

Aula 00

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

Autor:

Felipe Canella, Juliano de Pelegrin

07 de Abril de 2025

Sumário

INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DOS MATERIAIS.....	3
DEFORMAÇÕES, PROPRIEDADES MECÂNICAS E PRINCIPAIS ENSAIOS	4
Deformação elástica	4
Deformação plástica.....	8
Propriedades mecânicas dos materiais.....	12
Resistências (tração e compressão), resiliência, ductilidade e tenacidade	15
Dureza.....	21
Ensaio.....	22
Propriedades térmicas, elétricas, magnéticas e químicas	25
Propriedades térmicas	25
Propriedades elétricas e magnéticas.....	26
Propriedades químicas.....	27
DIAGRAMAS DE FASES, CURVAS TTT E CCT	29
Diagrama de fases – principais conceitos.....	29
Diagramas de fases – (Fe-C).....	38
Ferros fundidos.....	44
Curvas TTT.....	49
Considerações finais	54
Questões com comentários.....	55



CIÊNCIA DOS MATERIAIS

Estrategista, é com enorme prazer que estou aqui com vocês para falarmos sobre **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.

Nesta aula, abordaremos o assunto começando com uma breve **introdução** à disciplina, ilustrando alguns exemplos de sua aplicação no mundo real, bem como os conceitos básicos provenientes da Química. Além disso, exemplificarei o quanto é importante para o engenheiro dominar esse conhecimento e explicarei as relações com as **propriedades mecânicas** dos diversos tipos de materiais que são empregados em nossa profissão.

Em um segundo momento, entrarei em uma parte da Química que explica o porquê de certos comportamentos que serão importantes para toda a matéria. Não se preocupe, pois será somente aquilo que nos interessa saber e que **tenha sentido** para nós. Depois, explicarei sobre as **propriedades mecânicas e principais ensaios** que as provas adoram cobrar do candidato. Em seguida, falarei dos famosos **Diagramas de Fase e as Curvas TTT (Temperatura, Tempo e Transformação)**.

Ao término da aula, compilei as últimas questões do cargo do seu concurso dos últimos anos. Além de todo o conteúdo, coloquei mais um bocadinho de questões com foco em nosso conteúdo, abordando realmente o que cai em sua prova, proveniente das principais bancas que são referências no país!

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 CEBRASPE"**:

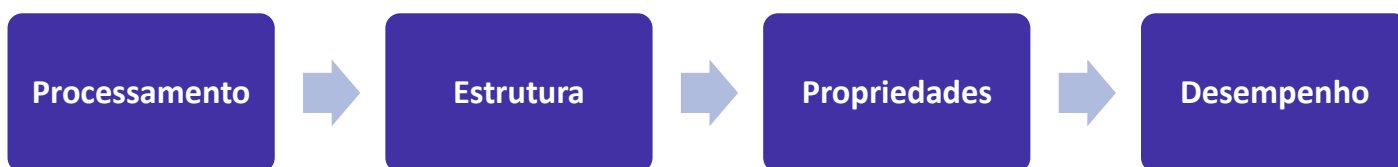


INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DOS MATERIAIS

Estrategista, estudar os **materiais** é estudar porque determinada composição química de elementos geram **específicas propriedades**. Nesse sentido, a importância em se estudar a Ciência do Material é justamente entender que para **cada tipo de desempenho**, temos que ter um **material específico**.

Por exemplo, em uma automóvel, temos diferentes tipos de materiais. Temos o **bloco do motor** que **pode ser de ferro fundido** e o **eixo do virabrequim** de outra liga metálica específica (não cabe o momento adentrarmos a esses detalhes). Mas, por que são diferentes? Justamente, porque o **serviço** que será desempenhado por essas duas "peças" será **diferente**.

Por conta disso, estudar a ciência **que rege essas transformações** químicas é importante, correlacionando sua **microestrutura, propriedades e desempenho do material**. Para nosso estudo e foco dessa disciplina em concursos, a alteração da **microestrutura** do material impacta **nas propriedades** que ele terá. E como esse processo é desenvolvido veremos mais à frente.



Nesse sentido, é válido termos em mente, Coruja, que conforme alteramos a **composição do material** com inclusão de elementos químicos diferentes, obtemos **mudanças** nessa relação que a figura acima demonstra.



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

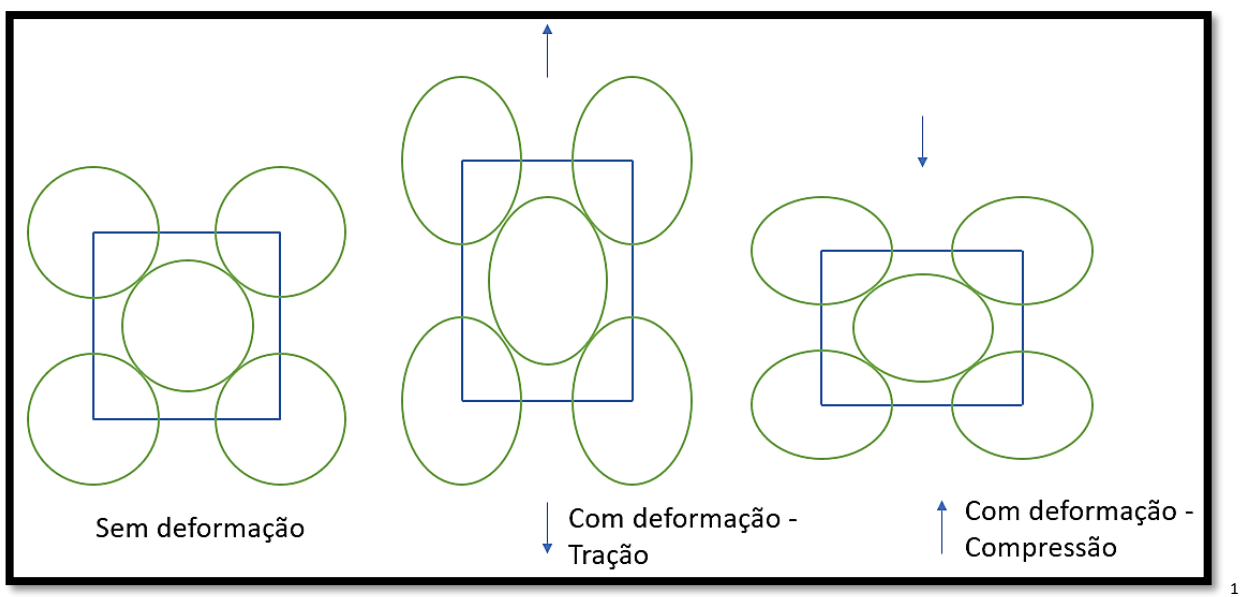


temporária. Nesse sentido, assim que a **tensão** aplicada ao material for **eliminada**, o material **volta a sua forma original**.

Perceba, Estrategista, que na figura abaixo, os átomos da célula unitária sofrem tensão de **tração** quando o material é “**puxado**” pelas suas extremidades, por exemplo.

Agora, na tensão de **compressão**, o material é “**apertado**” e fica comprimido, por exemplo.

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:

¹ 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.



σ : é a tensão aplicada, podendo ser expressa em **newton (N/mm²)** ou **kilograma-força (kfg/cm²)**;

E: módulo de elasticidade, podendo ser expresso em **GPa (10⁹ N/m² ou 10³ N/mm²)** ou **psi (6895 Pa)**;

ϵ : 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 **aumenta 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**.

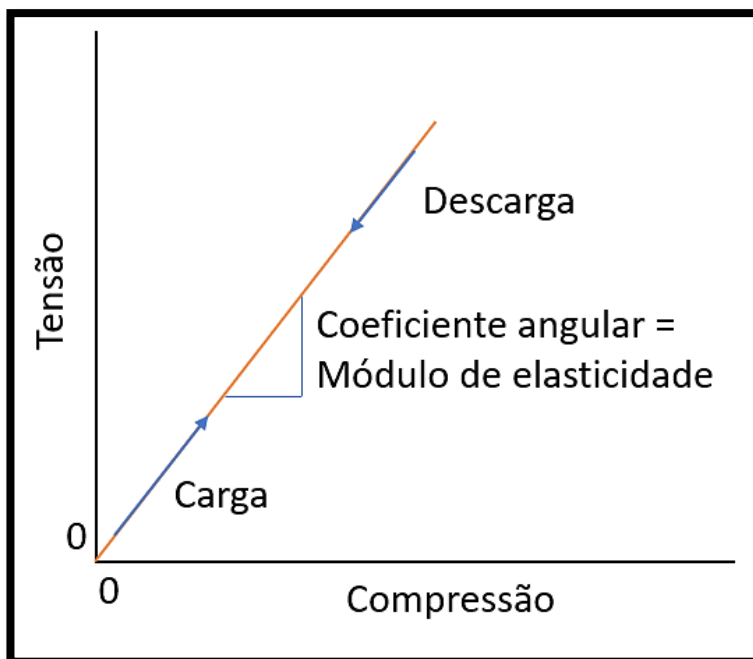


O **módulo de elasticidade** também pode ser chamado pela banca de **módulo de Young**. É a mesma coisa! :)

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.





