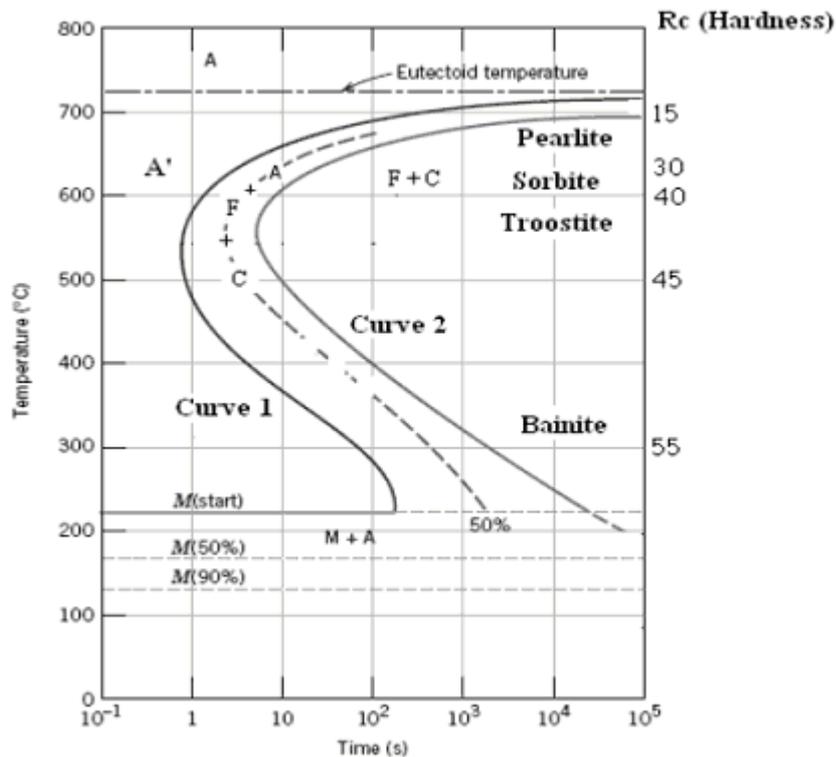
Segundo Rodrigues (2017) o diagrama tempo-temperatura-transformação (TTT) é formado de curvas que apresentam o início e término de transformações microestruturais dos aços, advindas de tratamentos térmicos para uma determinada temperatura e tempo. Sendo

assim, o diagrama TTT é imprescindível para auxiliar metalurgistas nos processos de tratamentos térmicos.

Brunatto (2016) afirma que os diagramas TTT (tempo, temperatura, transformação) são conhecidos também por Diagramas de Transformação Isotérmica, uma vez que neles são apresentados os produtos de transformação da austenita quando esta transforma-se isotermicamente. Nestes diagramas, a variável tempo é representada no eixo das abscissas, que relaciona-se diretamente com a cinética de transformação e, portanto, com a velocidade com que a austenita se transforma a uma determinada temperatura (eixo das ordenadas).

A Figura 6 mostra um diagrama TTT esquemático para o aço eutetóide. Cabe ressaltar que cada aço apresenta um diagrama TTT próprio, valendo exclusivamente para o aço considerado:

**Figura 6. Diagrama TTT esquemático para um aço eutetóide.**

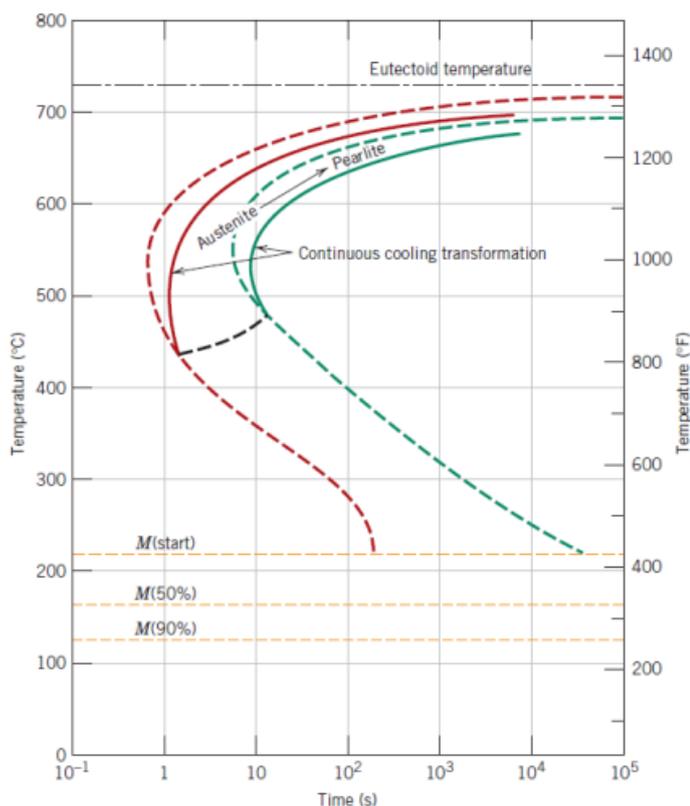


Fonte: Thorat (2018). Disponível em: <<https://learnmech.com/what-is-ttt-diagram-isotherma/>>

### 3.6 DIAGRAMA DE TRANSFORMAÇÕES POR RESFRIAMENTO CONTÍNUO (TRC)

Chiaverini (1996) afirma que do ponto de vista prático, as transformações que mais interessam nas microestruturas dos materiais são aquelas em que a temperatura decresce continuamente, uma vez que estas são as que comumente são aplicadas nos tratamentos térmicos. Desta forma, faz-se necessário recorrer ao diagrama de resfriamento contínuo. O mesmo pode ser representado de acordo com a Figura 7:

Figura 7. Diagrama de Resfriamento Contínuo sobreposto ao Isotérmico.

