

## **Aula 00**

*PETROBRAS (Engenheiro de  
Equipamentos - Inspeção)  
Conhecimentos Específicos*

Autor:

**Felipe Canella, Juliano de Pelegrin**

12 de Janeiro de 2023

## Sumário

DEFORMAÇÕES, PROPRIEDADES MECÂNICAS E PRINCIPAIS ENSAIOS .....	2
Deformação elástica .....	3
Deformação plástica.....	6
Propriedades mecânicas dos materiais.....	10
Resistências (tração e compressão), resiliência, ductilidade e tenacidade .....	10
Dureza.....	15
Mecanismos para aumento da resistência mecânica.....	16
Encruamento .....	17
Redução do tamanho dos grãos .....	17
Endurecimento por precipitação .....	19
DIAGRAMAS DE FASES E CURVAS TTT.....	19
Diagrama de fases – principais conceitos.....	19
Diagramas de fases – (Fe-C).....	28
Ferros fundidos.....	33
Curvas TTT.....	38
Questões com comentários.....	43



# TECNOLOGIA DE MATERIAIS

Estrategista, é com enorme prazer que estou aqui com vocês para falarmos sobre **Tecnologia de Materiais** (também conhecida como **Ciência dos Materiais**). Nesta aula veremos os principais tópicos inerentes a esse "mundo" e sua grande importância para a Engenharia e todas as suas ênfases.

Neste pdf simplificado, será abordada a matéria de forma mais resumida, somente com os tópicos que mais caem. Sempre sugiro aos meus alunos que tenham tempo que estudem pelo pdf da aula completa!

Como de praxe, não deixe de seguir minhas redes sociais a fim de ter acesso a conteúdo exclusivo sobre **questões comentadas em vídeo, dicas, esquemas e questões inéditas "tipo CESPE"**:



## DEFORMAÇÕES, PROPRIEDADES MECÂNICAS E PRINCIPAIS ENSAIOS

Dentro do estudo das deformações de um material, temos que ter em mente que os átomos que formam o cristalino do material estão em diferentes **planos cristalográficos**. Esses diferentes planos são formados, Coruja, porque na construção do cristalino, as **células unitárias** são formadas pelos átomos em **3 dimensões**: eixos **x, y e z**, em qualquer ponto do retículo.

Em outras palavras, Estrategista, assim como é fácil de visualizar qualquer produto em três dimensões na nossa realidade, no "mundo micro" da **microestrutura** do cristalino, teremos diferentes planos encostados e exercendo e recebendo esforços um dos outros.



A esses **planos cristalográficos** são determinados os **Índices de Miller** que nada mais são do que um **conjunto de 3 números, cada qual referente a uma coordenada em cada eixo (x, y e z)**. Para nossa prova, essa definição é mais do que suficiente! Rs.

Nesse sentido, cada plano cristalográfico, que consiste num conjunto de átomos, **escorrega e possui mobilidade** em relação a outro plano. É justamente por essa característica que é possível definir os tipos de **deformações** que um material sofre até que ocorra a **ruptura** do material.



Além disso, **defeitos** e ou **imperfeições** no agrupamento dos átomos do **cristalino** também podem influenciar nesse comportamento. Sabe quando você ouve, em um noticiário, por exemplo, sobre um acidente que não deveria ter ocorrido? Em que algum ponto específico de um material ocorreu uma **falha**? Uma das possíveis causas são essas **impurezas** que geram **defeitos** no cristalino do material.

Retomando às **deformações**, no estudo da ciências dos materiais, temos que entender **2 tipos de deformação: a elástica e a plástica**.

## Deformação elástica

Estrategista, basicamente, na **deformação elástica**, o que você precisa gravar é que ela ocorre **sem ocorrer a ruptura do material** e **sem qualquer deformação permanente**. A deformação elástica é **temporária**. Nesse sentido, assim que a **tensão** aplicada ao material for **eliminada**, o material **volta a sua forma original**.

Na deformação elástica, quando se diz que “o material sofreu deformação no campo elástico” é justamente porque sua deformação **não é permanente**. Assim, quando os **esforços** que geram as tensões descritas **cessarem**, o material **volta** a seu estado **natural, original** como na figura “sem deformação”.

É o que ocorre, Estrategista, quando você puxa uma elástico de prender “saco de pão”, sabe? E o estica até **não deformar permanentemente**. Você pode reparar que ele volta ao seu formato anterior.

Dessa forma, a **lei de Hooke** vai relacionar para nós o quanto de tensão determinado material consegue suportar, seja ela de tração, seja ela de compressão, **para certo grau de deformação** atingido. Assim, **dentro do campo elástico** temos a seguinte equação:

$$\sigma = E \cdot \epsilon;$$

Na qual, temos que:

**$\sigma$** : é a tensão aplicada ao material, podendo ser expressa em **newton (N/mm<sup>2</sup>)** ou **(kfg/cm<sup>2</sup>)**;

**E**: módulo de elasticidade, podendo ser expresso em **GPa (10<sup>9</sup> N/m<sup>2</sup> ou 10<sup>3</sup> N/mm<sup>2</sup>)** ou **psi (6895 Pa)**;

**$\epsilon$** : é a deformação proporcional a tensão aplicada, calculada pela porcentagem de alongamento em relação ao comprimento inicial -  $\epsilon = \frac{(L - L_0)}{L_0}$ ;

Na deformação elástica, Coruja, a deformação é proporcional a tensão de forma **linear**. Nesse sentido, conforme se **umenta a tensão** no material, a **deformação é atingida segundo uma curva** que forma uma **reta linear** e sua **inclinação** é justamente o **módulo de elasticidade do material**.

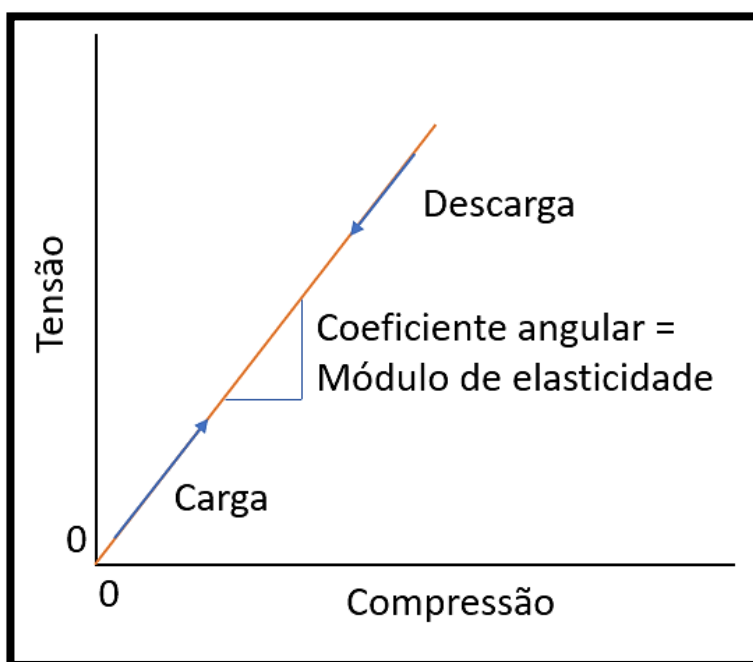




O **módulo de elasticidade** também pode ser chamado pela banca de **módulo de Young**. É a mesma coisa! :)

Todavia, Estrategista, nem sempre a curva tensão-deformação do material será uma relação linear. É o que ocorre com muitos **polímeros** (não trataremos deles nesse momento).

Pode ficar tranquilo que essa relação não-linear dificilmente cai na sua prova. Para falar a verdade, até a relação linear da equação acima é pouco discutida pelas bancas, viu? Vai depender do edital. Veja o gráfico a fim de ilustrar o que mencionei.



1

Trago, também, Estrategista, a tabela abaixo que traz o **módulo de elasticidade** de algumas ligas metálicas. É interessante que você tenha uma **noção**, apenas, dos seus valores, sem decorar.

<sup>1</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



LIGA METÁLICA	Módulo de Elasticidade	
	Gpa	10 <sup>6</sup> psi
• Alumínio	69	10
• Latão	97	14
• Cobre	110	16
• Magnésio	45	6,5
• Níquel	207	30
• Aço	207	30
• Titânio	107	15,5
• Tungstênio	407	59

2

Normalmente, eles são utilizados a fim de classificar os metais e estão relacionados tanto quanto as ligações interatômicas quanto **como** os **grãos** que vão compor o **retículo cristalino** estão formados. Esse aspecto é importante, pois quando falarmos em **tratamentos térmicos** você compreenderá o porquê de certos tratamentos tornar um metal **dúctil** e outros tornar o metal **duro e frágil**.

Mas, aguarde, sem colocar os “bois na frente da carroça”, não é mesmo, rs? Por hora, é mais do que o suficiente.



Um conceito que pode ser cobrado e tem cara de concurso é o da **Anelasticidade**. Estrategista, “mamão-com-açúcar”. Saiba que nada mais é que a **deformação elástica** que permanece **durante certo tempo** após a aplicação da tensão e sua posterior eliminação. Ou seja, **dependeu do tempo** para “voltar ao normal”, é **anelasticidade**.

<sup>2</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



## Deformação plástica

Estrategista, se a deformação elástica é aquela que o material sofre e retorna a seu estado natural, normal ou original (todos esses termos são iguais nesse contexto), a **deformação plástica** é o **oposto** – os materiais sofrem **deformação permanente**.

Em nosso exemplo do “elástico de prender saco de pão”, seria como se você o puxasse muito forte na mão para fazer “arminha” e tacar na cabeça do amiguinho no primário e, por **utilizar muita força**, você acabava **deformando-o**. Mesmo que você cessasse a tensão de tração (nesse caso), ele **não voltava mais ao seu formato original**.

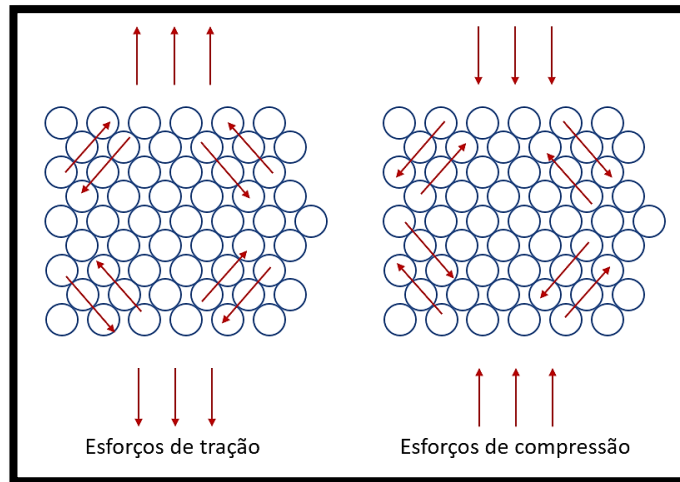
Normalmente, nos metais, a **deformação elástica** precede a plástica e fica em torno de **0,005** de unidade do material. Ou seja, é praticamente imperceptível a olho nu. Nos materiais **crystalinos** (os que **possuem retículo cristalino e não amorfos**), a **deformação plástica** ocorre por conta da **quebra** das ligações entre os átomos vizinhos e, em seguida, novas ligações com outros átomos vizinhos são formadas.

Por conta disso, o material não retorna mais ao seu formato original. Esse raciocínio (de não retorno ao formato original) é o geral para qualquer tipo de material (**crystalino** ou não). No caso dos metais, temos, também, a deformação plástica obtida pelo **escorregamento** dos **planos cristalinos**.

É exatamente esse raciocínio que você está tendo, Estrategista! Os planos cristalinos, com seus **grãos** formados pelas células unitárias, vão **escorregar** por conta desses **esforços** que geram **tensões** e vão romper as ligações existentes. Assim, eles escorregam uns sobre os outros, dando uma nova forma ao material.

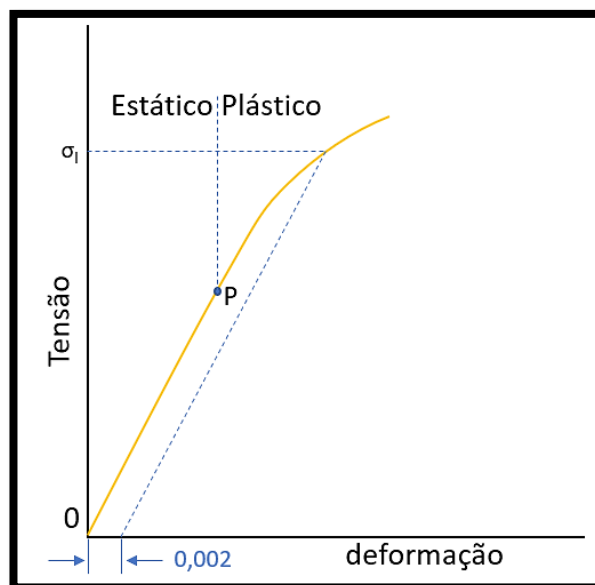
As tensões de tração e compressão podem gerar **tensões de cisalhamento** (cisalhar é a mesma coisa de cortar, romper) e, assim, proporcionar a deformação plástica. Veja na figura abaixo essas tensões provenientes das tensões de **tração e compressão**.





3

Normalmente, os metais com transição gradual de deformação elástica para a plástica têm o **limite de escoamento** facilmente identificado em gráfico, sendo o **momento** pelo qual há mudança na linearidade da curva **tensão-deformação**.



4

Percebeu aquele 0,002 no gráfico? Aquele é o limite de **pré-deformação**. Em ligas, como no aço, corresponde a **0,2% ou 0,002** por unidade de comprimento e é usado para determinar o **limite de escoamento**, justamente porque o ponto “P” não é possível de se medir com precisão (claro que no gráfico

<sup>3</sup> Adaptado de Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.

<sup>4</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.





está exagerado para sua visualização da diferença de distância), correspondente ao **limite de proporcionalidade**.

Todavia, para materiais que a região elástica é **não linear** utiliza-se a deformação de 0,005 unidade e comprimento do material para o limite de escoamento e **não** o conceito de **pré-deformação**.

De acordo com a doutrina<sup>5</sup>, alguns aços e outros materiais tem a **transição elastoplástica muito bem definida**, pois quando em tração, tem uma queda abrupta na tensão. Surge, assim, um limite de escoamento superior e outro inferior na passagem dos regimes.

Além desses pontos, Estrategista, é bom você saber que o processo de deformação plástica também está relacionada com as **discordâncias** existentes no retículo cristalino do material. E o que são elas? Basicamente, de acordo com a literatura específica, as discordâncias são **defeitos lineares no cristalino** desses materiais (como os metálicos, por exemplo).

Nesse sentido, o movimento dessas discordâncias constitui o escorregamento e movimento do plano cristalográfico formado pelas células unitárias que vimos anteriormente. Dessa forma, a discordância em linha de um arranjo de átomos que, por defeitos de processos de solidificação depois de fusão, conformação dos metais ou resfriamento rápido após um tratamento térmico, constituem um **sempi plano** extra de átomos.

É justamente por essa diferença de ordenamento gerada pela presença desse semiplano extra é que facilita o movimento atômico entre os átomos do cristalino. Veja a figura<sup>6</sup> a seguir que mostra o movimento desse semiplano quando temos a presença de uma força cisalhante.

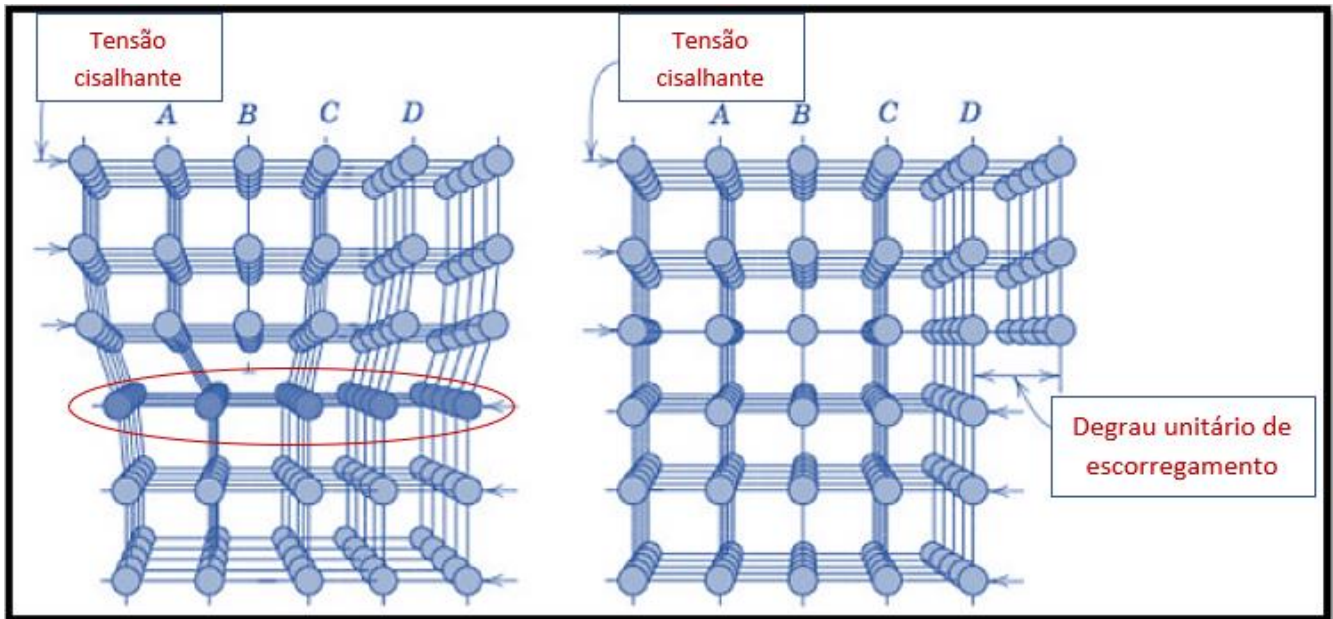
Dessa forma, Coruja, dada uma tensão cisalhante suficiente, o **plano de escorregamento** que circulei em vermelho na figura, será aquele plano limite no qual os semiplanos A,B, C e D serão deslocados, até a formação do degrau unitário de escorregamento emergir. Esse é um exemplo de **discordância de aresta**.

---

<sup>5</sup> Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

<sup>6</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.





Nessa seara, Estrategista, teremos **três tipos** de discordâncias: **de aresta**, **espiral** e **a mista** (união de ambas). Aqui, a única diferença que eu quero que você guarde é que na **de aresta**, a linha da discordância (linha do semiplano que vimos na figura anterior) se move na **mesma** direção da **tensão cisalhante**. Já na **discordância espiral** esse movimento da linha é **perpendicular** a direção da tensão.

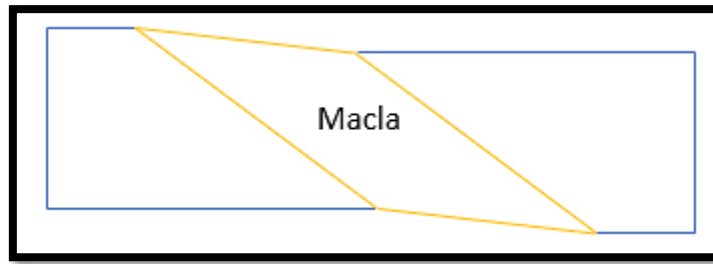
Outra tipo de deformação plástica que ocorre em metais, Coruja, é a **deformação por maclação**. As **maclas**, Estrategista, são formadas por meio de uma tensão cisalhante aplicada no material que faz produzir deslocamentos atômicos que, por sua vez, geram um **plano de átomos** que reproduzem uma imagem de espelho dos átomos do outro lado do plano. Esse plano de imagem espelho também é chamado pela doutrina<sup>7</sup> de “**gêmeos**”.