2

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.

LIGA METÁLICA	Módulo de Elasticidade	
	Gpa	10^6 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

3

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

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

³ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



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**.

Deformação plástica

Coruja, 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**.

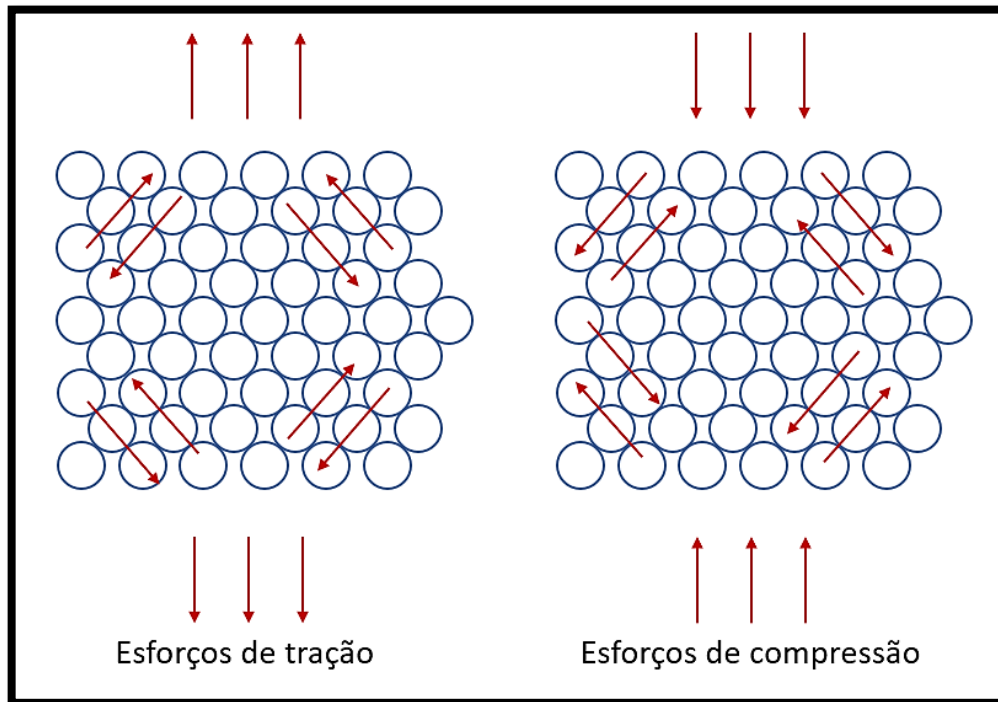
Normalmente, nos metais, a **deformação elástica** precede a plástica e fica em torno de **0,005** de unidade do material. Ou seja, é praticamente imperceptível a olho nu. Nos materiais **crystalinos** (os que **possuem retículo cristalino e não amorfos**), a **deformação plástica** ocorre por conta 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**.



4

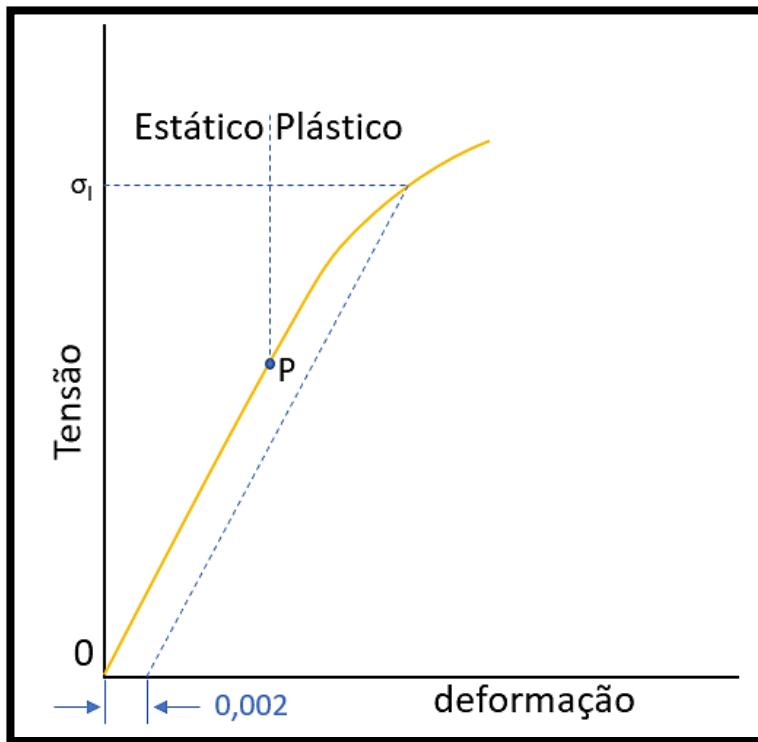
Coruja, saber qual o **limite de escoamento** de um metal (ou seja, o limite que ele suporta até começar a **deformar plasticamente**) é bem importante, pois é partir dele que certos projetos podem ser dimensionados e processos de fabricação (visto na aula passada) escolhidos.

Imagina que em um processo de **conformação** mecânica, entender qual o **limite de escoamento** de uma placa que sofrerá **laminação**, por exemplo, seja extremamente relevante a fim de dimensionar **as forças exercidas pelos rolos** e a **liga metálica** que eles deverão ser construídos a fim de aguentar tais tensões. Pegou o “bizu”?

Nesse sentido, 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 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.





5

Percebeu aquele 0,002 no gráfico? Aquele é 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 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 doutrina⁶, 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.

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

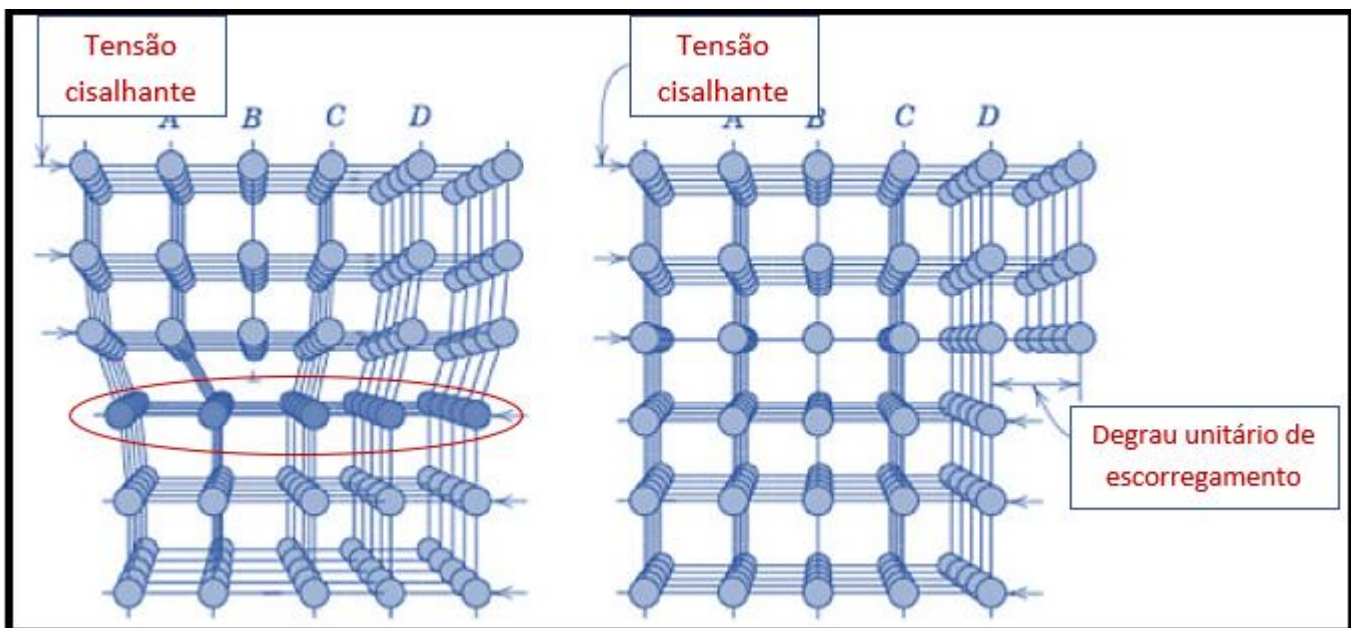
⁶ Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Além desses pontos, Estrategista, é bom você saber que o processo de deformação plástica também está relacionado 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** desse 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 (ainda veremos seus tipos), constituem um **sempi plano** extra de átomos.