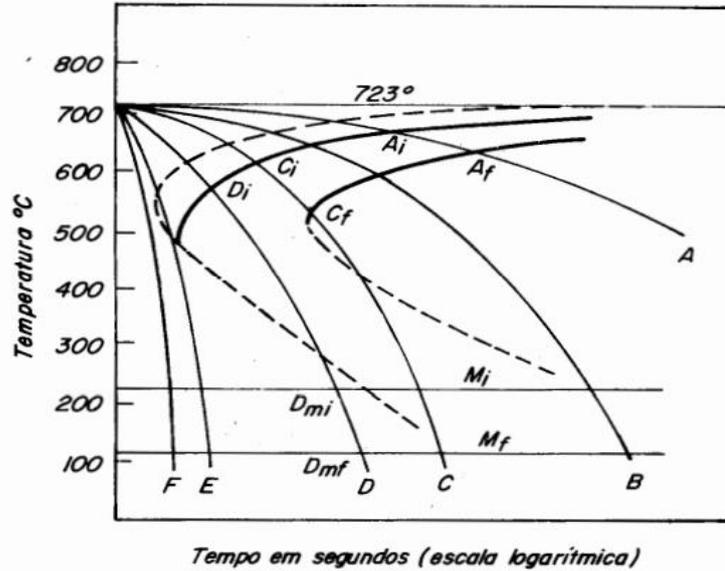


Fonte: Scheid (2020)

Como indicado por Chiaverini (1996) por essa determinação do resfriamento, acontece um deslocamento para direita e para baixo das partes superiores das curvas de início e fim de transformação, em relação às isotérmicas. Isso acontece uma vez que ultrapassadas as curvas de início e fim de transformação, nada mais resta a transformar, pois as transformações previstas já se completaram.

Na Figura 8, podemos verificar que diferentes taxas de resfriamento geram produtos finais na microestrutura do material:

Figura 8. Curvas de Resfriamento no diagrama de transformação para resfriamento contínuo.

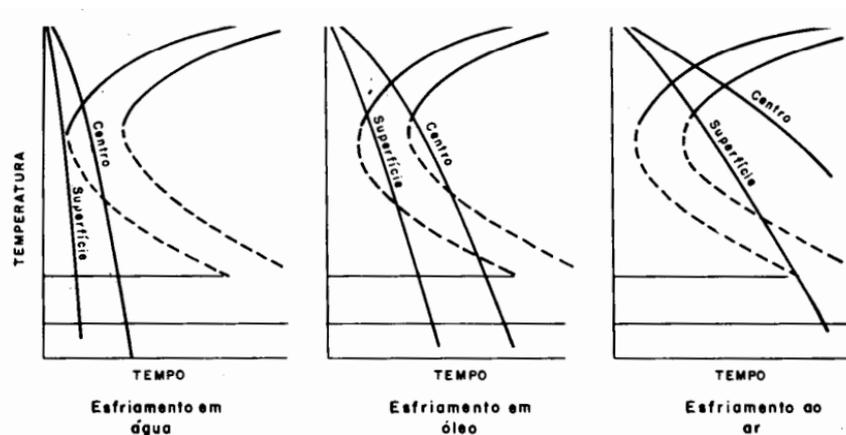


Fonte: Chiaverini (1996)

A curva “F” é a que tem maior taxa de resfriamento, de forma que a curva não intercepta a curva de transformação, o que propicia ao final do processo uma transformação que garante maior dureza propiciada pela formação de martensita. Aços esfriados muito lentamente, como na curva “A”, característico por esfriamento em fornos, forma perlita de granulação grosseira e baixa dureza.

Outro ponto em destaque está relacionado ao meio em que a peça será resfriada e como ocorrerá esse resfriamento na superfície e no centro da peça. Podemos entender melhor a relação destes parâmetros por meio da Figura 9, abaixo:

Figura 9. Representação esquemática do efeito da secção da peça sobre a velocidade de esfriamento em meios diferentes.



Fonte: Chiaverini (1996)

Pelos gráficos da Figura 9, podemos concluir que o esfriamento em água é o mais rápido e ao ar é o mais lento, assim como o esfriamento na superfície da peça também troca

calor mais rápido com o ambiente do que o seu interior. Estes fatores devem ser levados em consideração no projeto uma vez que podem influenciar nas propriedades da peça final e prejudicar sua finalidade.

### **3.7 TRATAMENTOS TÉRMICOS DOS AÇOS PARA MOLDES**

Segundo Kuhn (2014) a finalidade dos tratamentos térmicos é causar mudanças desejáveis na microestrutura do metal e conseqüentemente suas propriedades. Tratamentos térmicos podem afetar as propriedades da grande maioria de metais e suas ligas, de forma mais considerável nas ligas ferrosas. Sendo assim, são diversos os fatores que influenciam os resultados dos parâmetros desejados pelos tratamentos térmicos, entre eles estão o aquecimento, tempo de permanência à temperatura de aquecimento, resfriamento e atmosfera do forno.

Para Chiaverini (1988) afirma que quando se existe a intenção de modificar a estrutura do material, frequentemente, o material é elevado para uma temperatura acima da crítica, dessa forma é obtida a completa austenitização do aço e completa dissolução dos carbonetos. Kuhn (2014) enfatiza que sobre o resfriamento do material, o meio é o parâmetro chave em fornecer melhor controle para as taxas de resfriamento necessárias para atendimento da estrutura final desejada. Estes meios podem ser água, salmoura, óleos sintéticos ou minerais e até mesmo um resfriamento controlado em forno, devendo levar-se em consideração meios de alta severidade para o aço em questão que podem gerar trinca, empenamentos, devido ao grande gradiente térmico gerado no interior do material durante o resfriamento. A Quadro 3 abaixo, apresenta as principais microestruturas que podem ser formadas durante e após o processo de resfriamento.

**Quadro 3. Microestruturas de um aço médio carbono.**

Fase (microestrutura)	Estrutura Cristalina	Características
Ferrita (ferro $\alpha$ )	CCC – Cúbica de Corpo Centrado	Macia e dúctil, solubilidade máxima de carbono 0.025% a 727°C.
Austenita (ferro $\gamma$ )	CFC – Cúbica de Face Centrada	Dúctil, não magnética, solubilidade máxima de carbono 2.11% a 1147°C.
Cementita ( $Fe_3C$ )	Ortorrômbica complexa	Contém 6.67% de carbono, material duro e frágil.
Perlita		Lamelas intercaladas de Ferrita e Cementita.
Martensita	TCC – Tetragonal de Corpo Centrado	Metaestável, alta dureza.
Bainita		Cristais aciculares de ferrita e Cementita na forma de partículas discretas.

Fonte: Kohn (2014)

Um dos tratamentos térmicos utilizados com intuito de se obter dureza nos aços é a têmpera. Segundo SENAI (2000) esse tratamento possibilita vida longa à ferramenta e consiste em aquecer o aço num forno com temperatura acima da zona crítica. Para o aço-carbono, por exemplo, a temperatura varia de 750° a 900°C. A peça permanece nessa temperatura o tempo necessário para se transformar em austenita. Em seguida, a peça é retirada do forno e mergulhada em água. A temperatura cai rapidamente de 850°C para 20°C. Este tratamento além de aumentar dureza, permite um aumento do limite de escoamento, da resistência à tração, à compressão e ao desgaste, às custas da diminuição da resistência ao choque, do alongamento, da estrição e da ductilidade do aço. Porém, outras propriedades, como a resistência ao choque e o alongamento, ficam com valores muito baixos, e o material adquire uma apreciável quantidade de tensões internas.