Assim, a alteração da orientação facilita o deslocamento e deformação plástica. A **macla** é comumente evidenciada pela inclinação do plano de átomos e seu espelho (para sua prova, é uma forma fácil de identificar, caso venham a cobrar). Veja a figura<sup>8</sup> a seguir mostrando, de forma esquemática e simplificada, a macla inclinada que relaciona os dois lados “espelho” dos planos de átomos em azul:

<sup>7</sup> Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.

<sup>8</sup> Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.





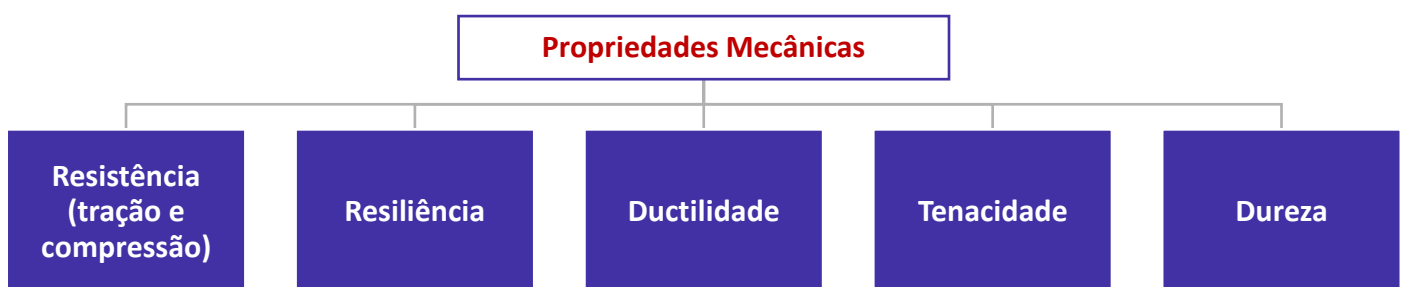
Sobre os tipos de deformações, era isso, Coruja. Partiu falar das propriedades mecânicas dos materiais e, principalmente, dos metais e suas ligas? Tema quente para sua prova! Por isso, pegue a xícara de café e preste máxima atenção!

## Propriedades mecânicas dos materiais

Estrategista, entender as **características** das propriedades mecânicas dos materiais (principalmente, dos metais e suas ligas) é crucial para qualquer projeto de **engenharia**. Por conta disso, começar definindo os **conceitos** das propriedades é o primeiro passo para entender o **comportamento** dos materiais quando colocados em serviço. Essa parte do estudo da Ciência dos Materiais é relevante, pois o tipo de serviço vai delimitar os **tipos de esforços** e o **quantum** que cada material será submetido sem se **romper** ou gerar **alguma falha**.

- Dessa forma, no mundo real, os materiais e projetos mecânicos estão submetido a diferentes tipos de esforços, como os de caráter **estático** e os de caráter **dinâmico**. Dentro do grupo de **estáticos**, podemos citar os esforços de **tração, compressão, dobramento e torção**, dentre outros. Já os esforços **dinâmicos** se caracterizam pela **variação** de aplicação de alguma força, **repentinamente**, assim como um **choque**.

Dito isso, algumas definições são importantes para sua prova e as bancas adoram cobrar sua definição de maneira direta. Assim, temos **5 principais conceitos** que você precisa ter em mente:



### Resistências (tração e compressão), resiliência, ductilidade e tenacidade

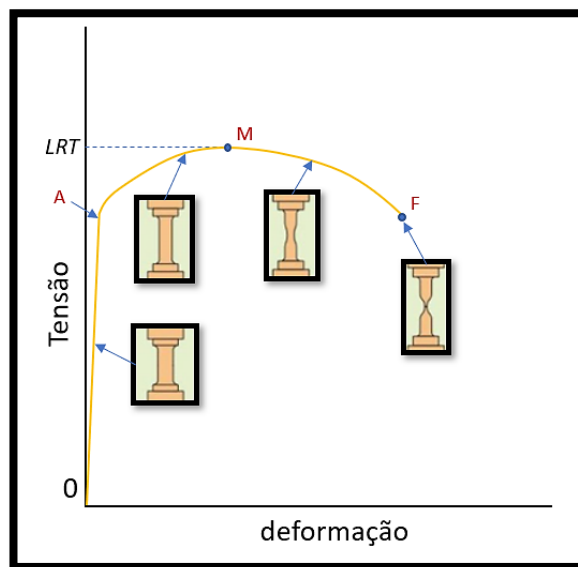
Estrategista, agrupei os 4 primeiros conceitos de propriedades mecânicas a fim de facilitar sua compreensão, pois eles estão intimamente relacionados (na verdade, todos eles, mas por fins didáticos, ficará mais fácil assim).



Após adentrar o campo da **deformação plástica** que acabamos de estudar, e ocorrer o **escorregamento** dos planos **crystalinos** que mencionei, o material atingirá um **limite** até se romper. A esse **limite** é dado o nome de **Limite de Resistência a Tração (LRT)**. É justamente pelo seu estudo que se define se um material (uma liga metálica, por exemplo) possui a propriedade mecânica de ser **resistente a tração**, possuindo ou não possuindo **elevado limite**. Nesse sentido, visa avaliar quanto ele **suporta** até atingir **fratura**.

No gráfico a seguir, podemos perceber o comportamento do material que ele ilustra pela **tensão** e **deformação** atingidas por esforços de **tração**. Veja, Estrategista, que até o ponto **"A"** que indiquei na curva **Tensão ( $\sigma$ ) x Deformação da área da secção ( $m^2$ )**, a deformação que ocorre é **elástica**. Até esse ponto, se eliminarmos a tensão, o **material volta a seu estado original**.

Todavia, se continuarmos, até o ponto **"M"**, temos o **limite de resistência a tração**. Depois desse ponto, o material **não suportará mais os esforços e irá se romper**, ocorrendo a **fratura**. Perceba pela curva descrita que em um ensaio de tração, conforme vamos tracionando (**puxando**) o corpo de prova até o ponto **"M"**, a tensão necessária  **aumenta**. Apesar desse perfil, depois desse ponto, ela começa a diminuir, até ocorrer a **fratura** no ponto **"F"**.



9

Coruja, todo cenário é evidenciado pelo desenho da barra no gráfico. Perceba que a **área da secção** dessa barra vai diminuindo até a fratura. Essa **deformação** tem relação direta com a propriedade que vamos descrever agora chamada **ductilidade**.

<sup>9</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



A **ductilidade** é justamente uma **medida** do **grau de deformação plástica suportado até a fratura** do material. Quando o metal sofre uma **deformação plástica elevada** até atingir fratura, possui **elevada ductilidade**. Assim, é considerado um material **dúctil**.

“Professor, e como calculamos esse **grau**?” Simples, Estrategista, temos tanto o cálculo de % da **área** quanto da **comprimento**.

Mas, novamente, fique tranquilo, porque não costuma cair cálculo desse assunto.

Para alongamento da região até a fratura (**região alongada do desenho do gráfico anterior**):

$$\%AL = \frac{(C_f - C_o)}{C_o} \times 100$$

Onde:

- **%AL** = porcentagem de alongamento;
- **C<sub>f</sub>** = comprimento final;
- **C<sub>o</sub>** = comprimento inicial;

Para a redução da área da seção transversal da peça:

$$\%RA = \frac{(A_o - A_f)}{A_o} \times 100$$

Onde:

- **%RA** = porcentagem de redução da área transversal;
- **A<sub>o</sub>** = área inicial da seção transversal;
- **A<sub>f</sub>** = área final da seção transversal;

Por outro lado, Estrategista, quando o material **deforma muito pouco plasticamente**, ele é considerado **frágil**! É como se você comparasse um pedaço de vidro com o metal da latinha de refrigerante feita de alumínio.

Perceba que a lata depois de vazia você consegue **tracionar, dobrar, comprimir e flexionar** mais do que o vidro sem atingir a **fratura**. Já este, atingido o **limite de escoamento** (limite de transição entre o campo

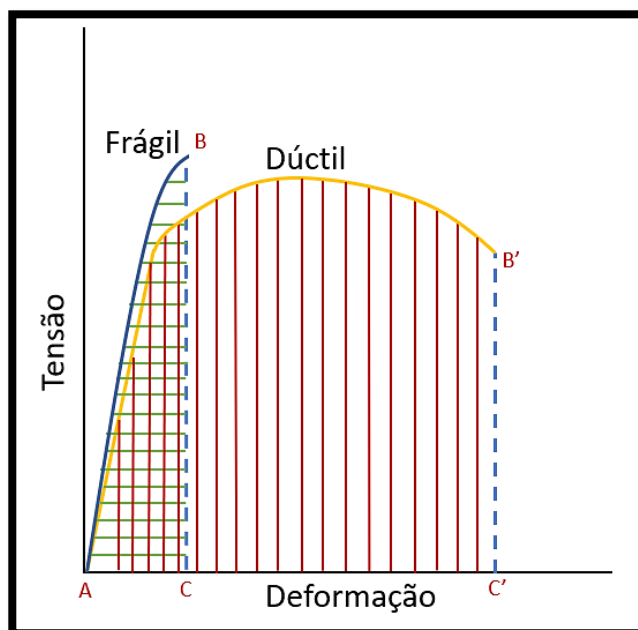


elástico e plástico), logo ele se fragmenta, **fraturando-se**, pois possui baixíssimo **grau de deformação plástica**.



Portanto, leve para sua prova: dizer que o material é **dúctil** quer dizer que ele **não é frágil!** Seu **grau de deformação plástica** é alto!

Veja abaixo o gráfico que compara esse comportamento em **duas curvas** tensão x deformação. Perceba que a área marcada com linhas horizontais em **verde** denota a característica do material frágil (pequena deformação). Já a área marcada com linhas verticais em **vermelho** mostra a característica do material dúctil (grande capacidade de deformação).



10

Outra propriedade mecânica que precisamos compreender é a **resiliência**. Ela nada mais é que a **medida do grau de absorção e devolução energética** de um material **dentro da deformação elástica**. Ou

<sup>10</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



seja, é o quanto de **energia** proveniente de uma **tensão** o material consegue absorver até atingir o **limite de escoamento** do material (este que é o limite para entrar no campo de deformação **plástica**, já mencionado).

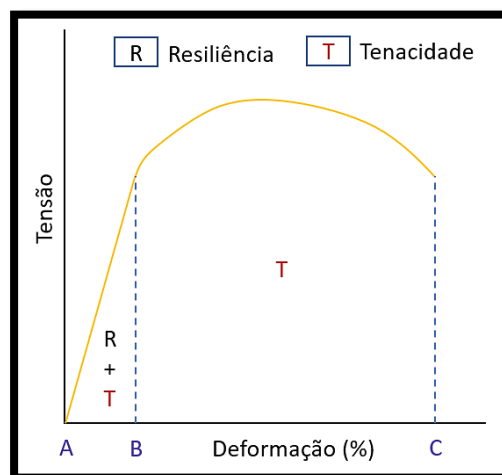
Logo, **resiliência** é uma **capacidade** que o material possui de **absorver** energia por uma tensão **sem se deformar plasticamente** e, assim que cessada a tensão, **devolver essa energia**.



**Resiliência**, dentro do campo de **deformação elástica!** **Ductilidade**, dentro do campo de **deformação plástica!**

Todavia, temos que classificar mais uma **propriedade** intimamente relacionada a **ductilidade**: é a **tenacidade!** Estrategista, muito simples: a **tenacidade** nada mais é que a **capacidade** do material de **absorver energia**, **porém** dentro do campo de **deformação plástica e elástica**.

Perceba o detalhe: a **ductilidade** é uma **medida do grau de deformação**. Ela é calculada em % de redução de **área de seção e comprimento** do material, como vimos. A **tenacidade**, Coruja, é o **quanto** esse material **absorveu de energia** até atingir a fratura. Nesse sentido, Coruja, perceba que a **resiliência** compreende a área abaixo da curva compreendida entre os pontos **A** e **B**. Por outro lado, a **tenacidade** compreende a área da curva entre os pontos **A** e **C** (toda a área da curva expressa pelo gráfico em questão). Veja na figura a seguir:



11

<sup>11</sup> Adaptado de Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.





**Ductilidade:** medida do grau de deformação! **Tenacidade:** capacidade de absorção de energia total na deformação (elástica e plástica)

Uma pergunta que pode surgir agora é: “Tá, professor, mas todas essas propriedades também se aplicam a esforços de resistência a compressão?”. A resposta é sim, Estrategista!

A única diferença que é interessante termos em mente é que quando falamos em compressão, a resistência do material em relação a ductilidade e a tenacidade fica difícil de ser mensurada. A comparação entre seu estado original e final é prejudicada, já que quando o material é comprimido, a medida do grau de deformação fica comprometida.

Isso acontece porque ao passo que a tensão de compressão aumenta, a peça tende a ter a seção transversal aumentada e alargada, sem ocorrer sua ruptura, gerando o formato de um disco. É como se pegássemos aquelas massinhas de modelar de criança e comprimíssemos com as mãos. É o mesmo princípio.

Assim, a medida do grau de ductilidade do material até a ruptura ficaria comprometido, justamente porque não ocorrerá a ruptura. Além disso, a tenacidade também fica comprometida, já que é a capacidade de absorver energia até a ruptura e ela não ocorre. Pegou o “bizu”, Estrategista?

Todavia, a resiliência e os limites de escoamento dos materiais podem ser medidos e compreendidos quando se avalia a resistência a compressão, já que são propriedades relacionadas ao campo elástico.

## Dureza

Uma importante propriedade mecânica para nós é a dureza e as medidas do quanto cada material é considerado duro. Sem adentrar as diferentes conceituações que existem para diferentes áreas do conhecimento, para nós, dureza é: um tipo de resistência de um material a uma deformação plástica de penetração, pequena e localizada.

Para a Engenharia, essa definição supre e atende as nossas expectativas.

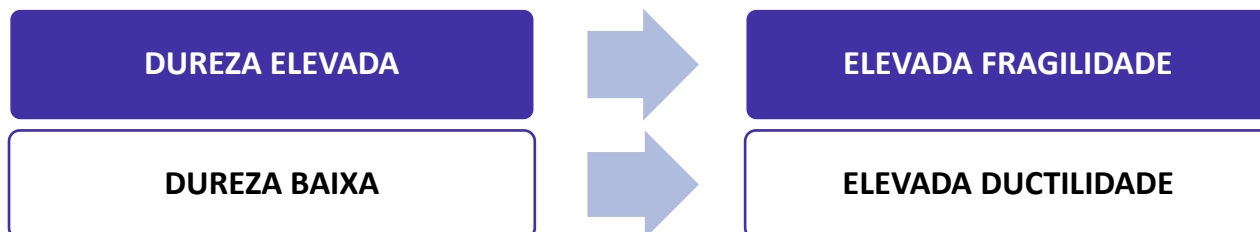
Lembra do exemplo do pedaço de vidro? Ele é bem duro, porém frágil (quem nunca quebrou um copo de vidro no chão e deixou a mãe bem brava?). Pois é. Agora, quando cai da nossa mão uma lata de refrigerante, ela quebra? Não, porque ela não é frágil como o vidro.





Dependendo do serviço, o desempenho de um material duro e sua resistência estática será mais eficaz. Para outro serviço, não. Essa relação entre resistência e tipos de esforços é que precisa ficar clara em sua mente – **não necessariamente** um material **duro** será melhor para uma aplicação mecânica que uma material **mais mole**, mais **dúctil**. “Sacou”?

Nesse sentido, Estrategista, fica fácil fazermos a associação:



## Mecanismos para aumento da resistência mecânica

Coruja, quando falamos em **mecanismos para aumentar a resistência mecânica** queremos compreender alguns **processos** específicos que a liga metálica irá passar a fim de aumentar sua resistência (como a dureza, por exemplo).

Na realidade, temos algumas **técnicas** que irão impactar no movimento das **discordâncias** da microestrutura do material (lembre-se que a discordância está associada com a deformação plástica, pois pelo seus movimentos é que o metal terá maior facilidade de se deformar!). Assim, se um mecanismo específico consegue reduzir a mobilidade das discordâncias que existem nos arranjos organizados dos átomos que compõem as células unitárias e os grãos da microestrutura, temos, por exemplo, um material com maior resistência mecânica (como, por exemplo, um maior limite de escoamento, por exemplo, além da dureza).



Por isso, memorize, Coruja: para a doutrina dominante, todas as técnicas que veremos aumenta a resistência mecânica por conta da **restrição** ou **impedimento** de movimento de **discordâncias**! ;)

Agora, veremos as principais técnicas cobradas pela sua banca e que dizem respeito a metais **monofásicos** (metais multifásicos vimos que temos outras técnicas, como o tratamento de **têmpera** que visa aumentar a dureza da liga metálica, por exemplo).



Essas técnicas são: **encruamento** (também chamado de **trabalho a frio**); **redução do tamanho do grão**; **endurecimento por precipitação** e **endurecimento por solução sólida**.

## Encruamento

O encruamento (também chamado de **trabalho a frio** por muitos autores), consiste no aumento da **dureza** (resistência mecânica dos metais) por meio da **deformação plástica** na qual ele é submetido em temperaturas **abaixo da temperatura de recristalização do material**.

Ele surge justamente pela interação que vai existir entre as discordâncias dos grãos que constituem a microestrutura do material. Ele tem como consequência a elevação da dureza do material deformado plasticamente (quando feito em temperaturas bem abaixo da temperatura de recristalização desse material), pois surgem **tensões internas** geradas no material por essa deformação plástica.

Essas tensões **umentam as discordâncias** em sua microestrutura e, assim, essas novas discordâncias irão dificultar o movimento das demais discordâncias existentes, alteram o movimento natural dos planos cristalográficos formados. Dessa forma, o **escorregamento** desses planos se torna mais difícil de ocorrer.

Uma consequência que existe, Coruja, além do aumento da **resistência mecânica** (como os limites de escoamento e tração, bem como a dureza) é a **perda** da **ductilidade** do material. Além disso, **não há aumento da tenacidade** do material, conforme o encruamento é executado.

## Redução do tamanho dos grãos

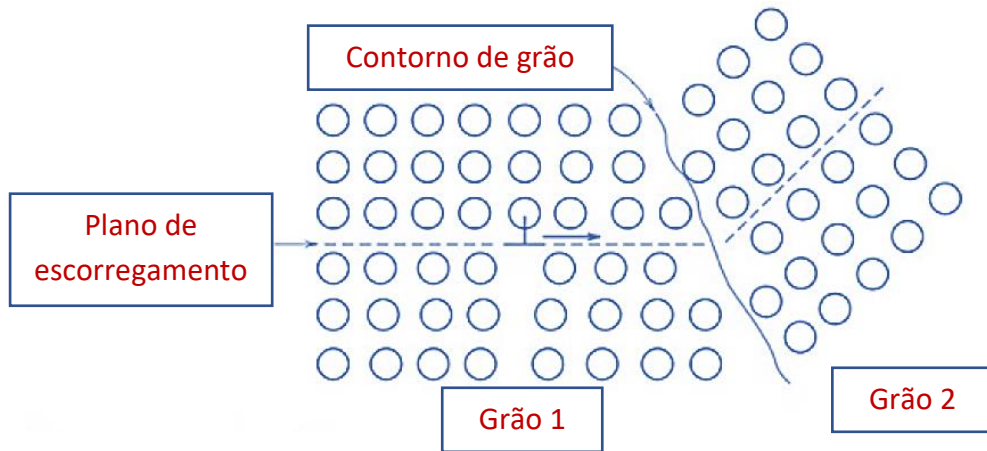
Estrategista, outra técnica muito utilizada é o **refino dos grãos** (redução do seu tamanho). "Ok, prófi, mas por que esse refino/redução de tamanho **umentaria** a dureza e resistência mecânica do material?"

Excelente, questão, minha corujinha alada! Quando o tamanho do grão fica fino, temos um aumento na dureza e na resistência mecânica, pois como os grãos são menores, temos **maior área de contorno** (com mais grãos por unidade de área) e essa área maior impede os movimentos das discordâncias entre eles. Por isso, se eleva a dureza.