É justamente por essa diferença de ordenamento gerada pela presença desse semiplano extra é que facilitam o movimento atômico entre os átomos do cristalino. Veja a figura⁷ 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 que vai emergir. Esse é um exemplo de **discordância de aresta**.

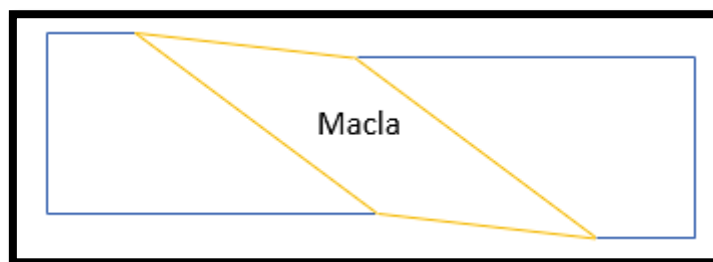
⁷ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



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, proveniente de uma tensão cisalhante no material. Saiba que a **densidade de discordância** em um retículo cristalino de um material é a medida de **razão** entre o **comprimento total de discordâncias por unidade de volume** ou o **número de discordâncias que vai interceptar uma área unitária de um seção qualquer**. São duas definições.

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 doutrina⁸ 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 figura⁹ a seguir mostrando, de forma esquemática e simplificada, a macla inclinada que relaciona os dois lados “espelho” dos planos de átomos em azul:



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

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

⁹ Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



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**.

Um exemplo para ilustrar seria relacionado aos **grandes prédios** fruto de obras gigantescas da engenharia civil. Prédios como o **Tapei 101** (localizado em Taiwan e medindo cerca de 510 metros) e o **Burj Khalifa** (localizado em Dubai e medindo cerca de 800 metros), demandam materiais específicos em sua construção.

Imagine, Estrategista, o conjunto de propriedades mecânicas diferentes que esses “arranha-céus” possuem? Eles precisam conciliar **elevada resistência mecânica** e **elevada dureza** para aguentar todo o peso que possuem, ao passo que também precisam ter **flexibilidade e tenacidade** para suportar as diferentes ações dos **ventos** em elevadas velocidades naquelas alturas.





10

Além da “engenharia” e tecnologia por trás, seja pela arquitetura inovadora, seja pelas esferas de aço de amortecedor (como no Taipei 101), os materiais e suas propriedades são de suma importância para o sucesso dos projetos.

Outro exemplo digno de menção é a tragédia do Titanic que com certeza você também já ouviu falar. Será que hoje em dia o navio teria afundado? Pode ser que não. E sabe por quê? Porque talvez naquelas condições de **temperatura** e **pressão** da **água** (extremamente fria) um **liga específica** de **aço** com **elementos específicos** em sua composição teria tornado o casco **mais dúctil e tenaz**, suportando o choque com o **iceberg**.

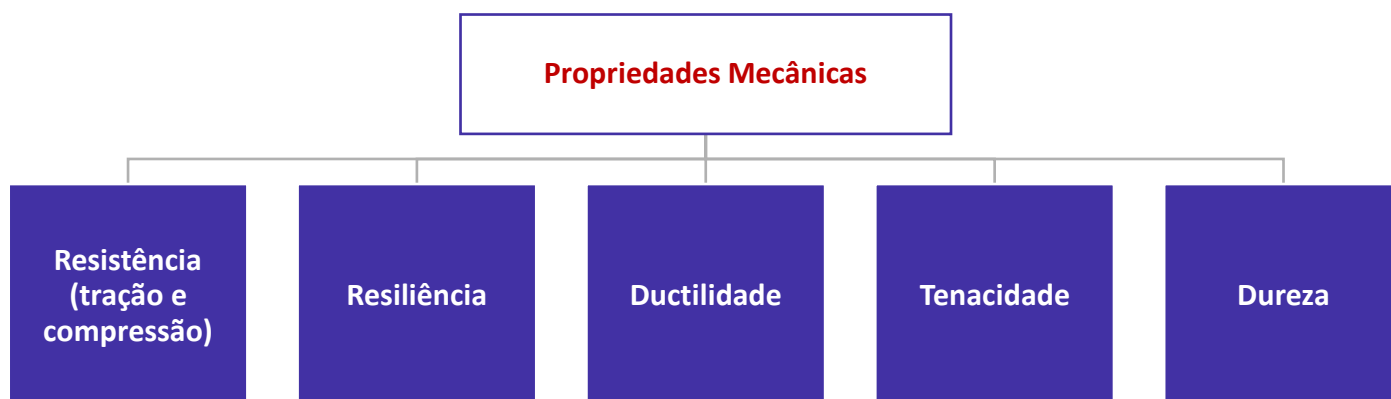
E pode ter certeza, Estrategista, que naquela época os engenheiros devem ter usado o que havia de melhor para o seu tempo e conhecimento. Todavia, naquele **serviço** específico, em águas próximas a 0°C, o aço se tornou **frágil** e, com o impacto, rompeu, provocando o acidente.

Percebe a importância de entender as propriedades mecânicas dos materiais a fim de se obter a composição específica de uma liga para um específico serviço?

¹⁰ Adaptado de Shutterstock, 2019.



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).

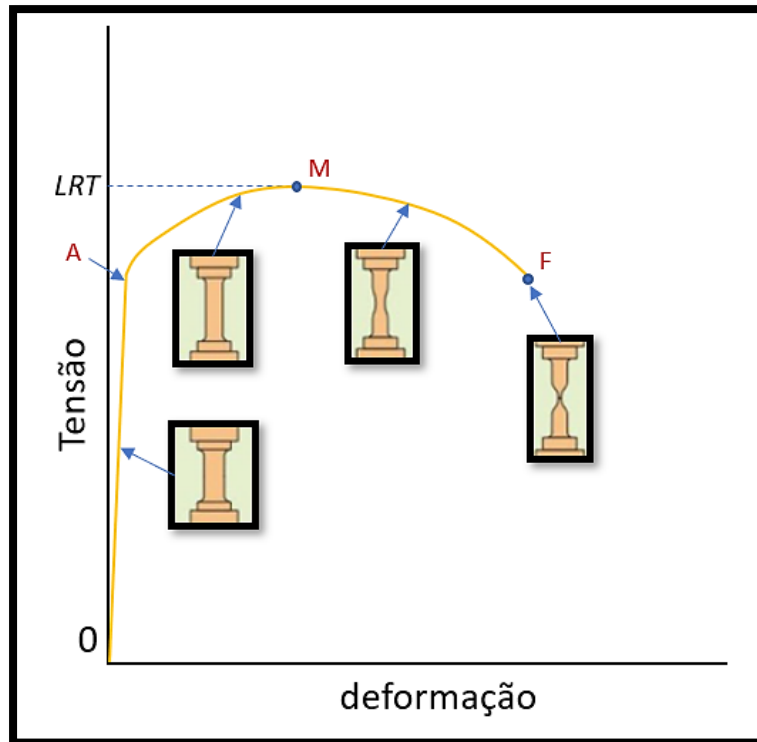
Após adentrar o campo da **deformação plástica** que acabamos de estudar, e ocorrer o **escorregamento** dos planos **crystalinos** que mencionei, o material atingirá um **limite** até se romper. A esse **limite** é dado o nome de **Limite de Resistência a Tração (LRT)**.

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 (σ) 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 **umenta**. Apesar desse perfil, depois desse ponto, ela começa a diminuir, até ocorrer a **fratura** no ponto "**F**".





11

É como se eu, Estrategista, pegasse uma barra de ferro (vai vendo, rs) e a puxasse até ela se romper. Se eu fosse o “Super-Homem”, ela teria, durante um tempo, uma deformação **elástica**, depois **plástica** até “F”. Passaria por um **leve** aumento do esforço (a tensão) que eu teria que fazer para continuar deformando até “M”. Depois de “M”, o esforço iria se reduzindo até se romper em “F”.

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

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.