Dessa forma para corrigir as tensões internas, é necessário revenir o material. Ainda segundo o SENAI (2000) o revenimento tem a finalidade de corrigir a dureza excessiva da têmpera, e aliviar ou remover as tensões internas. Logo após a têmpera, a peça é levada ao forno, em temperatura abaixo da zona crítica, variando de 100°C a 700°C, dependendo da

futura aplicação do aço, e após um certo tempo (de uma a três horas), retira-se a peça do forno e deixa-se que ela esfrie por qualquer meio.

De acordo com Reed Hill (2009), durante o revenimento, quatro principais reações acontecem:

- Segregação do carbono para os defeitos de rede; durante o revenimento a martensita se decompõe em duas fases, carbonetos intermediários ou martensita de baixo carbono.
- A segunda e a terceira reações são a transformação da austenita retida e precipitação da cementita: a precipitação de cementita pode ocorrer em aços de maior teor de carbono, já a austenita se decompõe na faixa de 200°C a 300°C, sendo a precipitação de carbonetos na austenita que reduz seu teor de carbono e viabiliza a formação de martensita.
- O quarto estágio se dá em ligas contendo elementos de liga formadores de carbonetos em temperaturas entre 500°C e 600°C podem ocorrer precipitação destes carbonetos como; V<sub>4</sub>C<sub>3</sub> e Mo<sub>2</sub>C. O que resulta em um aumento de dureza e resistência.

Junior (2006) enfatiza que a aplicação dos aços-ferramentas após a sequência de tratamentos de austenitização, têmpera e revenido se baseia na necessidade destes materiais resistirem aos fenômenos de desgaste, presentes nas operações envolvendo fabricação de ferramentas, aliando dureza e tenacidade.

Garcia (2009) afirma que há muitas situações em que não há necessidade de executarmos têmpera nas ferramentas em função da baixa sollicitação mecânica do processo de injeção. De maneira geral, acontece uma elevada sollicitação ao desgaste, que pode, facilmente, ser resolvida com um tratamento de superfície. Em contrapartida, Silva & Mei (2010) afirmam que muitos dos aços para moldes somente apresentam resistência ao desgaste necessária para as aplicações a que se destinam após tratamento termoquímico de cementação, nitretação ou revestimento, porém, em alguns casos, podem ser simplesmente temperados e revenidos.

Garcia (2009) também sugere a utilização de alguns tratamentos, os quais podemos destacar o envelhecimento e a têmpera em vácuo. O endurecimento pode ser aplicado em uma classe específica de aços, que tem como característica a baixa temperatura de tratamento (em geral, variando de 480°C a 570°C. Uma de suas vantagens em relação a têmpera é relacionado à temperatura, que é abaixo da temperatura crítica, e dessa forma não ocorrem deformações devido a transformações microestruturais, conseqüentemente, as deformações são consideravelmente menores. Já a têmpera em vácuo é recomendada devido a ausência de dano

na superfície, diferentemente dos tratamentos em banho de sais fundidos ou mesmo em fornos sem atmosfera controlada. Dessa forma, pela ausência de oxigênio, não ocorre oxidação da superfície dos moldes, diferentemente dos casos em que se utiliza banho de sais fundidos ou fornos sem atmosfera, em que é comum a ocorrência de “absorção” de sal ou impurezas nas porosidades naturais da superfície do aço, o que, necessariamente, prejudicará o posterior polimento.

### **3.8 ENSAIO DE DUREZA**

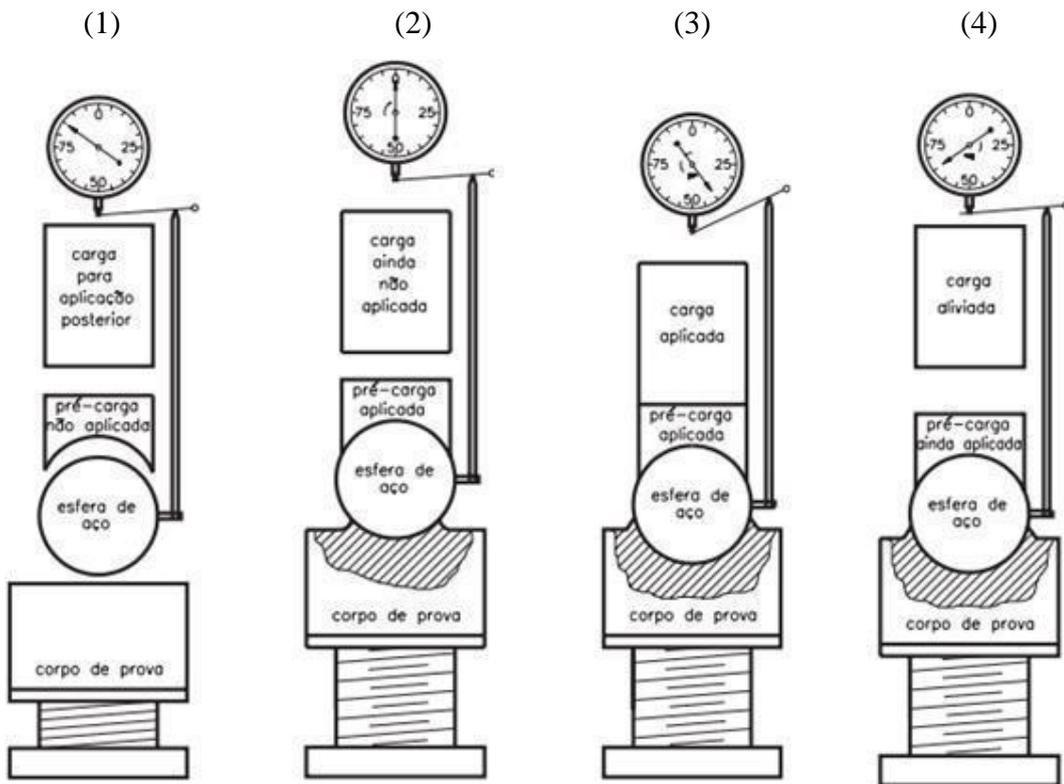
Segundo Ruckert (2020), entende-se por dureza, a medida da resistência de um material a uma deformação plástica (permanente) localizada (pequena impressão ou risco). Utilizar o ensaio de dureza permite algumas vantagens: Fácil execução e barato (muito utilizado na indústria); Rapidez na execução; Ensaio pode ser considerado não destrutivo (tamanho impressão); Conhecimento aproximado da resistência mecânica através do uso de tabelas de correlação.