Esse obstáculo formado pelo contorno do grão existe, Coruja, porque conforme uma discordância passe entre uma grão pra outro adjacente no retículo, temos diferentes orientações entre eles. Assim, uma discordância precisaria mudar sua **direção** a fim de continuar seu movimento, permitindo assim a deformação. Por isso, quanto **maior área de contorno** (por conta do maior número de grãos que estão



menores pelo refino) temos maior número de direções e dificuldade para a discordância se movimentar. Veja a figura<sup>12</sup> a seguir que ilustra esse fenômeno, Coruja.



Existe uma equação que pode vir a ser cobrada, Coruja, que apesar de simples, é importante você saber qual o seu objetivo. Essa equação é denominada **Equação de Hall-Petch** e ela é utilizada para **relacionar o tamanho do grão** com o **limite de escoamento** do material. Veja:

$$\sigma_1 = \sigma_0 + k_1 \cdot d^{-1/2};$$

Na qual,

- $\sigma_1$ : tensão limite de escoamento;
- $\sigma_0$ : tensão necessária para mover discordâncias livres do material;
- $k_1$ : constante do material;
- $d$ : diâmetro médio do grão;

Além disso, é estabelecido na doutrina dominante que o **refino dos grãos** (diminuição do seu tamanho) melhora, também, a **tenacidade** de grande número de ligas. Oras, vimos que a tenacidade não está somente relacionada com a deformação plástica do material e seu grau de ductilidade, mas também ao quanto esse material **devolve energia** que é absorvida.

<sup>12</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



## Endurecimento por precipitação

Coruja, o **endurecimento por precipitação** nada mais é que um tipo de **tratamento** (aplicado normalmente em ligas **não-ferrosas**, como alumínio, cobre, magnésio, níquel e titânio) que utiliza da precipitação em fases distintas de elementos de liga para gerar dureza.

Assim, o material da liga é aquecido até uma temperatura específica para ocorrer a dissolução de certos elementos e, depois, como na têmpera, ele é resfriado para que esses elementos fiquem **precipitados** em uma solução sólida. Esses precipitados serão um **obstáculo** no movimento dos planos cristalográficos e discordâncias do retículo cristalino e, logicamente, com vimos, como efeito temos o aumento da dureza e resistência mecânica do material.

Esse obstáculo que mencionei acontece por conta da deformação no retículo cristalino que os átomos do elemento de liga gera, podendo ser de característica **substitucional** ou **intersticial**.

## DIAGRAMAS DE FASES E CURVAS TTT

Estrategista, esse, sem sombras de dúvidas, é um tópico importantíssimo para sua prova. Compreender como funciona e como **ler** os diagramas de fases é crucial para você gabaritar esse assunto.

E por que é crucial estudá-los? Porque é a partir deles que o engenheiro consegue entender a **relação** que existe entre as **diferentes microestruturas** das **diferentes fases** do material e as **propriedades mecânicas** que se **modificam**.

Primeiramente, iremos abordar os principais conceitos inerentes aos diagramas para que depois tenhamos conhecimento suficiente para entender os **diagramas de fases binários** e, o principal deles, o **diagrama ferro-carbono**.

Por fim, entraremos nas **Curvas de Temperatura, Tempo e Transformação (TTT)** a fim de fazermos a “ponte” para a seção de tratamentos térmicos com foco em **aços**.

### Diagrama de fases – principais conceitos

O primeiro conceito que devemos ter em mente é o de **componente**. Os componentes, Estrategista, nada mais são do que aqueles compostos, elementos químicos que vão compor a **liga metálica**.

Nesse sentido, em uma liga Fe-C, os dois **componentes** são: o **ferro (Fe)** e o **carbono (C)**. Nesse sentido, esses componentes vão fazer parte de um **sistema**, no qual teremos **diferentes porcentagens** de um elemento e de outro.



Por exemplo, em um **aço** teremos a presença de átomos de **ferro** e também de átomos de **carbono**, formando a liga metálica **F<sub>e</sub>-C**.



Estrategista, o **aço** é o nome dado a liga que possui **ferro e carbono!** Guarde isso! Nada de pensar que o **aço** só possui átomos de ferro em sua composição!

Nesse sentido, você pode me perguntar: “professor, mas qual são essas porcentagens? Ou seja, o quanto de ferro e o quanto de carbono, nesse exemplo, essa liga possui?”.

Pois bem, Estrategista, para entender esse raciocínio, é válido compreendermos o conceito de **solubilidade**.

**Solubilidade** nada mais é que a medida de **concentração** de um **soluto** em um determinado **solvente**. “Tá, ok, professor. E o que é soluto e o que é solvente, diacho? Rs. Hey, calma! Rs.”.

**Soluto** nada mais é que a substância inserida em um **sistema** em **menor** quantidade. Já o **solvente** é a substância em **maior** quantidade e que dissolve o **soluto**.

Por exemplo, quando você vai fazer um achocolatado em casa, você mistura o leite e o chocolate em pó, certo? Pois bem. Nesse **sistema** (achocolatado = leite + chocolate em pó), o **soluto** é o chocolate em pó e o **solvente** é o leite. Veja que você não vai colocar uma colher de leite em um copo de chocolate em pó, certo? E, sim, contrário.

Outro exemplo que podemos citar é o **sistema** água e açúcar. Assim, com o mesmo raciocínio, podemos perceber que o **soluto** é o açúcar (ou  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , fórmula da glicose) e o **solvente** é a água ( $H_2O$ , fórmula da água).

Dessa forma, quando falamos em **solubilidade** a gente quer entender justamente qual a **concentração** desses **solutos** em determinados **solventes**. Porém, Coruja, teremos um **valor máximo**, a depender da **temperatura** e da **pressão** que o **soluto** consegue se dissolver no **solvente**. A esse **limite máximo** a literatura deu o nome de **Limite de Solubilidade**.

“Mas, porque é importante conhecermos ele?” Porque a depender da situação, as propriedades físicas, químicas e mecânicas do material (da liga metálica que possuem esses **componentes**) **vão se alterar**.

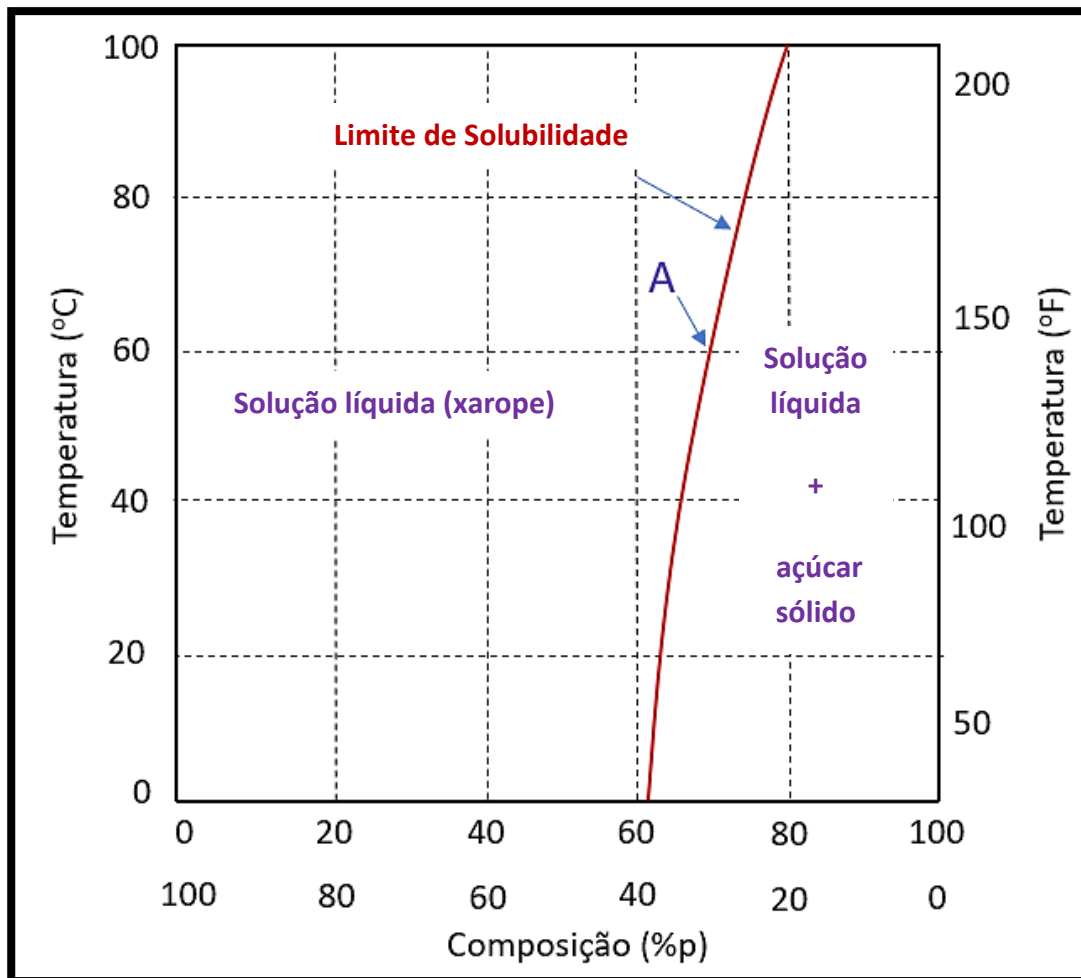


Ainda dentro desses conceitos, a depender das **concentrações** de **soluto** e de **solvente**, a **solução** (união de **soluto** e **solvente**) receberá as seguintes classificações:

- **Solução Saturada:** é justamente a **solução** que **atingiu o Limite de Solubilidade**, dada um temperatura e uma pressão. É, em nossos dois exemplos, a **máxima** concentração de **soluto** (chocolate em pó ou açúcar) que **o sistema** suporta para ter uma **solução homogênea** com o **solvente** (leite ou água);
- **Solução Insaturada:** corresponde a **concentrações de soluto abaixo do Limite de Solubilidade**, caracterizando um **solução homogênea** porém “não muito concentrada”. É como se nos nossos exemplos colocássemos pouco chocolate em pó ou pouco açúcar na água. Faz o teste aí, Estrategista! Sabe aquele achocolatado “ralinho”, sem gosto, horrível, porque colocou pouco chocolate? Então, aquela é uma solução **insaturada**.
- **Solução Supersaturada:** seguindo a linha de raciocínio, é quando **temos mais soluto do que o Limite de Solubilidade**. Normalmente, se não alterar a temperatura e a pressão, teremos uma **solução heterogênea**, ou seja, com duas **fases**: uma com o **soluto** dissolvido no **solvente** e outra com um **precipitado**. Em nosso exemplo, é quando você, doido(a) para tomar aquele achocolatado caprichado, coloca 12 colheres de chocolate em pó em um copo de 200 ml de leite. O que acontece? Faz aquele achocolatado grosso, **concentrado**, e no fundo do copo, fica **aquele precipitado**, denso e não dissolvido. Pegou o “bizu”? (Cuidado com a saúde, hein, Corujinha?)

Perceba, Estrategista, que eu sempre menciono **temperatura e pressão**, certo? Isso porque ambas estão relacionadas e influenciam no **Limite de Solubilidade**. Normalmente, quanto maior a **temperatura** e/ou **pressão**, **maior** concentração de soluto no solvente pode ser atingida. Veja o gráfico a seguir e vamos tecer algumas consideração.





13

Perceba, pelo gráfico acima, que temos nas ordenadas as temperaturas em °C e em °F de cada lado e as **concentrações** na abscissa, tanto de açúcar quanto de água, bem como as porcentagens de cada substância. Além dessas informações, temos a **curva Limite de Solubilidade** que expressa, para cada temperatura, as **concentrações de soluto e de solvente**.

A título de exemplo, se pegarmos nesse gráfico a **temperatura** de **60°C** e cruzarmos ela com a **curva de Limite de Solubilidade**, acharemos uma concentração de, aproximadamente 70% de açúcar e 30% de água, correspondente ao ponto “A” que marquei no gráfico.

Ou seja, podemos concluir que **variando a temperatura** e/ou a **pressão** (pois, guarde que ela afeta a temperatura), altera o quanto podemos colocar de **soluto** em uma **solução já saturada**.

<sup>13</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



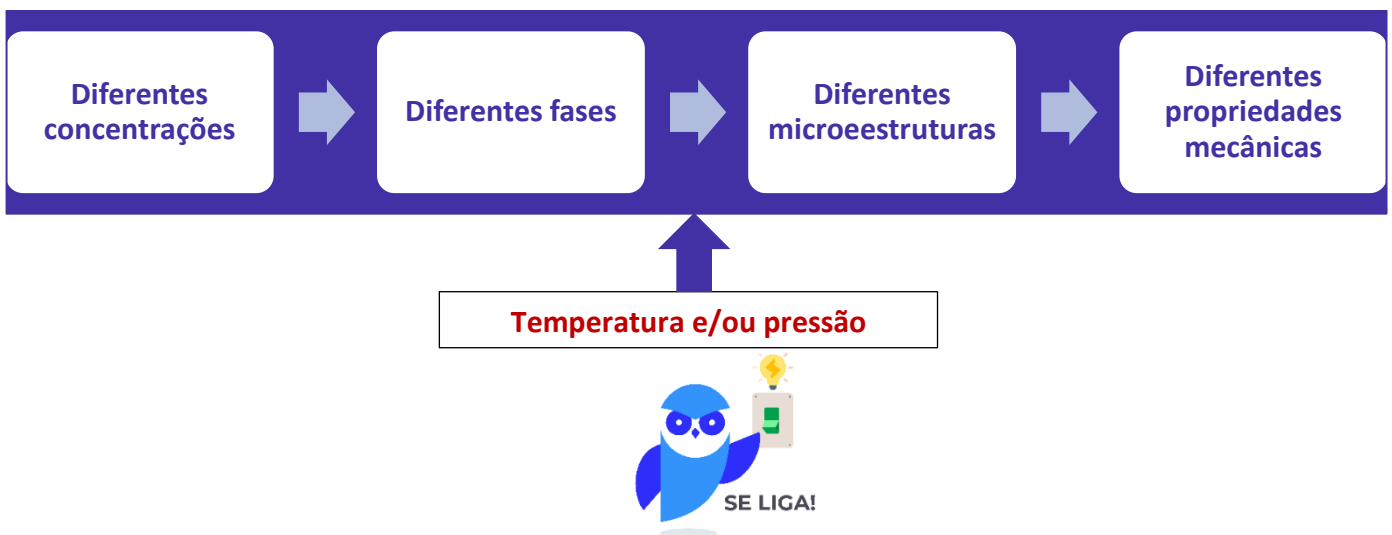
Esse mesmo raciocínio, Estrategista, também é empregado em **soluções sólidas**, nas quais os átomos do **soluto** vão fazer parte e substituir átomos do **solvente** na estrutura **crystalina**, por exemplo, de materiais que a possui. Aqui é que entramos com o **sistema (solução) Fe-C**.

E, assim, com essa presença de determinados átomos de determinados elementos químicos, alterando a **microestrutura** do **crystalino**, teremos diferentes **propriedades mecânicas** dos materiais correspondente a **liga** estabelecida.

Essa alteração na microestrutura será acompanhada na mudança de **fase** de cada liga, Coruja. Justamente a **fase** é o que vai determinar as diferentes propriedades mecânicas do material. Por exemplo, quando falamos do achocolatado, temos que o chocolate em pó é uma **fase**, com propriedades diferentes da **fase** leite. Quando misturamos e obtemos a solução, podemos ver as diferentes fases estando elas em **equilíbrio** ou não.

Quando se diz que uma fase está em **equilíbrio**, quer dizer que a concentração permanece estável ao longo do tempo, pois a **energia** dos átomos naquele momento está **mínima**, próxima a 0. Mudanças na **temperatura** e/ou **pressão** fornecem energia e os átomos modificam e mudam para um estado no qual essa energia fornecida seja minimizada. Assim, as **fases** presentes mudam, impactando na **microestrutura** do **crystalino** e, conseqüentemente, nas **propriedades mecânicas** do materiais.

Logo, temos que ter em mente o seguinte esquema, Estrategista, para adentrarmos na próxima subseção e falarmos dos diagramas de fases binários (2 elementos) do Fe-C:



Estrategista, uma lei que você precisa conhecer a definição é a famosa **Lei de Fick**. Ela nos diz que a **quantidade** de um substância "m" que irá passar, por unidade de tempo "t", por uma unidade de área "A", a um plano em ângulo reto em relação a um ponto "x", é **proporcional** ao gradiente de concentração dessa substância em difusão em **ligas binárias**

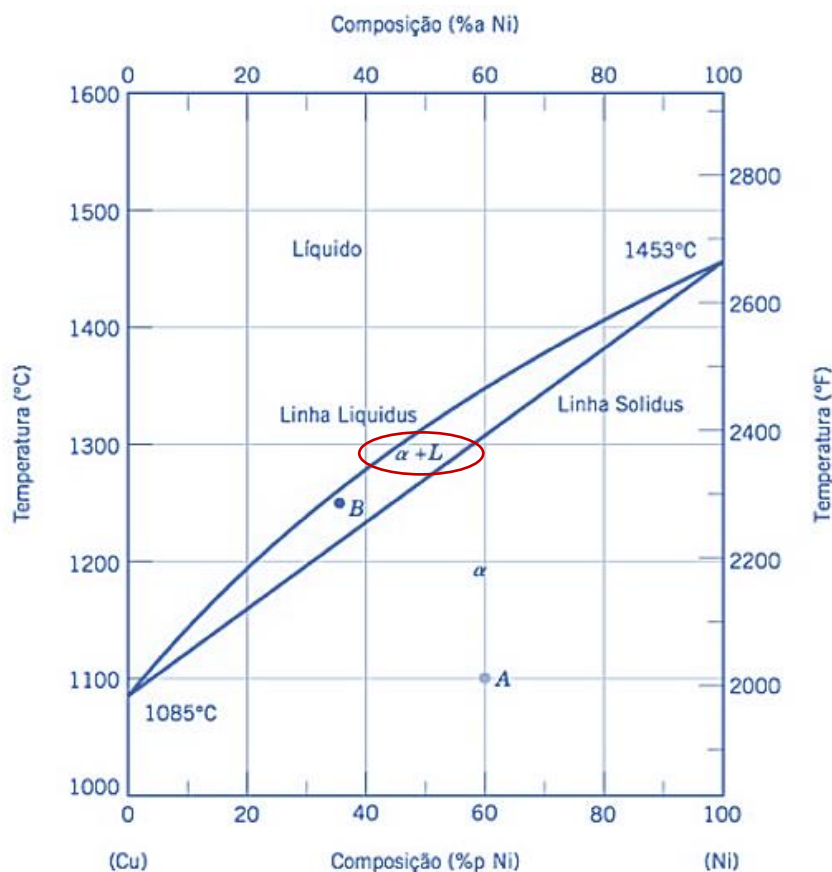




(dois componentes). Atenção, pois quando ela é cobrada, para gente, é importante saber sua definição! ;)

Estrategista, além desses pontos é necessário conhecermos uma ferramenta que pode vir a ser cobrada na sua prova conhecida como **Regra da Alavanca**. É bem simples, Coruja. Consiste, na realidade, em um modo de se obter as **concentrações** de cada elemento de uma liga binária (com dois componentes, como a liga ferro-carbono e liga cobre-níquel, por exemplo) para cada fase quando temos mais de **duas fases** no diagrama de fases da liga.

Para entender essa regrinha, Estrategista, convém aplicarmos o diagrama cobre-níquel (dois componentes), pois além de ser mais simples para o entendimento é o diagrama mais utilizado pela doutrina (maio chance de aparecer em prova). Isso porque ele é um exemplo de diagrama **isomorfo** (pois há a completa solubilidade dos dois componentes nos estados sólido e líquido). Veja a diagrama<sup>14</sup> de fases dessa liga, Coruja:



Nesse diagrama, Estrategista, perceba que a depender da composição e da temperatura, temos a mudança de fases dessa liga (cobre-níquel). Oras, do lado esquerdo temos cobre (Cu) 100% e 0% de níquel

<sup>14</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



(Ni) e do lado direito, o inverso. Dessa forma, perceba que a linha *liquidus* vai dividir a fase **líquida** (fase com solução líquida homogênea de cobre e níquel) com o começo da solidificação da liga, representada por uma região **bifásica** (circulei em vermelho) temos duas fases da liga presente: sólida ( $\alpha$ ) + líquida (L).