¹¹ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



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_f** = comprimento final;
- **C_o** = 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_o** = área inicial da seção transversal;
- **A_f** = área final da seção transversal;

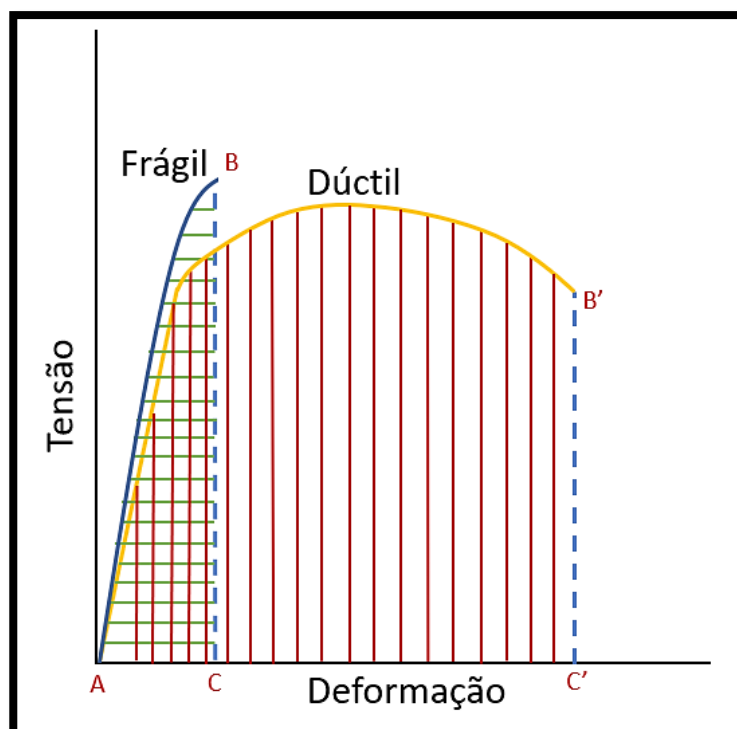
Por outro lado, Estrategista, quando o material **deforma muito pouco plasticamente**, ele é considerado **frágil!** É como se você comparasse um pedaço de vidro com o metal da latinha de refrigerante feita de alumínio.

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).



12

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 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).

Vamos fazer uma analogia ao mundo corporativo que usa muito o termo “resiliência”. Nesse contexto, quer dizer o “profissional que consegue trabalhar sob pressão sem explodir de nervoso com algo

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



ou alguém”. Tem quase o mesmo sentido. A diferença é que quando falamos dentro da Ciência dos Materiais, Estrategista, a **resiliência** também tem a ver com a **devolução** dessa energia que ele **absorveu**.

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!**

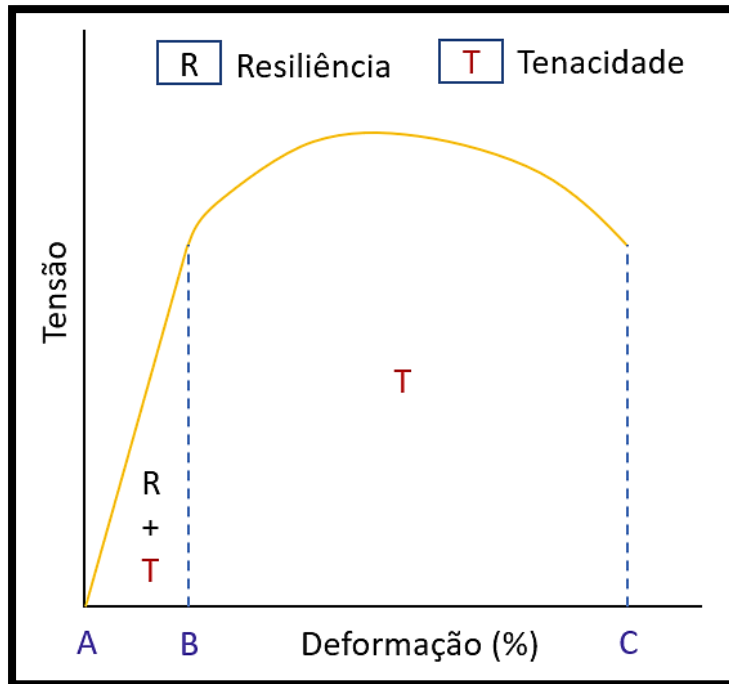
Todavia, temos que classificar mais uma **propriedade** intimamente relacionada a **ductilidade**: é a **tenacidade!** Estrategista, muito simples: a **tenacidade** nada mais é que a **capacidade** do material de **absorver energia**, **porém** dentro do campo de **deformação plástica e elástica**.

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.

Aqui também não se preocupe com a cobrança de conta – as bancas estão preocupadas com os conceitos. Todavia, para que você tenha “noção” se caso o(a) examinador(a) cobrar alguma **relação** numérica ou em “qual região” do gráfico tensão x deformação estão associadas as propriedades de **resiliência e tenacidade**, vamos observar o gráfico a seguir.

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:





13



Preste, atenção, Coruja:

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.

¹³ 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.



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

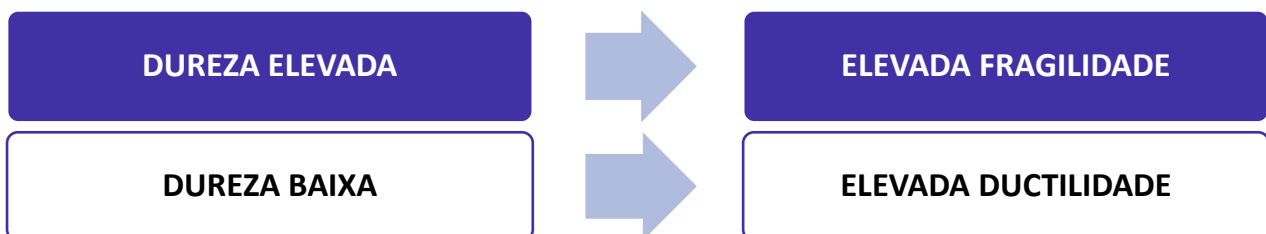
Uma importante propriedade mecânica para nós é a **dureza** e as medidas do quanto cada material é considerado **duro**. Sem adentrar as diferentes conceituações que existem para diferentes áreas do conhecimento, para nós, **dureza** é: um tipo de **resistência de um material** a uma deformação **plástica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



Ensaaios

Nesse ponto da aula, é válido falarmos brevemente sobre os **ensaaios**, mesmo não sendo o assunto preferido das bancas. Todavia, nunca é ruim conhecermos os termos, definições e procedimentos, associando-os a quais **propriedades mecânicas** eles medem e determinam. Por conta disso, vou comentá-los, agrupando-os pelas **propriedades**. Começaremos pelos ensaios de **dureza**.

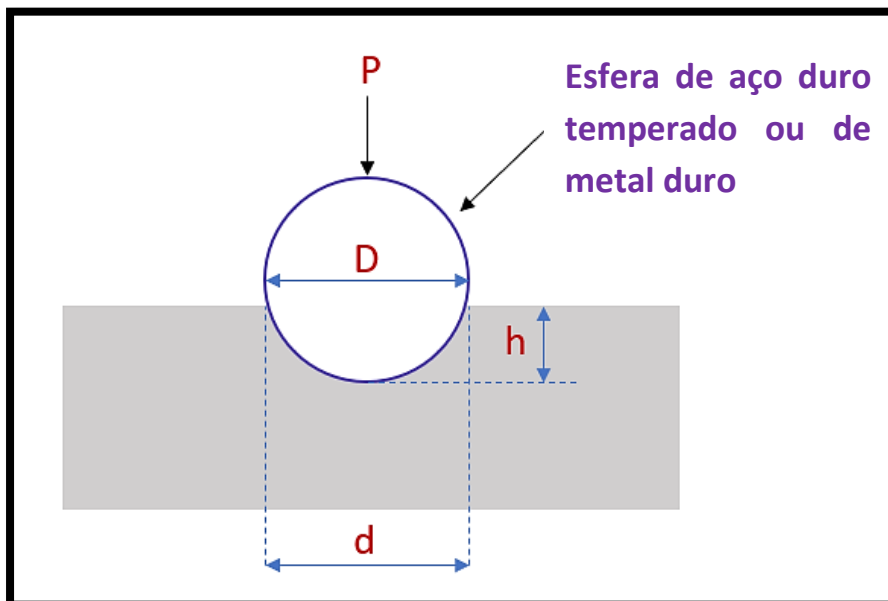
Ensaaios de Dureza

O intuito dos **ensaaios de dureza** é, basicamente, medir o **quanto** um material permite a **penetração** de uma ferramenta (denominada **penetrador**) para uma **determinada carga**. O principal objetivo é encontrar a **profundidade** atingida por esse penetrador.