A dureza Rockwell baseia-se na profundidade da indentação e tem como principal característica o uso de uma pré-carga para ajustar o corpo de prova e minimizar o efeito de eventuais defeitos de superfície no ensaio. Para materiais metálicos, o ensaio é regido no Brasil pela norma ABNT NBR NM ISO 6508-1:2019.

Cury (2019) afirma que neste método, primeiro se aplica uma pré-carga, para garantir um contato firme entre o penetrador e o material ensaiado, e em seguida aplica-se a carga do ensaio propriamente dita. A leitura do grau de dureza é feita diretamente em um mostrador acoplado à máquina de ensaio, de acordo com uma escala Rockwell (A,B,C, etc) predeterminada, adequada à faixa de dureza do material e baseadas na diferença da profundidade de penetração causada pelas cargas principal e secundária. O número obtido de dureza é adimensional e deve sempre aparecer após a sigla HR de forma a ser conhecido qual o teste foi realizado, neste caso o Rockwell. A profundidade que o penetrador vai atingir durante o ensaio é importante para definir a espessura mínima do corpo de prova. De modo geral, a espessura mínima do corpo de prova deve ser 17 vezes a profundidade atingida pelo penetrador.

O ensaio de dureza Rockwell pode ser representado da conforme figura 10:

Figura 10. Processos em um ensaio de dureza Rockwell.



Fonte: <http://blogdometalurgico.blogspot.com/2016/06/ensaio-de-dureza-dureza-rockwell.html>

- Em (1): Deve-se aproximar a superfície do corpo de prova ao penetrador;
- Em (2): Submeter o corpo de prova a uma pré-carga (menor intensidade);
- Em (3): Aplicar a carga maior até o ponteiro parar;
- Em (4): Retirar a carga maior e fazer a leitura do valor indicado no mostrador, na escala apropriada.

No Anexo A, Souza (1982) resume, as escalas de dureza e as suas respectivas aplicações.

### 3.9 ENSAIO DE TRAÇÃO

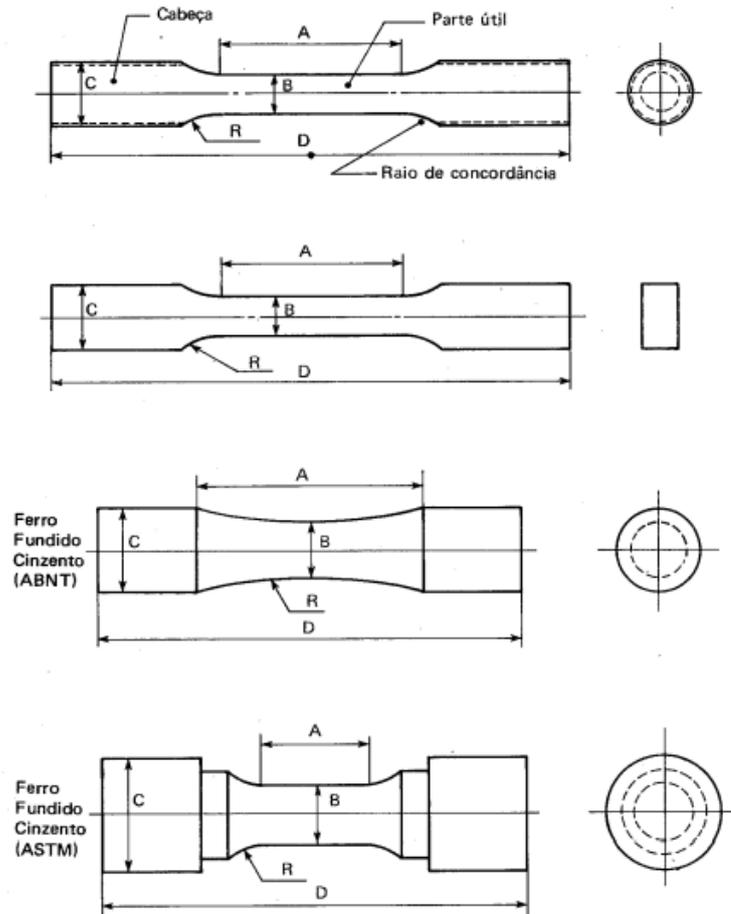
Segundo SOUZA (1982), ao exercer uma força num corpo sólido a reação é em uma deformação do material. O ensaio de tração compreende em submeter um material a uma força que propende a esticá-lo ou alongá-lo. A fim de que os resultados obtidos sejam capazes de serem comparados os ensaios são executados com corpos de provas padronizados. O corpo de prova é preso numa máquina de ensaio que emprega uma força crescente na direção axial, as deformações correspondentes são medidas através de um aparelho especial (o mais utilizado

é o extensômetro). As cargas aplicadas são medidas na própria máquina de ensaio, até a ruptura do corpo de prova.

O ensaio de tração pode ser utilizado para caracterizar inúmeras propriedades mecânicas dos materiais que são fundamentais para projetos. Para esse tipo de ensaio, os seus resultados (carga ou força em relação ao alongamento) são geralmente registrados em softwares específicos. As características de carga-deformação são relacionadas ao tamanho do corpo de prova. A tensão é definida pela razão entre a carga aplicada numa direção perpendicular à seção transversal do corpo de prova e a área de seção transversal original (Callister, 2012).

Os corpos de prova são fabricados a partir de orientações normatizadas e técnicas. Na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) há o método MB-4, onde são apresentados corpos de provas em formas e dimensões para cada caso, como indicado na Figura 11. As propriedades mecânicas do metal são medidas na região útil do corpo de prova e a fixação fica destinada às extremidades do corpo de prova (SOUZA, 1982).

**Figura 11. Corpos de prova para ensaio de tração.**



Fonte: Souza (1982)

As normas técnicas da ABNT, MB-4 e E8, fornecem os valores numéricos para dimensionamento dos corpos de provas metálicos normais. A Tabela 2 fornece os valores numéricos descritos nas normas ABNT E8 e ABNT MB-4, juntamente com as dimensões para os casos de ferro fundido cinzento, conforme apresentado nas normas ABNT EB-126 e ASTM A-48.