Coruja, é comum na literatura termos as letras gregas (alfa =  $\alpha$ ; beta =  $\beta$  e gama =  $\gamma$ , por exemplo) para designação de fases **sólidas** dos diagramas. ;)

Estrategista, a regra da alavanca surge justamente para identificarmos, em diagramas que estejam em equilíbrio como este, as **fases presentes** (a depender da composição e da temperatura fica fácil visualizarmos), a **determinação da composição das fases** (leitura de **linhas de amarração**, já veremos o que elas são) e a **determinação das frações das fases** (aqui entra a **regra da alavanca**).

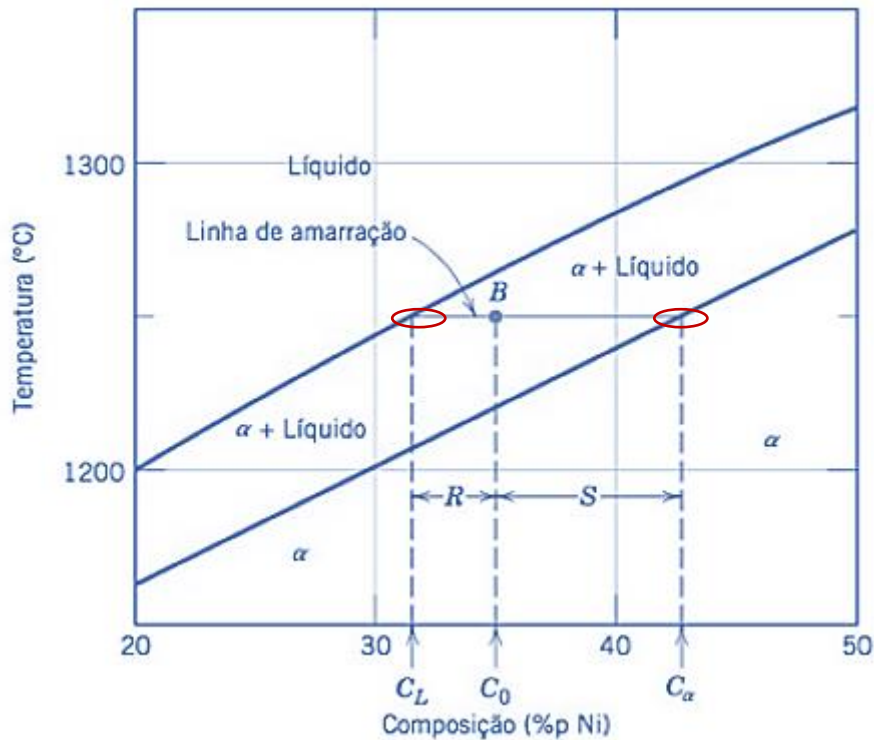
Oras, Coruja, determinar a **fase presente** é bem simples, certo? Basta fazemos que nem aquele joguinho "Batalhe Naval" e saberemos qual fase as coordenadas se referem. Por exemplo, me diga qual a fase de uma liga com 60% de Ni e 40% de Cu a uma temperatura de 1100°C (ponta "A", no gráfico). Oras, a fase é **sólida** ( $\alpha$ ). Veja lá no gráfico.

Agora, para determinarmos a **composição das fases**, temos dois métodos a depender da região que estamos (monofásica ou bifásica). Se o ponto de análise estiver em uma região **monofásica**, o procedimento é muito bobinho, Estrategista, pois é igual ao que falei no parágrafo anterior - a composição da fase é a mesma da composição global da liga naquele ponto de teores de cada elemento e temperatura. Ou seja, a composição das fases do ponto "A" será, também, 60% Ni e 40% Cu a 1100°C.

O pega começa quando temos que saber a **composição das fases** na região **bifásica**. Assim, utilizaremos **linhas imaginárias** denominadas de **isotermas** ou **linhas de amarração** que vão sair do ponto que desejamos determinar a composição das fases até as **linhas de fronteiras** (*liquidus* e *solidus*) do nosso diagrama. Veja a figura<sup>15</sup> a seguir.

<sup>15</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.





Perceba que cada extremidade da linha de amarração (isoterma) irão se encontrar em cada linha de fronteira. Nessas intersecções formadas serão lidas as concentrações de cada componente da liga e, assim, determinada cada concentração para cada fase. Por exemplo, no diagrama acima temos o ponto "B", certo? Veja que a linha de amarração vai até a linha *liquidus* e até a linha *solidus*. Nesses pontos (marquei em vermelho) teremos as concentrações das fases líquida e sólida, respectivamente. Assim, teremos, no ponto B, uma liga na região bifásica com concentração global  $C_0 = 35\%$  de Ni e 65% de Cu a  $1250^\circ\text{C}$ , cuja **fase líquida** tem uma concentração  $C_L = 31,5\%$  Ni e 68,5% de Cu a  $1250^\circ\text{C}$  e **fase sólida** uma concentração  $C_\alpha = 42,5\%$  Ni e 57,5% Cu, aproximadamente.

Portanto, resumindo, Coruja: achar a **concentração das fases** só precisa da **linha de amarração** e a interseção com as linhas de fronteira das fases (*liquidus* para líquido e *solidus* para sólida).

A complexidade é um pouco maior (e aí utilizaremos a **regra da alavanca**) para determinar as **frações dessas fases** para o ponto da região bifásica. Assim, o procedimento é basicamente o mesmo que o anterior, só que teremos que dividir cada diferença de concentração pelo somatório (100%) da linha de amarração. O único ponto que você precisa guardar é que a fração de uma fase será dada pela região da linha de amarração até a **outra fase**. Confuso? Vejamos um exemplo, pois é totalmente prático esse ponto da matéria.

Veja o nosso ponto "B" acima. Oras, queremos achar as frações das fases sólida e líquida desse ponto. Sabemos que nesse ponto temos uma concentração global  $C_0 = 35\%$  Ni e 65% Cu, porém não sabemos o que é de sólido e o que é de líquido. Assim, chama-se **fração mássica** a fração de cada fase e a determinamos para a **fase líquida** da seguinte forma:



$$\text{Fração líquida} = \frac{S}{R + S} = \frac{C_{\alpha} - C_0}{C_{\alpha} - C_L};$$

Ou seja, Coruja, a fração líquida será dada pela divisão da região "S" do diagrama (ou seja, parte da linha da amarração que vai até a linha *solidus* - por isso eu lhe disse que é até a **outra fase**) pelo total (parte "R" + "S" da linha). Logo, substituindo os valores para o Níquel - só precisamos utilizar um componente da liga binária, já que o restante será do outro componente para chegar em 100% - temos:

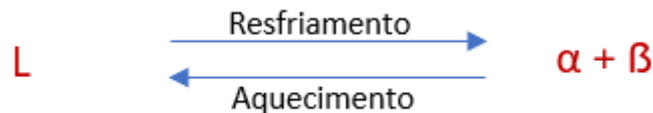
$$\text{Fração líquida} = \frac{42,5 - 35}{42,5 - 31,5} = 0,68;$$

Para a fase sólida, temos o mesmo raciocínio:

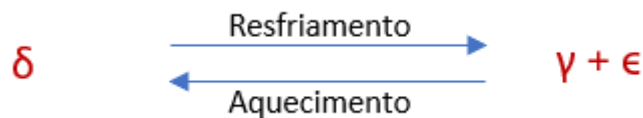
$$\text{Fração sólida} = \frac{R}{R + S} = \frac{C_0 - C_L}{C_{\alpha} - C_L} = \frac{35 - 31,5}{42,5 - 31,5} = 0,32;$$

Coruja, sobre essa regrinha era isso que precisávamos conhecer. Outro ponto que acho interessante comentarmos sobre os diagramas de fases eutéticos é em relação a alguns **pontos invariantes** que podem aparecer e suas respectivas reações no aquecimento e no resfriamento. Esse pontos são **pontos de equilíbrio**, Coruja, nos quais mais de fase estará em equilíbrio. Vejamos quem são eles e suas reações:

- **Reação eutética:** no resfriamento, **uma fase líquida (L)** se transforma em **duas fases sólidas ( $\alpha + \beta$ )** na temperatura específica (temperatura do ponto eutético da liga). No aquecimento, o processo inverso ocorre. Abaixo temos a expressão dessa reação:

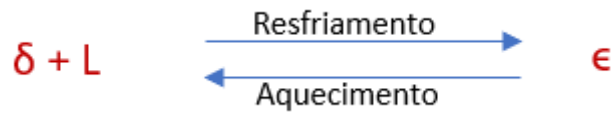


- **Reação eutetóide:** no resfriamento, **uma fase sólida ( $\delta$ )** se transforma em **duas outras fases sólidas ( $\gamma + \epsilon$ )**. No aquecimento, novamente, ocorre o inverso. Veja a expressão abaixo:

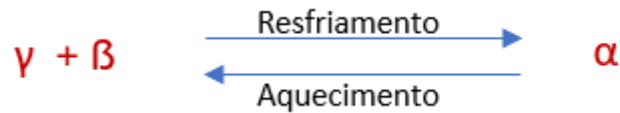


- **Reação peritética:** no aquecimento, **uma fase sólida ( $\epsilon$ )** se transforma em **uma fase líquida (L)** e **outra fase sólida ( $\delta$ )**. Por conseguinte, no resfriamento, temos a transformação inversa. Veja a expressão dela:





- **Reação peritetoide:** no resfriamento, **duas fases sólidas** se transforma **em uma fase sólida única**. No aquecimento, temos a transformação inversa. Veja a expressão característica:

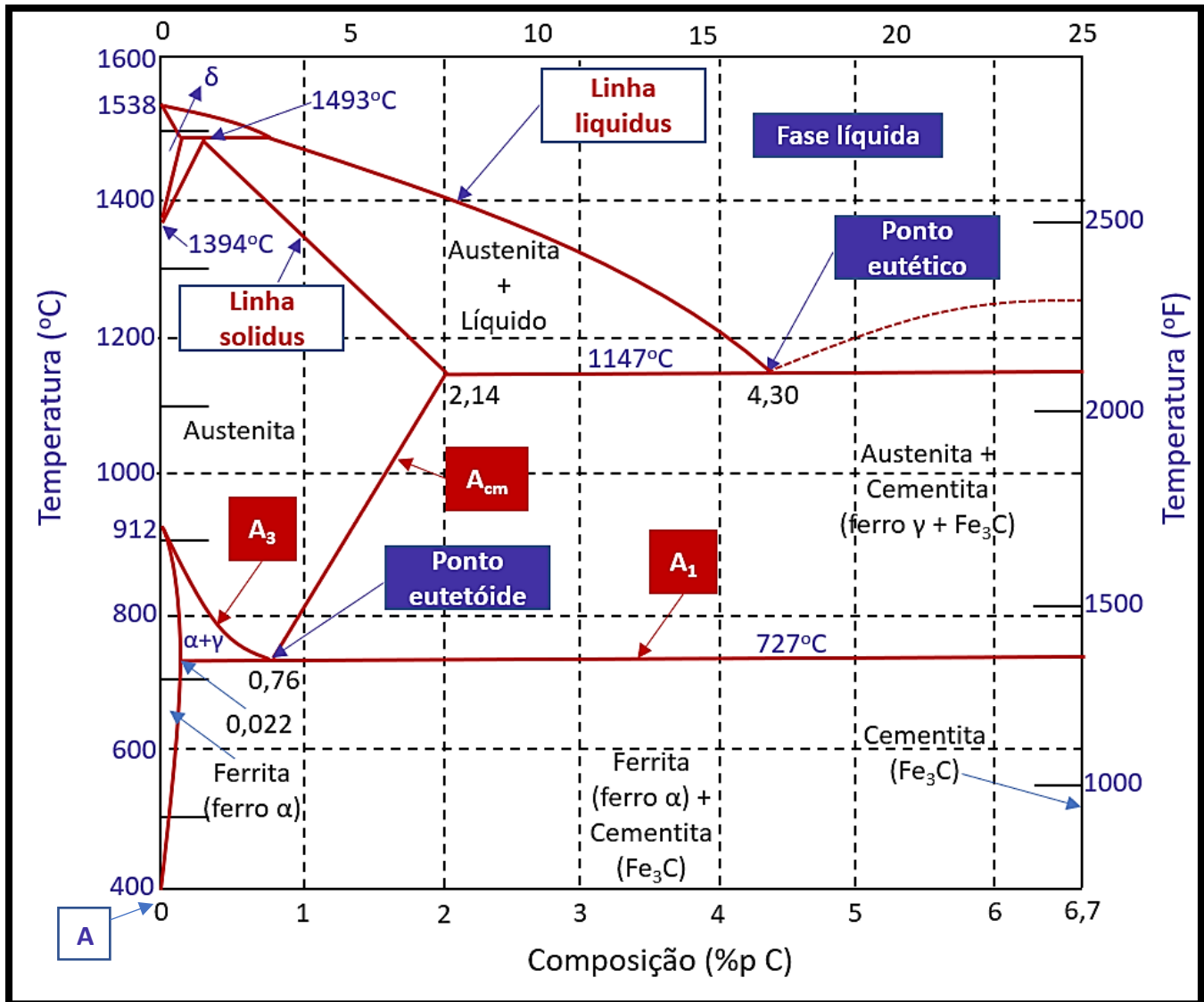


## Diagramas de fases – (Fe-C)

Coruja, a fim de tornar nosso estudo mais dinâmico e menos traumático, explicarei os principais conceitos e interpretação dos diagramas para a liga **ferro e carbono**. Com certeza, é de grande incidência em prova saber identificar as **regiões** do digrama e entender o que acontece com as variações de **temperatura e composição** em relação a **microestrutura**.

Primeiramente, quero apresentar você ao famigerado diagrama. Estrategista, essa “belezura” aí é o nosso “amiguinho”:





16

A primeira coisa que você precisa identificar é que ele é um gráfico **binário** que contém as **concentrações** de carbono no ferro no eixo das abscissas, ao passo que a **temperatura** está no eixo das ordenadas.

Ao lado esquerdo de quem observa o diagrama, temos a **temperatura em °C** e ao lado direito em **°F**. Além disso, temos do lado **esquerdo**, o **ferro puro** (marquei no gráfico com a letra "A", no canto inferior esquerdo) região do gráfico onde a concentração de **carbono** é **0**. Conforme vamos em direção ao lado **direito** do gráfico (sempre do observador, no caso, você, Estrategista) a **concentração** do carbono **aumenta** (ele é o soluto nessa solução) até um máximo de **6,70%**.

<sup>16</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



O ferro puro, lado esquerdo do gráfico, conforme é **aquecido** e sua temperatura aumenta, ele sofre mudanças em sua **microestrutura** antes de se tornar líquido (**fundição**). São **duas** as principais mudanças e elas recebem o nome de **ferrita ou ferro  $\alpha$  (ferro alfa)** e **austenita ou ferro  $\gamma$  (ferro gama)**. Marquei ambas no diagrama acima, Estrategista. Dê uma olhada :). São as indicações com setas azuis.

Assim, podemos fazer algumas observações a respeito dessas **microestruturas**:

- **Ferrita ou ferro  $\alpha$** : possui forma estável, com uma célula unitária de estrutura **Cúbica de Corpo Centrado (CCC)** até **912°C**;
- **Austenita ou ferro  $\gamma$** : possui mudança na sua célula unitária e, conseqüentemente, na sua estrutura para **Cúbica de Face Centrada (CFC)** até **1394°C**;
- **Ferrita  $\delta$  ou ferro delta**: o ferro puro conforme aquecido de **1394°C a 1538°C**, volta a ter célula unitária CCC até se fundir e atingir a fase **líquida**;

Estrategista, todas essas definições acima se aplicam para o **ferro puro**, ou seja, partindo do “0” do gráfico e elevando a sua temperatura.

Conforme vamos aumentando a concentração de **carbono** até o **limite de solubilidade** para os aços **de 6,70%**, outra **microestrutura** surge, denominada **cementita ou carboneto de ferro ( $Fe_3C$ )**.

No gráfico, também marquei em caixa vermelha e letra branca, as linhas **Acm** que determina a **máxima** solubilidade do carbono ou do  $Fe_3C$  no ferro  $\gamma$  (ferro gama). Volta lá, dê um “look”. Sempre vá no gráfico e confere para fixar.

Também marquei a linha **A<sub>1</sub>**, que representa, em condições de equilíbrio e resfriamento lento, **ferro alfa + cementita** abaixo de **727°C** e **austenita + cementita**, **acima de 727°C**.

Temos também **A<sub>3</sub>** que limita as fases austenita + ferrita e somente austenita. A **Acm** é a linha que delimita a fase da **austenita e da austenita + cementita**.

Por fim, as linhas **solidus** e **liquidus**, delimitam as fases que contém somente sólido e sólido + líquido (**solidus**) e sólido + líquido e somente líquido (**liquidus**).

A **cementita** pura, linha ao lado esquerdo do gráfico, delimita o limite entre os **aços** e os **ferros fundidos**, passando a atuar, quando acima de concentrações de 6,70% de carbono predominantemente até 100% de carbono, chamada de grafita pura. Essa parte foge ao escopo do nosso estudo, Estrategista.



Assim, o que podemos compreender é que os átomos de **carbono** constituem impurezas intersticiais do **ferro**, ou seja, em soluções sólidas, os átomos de carbono vão se dissolver no cristalino do ferro, fazendo parte de sua **microestrutura**.

Todavia, como vimos na parte da **solubilidade** da nossa aula, essas concentrações de carbono vão **variar** conforme a **temperatura** e **pressão**. Conseqüentemente, com a mudança em **microestrutura** por conta das diferenças nos **arranjos** dos átomos de ferro na **célula cúbica**, para cada estágio da temperatura, teremos ou não a presença do **carbono**.

Em outras palavras, Estrategista, na **ferrita ou ferro  $\alpha$** , por exemplo, por ter sua célula unitária do **cristalino** CCC (Cúbica de Corpo Centrado), somente teremos átomos de carbono “interferindo” e “se metendo” no meio desse arranjo em concentrações de 0,022% a uma temperatura de **727°C**. Dá uma olhada na no gráfico nesse número!

Nesse sentido, Coruja, pode surgir a pergunta: “Ah, mas para quê colocar o **carbono aí?**”. Estrategista, o carbono é essencial para elevar a **dureza** do aço. Quanto maiores forem as concentrações de carbono, normalmente, maior será a dureza.

Assim, podemos perceber que a **cementita** gera no **aço** a elevada **dureza** e elevada **fragilidade**. Conforme a variação de concentração de **carbono**, temos a seguinte formação:

- **Ferro puro: até, aproximadamente, 0,022% de carbono – (em temperatura ambiente, consegue manter em solução até 0,008% de carbono – insignificante);**
- **Aço: de, aproximadamente, 0,022% até 2,06% de carbono;**
- **Ferro fundido: de, aproximadamente, 2,1% até 4,3% de carbono;**

Assim, Coruja, as características e propriedades mecânicas das ligas ferro-carbono vão se modificando baseadas nessas concentrações.