Estrategista, para medirmos a dureza de um material, temos **3 grandes ensaios principais**:

Ensaio de dureza Brinell:

Esse ensaio foi um dos **primeiros** a serem desenvolvidos no começo do século XX por J. A. Brinell (que batizou o método com seu nome). Basicamente, uma esfera de aço **duro** (mais que do material) e diâmetro "**D**" conhecida adentra o material por conta de uma carga "**P**". Dessa forma, uma área será impressa no material no formato esférico e de diâmetro "**d**". Veja a figura abaixo para ficar mais claro.



14

¹⁴ 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.



Dessa forma, o ensaio de dureza **Brinell** é representado pela seguinte relação matemática e o número **H** obtido é a **dureza** do material na escala (em alguns livros é denominado **HB**, de *Hardness Brinell*). (Ah, e não vai confundir com o “**h**” da figura, hein? Ele só demonstra o quanto a esfera adentra o material, na vertical. O que realmente importa são as variáveis que já comentei. ;).

$$H = \frac{2P}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Sendo:

P = expresso em **newtons (N)** ou **kilograma-força (kgf)**;

D e d = expressos em **mm**;

H = expresso em **N/mm²** ou **kgf/mm²**.

Ensaio de Dureza Rockwell:

É o **mais comum** e usado largamente na engenharia por conta da facilidade do procedimento e baixa probabilidade de erros surgirem, além da vantagem de o **penetrador** causar **baixa dimensão na impressão** não estragando (normalmente) o material da peça a ser medida.

Uma **característica** importante que o distingue do **Brinell** é que a ponta do **penetrador** é de **diamante**. Isso é uma vantagem, pois em materiais bem duros como os **aços temperados** (falaremos dele quando entrarmos nos tratamentos térmicos) é possível executar a medida sem oscilações e/ou danos consideráveis no **penetrador**, já que **diamante** é um dos materiais mais duros da natureza.

Outra característica a ser **memorizada** é que no ensaio de dureza **Rockwell**, a dureza não é expressa por uma equação matemática e, sim, por um **número em escala própria** que demonstra a **proporção de profundidade** atingida.

Além desses detalhes, temos **3 faixas** principais de dureza que recebem denominações diferentes e **procedimentos** também diferentes dentro do **Ensaio Rockwell**.

É como se fosse assim, Coruja: para cada material, do menos duro ao mais duro, precisa mudar o **penetrador** e a carga a ser empregada. Cada faixa é chamada de **escala**. São elas:

- **Escala “A” (Rockwell A):** é usada para materiais de dureza **alta**. Usa-se ponta de **diamante** no penetrador na forma de um **cone**. A carga é de cerca de **60 kgf**;
- **Escala “B” (Rockwell B):** é usada para materiais de dureza **média**. Usa-se penetrador de **esfera de aço** de cerca de 1/16 de polegada de diâmetro (cerca 1,587 mm);



- **Escala “C” (Rockwell C):** é usada para materiais **muito duros**. Usa-se penetrador de **diamante** como na “A” e uma carga maior (cerca de **150 kgf**).

Por conta das cargas, das dimensões e dos tipos de penetradores serem constantes, é possível “jogar” em uma tabela e encontrar a dureza do material dentro de cada escala nesse tipo de ensaio.

Esses valores são dados com o **número da dureza** e a **letra** da escala. Por exemplo: **60 Rockwell C, ou 60 C**, se estivermos falando dentro do contexto de ensaios Rockwell.

Um segundo “tipo” de ensaio Rockwell utilizado é a **Rockwell Superficial**, com 2 escalas: **N** e **T**. Nada mais é que o mesmo princípio de método, porém para peças **muito finas e de baixa espessura**.

- **Escala “N” (Rockwell N):** usa-se penetrador de **diamante** e cargas de 15, 30 ou 45 kgf;
- **Escala “T” (Rockwell T):** usa-se penetrador de **esfera de aço** e cargas de 15, 30 e 40 kgf.



Estrategista, um nome também encontrado na literatura para o **penetrador de diamante** é **penetrador Brale!** Grave isso para que nenhum examinador(a) espertinho(a) venha com alguma pegadinha! :)

Ensaio de Dureza Vickers:

Nesse ensaio de dureza, Coruja, a **escala** é **contínua** para as medidas de dureza e uma **característica** a ser memorizada é que ele é **amplamente usado para materiais muito “moles” (dúcteis) até materiais muito duros**.

Outra característica importante é quanto ao seu penetrador e o formato – também é de **diamante**, porém seu formato é **piramidal**, formando uma **pirâmide de base quadrada**. As cargas começam em 10 kgf e vão até 120 kgf.

Nesse ensaio, Estrategista, também teremos uma **relação matemática**, como no ensaio de dureza Brinell.



Veja a relação abaixo:

$$Hv = \frac{1,8544 \cdot P}{L^2}$$

No qual:

P = carga aplicada em **kgf**;

L = medida da diagonal da pirâmide impressa no material da peça em **mm**;



Pega o “bizu”, Estrategista:

Penetrador de Diamante = Ensaios **Vickers e Rockwell**;

Relações matemáticas = Ensaios **Vickers e Brinell**;

Coruja, coloquei esses ensaios a fim de ilustra a propriedade de dureza. Todavia, maiores detalhes sobre os ensaios falaremos na nossa aula sobre ensaios (destrutivos e não destrutivos).

Veremos, agora, as demais propriedades inerentes térmicas, elétricas, magnéticas e químicas de maneira geral dos metais. Avante, Coruja!

Propriedades térmicas, elétricas, magnéticas e químicas

Estrategista, de acordo com a literatura específica, temos as seguinte características de cada propriedade que passamos ver a partir de agora.

Propriedades térmicas

Como sabemos, Coruja, a elevação de **temperatura** do metal aumenta a **vibração dos átomos** que constituem o cristalino (lembre-se das células unitárias que comentamos). Em razão disso, há uma **expansão** que implica em aumento das dimensões desse metal. Esse tipo de alteração é explicitado pelo **coeficiente linear de dilatação térmica**, cuja unidade é $\text{cm/cm}/^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{C}^{-1}$.



Conforme a temperatura aumenta e atinge a temperatura de fusão do material, ocorre a mudança de estado, passando do sólido para o líquido, por exemplo, cujo arranjo dos átomos passa a ser **desordenado**.

Em linha com esse raciocínio, Coruja, com o aumento da temperatura de um metal, ocorrem mudanças em seu respectivo volume. Essas mudanças vão impactar os processos metalúrgicos para produção de peças, como no forjamento, na fundição, soldagem e tratamentos térmicos. Normalmente, para a grande maioria dos metais, ao se **fundir** seu volume **aumenta**.



Atenção, Estrategista: o **Silício (Si)** e o **Bismuto (Bi)** são exemplos de exceção quando fundidos, pois tendem a se **contrair e não se expandir** como a grande maioria! Tem “cheiro de prova” eles cobrarão uma questão direta sobre isso! ;)

Outras **três propriedades térmicas** que eu quero que você saiba a definição é a **capacidade** ou **poder calorífico**, **calor específico** (aquele “bom e velho” do ensino médio! Rs) e a **condutibilidade térmica**. Assim, temos, de acordo com a doutrina¹⁵:

- **Capacidade** ou **poder calorífico**: é a **quantidade** de calor (energia em trânsito) necessária para elevar a temperatura unitária;
- **Calor específico**: é a relação entre a **capacidade de armazenar calor do material e a da água**. Assim, é a relação entre a quantidade de calor (energia) para elevar a temperatura em 1°C do metal e quantidade de calor (energia) necessária para elevar 1°C da mesma massa de água;
- **Condutibilidade térmica**: capacidade de conduzir o calor pelo metal, dependendo, também, do estado no qual o metal se encontra;

Propriedades elétricas e magnéticas

As propriedades **elétricas**, Coruja, estão relacionadas com a capacidade do metal na **transmissão** de **corrente elétrica** e, conseqüentemente, **energia elétrica**. Essa é a sua **condutibilidade elétrica**. Por conta da presença do “**mar de elétrons**” livres no retículo cristalino (vimos na primeira parte da aula), a **mobilidade** dos elétrons é alta o que impacta nessa propriedade.

¹⁵ Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



Contrário à **condutibilidade elétrica**, Estrategista, temos a **resistência elétrica** que, como o próprio nome sugere, é a propriedade do metal que vai de encontrado com a primeira. A resistência elétrica **umenta** com o comprimento do metal e **diminui** com a seção transversal. Além disso, memorize que com o **aumento da temperatura** também se **umenta** linearmente até sua temperatura de fusão.