**Tabela 2. Valores numéricos para dimensionamento dos corpos de prova.**

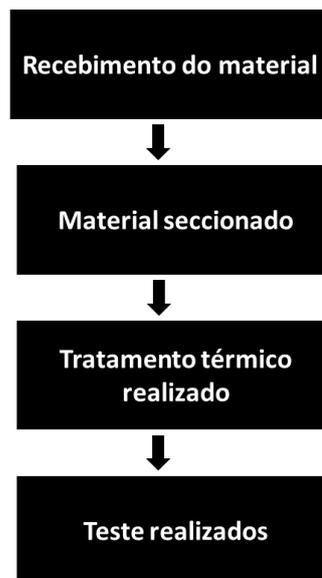
Corpo de prova	A (mm)	B (mm)	C (mm) (aprox.)	D (mm) (aprox.)	R (mm) (mín.)
Redondo – ABNT	70	10	18	150	15
Redondo – ASTM	60	12,5	18	130	15
Chapa fina – ABNT	75	12,5	20	200	20
Chapa grossa – ABNT	240	40	50	400	25
Chapa fina – ASTM	60	12,5	20	200	12,5
Chapa grossa – ASTM	225	40	50	450	25
Ferro fundido – ABNT – tipo A	30	20	30	100	25
Ferro fundido – ABNT – tipo B	105	20	30	180	25
Ferro fundido – ASTM – tipo A	32	12,5	22	95	25
Ferro fundido – ASTM – tipo B	38	19	32	100	25
Ferro fundido – ASTM – tipo C	57	31,5	47	160	50

Fonte: Souza (1982)

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a metodologia aplicada para o prosseguimento deste estudo. A figura 12 apresenta o fluxograma do processo.

**Figura 12. Fluxograma do trabalho.**



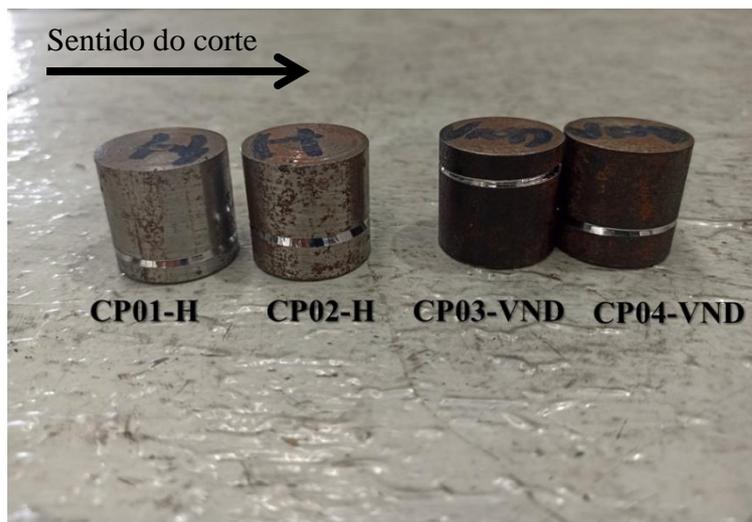
Fonte: Autor (2022).

## 4.1 MATERIAIS

### 4.1.1 AMOSTRA

Duas amostras do material H13 juntamente com duas amostras do material VND, foram seccionadas no sentido transversal como mostrado na Figura 13. Estas amostras foram identificadas como CP01-H, CP02-H, CP03-VND e CP04-VND.

Figura 13. Amostras.



Fonte: Autor (2022).

## 4.2 MÉTODOS

As amostras recebidas foram seccionadas no sentido transversal para maior estabilidade durante o ensaio. Na sequência foram submetidas à operação de usinagem para melhor apoio na plataforma do durômetro com o objetivo de assegurar a planicidade e paralelismo das superfícies de encosto e medida. Para o ensaio de dureza o equipamento foi preparado na escala Rockwell C e foram realizados o total de 05 (cinco) indentações em cada amostra, seguindo a norma ASTM E18. Os ensaios foram executados no laboratório de Ensaio do IFPE – Campus Caruaru.

### 4.2.1 TRATAMENTO TÉRMICO EM FORNO ELÉTRICO

O forno elétrico tipo mufla com controle de temperatura até 1200°C foi utilizado para a realização do tratamento térmico. A Figura 15 apresenta o forno utilizado para realização dos tratamentos térmicos.

**Figura 14. Forno tipo Mufla e controlador de temperatura utilizados para realização do tratamento térmico.**



Fonte: Autor (2022)

**Figura 15. Forno tipo Mufla e controlador de temperatura.**



Fonte: Autor (2022).

#### **4.2.2 ENSAIOS DE DUREZA**

No ensaio de dureza Rockwell B, foi utilizado um equipamento na escala de dureza Rockwell B, tendo como penetrador uma esfera de aço temperado e carga de 100kg. Neste ensaio foram avaliados 05 (cinco) pontos de maneira aleatória sobre a superfície do material obedecendo às distâncias indicadas pela norma ASTM E18.

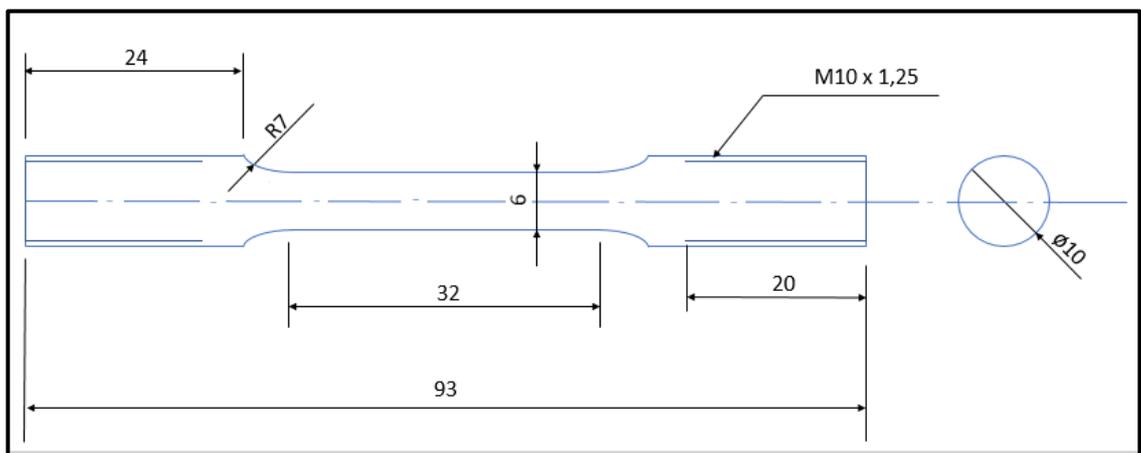
No ensaio de dureza foi utilizado um equipamento na escala de dureza Rockwell C, tendo como penetrador um cone de diamante e carga de 150kg. Neste ensaio foram avaliados 05 (cinco) pontos de maneira aleatória sobre a superfície do material obedecendo às distâncias indicadas pela norma ASTM E18. A Rockwell C foi utilizada, pois é indicada para materiais

mais duros como aços de elevado limite de resistência à tração (acima de 60kg/mm<sup>2</sup>); aços endurecidos superficialmente com camada espessa.