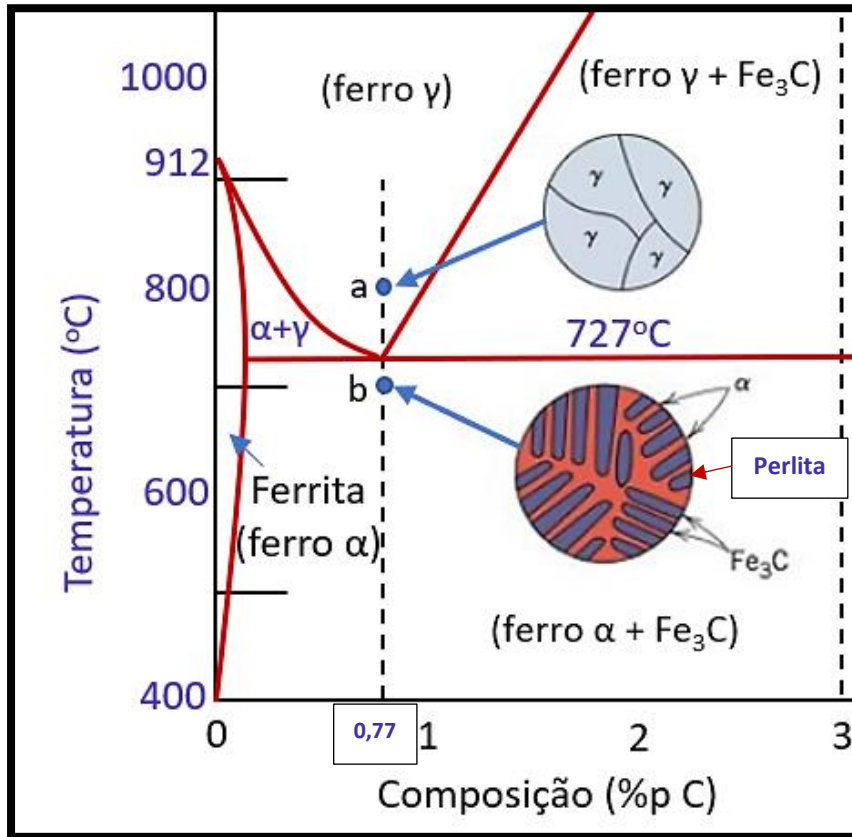
Nesse sentido, podemos perceber as **diferentes microestruturas** que são formadas, em diferentes estágios de **temperaturas** e **concentração**. Veja que no gráfico acima eu sinalizei um ponto chamado **eutetóide**.

Fique tranquilo, Estrategista, **eutetóide** nada mais é que a denominação **de um aço** que possui 2 fases distintas em equilíbrio (**a austenita e a ferrita**). Nesse ponto, a **concentração de carbono é de, aproximadamente, 0,77%**. Esse é um ponto importante para nós, pois nele será obtida uma **microestrutura** chamada **perlita** bem evidente.





Quando resfriado um aço que estava acima dos 727°C (campo austenítico) até a transformação da ferrita, forma-se a estrutura **perlítica** que é justamente caracterizada pela formação de **lamelas alternadas de cementita e ferrita**. Veja a figura abaixo, dada a concentração de 0,77% que mencionei (um pouco abaixo de 1% de carbono), o “jeitão” da microestrutura em “a” e em “b”.



17

Nesse sentido, Estrategista, para cada concentração de carbono, teremos **diferentes microestruturas** conforme se aquece ou se resfria o material. Assim, temos o **ferro comercial puro** temos a microestrutura com somente a fase **ferrita** e para o **aços eutetóides (0,77% de C)** somente a fase **perlita**. Antes disso, vamos definir mais dois tipos de **aços**: os **hipoeutetóides** e os **hipereutetóides**.

- **Aços Hipoeutetóides**: teor de carbono entre **0 e 0,77% (aproximadamente)**, possuindo microestrutura de **ferrita + perlita**, além de resistência e dureza maiores que o **ferro puro** (somente **ferrita – ferro  $\alpha$** ) que é **dúctil e mole**;
- **Aços Hipereutetóides**: teor de carbono entre **0,77% e 2,11% (aproximadamente)**, possuindo microestrutura **perlita + cementita**, com dureza e resistência elevada quanto maior a concentração de carbono e **baixa ductilidade**.

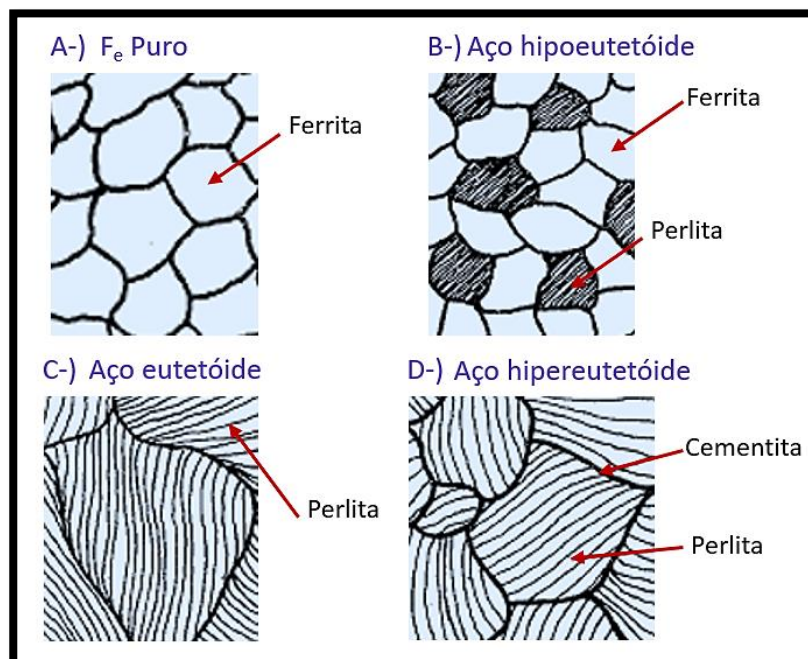
<sup>17</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Estrategista, abaixo coloco para você 4 figuras que mostram as diferenças entre cada tipo de aço conforme a composição de carbono. Perceba as microestruturas e as diferenças que podem aparecer em uma figura em sua prova.



Se liga, Coruja! No diagrama ferro-carbono temos apenas as fases: ferrita, austenita, líquida e cementita! A **perlita não é uma fase** e, sim, uma composição duas fases: ferrita e cementita! ;)



18

Antes de vermos as **curvas TTT**, vamos ver alguns aspectos dos **ferros fundidos**. Avante, Coruja!

## Ferros fundidos.

Aqui temos que entender o que acontece quando temos as concentrações maiores do que **2,2% de carbono na liga** e menores que **4,3%** (na prática). Além disso, saiba que os ferros fundidos podem ser

<sup>18</sup> Adaptado de Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



classificados como **ligas ternárias** (por conta de teores consideráveis de **silício**). Essa liga ferro-carbono é muito empregada na fundição por conta da temperatura de fusão (para estado líquido) menores que nos aços.

Além disso, temos diferentes tipos de **Ferros Fundidos**. Para nossa prova, teremos **5 tipos**, cujas propriedades e características são:

### Ferro Fundido Branco:

Possui coloração branca por conta do alto teor de carbono na forma de carboneto  $Fe_3-C$  (**cementita**), dando esse aspecto quando atinge fratura. Esse **ferro fundido** tem elevada **dureza** e resistência ao **desgaste**, além de baixa **usinabilidade e ductilidade**. Além disso, possui teor de **silício** baixo (cerca de 1,0%). Por conta da grande concentração de carbono na forma de cementita (muito por conta do resfriamento rápido na formação desse tipo de ferro fundido) a baixa ductilidade confere alta fragilidade a liga. É comumente utilizado como revestimento para misturadores de cimento.

Veja a figura<sup>19</sup> de sua microestrutura, a seguir, Coruja.



### Ferro Fundido Maleável

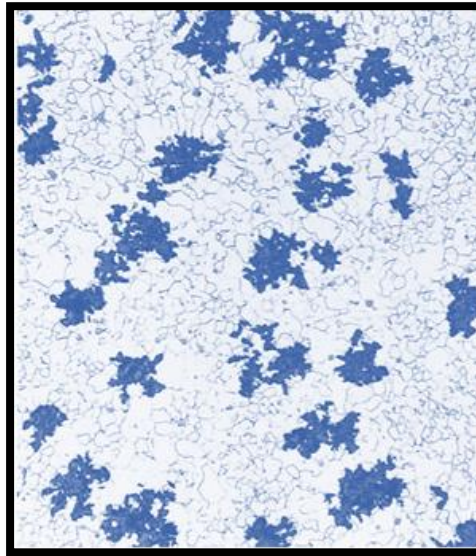
Este tipo é o **Ferro Fundido Branco** que sofreu um tratamento térmico especial, normalmente de elevada duração que o torna **dúctil e tenaz**, além de conciliar alta **propriedade de resistência mecânica** como à tração, à fadiga e ao desgaste.

---

<sup>19</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Essas propriedades são alcançadas por tratamento térmico com temperaturas de 800 a 900°C, por muito tempo e em meio neutro (para prevenir oxidação). Dessa forma, os teores elevados de **cementita** do ferro fundido branco é decomposto, formando a **grafita** (existente na forma de aglomerados ou rosetas envolvidos por matriz ferrítica ou perlítica a depender do resfriamento posterior). Veja a figura<sup>20</sup> a seguir da microestrutura desse tipo. As áreas mais escuras são as grafitas parecendo rosas.



## Ferro Fundido Cinzento

Possui boa **usinabilidade e boa capacidade de amortecimento, além de combinar excelente resistência mecânica e ao desgaste**. Possuem teores de carbono de 2,5 a 4% e de silício de 1,0 a 3,0%. Sua microestrutura é característica pela **grafita** na forma de **flocos compridos** (por isso, possui a denominação *corn flakes*, do inglês) em uma matriz **ferrítica** ou **perlítica** e, por conta desses flocos de grafita, temos a fratura mais acinzentada.

Conforme aponta parte da literatura específica<sup>21</sup>, são caracterizados por apresentarem **baixa resistência em tração** por conta das extremidades dos flocos de grafita (são pontiagudos) e podem servir de pontos de concentração de tensão.

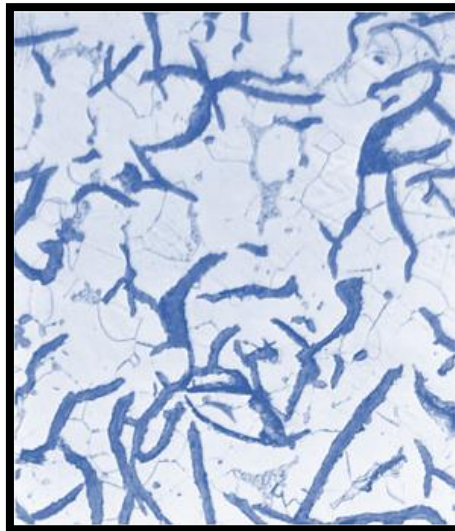
Todavia, possuem alta resistência à compressão. Como possuem alta capacidade de amortecimento vibracional, são empregados como base de máquinas pesadas expostos a vibração de trabalho, além de blocos de motores e tambores de freios. Veja a figura<sup>22</sup> a seguir da sua microestrutura:

---

<sup>20</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

<sup>21</sup> Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

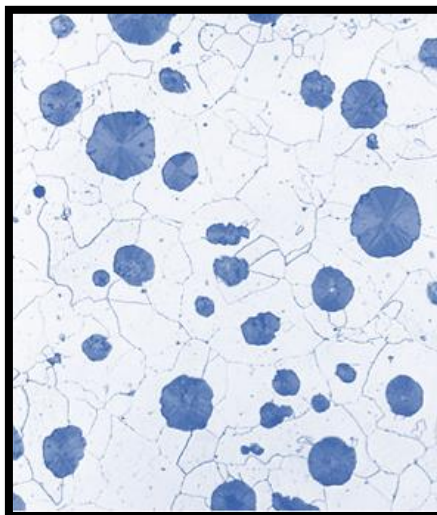
<sup>22</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



### Ferro Nodular (ou Dúctil)

Nesse tipo, Coruja, temos como característica principal a adição de **magnésio** e/ou **cério** ao ferro cinzento antes da fundição. Essa adição gera, conforme aponta a doutrina, uma microestrutura com a **grafita** formada em **nódulos** (partículas de formato mais **esférico**) em vez de flocos do ferro fundido cinzento.

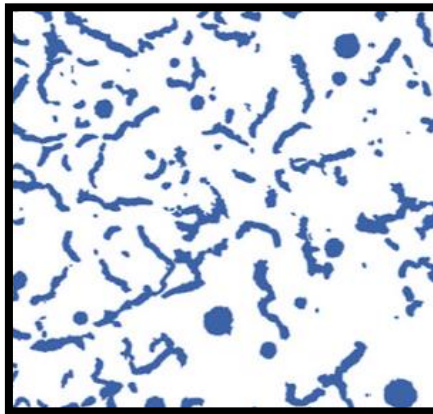
A matriz (parte mais clara) é ferrítica ou perlítica a depender do tratamento térmico. Como propriedades mecânicas temos que eles são mais resistentes e bem **mais dúcteis** que o ferro cinzento. Veja a figura a seguir sobre a microestrutura desse tipo. Costuma ter elevada **tenacidade** e é muito utilizado na fabricação de **virabrequins** e **pistões**, bem como certos tipos de **tubos** para tubulações.



## Ferro Vermicular

Esse tipo é pouco explorado em prova e é mais recente do que os demais tipos no âmbito da engenharia dos materiais. Aqui o que você precisa saber é que sua forma lembra muito pequenos "vermes" (daí o nome) da **grafita** na matriz ferrítica ou perlítica (parte clara) e que recebem o nome de **CGI** (do inglês, *Compacted Graphite Iron*).

Outra característica que você precisa saber, Coruja, é que esse tipo (essa microestrutura) é **intermediário** entre o ferro fundido cinzento e o nodular. Assim, parte da grafita ainda pode estar como nódulos (veja na figura<sup>23</sup> a seguir). Em resumo, para sua prova, você precisa saber que eles possuem **maior condutividade térmica**, **melhor resistência a choques térmicos** e **menor oxidação em temperaturas elevadas**, quando comparados aos demais tipos de ferros fundidos.



Podemos reparar no formato **mais aberto dos grãos de ferrita pura** em "A". Em "B", começa a surgir a estrutura **perlítica** que é, como falei, as lamelas de **cementita** e **ferrita** intercaladas formando o "listrado" da figura. Em "C", a estrutura **perlítica** faz parte do **grão** como um todo e em "D", temos os **contornos dos grãos** com mais **formação de cementita**, pois provem das maiores concentrações de carbono.

Coruja, sei que esse assunto é complicado. Sei também que as bancas gostam dele, porém não vão explorar conhecimento além da identificação das fases e alguns conceitos e definições que desenvolvi nessa seção. Desse modo, não tem jeito: você precisará reler várias vezes até que esses conceitos e "jeitão" do diagrama seja memorizado.

O próximo ponto da matéria serão as curvas TTT e para nós, o que realmente importa são as microestruturas **martensítica** e **bainita**, pois são os assuntos de prova. Avante, Estrategista!

<sup>23</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



## Curvas TTT

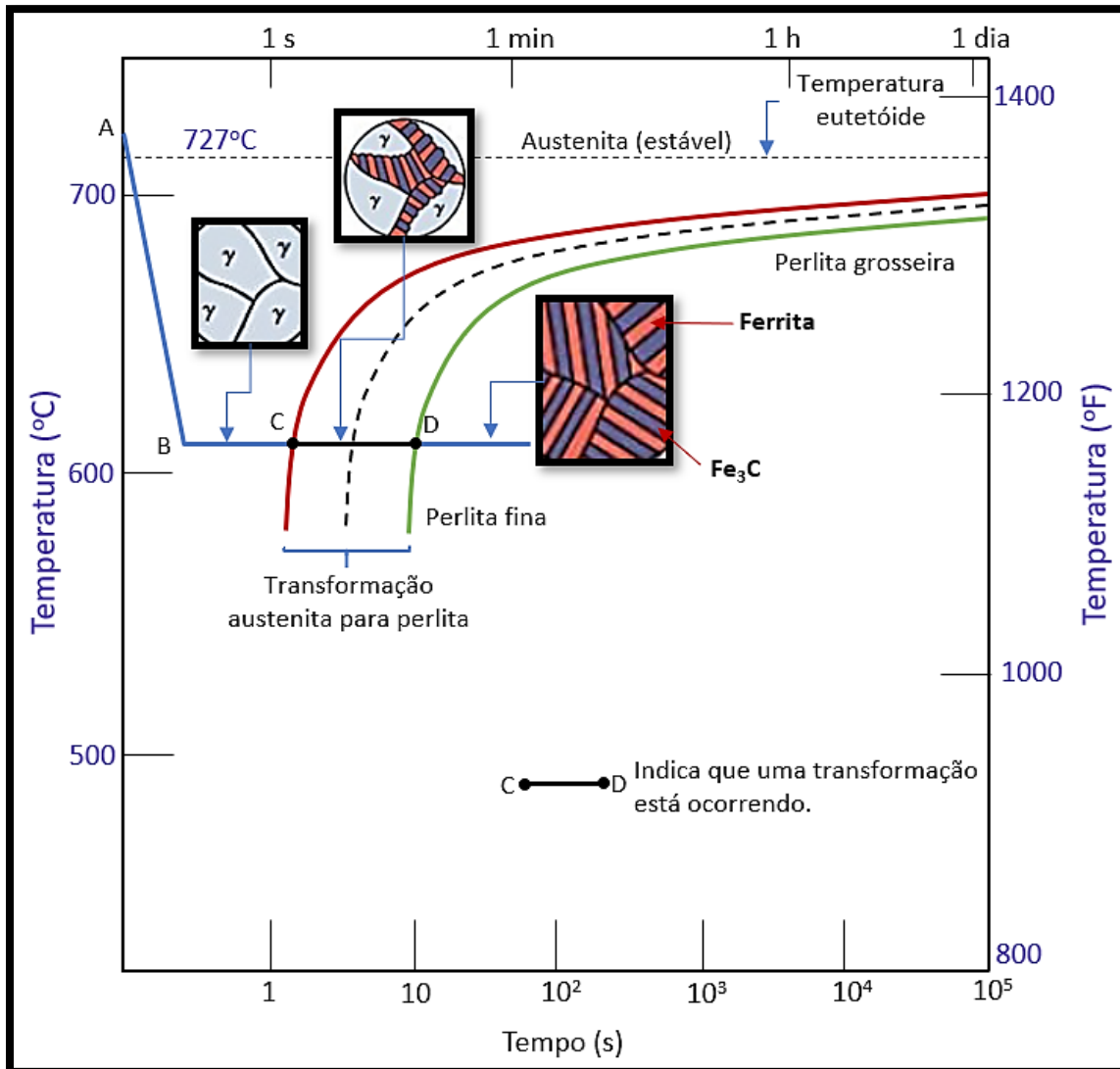
Também denominadas de **Diagramas de Transformação Isotérmica**, as **Curvas TTT (Tempo, Transformação e Temperatura)** consistem na análise de como a **temperatura e o tempo** em que ocorre determinada **transformação** influenciam na **microestrutura final**.

Em nosso caso, para os **aços (ligas Fe-C)**, conforme se varia a velocidade de **resfriamento** de uma certa temperatura e certa **microestrutura** prévia (como vimos anteriormente no **diagrama Fe-C**), diferentes **microestruturas** são atingidas.

Isso ocorre, Estrategista, porque a **transformação** de **ferro  $\gamma$**  (fase cuja **microestrutura** recebe o nome de **austenita**) necessita de movimentação atômica até, em um **resfriamento**, atingir a **microestrutura ferrita** do **ferro  $\alpha$** . Se caso a velocidade de resfriamento seja grande (e, conseqüentemente, o tempo menor), as estruturas podem deixar se formar ou não se completarem por conta de que a **movimentação atômica foi interrompida**.

Para nossa prova, vamos focar na curva TTT de um **aço eutetóide** (aço com 0,77% de carbono em sua composição). A curva TTT desse aço nos permite entender as diversas **microestruturas** que podemos obter a partir da **austenita**. Veja o gráfico a seguir.