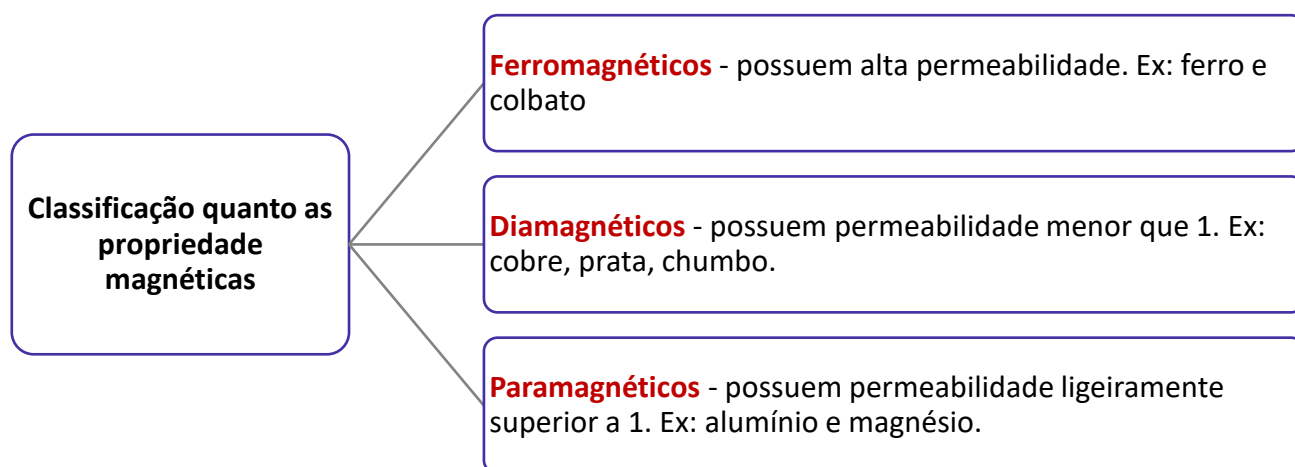
As **propriedades magnéticas**, Coruja, estão relacionadas com o comportamento do metal quando na presença de um **campo eletromagnético externo**.

Esse campo é comumente chamado de **“força magnetizante”** (pode aparecer na sua prova) e é expressa pela letra “H” em unidade de **“oersteds”**.

Outra grandeza nessa seara, é a **força magnética induzida** (diferente da primeira), normalmente, apelidada de **densidade do fluxo magnético** expressada pela letra “B” em unidade de **gauss**.

Uma outra propriedade no âmbito das propriedades magnéticas é a **permeabilidade**. Ela consiste na habilidade do metal em ser **magnetizado** ou de **conduzir linhas magnéticas de força** quando comparado ao ar e o vácuo.

Por fim, é importante você saber para sua prova que os metais podem ser classificados conforme o esquema a seguir (guarde-o na cabeça!):



Propriedades químicas

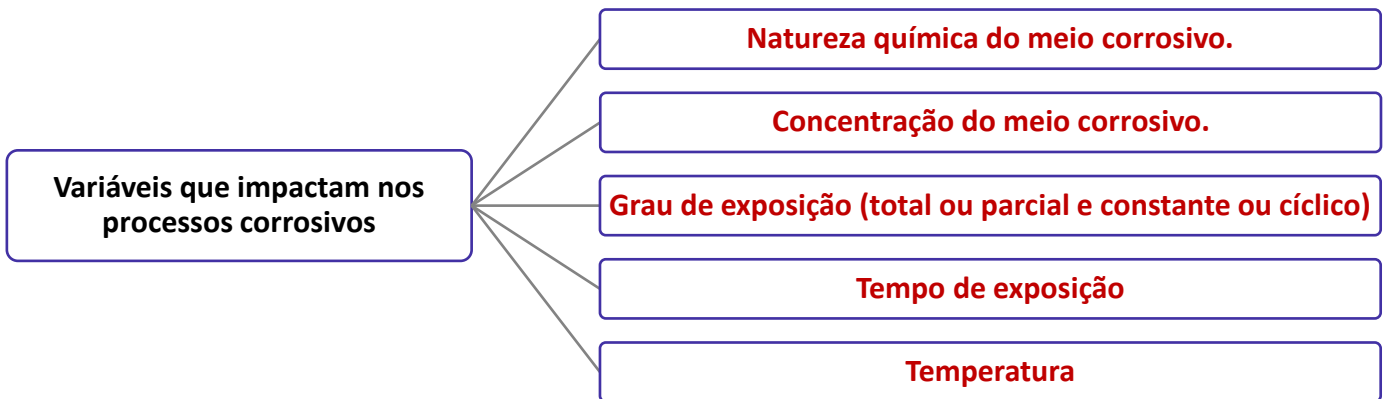
Conforme cita a literatura específica¹⁶, Estrategista, as propriedades **químicas** estão relacionadas, essencialmente, às **resistências** que os metais terão a dois tipos de “ataque” executados pelo **meio** no qual eles estão inseridos: o **ataque corrosivo** e o **ataque oxidativo**.

¹⁶ Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



Normalmente, esses ataques são de difícil determinação e vão depender do tipo de meio ao redor do qual o metal da peça, por exemplo, está inserido bem como da **temperatura**. Normalmente, a **corrosão** está relacionada ao **meio ambiente** e a **oxidação** com a **temperatura**.

Nessa seara, as reações de meios corrosivos são impactadas por algumas **variáveis** mencionadas pela doutrina¹⁷ e quero que você tenha em mente para sua prova:



Outro detalhe importante para sua prova é que a **corrosão** é comumente medida em **milímetros** ou **centímetros** de superfície perdida **anualmente**. Todavia, saiba que se pode utilizar medidas de **gramas** relacionadas ao peso perdido, também, anualmente.

A **temperatura** também é ser levada em conta quanto ao comportamento dos metais. Nesse sentido, ela tem ação direta e está intimamente relacionada com a **capacidade** de resistir às cargas que o metal está submetido.

Por conta de todo esse cenário, são desenvolvidas **ligas especiais** (falaremos de algumas quando entrarmos no bloco sobre **aços**) com presença de elementos de liga para serem resistentes a diferentes situações, dentre elas à corrosão e à oxidação.

Estrategista, encerramos por aqui as características dos principais ensaios! “Partiu” Diagramas de Solubilidade, Curvas TTT e o queridinho das bancas, **Diagrama Fe-C (Ferro – Carbono)**?

¹⁷ Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



DIAGRAMAS DE FASES, CURVAS TTT E CCT

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)** e nas **CCT (Continuous Cooling Transformation)**, também chamadas de diagramas **TRC (Transformação por Resfriamento Contínuo)**, 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 de átomos de **carbono**, formando a liga metálica **Fe-C**.

ESCLARECENDO!



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:

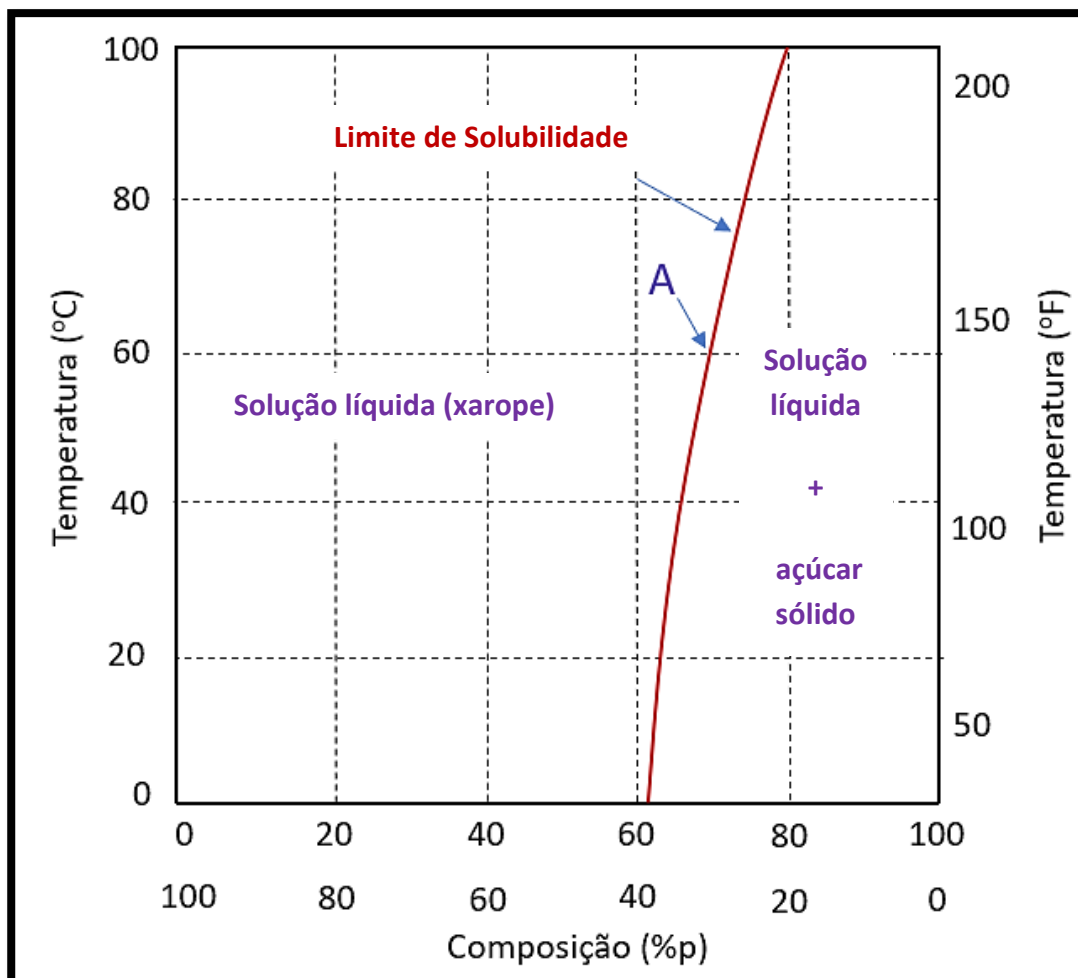
- **Solução Saturada**: é justamente a **solução** que **atingiu o Limite de Solubilidade**, dada um temperatura e uma pressão. É, em nossos dois exemplos, a **máxima** concentração de **soluto** (chocolate em pó ou açúcar) que o **sistema** suporta para ter uma **solução homogênea** com o **solvente** (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, por causa de ter colocado 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.





18

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**.

¹⁸ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



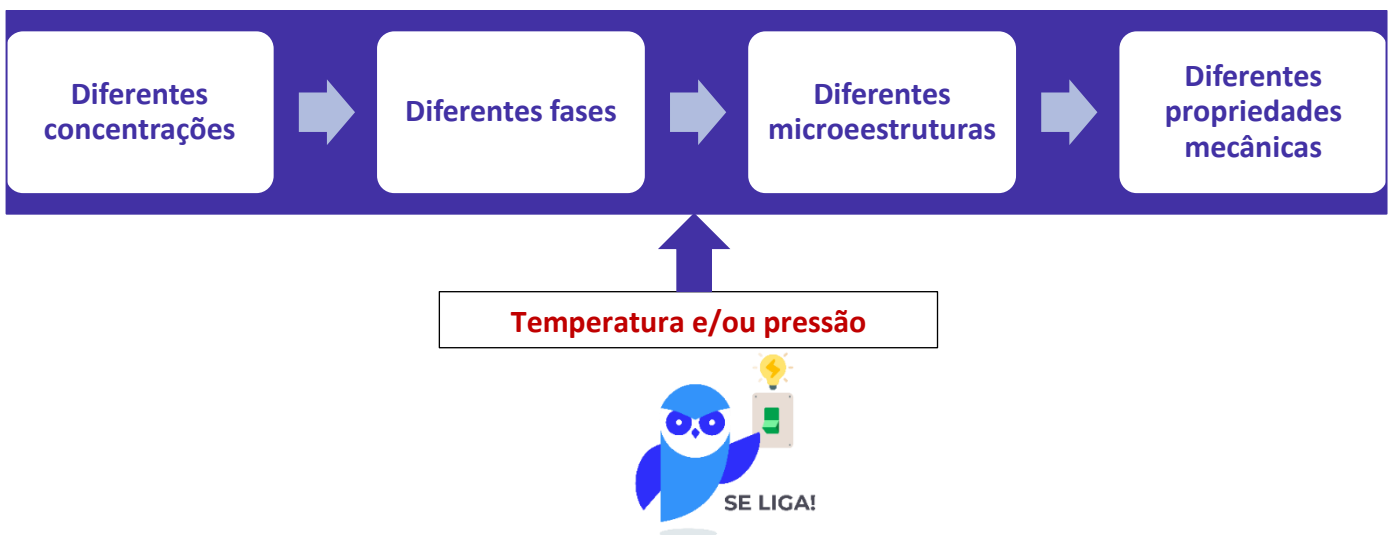
Esse mesmo raciocínio, Estrategista, também é empregado em **soluções sólidas**, nas quais os átomos do **soluto** vão fazer parte e substituir átomos do **solvente** na estrutura **crystalina**, por exemplo, de materiais que a possui. Aqui é que entramos com o **sistema (solução) Fe-C**.

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:

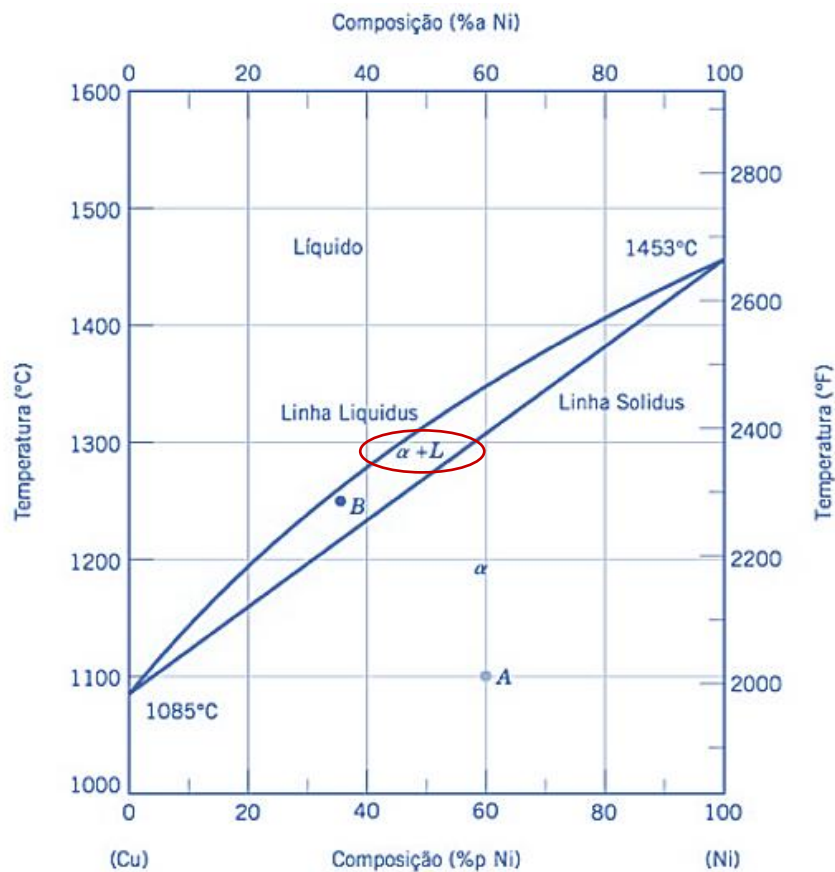


Estrategista, uma lei que você precisa conhecer a definição é a famosa **Lei de Fick**. Ela nos diz que a **quantidade** de um substância "m" que irá passar, por unidade de tempo "t", por uma unidade de área "A", a um plano em ângulo reto em relação a um ponto "x", é **proporcional** ao gradiente de 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 diagrama¹⁹ 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

¹⁹ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwisch, 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 (α) + líquida (L).



Coruja, é comum na literatura termos as letras gregas (alfa = α ; beta = β e gama = γ , 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**).