#### 4.2.3 ENSAIOS DE TRAÇÃO

Os corpos de prova para o ensaio foram fabricados a partir de amostras dos materiais VND e H13, que foram cortados com o auxílio de uma serra de fita. Após o corte, foram confeccionados 6 corpos de provas através do processo de usinagem para obtenção das dimensões finais especificadas segundo a norma ASTM E8/E8M (2011). A figura 16 apresenta um desenho 2D, contendo as dimensões que foram adotados para fabricação dos corpos de prova.

**Figura 16. Corpos de prova para o ensaio de tração.**



Fonte: Autor (2022)

O ensaio de tração foi realizado em uma máquina universal de ensaio da marca EMIC com capacidade de carga de 200kN, usando extensores com abertura pneumática e velocidade de deslocamento das garras de 1mm/min. Na figura 17 é possível observar o corpo de prova com o extensômetro instalado na máquina de tração para execução do ensaio. Os ensaios foram executados no laboratório do IFPE – Campus Caruaru.

Figura 17. Corpos de prova instalado na máquina para o ensaio de tração.



Fonte: Autor (2022)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios de tração e de dureza.

### 5.1 DUREZA ROCKWELL

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos através da realização do ensaio de dureza com o material sem a realização do tratamento térmico. Para isso foi utilizada a escala B tendo como penetrador uma esfera de aço e com carga de 100kg. Assim, o equipamento preparado para escala Rockwell B.

Tabela 3. Resultados do ensaio Dureza Rockwell B .

	VND base	H13 base
1ª Penetração	91,5	94
2ª Penetração	92	95
3ª Penetração	92,5	93
4ª Penetração	90,5	95,5
5ª Penetração	92	94
média	91,7	94,3

Fonte: Autor (2022).

A partir dos resultados é possível perceber que o material H13 possui uma dureza superior quando comparado com o material VND.

A composição química do aço H13 e do aço VND, obtidos através de catálogo, apresenta concordância com os valores obtidos do ensaio de dureza. A composição química está apresentado nas tabelas 4 e 5.

**Tabela 4. Composição química do Aço H13.**

C %	Mn %	Cr %	Mo %	V %	Si %
0,4	0,4	0,5	1,3	1,0	1,0

Fonte: <https://www.pkmacos.com.br/aco-h13> (2022)

**Tabela 5. Composição química do Aço VND.**

C %	Mn %	Cr %	W %	V %
0,95	1,25	0,5	0,5	0,12

Fonte: ficha técnica de Vilares Metals (2022)

## 5.2 TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA

Para as amostras de VND foi aplicado o tratamento térmico de têmpera em um forno tipo mufla com controle de temperatura ajustado para 860°C conforme orientado na ficha técnica do aço VND da Vilares Metals. O tempo de aquecimento foi de 120 minutos e o resfriamento da mesma se deu em óleo com agitação, como apresentado na Figura 18. A escolha do resfriamento em óleo com agitação ao invés do resfriamento em água deu-se pelo fato de maior controle, para obter homogeneidade da dureza na peça.

**Figura 18. Resfriamento em óleo com agitação.**



Fonte: Autor (2022).

O tratamento térmico de têmpera também foi submetido nas amostras de H13, foi utilizado um forno tipo mufla com controle de temperatura regulado em 1030°C conforme orientado na ficha técnica do aço H13 da PKM Aços. O tempo de aquecimento foi de 60 minutos e o resfriamento da mesma se deu em óleo com agitação.

### 5.3 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL C

As Tabelas 6 e 7, apresentam os resultados obtidos através da realização do ensaio de dureza com equipamento preparado para a escala Rockwell C, das amostras após a realização do tratamento térmico de tempera.

**Tabela 6. – Resultado do ensaio de dureza do VND pós Tratamento térmico de tempera.**

	CP03-VND	CP04-VND
<b>1ª Penetração</b>	65	67
<b>2ª Penetração</b>	64,5	67
<b>3ª Penetração</b>	66	66,5
<b>4ª Penetração</b>	68	62
<b>5ª Penetração</b>	67	63
<b>média</b>	66,1	65,1

Fonte: Autor (2022).

**Tabela 7. Resultado do ensaio de dureza do Aço H13 pós Tratamento térmico de tempera.**

	CP01-H	CP02-H
<b>1ª Penetração</b>	58	61
<b>2ª Penetração</b>	60	61
<b>3ª Penetração</b>	59,5	60,5
<b>4ª Penetração</b>	64	60,5
<b>5ª Penetração</b>	61,5	62,5
<b>média</b>	60,6	61,1

Fonte: Autor (2022).

A partir dos resultados é possível perceber que depois de executar o tratamento térmico em ambos os materiais. O material VND possui uma dureza superior quando comparado com o material H13.

## 5.4 ENSAIOS DE TRAÇÃO

Os resultados obtidos ao final do ensaio de tração e medidas realizadas nos corpos de provas estão apresentados nas tabelas 8 e 9, que são respectivamente relacionadas aos materiais VND e H13. As figuras 19 e 20 apresentam as curvas tensão-deformação dos materiais VND e H13, respectivamente, adquiridas pelos ensaios de tração.

Em todos os ensaios foram utilizados o extensômetro e o limite de escoamento foi estabelecido a uma taxa de 0,2% da deformação, seguindo as orientações da norma ASTM E8 no caso de ensaios realizados em aços.