24

Nesse gráfico que ilustra uma parte de uma **Curva TTT**, temos uma “fotografia” que mostra o tempo na abscissa e a temperatura nas ordenadas (lembra do diagrama Fe-C? É parecido, porém agora, temos o tempo ao invés da concentração de carbono, que é de 0,77%, na abscissa).

Justamente temos o tempo para entender que ele gera influência nas movimentações dos átomos e, assim, na microestrutura final. Dessa forma, no ponto “C” do gráfico temos o começo da transformação do **ferro  $\gamma$**  (proveniente do estágio anterior em “A”) e em “D” a estrutura **perlítica** obtida (que é **cementita + ferrita**).

<sup>24</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.





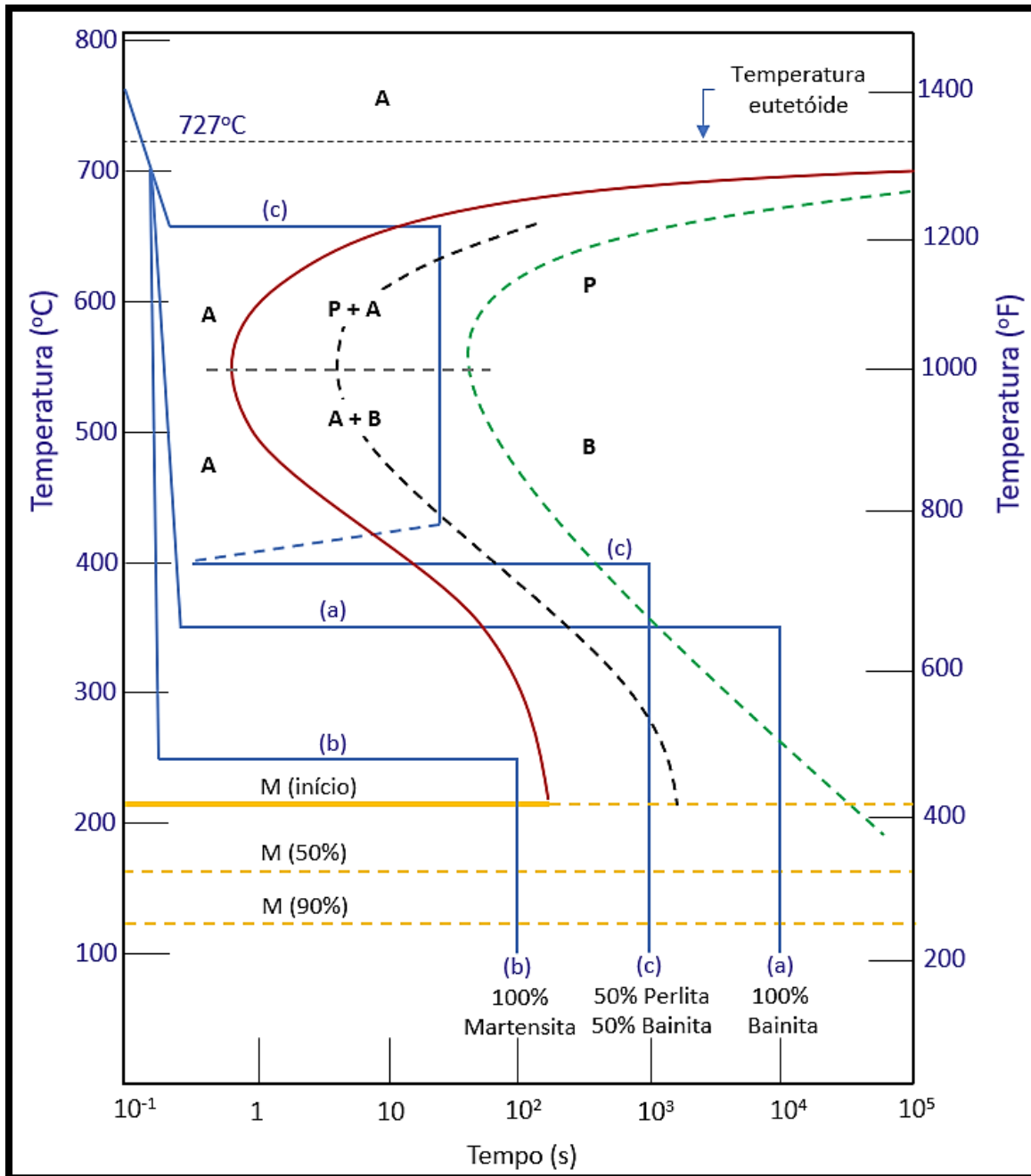
Perceba, Estrategista, que esse aço foi resfriado do ponto “A” do gráfico, rapidamente, até o ponto “B” (ou seja, ele estava com uma temperatura acima de  $727^{\circ}\text{C}$ , no campo **austenítico**) e se manteve na temperatura do ponto “B” (em torno de  $625^{\circ}\text{C}$ ) até o término de sua transformação.

O que eu quero que você perceba é que, se entre “C” e “D” ele fosse resfriado novamente, a microestrutura final não seria a **perlita** obtida em “D” e, sim, outra.

A curva TTT justamente vai analisar essa relação entre as temperaturas fixadas por determinado tempo e as **transformações** obtidas na **microestrutura**.

Basicamente, você precisa memorizar o gráfico a seguir (pois as questões da banca costumam colocá-lo e fazer questionamentos sobre) e identificar as transformações que ocorre. Vou te explicar cada **transformação** e é interesse que você tenha noção sobre cada uma delas.





25

Veja bem, Estrategista, no gráfico acima, que ilustra uma **Curva TTT** de uma liga **ferro-carbono** (aço) **eutetóide** (concentração de carbono em 0,77%), temos as **transformações** especificadas pelas letras **minúsculas (a, b e c)**.

Perceba, também, que as letras **maiúsculas** correlacionam as **microestruturas**, sendo: **“A”** (**Austenita**), **“P”** (**Perlita**), **“B”** (**Bainita**) e **“M”** (**Martensita**). Dessa forma, conforme o “caminho” que as

<sup>25</sup> Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



transformações seguem no gráfico, a partir da **velocidade** e **tempo** de **resfriamento**, começando em 750°C (partindo do campo austenítico), teremos diferentes **microestruturas** finais:

- **Transformação “a”**: rapidamente o aço é resfriado de 750°C até 350°C e se transforma, **isotermicamente** (mantida esta temperatura) até formar **100% bainita** em, aproximadamente, **10<sup>4</sup> segundos**. (Vá lá. Dá um look no gráfico e confere);
- **Transformação “b”**: rapidamente o aço é resfriado, novamente de 750°C até 250°C e, por isso, como em “a”, mantém a estrutura **austenítica** e fica cerca de **10<sup>2</sup> segundos (100 segundos)** em 250°C. Depois, resfriado até cerca de **125°C**, formando a microestrutura final **100% martensítica**;
- **Transformação “c”**: novamente, o aço é resfriado de 750°C até, agora, a 650°C. Nessa temperatura, começa, em torno de **10 segundos** (vai acompanhado no gráfico), a transformação em **perlita**. Quando chega a uns **50 segundos**, novamente ele é resfriado rapidamente até uns 420°C.

Nesta temperatura, temos 50% de **austenita** (que não transformou) e 50% de **perlita**. Depois, esse aço com essa microestrutura é resfriado e mantido a 400°C por um pouco mais de **10<sup>3</sup> segundos** e, assim, cruza a curva da **bainita**, transformando sua **microestrutura final** em 50% **perlita** e 50% **bainita**. (não se preocupe com a linha pontilhada dessa transformação “c”. Ela é colocada a fim de mostrar que o tempo nessa experiência do gráfico foi maior, além do fato de evidenciar, uma vez atingida a 50% de perlita, que ela não retorna a austenita).

Estrategista, essas são transformações isotérmicas das Curvas TTT. Para nossa banca, fecharemos o assunto com algumas características e propriedades dessas novas estruturas e uma dica para você memorizar e levar para sua prova (vai te ajudar na resolução).

- **Martensita**: microestrutura metaestável **supersaturada** de carbono. Possui formato de grãos que parecem **agulhas**. É extremamente **dura** e **frágil**. Possui **alta tensão entre os átomos** em seu **crystalino**. Essa microestrutura é metaestável (fora do equilíbrio), derivada de uma transformação não difusional (adifusional) por conta da não difusão completa do carbono que fica intersticial, gerando a célula unitária TCC – Tetragonal de Corpo Centrado, proveniente do resfriamento extremamente rápido da liga do campo austenítico;
- **Bainita**: microestrutura não **supersaturada**. Possui formato de grãos **de pequenas agulhas (menores que a da martensita)**. Possui **boa relação dureza e ductilidade**, sendo **mais dúctil que a martensita**.





Estrategista, se liga no “bizu”:

Se a **transformação** for **abaixo** da **curva**, denominado “**joelho**” da curva, teremos **bainita!**

Se a **transformação** for **acima** do **joelho**, teremos **perlita!**

Se a **transformação** **não cruzar a curva** e, temperaturas **abaixo de 200°C**, será **martensita!**

## QUESTÕES COM COMENTÁRIOS



### Marinha

#### 1. (Marinha – Corpo de Auxiliar de Praças da Marinha – Mecânica – 2018)

A capacidade de um material absorver energia quando é deformado elasticamente e depois, com o descarregamento, ter sua energia recuperada é chamada de:

- a) Resistência mecânica.
- b) Elasticidade.
- c) Resiliência.
- d) Tenacidade.
- e) Plasticidade.

#### Comentário:

Conforme vimos na parte teórica da aula, a **Resiliência** é a capacidade do material de **absorver** e **devolver** energia dentro no **regime elástico** (no qual a deformação é **não permanente**).



**Gabarito: “c”.**

### 2. (Marinha – Corpo de Auxiliar de Praças da Marinha – Mecânica – 2018)

Assinale a opção que completa corretamente as lacunas da sentença abaixo com relação à formação da Perlita. A perlita é uma mistura específica de \_\_\_\_\_ fases, formada pela transformação da \_\_\_\_\_, de composição eutetóide, em ferrita e \_\_\_\_\_:

- a) Duas / austenita / cementita.
- b) Três / ferrita / cementita.
- c) Quatro / cementita / austenita.
- d) Cinco / austenita / cementita.
- e) Uma / ferrita / cementita.

**Comentário:**

Outra molezinha, hein? Conforme vimos, Coruja, a **Perlita** não é uma fase e, sim, a constituição de **duas fases distintas**: a **ferrita** e **cementita**. Ela é constituída de **lamelas alternadas** da matriz ferrítica com a **cementita**. Ele provém da fase austenítica (ferro gama – ferro  $\gamma$ ) quando há o resfriamento do aço, tendo interferência do teor de carbono da liga (hipoeutetóide, eutetóide e hipereutetóide). Assim, na composição eutetóide (0,76 a 0,77% de carbono) temos a presença evidente de **ferrita** e **cementita**, constituídas em lamelas alternadas, formando a perlita.

**Gabarito: “a”.**

### 3. (Marinha – Corpo de Auxiliar de Praças da Marinha – Mecânica – 2013)

Coloque F (falso) ou V (verdadeiro) nas afirmativas abaixo, assinalando a seguir a opção que apresenta a sequência correta.

- ( ) A microestrutura da perlita é composta por ferrita e cementita.
  - ( ) A aço hipoeutetóide possui ferrita e perlita em sua microestrutura, e é mais dúctil que um aço hipereutetóide, considerando ambos à temperatura ambiente.
  - ( ) Mecanicamente, a cementita é muito dura e frágil.
- a) (V) (F) (F).
  - b) (F) (V) (V).
  - c) (F) (F) (V).



- d) (V) (V) (V).
- e) (V) (V) (F).

#### Comentário:

Estrategista, mais uma questão fácil! Vejamos cada assertiva:

I-) Verdadeira, Coruja! De fato, como vimos, a **perlita** é a microestrutura constituída de lamelas alternadas da microestrutura denominada **ferrita** mais a microestrutura denominada **cementita**;

II-) Verdadeira, também! O aço **hipoeutetóide**, conforme vimos em aula, é um aço com **menor** concentração de carbono (entre 0,022% a 0,756% de carbono). Na microestrutura de aço, pode ser encontrada a matriz **ferrítica** com o começo da formação da microestrutura **perlítica** (a depender do teor de carbono), na qual se tem as lamelas de ferrita alternadas com cementita. Além disso, o aço hipoeutetóide é, de fato, mais dúctil e menos duro que o aço hipereutetóide, já que o teor de carbono é menor na liga (o carbono, como vimos, é o principal elemento que aumenta a dureza e a resistência mecânica do aço);

III-) Verdadeira, Estrategista! As três assertivas estão corretas. De fato, a **cementita** (ou **carboneto de ferro**) é **dura** e **frágil**, por ser um composto de retículo cristalino **ortorrômbico**. Seu elevado teor na liga de aço, gera um aço duro e frágil.

**Gabarito: "d".**

#### 4. (Marinha – Corpo de Auxiliar de Praças da Marinha – Mecânica – 2012)

Assinale a opção que apresenta as duas estruturas encontradas nos aços hipoeutetóides.

- a) Ferrita e cementita.
- b) Austenita e perlita.
- c) Ferrita e perlita.
- d) Cementita e austenita.
- e) Perlita e cementita.

#### Comentário:

Conforme vimos, Coruja, temos a seguinte situação:



- Aços hipoeutetóides (teor de carbono entre 0,022 a 0,76/0,77%): microestrutura formada por **perlita + ferrita**;
- Aços eutetóides (teor de carbono em 0,76/0,77%): microestrutura formada por **perlita** (lamelas alternadas de ferrita e cementita);
- Aços hipereutetóides (teores de carbono entre 0,76/0,77% e 2,06%): microestrutura formada por **perlita + cementita**;

**Gabarito: "c".**

**FCC**

### **5. (FCC/EMAE-SP – Engenheiro – Mecânica – 2018)**

Sobre macrografia, considere:

- É possível avaliar a profundidade da têmpera nos dentes de uma engrenagem.
- Permite saber se uma peça foi cementada, bem como avaliar a profundidade alcançada por meio deste tratamento térmico.
- Permite medir a dureza de um material.

Está correto o que consta de

- I e III, apenas.
- I e II, apenas.
- II e III, apenas.
- III, apenas.
- I, II e III.

**Comentário:**

A **macrografia**, conforme vimos em aula, é um tipo de **ensaio** pelo qual se analisa a **macroestrutura** da peça. Normalmente, a peça é polida e se utiliza um tipo de reagente específico para cada tipo de liga e composição de elementos químicos da peça. A macrografia é diferente da **micrografia**. Na macrografia, a peça é analisada **a olho nu** ou com uma lupa que não passa de **40x** o tamanho da peça.

Por conta disso, é possível perceber que o ensaio macrográfico permiti avaliar a **estrutura do cristalino do material**. Assim, como vimos na explicação e nas figuras da parte teórica, **tanto no tratamento de têmpera** quanto no de **cementação** é possível visualizar a **profundidade alcançada** e se ela sofreu ou não o processo de **cementação**, pela análise da macrografia. Desse modo, as asserções I e II estão corretas.



A asserção III está errada, pois a macrografia é um ensaio **visual** de análise e não é utilizado para medir a **dureza** do material, propriedade evidenciada por ensaios como Brinell, Vickers e/ou Rockwell, entre outros, ensaios de natureza destrutiva.

**Gabarito: “b”.**

## CESPE

### 6. (CESPE/SLU-DF – Analista de Gestão de Resíduos Sólidos – Engenharia Mecânica – 2019)

Julgue o próximo item, relativo a metodologias de projeto, dimensionamento de componentes e propriedades de materiais.

Em um projeto de máquinas, a exata composição química do material e o efeito da variação de suas propriedades, além da intensidade e da distribuição do carregamento, são fatores considerados imprevisíveis.

( ) Certo ( ) Errado

#### Comentário

Oras, Estrategista, questão “bom senso” total, não é? Depois de tudo que estudamos (ligações atômicas, diagramas e tratamentos térmicos) querer prever **exatamente** se algum átomo constituirá uma impureza indesejável no **crystalino** do material é quase uma tarefa impossível. Dessa forma, a questão está correta, pois atingir a exata composição química que corresponda a todas as propriedades do material é sim um fator imprevisível.

**Gabarito: correto.**

### 7. (CESPE/SLU-DF – Analista de Gestão de Resíduos Sólidos – Engenharia Mecânica – 2019)

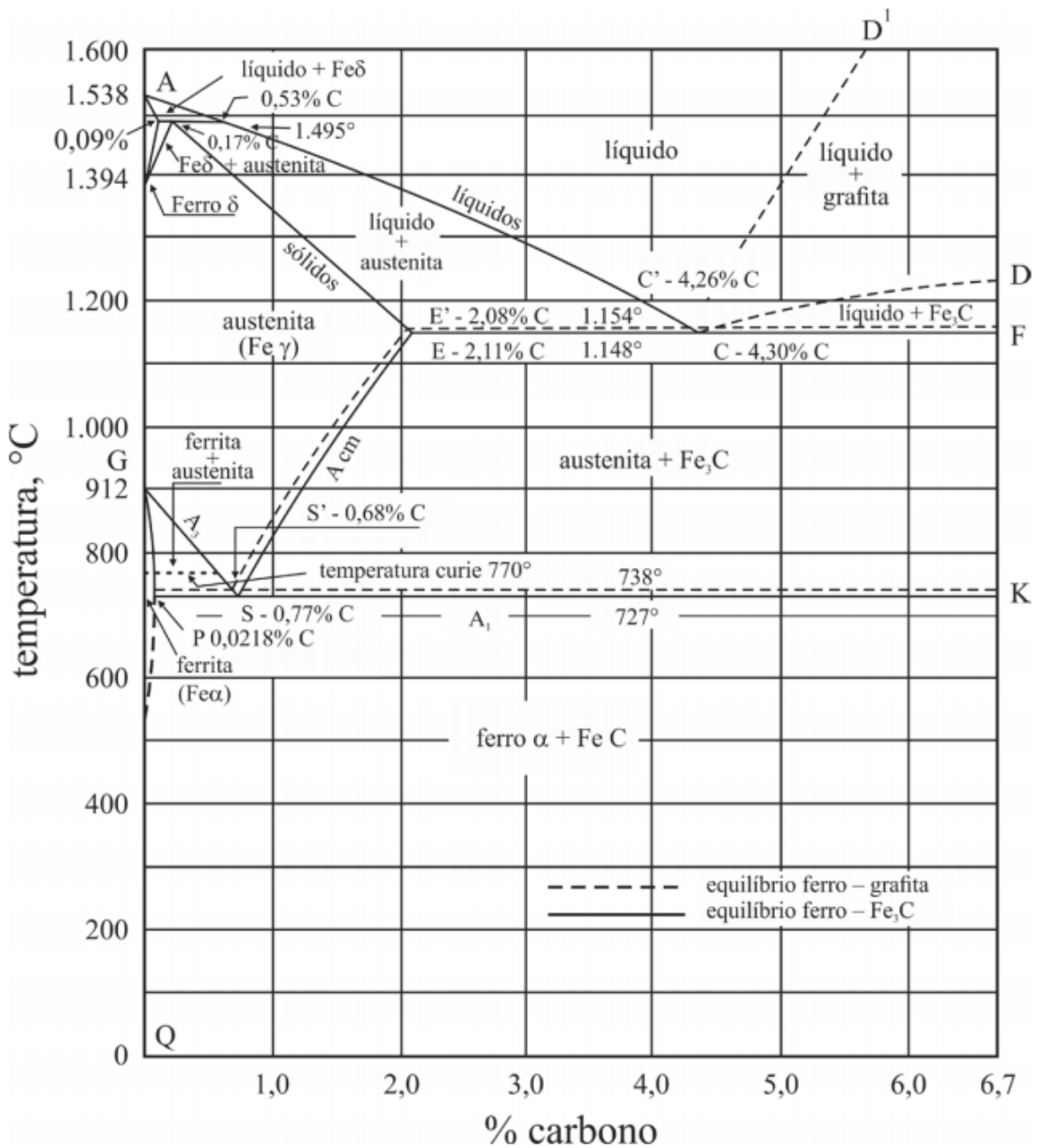
Para as próximas questões **7, 8 e 9**, considerar o texto e a figura apresentados a seguir.

“As ligas de ferro (Fe) e carbono (C) são alguns dos principais materiais utilizados na fabricação de equipamentos. As características metalúrgicas e mecânicas dessas ligas dependem, não somente do teor de carbono presente, mas também do teor de outros elementos de liga e de elementos residuais, resultantes do seu processo de fabricação. A figura precedente mostra o diagrama de equilíbrio da liga binária Fe-C para teores de carbono de até 6,7%, cuja proporção corresponde ao composto carboneto de ferro ( $Fe_3C$ ), também conhecido como cementita. O teor de 2,11% de carbono corresponde à máxima solubilidade deste elemento na solução sólida de Fe e C conhecida como austenita (fase  $\gamma$ ) e define teoricamente o teor de carbono que separa os dois principais produtos siderúrgicos de utilidade na engenharia: aços e ferros fundidos. As microestruturas resultantes do resfriamento lento dos aços, a partir





da fase austenítica, até a temperatura ambiente são geralmente compostas de ferrita ou de cementita pura e de uma estrutura denominada perlita (tipo de estrutura lamelar composta de ferrita e de cementita dispostas alternadamente).”



V. Chiaverini. **Aços e ferros fundidos**. 6.<sup>a</sup> ed.  
São Paulo: ABM, 1988 (com adaptações).

Tendo como referência esse texto e a figura anterior, que representa o diagrama de equilíbrio Fe-C (observando-se as linhas cheias), julgue o item a seguir.



Uma liga com teor de carbono abaixo de 0,77%, ao ser resfriada lentamente até a temperatura ambiente, a partir de uma temperatura em que somente a fase  $\gamma$  exista, forma uma estrutura composta de ferrita e de perlita.

( ) Certo ( ) Errado

#### Comentário:

Questão moleza para você, Estrategista! De acordo com nossos estudos (e eu lhe disse que as questões cobram saber a localização no diagrama ferro-carbono), para essa questão, você teria que saber onde fica o ponto **eutetóide**. Lembre-se que ele é o ponto cuja temperatura é **727°C** e %C em **0,77**. Oras, se ele é resfriado a temperatura ambiente, saindo da fase **austenítica** (ferro  $\gamma$  ou ferro gama), temos parte de sua transformação em **ferrita** (ferro  $\alpha$  ou ferro alfa) e parte em **cementita** ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ).

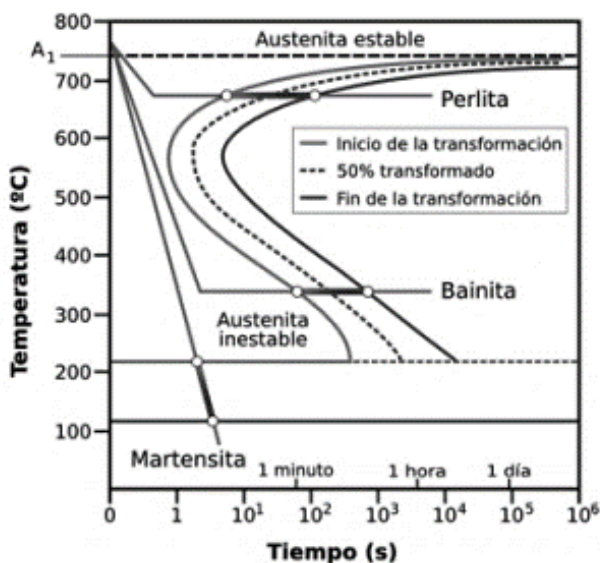
Oras, como eu lhe expliquei, **cementita + ferrita = perlita!** A **perlita** é aquela estrutura **lamelar** formada por **ferrita** e em torno do grão a **cementita**. Sendo assim, questão correta! Realmente, teremos **ferrita e perlita!**

Gabarito: **correto**.

#### FEPSE

#### 8. (FEPSE/DEINFRA-SC – Engenheiro – Engenharia Mecânica – 2019)

Assinale a alternativa que indica corretamente o gráfico representado abaixo.



a) Curvas TTT.



- b) Curvas de temperabilidade.
- c) Diagrama de nucleação.
- d) Diagrama Ferro Carbono.
- e) Diagrama de resfriamento.

### Comentário

Oras, Estrategista. Fácil, hein? De todas as alternativas e opções, com certeza, o gráfico se refere as famigeradas **Curvas TTT**.

**Gabarito: "a".**

### 9. (FEPESE/DEINFRA-SC – Engenheiro – Engenharia Mecânica – 2019)

Um Engenheiro, ao selecionar vários metais para aplicações de projeto, precisa estar ciente de que algumas ligas são relativamente dúcteis, enquanto outras são relativamente frágeis. Dessa forma as ligas:

- a) de alumínio são tipicamente frágeis.
- b) de alumínio são tipicamente dúcteis.
- c) de alumínio não são nem dúcteis nem frágeis.
- d) de magnésio não são nem dúcteis nem frágeis.
- e) de magnésio são tipicamente dúcteis.

### Comentário

**Letra "a":** de maneira alguma, Estrategista. As ligas de alumínio, como vimos, **não são tipicamente frágeis** e, sim, **dúcteis!** Alternativa errada;

**Letra "b":** perfeita! Alternativa correta;

**Letra "c":** conforme mencionado nas alternativas anteriores, alternativa errada;

**Letra "d":** pelo contrário, conforme vimos em nossa na aula, as ligas de magnésio são **tipicamente frágeis**. Alternativa errada;

**Letra "e":** justamente o contrário, são pouco dúcteis e consideradas frágeis, apesar da resistência mecânica ser considerada alta. Alternativa errada;

**Gabarito: "b".**

### 10. (FEPESE/DEINFRA-SC – Engenheiro – Engenharia Mecânica – 2019)



Ao se analisar o diagrama de equilíbrio Ferro Carbono, O Fe  $\alpha$  (ferro alfa) apresenta uma estrutura cristalina:

- a) cúbica de face.
- b) cúbica de corpo centrado.
- c) cúbica de aresta centrada.
- d) hexagonal compacta.
- e) hexagonal centrada.

### Comentário

Questão direta ao ponto. Conforme vimos em aula e eu friso que é importante ter em mente as características das liga ferro carbono e suas fases, o **ferro alfa** possui estrutura cristalina da célula unitária em **Cúbica de Corpo Centrado (CCC)**. Quando muda para **ferro gama**, ela passa a ser a **Cúbica de Face Centrada (CFC)**.

Obs: você deve ter percebido, Estrategista, que as bancas tendem a tratar como sinônimo a **célula unitária** com a **microestrutura**. Dessa forma, em concursos, você deve considerar exatamente assim. Mencionou um ou outro, corre para o abraço que a questão é sua! Rs.

**Gabarito: "b".**

### Ufersa

#### 11. (Ufersa/Ufersa – Engenheiro – Engenharia Mecânica – 2019)

As propriedades mecânicas dos materiais metálicos podem ser mensuradas por meio de ensaios mecânicos. A respeito do ensaio de tração e das propriedades medidas no ensaio é correto afirmar que:

- a) A tenacidade é a habilidade de um material absorver energia e se deformar elasticamente antes de fraturar.
- b) A resiliência é a capacidade de um material de absorver energia, quando ele é deformado plasticamente e, depois, com a remoção da carga, permite a recuperação dessa energia.
- c) A estricção do material é a diminuição da seção transversal do corpo de prova, após atingir carga máxima, na região aonde vai se localizar a ruptura.
- d) A tensão limite de escoamento, também conhecido como limite de proporcionalidade ou limite de desvio n, pode ser determinada usando o método da pré-deformação que, para os aços, é corresponde a uma deformação plástica 0,2 por unidade de comprimento.

### Comentário



**Letra “a”:** a alternativa erra ao dizer que a tenacidade é uma “habilidade” (tenho ressalvas quanto ao termo; seria mais correto “capacidade”) que um material tem de absorver energia e se deformar **elasticamente**. Na realidade, não é somente elasticamente, pois como a **tenacidade** é a capacidade medida até a fratura, necessariamente o material tem que ser submetido a deformação **plástica** também. Alternativa errada;

**Letra “b”:** conforme vimos em aula, quando ocorre a deformação plástica, o material **não retorna** a sua forma original. O **retorno da energia**, de fato, é o que **mede o grau de resiliência** da peça. Todavia, a questão erra em colocar deformação plástica. Seria certa se fosse deformação **elástica**, pois nela é que há o retorno e, conseqüentemente, a possibilidade de medição da resiliência. Alternativa errada;

**Letra “c”:** apesar de ser nosso gabarito, a estrição ou “empescoçamento” do material **não ocorre somente ao atingir a carga máxima**, como a alternativa dá a entender. Todavia, é a melhor opção de gabarito.

**Letra “d”:** questão errada, pois o limite de pré-deformação no aço corresponde a 0,2% ou 0,002 por unidade de comprimento. Alternativa errada;

**Gabarito: “c”.**

**FGV**

## **12. (FGV/AL-RO – Analista Legislativo – Engenharia Mecânica – 2018)**

Sobre o ferro fundido, analise as afirmativas a seguir.

- I. O ferro fundido cinzento tem boa usinabilidade e capacidade de amortecer vibrações.
- II. O ferro fundido branco tem baixa resistência à compressão e dureza.
- III. O ferro fundido maleável possui baixas resistência mecânica e fluidez no estado líquido.

Está correto o que se afirma em

- a) I, somente.
- b) II, somente.
- c) III, somente.
- d) I e III, somente
- e) II e III, somente.

### **Comentário**

Conforme vimos em aula: o **Ferro Fundido** é a estrutura atingida quando se tem **concentrações acima de 2,2% de carbono no ferro**. O **Ferro Fundido Branco** possui coloração branca por conta do alto teor de



carbono na forma de carboneto  $Fe_3-C$  (cementita), dando esse aspecto quando atinge fratura. Esse **ferro fundido** tem **elevada dureza** e resistência ao **desgaste**, além de **baixa usinabilidade** e **ductilidade**. Errada a assertiva II.

O **Ferro Fundido Cinzento** tem **boa usinabilidade** e **boa capacidade de amortecimento**, além de **combinar excelente resistência mecânica e ao desgaste**. Correta a assertiva I.

O **Ferro Fundido Maleável** é o **Ferro Fundido Branco** que sofreu um tratamento térmico especial, normalmente de elevada duração que o torna **dúctil** e **tenaz**, além de conciliar **alta propriedade de resistência mecânica** como à tração, à fadiga e ao desgaste. Assertiva III errada.

**Gabarito: "a"**

### 13. (FGV/AL-RO – Analista Legislativo – Engenharia Mecânica – 2018)

Com o intuito de melhorar as propriedades dos aços carbono, nos aços-liga são adicionados elementos de acordo com a característica que se quer alterar.

Desse modo, relacione os elementos químicos às características modificadas por eles em um aço-liga.

1. Níquel 2. Cromo 3. Manganês

( ) Forma carbonetos, aumentando o crescimento dos grãos e a resistência à corrosão e oxidação.

( ) Refina o grão, diminui a velocidade de transformação do aço aumentando a resistência à tração e a ductilidade.

( ) Estabiliza os carbonetos, ajudando a criar uma microestrutura dura por meio de têmpera. Diminui a velocidade de resfriamento, aumentando a resistência mecânica e a temperabilidade do aço.

Assinale a opção que mostra a relação correta, segundo a ordem apresentada.

- a) 1 – 2 – 3.
- b) 1 – 3 – 2.
- c) 2 – 3 – 1.
- d) 2 – 1 – 3.
- e) 3 – 1 – 2.

**Comentário:**

Níquel: gera o refinamento do grão, pois diminui a velocidade de transformação do aço em suas fases. Com isso, concilia a boa resistência mecânica com boa ductilidade pela **microestrutura atingida**.



Cromo: gera a formação de carbonetos, pois aumenta o crescimento de grãos e permite o carbono adentrar o cristalino, além de aumentar a resistência à corrosão e oxidação.

Manganês: junto a tratamentos térmicos, como na têmpera, ele diminui a velocidade de resfriamento, gerando boa resistência mecânica o que caracteriza a temperabilidade desse aço.

**Gabarito: “d”.**

#### 14. (FGV/ALERJ – Especialista Legislativo – Engenharia Mecânica – 2016)

Relacione as características de diferentes tipos de ferros fundidos com suas respectivas designações.

(1) tem a mais alta resistência à tração dos ferros fundidos e é bastante empregado em peças sujeitas à fadiga tais como virabrequins, pistões e tubos;

(2) fácil de verter e usinar, oferece bom amortecimento acústico e é muito utilizado para bases de máquinas, blocos de motores, rotores e tambores de freios;

(3) material muito duro e frágil, difícil de usinar, costuma ser utilizado como revestimento para misturadores de cimento.

( ) ferro fundido cinzento;

( ) ferro fundido nodular;

( ) ferro fundido branco.

A relação correta, de cima para baixo, é:

- a) 1, 2 e 3;
- b) 1, 3 e 2;
- c) 2, 1 e 3;
- d) 2, 3 e 1;
- e) 3, 1 e 2.

#### Comentário:

Opa! Questão tranquila, Coruja! Ela nos traz o conhecimento sobre os tipos de **ferros fundidos**. Lembre-se que vimos os **três** tipos principais: **cinzento**, **nodular** e **branco**. Vejamos cada assertiva.

**1:** Oras, trata-se do **ferro fundido nodular**, Estrategista! Lembre-se que além desse tipo ter **elevada ductilidade** ele também possui **elevada tenacidade** que justifica seu emprego em **virabrequins** de



automóveis e **pistões** (pois aguenta as solicitações de serviços e fadiga desse tipo de impacto). Além disso, pode ser utilizado para tubos em tubulações a depender do fluido a ser transportado;

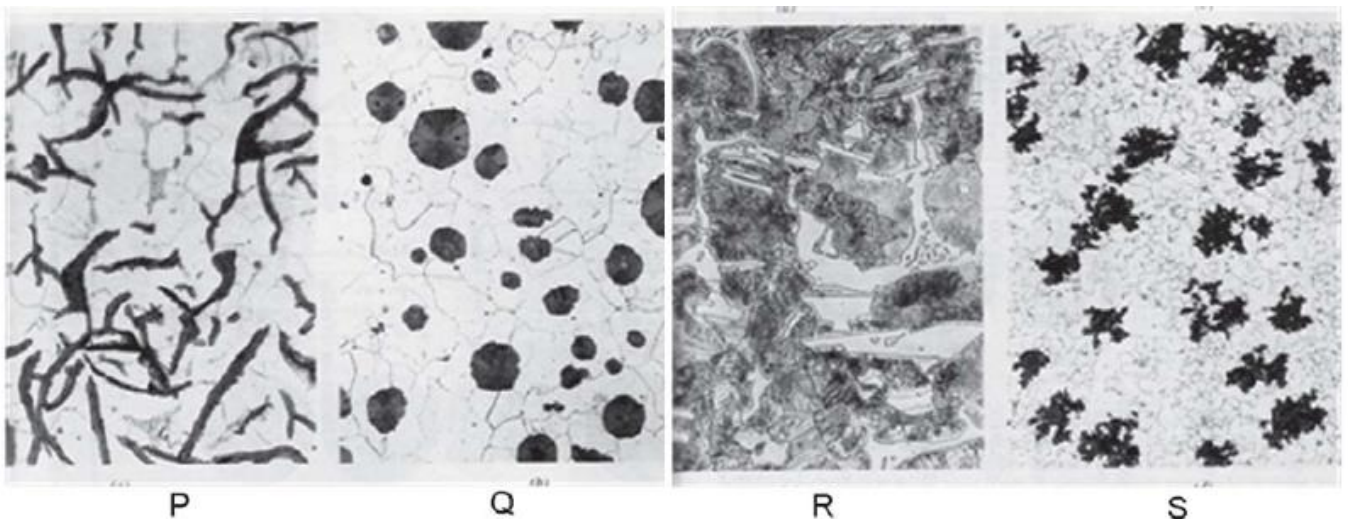
**2:** Opa! Olha a breja da questão logo no começo falando da **boa usinabilidade**, Coruja! Já podemos marcar que é o **ferro fundido cinzento**! Além disso, como possuem alta capacidade de amortecimento vibracional, são empregados como base de máquinas pesadas expostos a vibração de trabalho, além de blocos de motores, por exemplo;

**3:** Sem dúvidas é o **ferro fundido branco**! Falou em **elevada dureza** e **fragilidade** é ele que tem que vir a sua mente! Possui coloração branca por conta do alto teor de carbono na forma de carboneto  $Fe_3C$  (**cementita**), dando esse aspecto quando atinge fratura. É comum seu empregado como revestimento de misturadores de cimento na construção civil.

**Gabarito: "c".**

### 15. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2010)

As fotomicrografias abaixo são dos ferros fundidos: maleável (FEM), cinzento (FEC), nodular (FEN) e branco (FEB), que têm várias aplicações tecnológicas.



A associação correta entre o tipo de ferro fundido e sua respectiva microestrutura é

- a) P-FEB , Q-FEN , R-FEB , S-FEM.
- b) P-FEM , Q-FEN , R-FEB , S-FEC.
- c) P-FEN , Q-FEB , R-FEC , S-FEM.
- d) P-FEC , Q-FEN , R-FEB , S-FEM.
- e) P-FEB , Q-FEM , R-FEC , S-FEN.



### Comentário:

Questão interessante que nos cobra os diferentes aspectos da **microestrutura** de cada tipo de **ferro fundido**. Conforme vimos em aula, a letra "P", corresponde a microestrutura do **ferro fundido cinzento** (temos a grafita em flocos compridos (mais cilíndricos do que arredondados); a letra "Q", corresponde ao **ferro fundido nodular** (ou dúctil), que possui a **grafita** (parte escura) na matriz ferrítica ou perlítica (parte clara) em forma **esférica**; letra "R", corresponde ao **ferro fundido branco**, com a **cementita** dando o aspecto mais claro da fratura na sua microestrutura e a letra "S", o **ferro fundido maleável** que é o **ferro fundido branco** que passou por um tratamento térmico prolongado a fim de decompor a cementita em grafita gerando seu formato típico de rosetas.

**Gabarito: "d".**

### 16. (Cesgranrio/BR Distribuidora – Engenheiro Júnior – 2010)

Em relação a uma Liga Hipoeutetoide de Ferro-Carbono com 0,5% (peso) de carbono, considere as afirmativas a seguir.

I - a microestrutura do material, abaixo de 727 °C apresenta três fases: Perlita, Cementita e Ferrita.

II - a estrutura apresenta, entre 1000 °C e 1200 °C, duas fases: a Austenita e a Ferrita.

III - o metal apresenta uma fase única a uma temperatura acima de 1600 °C .

Está(ão) correta(s) APENAS a(s) afirmativa(s)

- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) I e II.
- e) II e III.