**Tabela 8. Resultado do ensaio de tração do Aço VND.**

<b>Corpo de Prova VND</b>	<b>Força Máx. (kN)</b>	<b>Tensão de escoamento (Mpa)</b>	<b>Tensão Máx. (Mpa)</b>	<b>Alongamento na ruptura (%)</b>
<b>CPT4</b>	20,33	681,41	719,08	20,90
<b>CPT5</b>	19,58	650,63	692,56	21,07
<b>CPT6</b>	20,25	676,08	716,36	21,05
<b>Média</b>	20,05	669,37	709,33	21,01

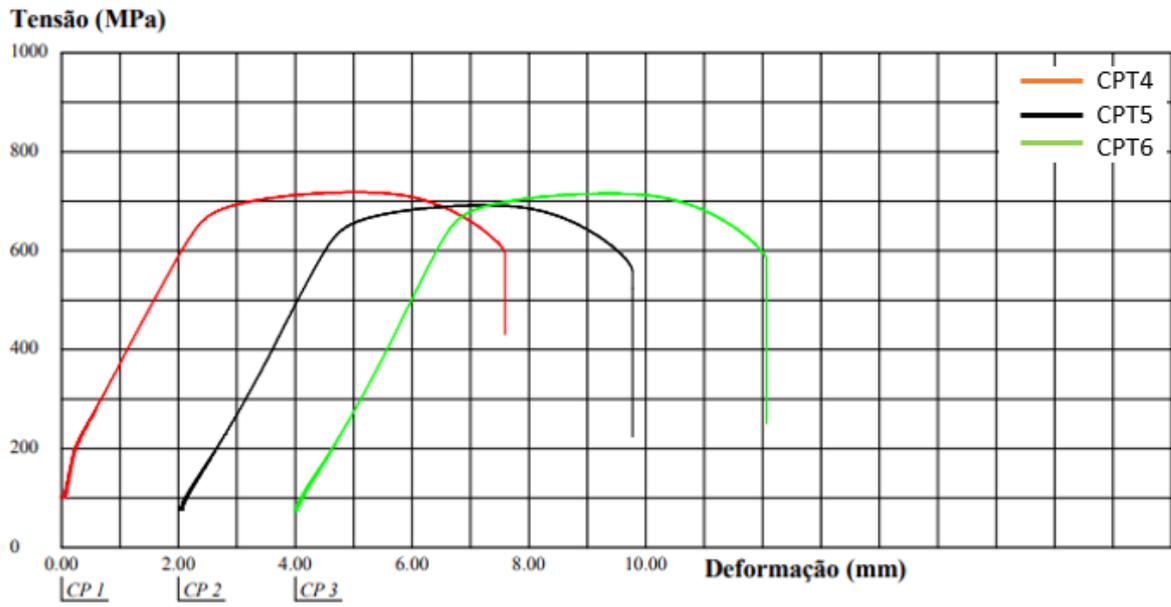
Fonte: Autor (2022).

**Tabela 9. Resultado do ensaio de tração do Aço H13.**

<b>Corpo de Prova H13</b>	<b>Força Máx. (kN)</b>	<b>Tensão de escoamento (Mpa)</b>	<b>Tensão Máx. (Mpa)</b>	<b>Alongamento na ruptura (%)</b>
<b>CPT1</b>	18,94	636,46	670	29,84
<b>CPT2</b>	20,08	648,08	710,41	30,06
<b>CPT3</b>	19,96	642,16	706,19	31,58
<b>Média</b>	19,66	642,23	695,53	30,49

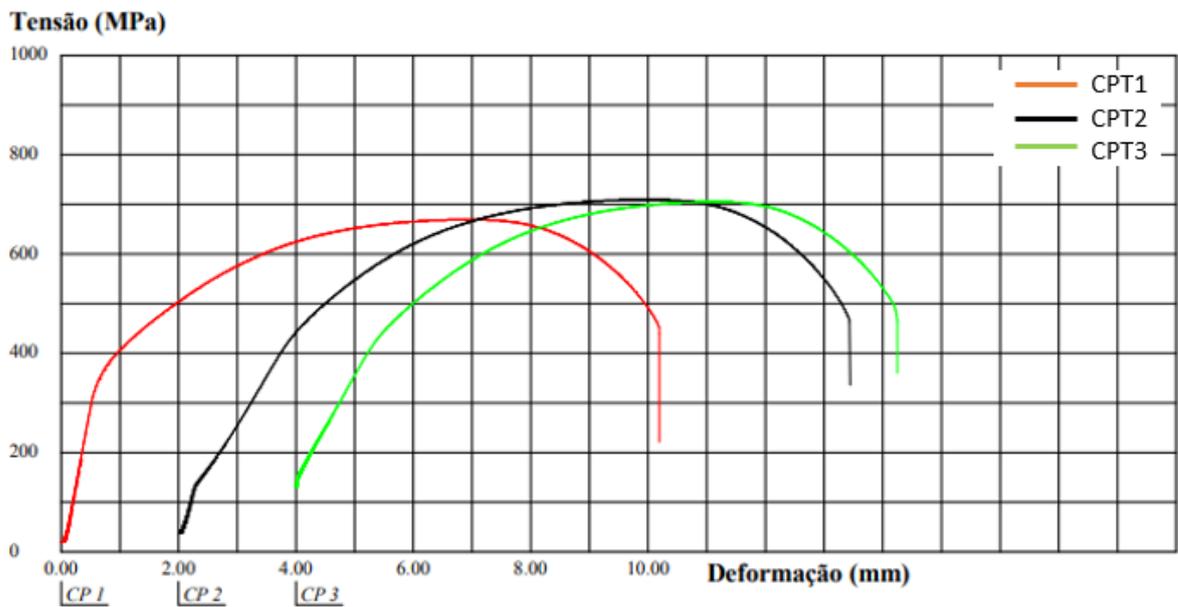
Fonte: Autor (2022).

Figura 19. Curva tensão-deformação do aço VND.



Fonte: Autor (2022).

Figura 20. Curva tensão-deformação do aço H13.



Fonte: Autor (2022).

## **6 CONCLUSÕES**

Esse trabalho pretendeu estudar as propriedades mecânicas dos materiais selecionados, a fim de selecionar aquele mais adequado para projeto de uma matriz injetora, fundamentado sob os conceitos de ciências e engenharia dos materiais e também dos processos de fabricação.

Os ensaios foram fundamentais para uma comparação eficaz, tanto no ensaio de tração quanto o de dureza. O aço ferramenta VND, após tratamento térmico, apresentou melhores resultados. Antes do tratamento térmico o aço H13 apresentou maior dureza.

Assim, o aço ferramenta VND é o mais adequado para a fabricação de matrizes de injeção. Sendo assim, toda metodologia proposta foi executada, desde seleção de material, aos testes e tratamento térmico, tal aplicação tem por finalidade aumentar a vida útil das matrizes utilizadas, reduzindo a frequência de troca do equipamento, e conseqüentemente reduzindo os custos de manutenção neste aspecto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISSO 6892-1:2013 (VERSÃO CORRIGIDA 2:2018): Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. 3 ed. Rio de Janeiro, 2018. 80 p.