### Comentário:

Veja, Coruja, questão fácil que apenas exige de você o conhecimento das áreas do **diagrama Ferro-Carbono** (lembra que eu lhe disse ser importante conhecê-las?). De acordo com o enunciado, temos que considerar a região de uma liga de aço ferro-carbono **hipoeutetóide** (à direita do ponto eutetóide – concentração de carbono em, aproximadamente, 0,77% de acordo com a literatura dominante). Vejamos cada assertiva:

**I:** errada, Estrategista! Em 0,5% de carbono (aço proposto pelo enunciado), teremos uma microestrutura composta basicamente por **ferrita** (ferro alfa - ferro  $\alpha$ ). A microestrutura **perlítica** começa a se formar a



partir da concentração de carbono na forma de carboneto ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) que por sua vez é denominado de **cementita, mas que não tempo de assumir qualquer posição distinta e constituir uma fase separada** – assim, surge a **perlita**, na qual corresponde a **lamelas alternadas de cementita** ( $\text{Fe}_3\text{C}$  – mais presente conforme se aumenta o teor de carbono) e **ferrita**. Dessa forma, teremos a principal fase constituinte (ferrita) e, em menor concentração, a perlita. O erro, apesar de controverso, pela falta de maiores detalhes, é dizer que a **cementita** é uma fase nessa concentração, sendo somente evidenciada significativamente acima de teores de carbono de 0,77%, além do fato de a perlita não ser uma fase e, sim, uma combinação de fases (ferrita e cementita);

**II:** errada, também! Lembre-se, entre a microestrutura **ferrítica**, para essa concentração hipoeutetóide (0,5% de carbono) não chega até  $1000^\circ\text{C}$ , já que em concentrações próxima de 0 de carbono, a máxima temperatura é de  $912^\circ\text{C}$ , decaindo conforme se aumenta a % de carbono, até  $727^\circ\text{C}$  – linha de temperatura eutetóide. Dessa forma, para a concentração proposta pelo enunciado e na faixa de temperatura de  $1000$  a  $1200^\circ\text{C}$  temos somente a microestrutura **austenítica** (fase do ferro gama - ferro  $\gamma$ );

**III:** perfeita! Exatamente, acima da temperatura de  $1538^\circ\text{C}$  (temperatura máxima para o aço com concentração de carbono quase 0) temos a fase de ferro **líquido** (fase esta que é única). Para a liga hipoeutetóide descrita (0,5% de carbono) temos temperatura ainda mais baixa que  $1538^\circ\text{C}$  na qual a fase única líquida passa a se fazer presente.

**Gabarito: "c".**

### 17. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2006)

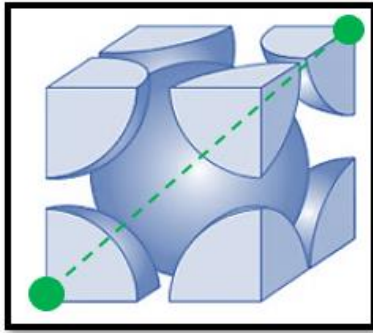
Diversos metais apresentam estrutura cristalina do tipo CCC. O cromo, o tungstênio e o molibdênio são alguns exemplos. Para calcular corretamente o volume da célula unitária CCC, onde R é raio atômico, deve-se adotar:

- a)  $8 R^3$ .
- b)  $8 R^3 \sqrt{2}$ .
- c)  $16 R^3 \sqrt{2}$ .
- d)  $\frac{16R^3}{3\sqrt{3}}$ .
- e)  $\frac{64R^3}{3\sqrt{3}}$ .

**Comentário:**

Tranquilidade, Coruja! Conforme vimos em aula, temos que o FEA (Fator de Empacotamento Atômico) para a estrutura CCC (Cúbica de Corpo Centrado), consiste em 2 átomos inteiros de volume, já que  $1/8$  dos átomos vizinhos estarão em cada vértice da célula unitária e 1 átomo inteiro no centro. Veja:





Aplicando o teorema de Pitágoras para a diagonal do cubo (não da face do cubo, como na CFC, mas na diagonal dos pontos verdes indicados na figura acima), encontramos a seguinte relação entre a aresta do cubo da célula unitária "a" e o raio R do átomo:

$$(a\sqrt{2})^2 + a^2 = (4R)^2;$$

$$2.a^2 + a^2 = 16.R^2;$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}};$$

Oras, “matou”, Coruja! A questão não pede o FEA, mas o volume da célula unitária em termos do raio R dos átomos que a compõem. Moleza, volume (como você bem sabe) é  $V = a^3$ . Assim:

$$V_{ccc} = a^3 = \left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3 = \frac{64.R^3}{3.\sqrt{3}};$$

**Gabarito: “e”.**

### 18. (Cesgranrio/Petrobrás – Técnico de Inspeção de Equipamentos e Instalações Júnior – 2017)

Qual a fração de massa de cementita para um aço de composição eutetoide, 0,77%C, com %C $\alpha$  igual a 0,0218?

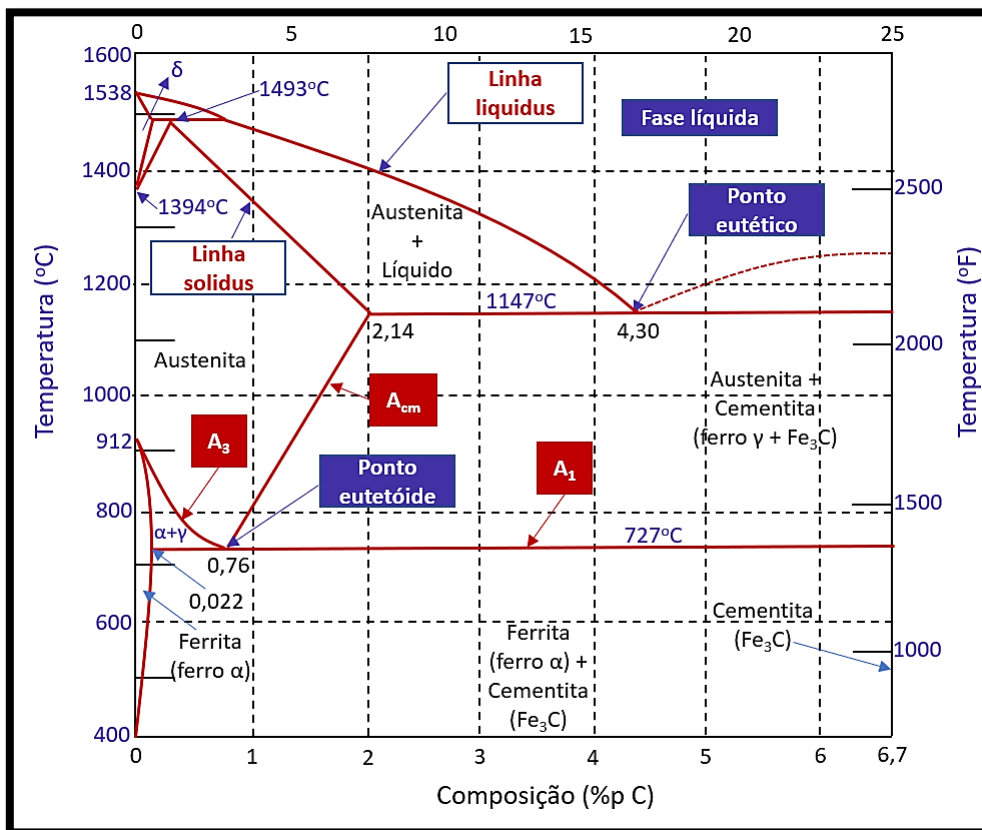
- a) 0,11.
- b) 0,13.
- c) 0,23.
- d) 0,67.
- e) 0,89.

**Comentário:**



Olha aí, Coruja! Questão super “moleza” que nos cobra a famosa **Regra da Alavanca**! Lembre-se que vimos essa regrinha para o diagrama cobre-níquel a fim de calcularmos a fração de massa para a fase líquida e para fase sólida da liga em determinado ponto de concentrações. Para liga ferro-carbono é a mesma coisa!

Aqui, você precisava se lembrar qual é o ponto **eutetóide** no diagrama ferro-carbono. O enunciado deu uma "colher de chá", pois já forneceu sua concentração (todavia, você deve ter ela em mente, hein?!) - 0,77%. Ou seja, nesse ponto, como você sabe, temos 0,77% de liga de carbono. Oras, vamos relembrar as curvas do nosso diagrama ferro-carbono e a fórmula da Regra da Alavanca para essa situação:



Perceba que no ponto eutetóide até a concentração de 6,7% de carbono, temos a fase **cementita** em maior concentração. Por outro lado, do ponto eutetóide até a concentração de 0,0218% (ou 0,022%) temos a **ferrita** com maior concentração.

Oras, pela famigerada regra, temos que para achar a fração mássica da **cementita** nesse caso, devemos **dividir** a diferença de concentração do ponto (nesse caso, o eutetóide) até a extremidade **oposta da isoterma** pelo total da **isoterma** (também chamada de **linha de amarração**). Essa o mesmo raciocínio do cálculo das fases líquida e sólida da liga cobre-níquel que fizemos na parte teórica! Assim, temos:

$$\text{Fração cementita} = \frac{S}{R + S} = \frac{C_{\text{ponto eutetóide}} - C_{\alpha}}{C_{\text{cementita}} - C_{\alpha}} = \frac{(0,77\% - 0,0218\%)}{(6,7\% - 0,0218\%)} = 0,112;$$



Assim, temos que a fração de massa de cementita nesse ponto é de 0,11 e, de ferrita, conseqüentemente, de 0,89.

**Gabarito: "a".**

**Instituto AOCP**

### **19. (AOCP/UEFS - BA - Analista - Engenharia Mecânica – 2018)**

A resiliência e a tenacidade são propriedades mecânicas. Das alternativas a seguir, qual melhor explica essas duas propriedades?

- a) A tenacidade corresponde à capacidade do material deformar-se elasticamente e a resiliência é a capacidade de um material absorver energia quando deformado plasticamente.
- b) A tenacidade pode ser medida em quantidade de calor dissipado antes da ruptura.
- c) A resiliência é a capacidade que o material tem de absorver energia até a ruptura.
- d) A tenacidade é a capacidade que o material tem de absorver energia dentro do regime elástico.
- e) A tenacidade corresponde à capacidade do material deformar-se plasticamente e a resiliência é a capacidade de um material absorver energia quando deformado elasticamente.

**Comentário:**

Estrategista, se o enunciado não tivesse explicado "...qual melhor explica..." teríamos uma questão bem mal formulada, certo? Oras, sabemos que a **resiliência** é a capacidade que o material possui de **absorver** energia por uma tensão **sem se deformar plasticamente** e, assim que cessada a tensão, **devolver essa energia**. Ou seja, ela pertence ao regime **elástico** de deformação. Por outro lado, a **tenacidade** é a **capacidade** do material de **absorver energia, porém** dentro do campo de **deformação plástica e elástica**.

Dito isso, vejamos cada alternativa:

**Letra "a":** errada! A tenacidade envolve tanto o regime elástico como plástico;

**Letra "b":** errada! Nada a ver com a definição de tenacidade, Coruja! Tenacidade tem relação com a energia absorvida total do material até a sua ruptura/fratura;

**Letra "c":** errada! Essa é a definição de tenacidade

**Letra "d":** errada! Essa é a definição de resiliência;

**Letra "e":** correta! Apesar da definição de tenacidade estar equivocada é, de fato, a alternativa menos pior! Na realidade, a **tenacidade** é a **capacidade** do material em absorver energia total até se romper,



envolvendo tanto o regime elástico quanto plástico. A resiliência está definida corretamente. Poderia ter mencionado o fato da devolução energética, mas é menos pior que a definição de tenacidade. Todavia, como disse, é a alternativa menos errada (a melhor, como diz o enunciado) e o nosso gabarito.

**Gabarito: "e".**

## 20. (AOCP/EBSERH - Engenheiro Mecânico – 2014)

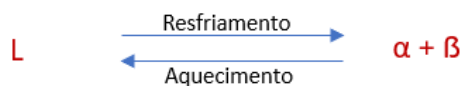
Sistemas eutetóides são regidos pela reação eutetóide, que se caracteriza pela.

- decomposição exotérmica de uma fase sólida em duas outras fases sólidas durante o resfriamento e a reação inversa no aquecimento.
- decomposição isotérmica de uma fase sólida em duas outras fases sólidas durante o resfriamento e a reação inversa no aquecimento.
- decomposição exotérmica de uma fase sólida em duas outras fases sólidas durante o aquecimento e a reação inversa no resfriamento.
- decomposição endotérmica de uma fase sólida em duas outras fases sólidas durante o resfriamento e a reação inversa no aquecimento.
- decomposição isotérmica de uma fase sólida em duas outras fases sólidas durante o aquecimento e a reação inversa no resfriamento..

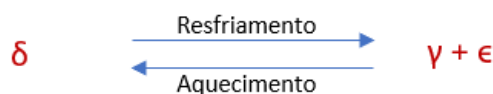
### Comentário:

Questão tranquila, Coruja! Ela nos cobra as características da reações dos **pontos invariantes** (pontos de equilíbrio de fases). Vamos lembrar:

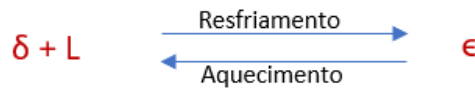
- Reação eutética:** no resfriamento, **uma fase líquida (L)** se transforma em **duas fases sólidas ( $\alpha + \beta$ )** na temperatura específica (temperatura do ponto eutético da liga). No aquecimento, o processo inverso ocorre. Abaixo temos a expressão dessa reação:



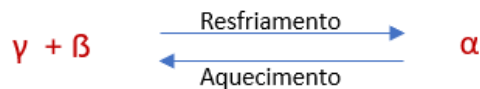
- Reação eutetóide:** no resfriamento, **uma fase sólida ( $\delta$ )** se transforma em **duas outras fases sólidas ( $\gamma + \epsilon$ )**. No aquecimento, novamente, ocorre o inverso. Veja a expressão abaixo:



- **Reação peritética:** no aquecimento, **uma fase sólida ( $\epsilon$ )** se transforma em **uma fase líquida (L)** e **outra fase sólida ( $\delta$ )**. Por conseguinte, no resfriamento, temos a transformação inversa. Veja a expressão dela:



- **Reação peritetoide:** no resfriamento, **duas fases sólidas** se transforma **em uma fase sólida única**. No aquecimento, temos a transformação inversa. Veja a expressão característica:



Nosso gabarito é a letra "b".

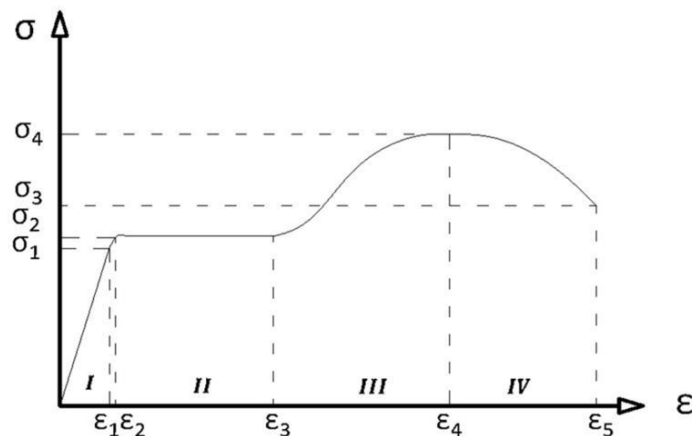
Gabarito: "b".

IBFC

CEV-UECE

## 21. (CEV-UECE/Prefeitura Municipal de Sobral - Engenharia Mecânica – 2018)

Observe o diagrama de Tensão x Deformação para um aço, representado na figura abaixo.



Atente ao que se diz a seguir sobre o diagrama acima.

- I. A zona "I" do gráfico corresponde à região onde o material apresenta um comportamento elástico, onde até a tensão  $\sigma_1$  a relação  $\sigma \times \epsilon$  é linear.



II. Ao atingir a tensão  $\sigma_2$ , o material começará a escoar, deformando-se plasticamente sem apresentar qualquer aumento na carga, sendo então classificado como perfeitamente plástico durante toda a zona "II" do gráfico.

III. Na zona "III" do gráfico, o material passa por um processo de endurecimento por deformação, chamado de encruamento. IV.

IV. Na zona "IV" do gráfico, o material passa por um processo de redução localizada da área da seção transversal, denominado estrição, até atingir a sua tensão de ruptura  $\sigma_3$ .

Está correto o que se afirma em.

- a) I, II e IV apenas.
- b) I, II e III apenas.
- c) III e IV apenas.
- d) I, II, III e IV.

#### Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Temos uma questão que aborda as características de um **ensaio de tração simplificado**, no qual pede para você identificar as regiões e do gráfico pela curva **tensão x deformação**. Vamos ver cada assertiva:

**I:** perfeita! De fato, a zona "I" corresponde ao regime **elástico** (deformação não permanente) no qual cessados os esforços que geram a deformação nas ligações atômicas entre os átomos que compõem a microestrutura do material, ele retorna ao seu formato original;

**II:** perfeita! A tensão 2 é justamente a tensão de **escoamento** configurando tal limite entre o regime elástico e o **plástico** (deformação permanente, sem retorno ao formato original quando cessados os esforços geradores da tensão);

**III:** certo! O **endurecimento** por **encruamento** tem relação total com a **deformação plástica**. O **encruamento** é gerado e aumenta a resistência mecânica até o **limite de resistência à tração** (pico da curva). O encruamento surge justamente pela interação que vai existir entre as discordâncias dos grãos que constituem a microestrutura do material. Ele tem como consequência a elevação da dureza do material deformado plasticamente (quando feito em temperaturas bem abaixo da temperatura de recristalização desse material), pois surgem **tensões internas** geradas no material por essa deformação plástica. Essas tensões **umentam as discordâncias** em sua microestrutura e, assim, essas novas discordâncias irão dificultar o movimento das demais discordâncias existentes, alteram o movimento natural dos planos cristalográficos formados. Dessa forma, o escorregamento desses planos se torna mais difícil de ocorrer;





**IV:** certa! Conforme vimos, depois de atingido o limite de resistência à tração, o **empescoamento** (estricção formada por conta da redução de área na seção transversal da peça – corpo de prova) surge até a ruptura do material com uma tensão menor atingida pela queda da resistência do material;

**Gabarito: “d”.**

## 22. (CEV-UECE/Prefeitura Municipal de Sobral - Engenharia Mecânica – 2018)

Considere as seguintes afirmações sobre o diagrama ferro-carbono:

- I. O ferro puro, ao ser aquecido, experimenta duas alterações na sua estrutura cristalina antes de se fundir.
- II. A austenita, quando ligada somente com carbono, não é estável a uma temperatura inferior à temperatura eutetóide.
- III. A cementita se forma quando o limite de solubilidade para o carbono na ferrita  $\alpha$  é excedido a temperaturas abaixo de 500 °C.
- IV. Uma liga de composição eutetóide, ao ser resfriada lentamente de uma temperatura de 800 °C até 600 °C, irá formar uma microestrutura conhecida por perlita.

Está correto o que se afirma em.

- a) I, II e III apenas.
- b) III e IV apenas.
- c) I, II e IV apenas.
- d) I, II, III e IV.

### Comentário:

Olha, Estrategista! Questão que nos cobra o conhecimento do **diagrama de equilíbrio Fe-C** e suas fases. Vejamos:

**I:** perfeita! Exatamente, Coruja! A assertiva fala das fases **ferrita** e **austenita**!;

**II:** certa! Abaixo da temperatura eutetóide (ponto do gráfico cujo teor de C é de 0,77% a 727°C, aproximadamente) ela deixa de ser estável e começa a ocorrer a formação da microestrutura **perlita** (lamelas alternadas das fases **ferrita** e **cementita**). Lembre-se sempre que a **perlita não** é uma fase;

**III:** errada! Negativo, Coruja! Ela começa a se formar a depender da temperatura e da concentração de carbono, sendo que a temperatura é de 727°C;



IV: certa! Como expliquei na assertiva II, é exatamente isso que ocorre: formação da **perlita!**

**Gabarito: "c".**

**IESES**

### **23. (IESES-GASBRASILIANO-SP/Engenheiro de Gás Natural – 2017)**

Após a leitura do enunciado apresentado a seguir, identifique a afirmação correta:

A propriedade de um material que permite a ele resistir à deformação plástica (permanente), usualmente por penetração. É chamada de:

- a) Ductilidade.
- b) Tenacidade.
- c) Tensão de deformação.
- d) Dureza.

**Comentário:**

Moleza, Coruja! Falou em **penetração**, estamos falando em **dureza!** Oras, a propriedade de um material que permite ele resistir a penetração (deformação plástica localizada) é a dureza.

**Gabarito: "d".**



# ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



**1** Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



**2** Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



**3** Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



**4** Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



**5** Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



**6** Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



**7** Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



**8** O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.