BRUNATTO, S. F. Introdução ao estudo dos aços. UFPR. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM052/Prof.Silvio/INTRODUÇÃO%20AO%20ESTUDO%20DOS%20AÇOS-Parte%204.pdf>>. Acesso em: 07/12/2021;

CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CAMPOS, Catarina J. Redução das perdas de alumínio no processo de fabrico de peças Sonafi. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2008.

CARUSO, Informações Gerais sobre os aços, Tecnologia Mecânica. CEFET-SP. Disponível em:<[http://www.joinville.ifsc.edu.br/~paulosergio/Ciencia\\_dos\\_Materiais/Classificação%20dos%20aços.pdf](http://www.joinville.ifsc.edu.br/~paulosergio/Ciencia_dos_Materiais/Classificação%20dos%20aços.pdf)>. Acesso em: 05/01/2022;

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica: Processo de fabricação e tratamentos. 2. ed. São Paulo: Mcgraw-hill, 1986. 315 p.

CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos – ABM, 7 ed, São Paulo, 1988.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. Aços para trabalho a frio. Disponível em: <[https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/6367-acos-para-trabalho-a-frioidentificados-pelas-letras-a-d-e-o](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6367-acos-para-trabalho-a-frioidentificados-pelas-letras-a-d-e-o)>. Acessado em: 07/01/2022;

DE MOURA, Carlos F. A. Implementação da Liga SAE 306 Para Redução de Custo na Injeção de Alumínio. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2006. 50 p.

FACCIO M.; PERSONA A.; SGARBOSSA F.; ZANIN G., Industrial maintenance policy development: A quantitative framework. Department of Management and Engineering, University of Padova, Stradella San Nicola 3, Vicenza, Italy. 2012.

FELIX, C., Reducing downtime with tool presetting. *Production Machining*; v.8 n., p.40-44, 2008.

FERREIRA, José Ângelo – Custos industriais: uma ênfase gerencial. São Paulo: Editora STS, 2007.

FREGULIA, J.; GAVRONSKI, I. Otimização do Processo de Abastecimento de Células Injetoras, de Fundição Sob Pressão, com Alumínio Líquido. Curso de Gestão da Produção do Centro Universitário FEEVALE. 2006. Disponível em Acesso em 3 out. 2013.

GARCIA, M. C. R. Fundamentos de Projetos de Ferramentas: Moldes de Injeção para Termoplásticos. Pelotas: Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas/Unidade de Sapucaia do Sul-RS, CEFET, 2008.

HOYLE, G. High Speed Steels. Cambridge, Engl: Butterworths, 1998.

JUNIOR, E. S. Efeito do Tratamento Térmico na Microestrutura e nas Propriedades Mecânicas de aços-ferramentas para trabalho a frio. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2006.

KARDEC, A. & NASCIF, J.A. Manutenção – Função Estratégica. 3.<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 2010.

KRAUSS G. Principles of Heat Treatment of Steel. Ohio, A. Society for metals, 1980.

LUMLEY, R. Fundamentals of Aluminium Metallurgy. Woodhead Publishing in Materials, Cambridge, UK, 2011.

PERES, C.R.C. & LIMA G.B. A., Proposta de modelo para controle de custos de manutenção com enfoque na aplicação de indicadores balanceados, Gestão da Produção São Carlos S.P. 2008

RODRIGUES, Felipe L., Construção De Curvas Tempo-Temperatura-Transformação Para Um Aço Supermartensítico Através De Difração De Raios X In-Situ, Escola Politécnica UFRJ, Rio de Janeiro, RJ 2017.

SENAI. Tratamentos Térmicos. Telecurso 2000;

SHIMADSU. Principle of Optical Emission Spectrometry. Disponível em: <<https://www.shimadzu.com/an/products/elemental-analysis/oes-app/principle-of-optical43-emission-spectrometry/index.html>>. Acessado em: 25/01/2022.

SOUZA, Sérgio Augusto de. Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos: fundamentos teóricos e práticos. 5. ed. São Paulo: Edgar Bluncher, 1982. 287 p.

TSCIPTSCHIN, A. P. TIPOS DE AÇO E SUA CLASSIFICAÇÃO – NORMAS SAE/AISI/ABNT. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/blog-acos-especiais/tiposde-aco-e-sua-classificacao>>. Acesso em: 11/02/2022;

## ANEXO A

Símbolo de escala	Penetrador	Carga maior (kgf)	Cor da escala	Aplicações das escalas
<i>B</i>	Esfera de 1,59 mm $\phi$	100	Vermelha	Ligas de cobre, aços moles, ligas de alumínio, ferro maleável, etc.
<i>C</i>	Diamante	150	Preta	Aço, fofo duro, fofo maleável perlítico, titânio, aço endurecido e outros metais mais duros que $HR_B = 100$ .
<i>A</i>	Diamante	60	Preta	Carbonetos cementados, aço fino, e aços endurecidos de baixa camada de endurecimento.
<i>D</i>	Diamante	100	Preta	Aplicações de aços com camada de endurecimento entre os dois casos acima mencionados, fofo maleável perlítico.
<i>E</i>	Esfera de 3,17 mm $\phi$	100	Vermelha	Fofo, ligas de Al e Mg, metais para mancais.
<i>F</i>	Esfera de 1,59 mm $\phi$	60	Vermelha	Ligas de Cu recozidas, chapas finas de metais moles.
<i>G</i>	Esfera de 1,59 mm $\phi$	150	Vermelha	Fofo maleável, liga Cu-Ni-Zn, cupro-niqueis. Aplicações até $HR_G = 92$ para evitar achatamento da esfera.
<i>H</i>	Esfera de 3,17 mm $\phi$	60	Vermelha	Alumínio, zinco, chumbo. Metals para mancais e outros metais muito moles ou finos. Usar a menor esfera e a maior carga possíveis.
<i>K</i>	Esfera de 3,17 mm $\phi$	150	Vermelha	
<i>L</i>	Esfera de 6,35 mm $\phi$	60	Vermelha	
<i>M</i>	Esfera de 6,35 mm $\phi$	100	Vermelha	
<i>P</i>	Esfera de 6,35 mm $\phi$	150	Vermelha	
<i>R</i>	Esfera de 12,70 mm $\phi$	60	Vermelha	
<i>S</i>	Esfera de 12,70 mm $\phi$	100	Vermelha	
<i>V</i>	Esfera de 12,70 mm $\phi$	150	Vermelha	

Escala de Dureza Rockwell

Fonte: <http://moldesinjecaoplasticos.com.br/diversos-conceitos-sobre-ensaios-de-dureza/>