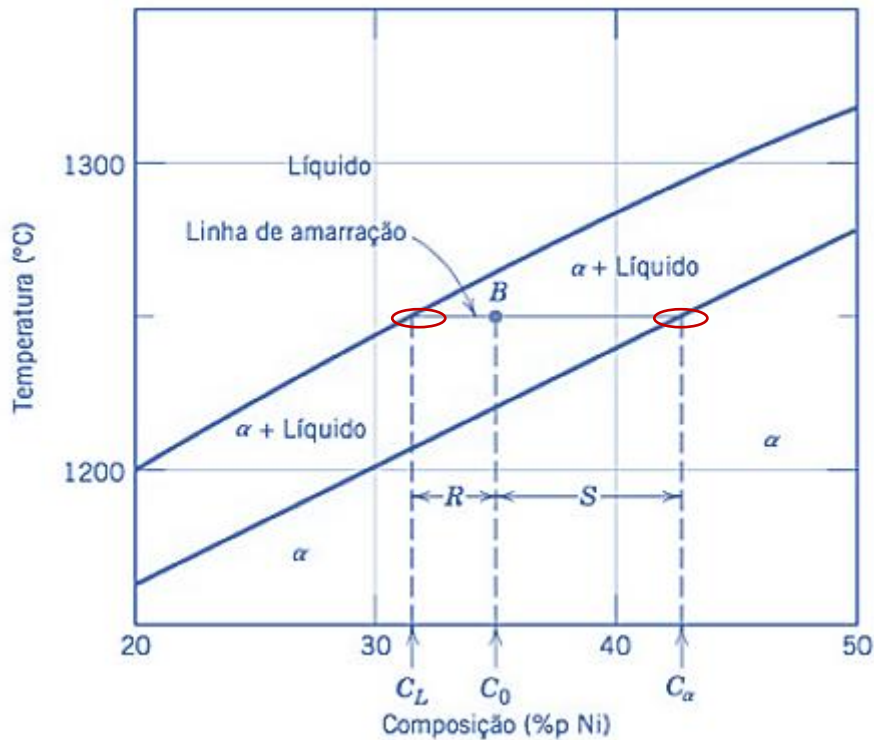
Oras, Coruja, determinar a **fase presente** é bem simples, certo? Basta fazemos que nem aquele joguinho "Batalhe Naval" e saberemos qual fase as coordenadas se referem. Por exemplo, me diga qual a fase de uma liga com 60% de Ni e 40% de Cu a uma temperatura de 1100°C (ponta "A", no gráfico). Oras, a fase é **sólida** (α). 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 figura²⁰ a seguir.

²⁰ 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°C , cuja **fase líquida** tem uma concentração $C_L = 31,5\%$ Ni e 68,5% de Cu a 1250°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 líquida 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:

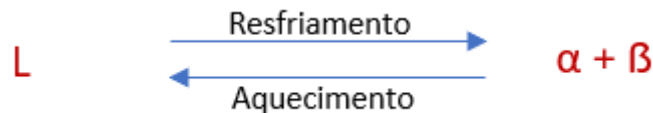
$$\text{Fração líquida} = \frac{42,5 - 35}{42,5 - 31,5} = 0,68;$$

Para a fase sólida, temos o mesmo raciocínio:

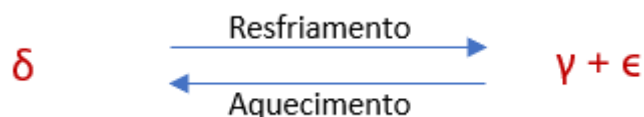
$$\text{Fração sólida} = \frac{R}{R + S} = \frac{C_0 - C_L}{C_{\alpha} - C_L} = \frac{35 - 31,5}{42,5 - 31,5} = 0,32;$$

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:

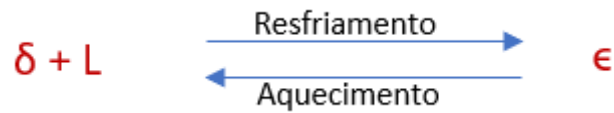


- **Reação eutetoide:** no resfriamento, **uma fase sólida (δ)** se transforma em **duas outras fases sólidas ($\gamma + \epsilon$)**. No aquecimento, novamente, ocorre o inverso. Veja a expressão abaixo:

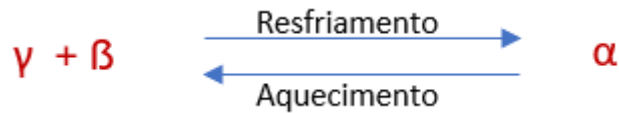


- **Reação peritética:** no aquecimento, **uma fase sólida (ϵ)** se transforma em **uma fase líquida (L)** e **outra fase sólida (δ)**. Por conseguinte, no resfriamento, temos a transformação inversa. Veja a expressão dela:





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

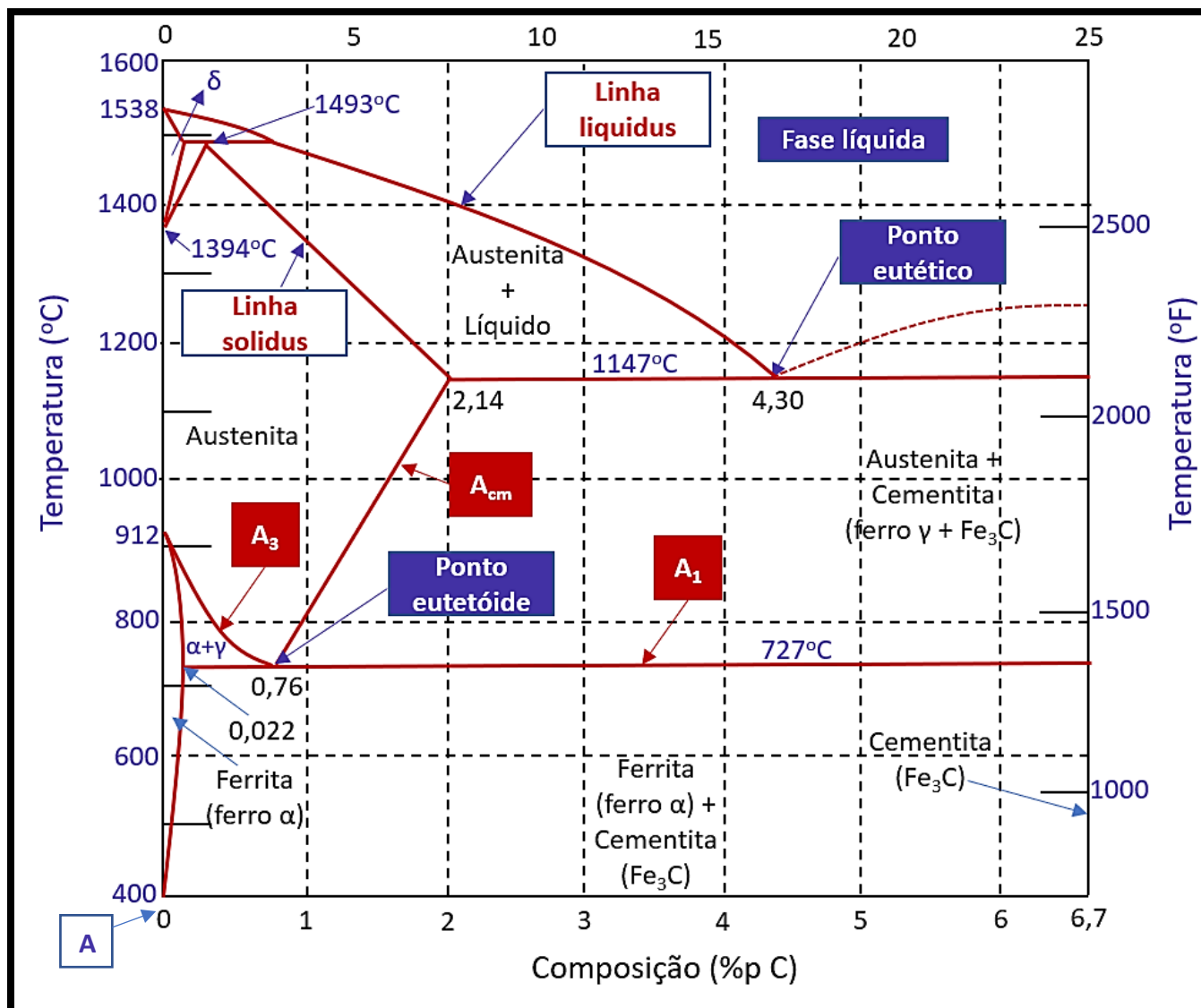


Diagramas de fases – (Fe-C)

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”:





21

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%**.

²¹ 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 α (ferro alfa)** e **austenita ou ferro γ (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 α** : possui forma estável, com uma célula unitária de estrutura **Cúbica de Corpo Centrado (CCC)** até **912°C**;
- **Austenita ou ferro γ** : possui mudança na sua célula unitária e, conseqüentemente, na sua estrutura para **Cúbica de Face Centrada (CFC)** até **1394°C**;
- **Ferrita δ 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 γ (ferro gama). Volta lá, dê um “look”. Sempre vá no gráfico e confere para fixar.

Também marquei a linha **A₁**, 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 **A₃** 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 direito de quem observa o 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 α** , 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 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;**

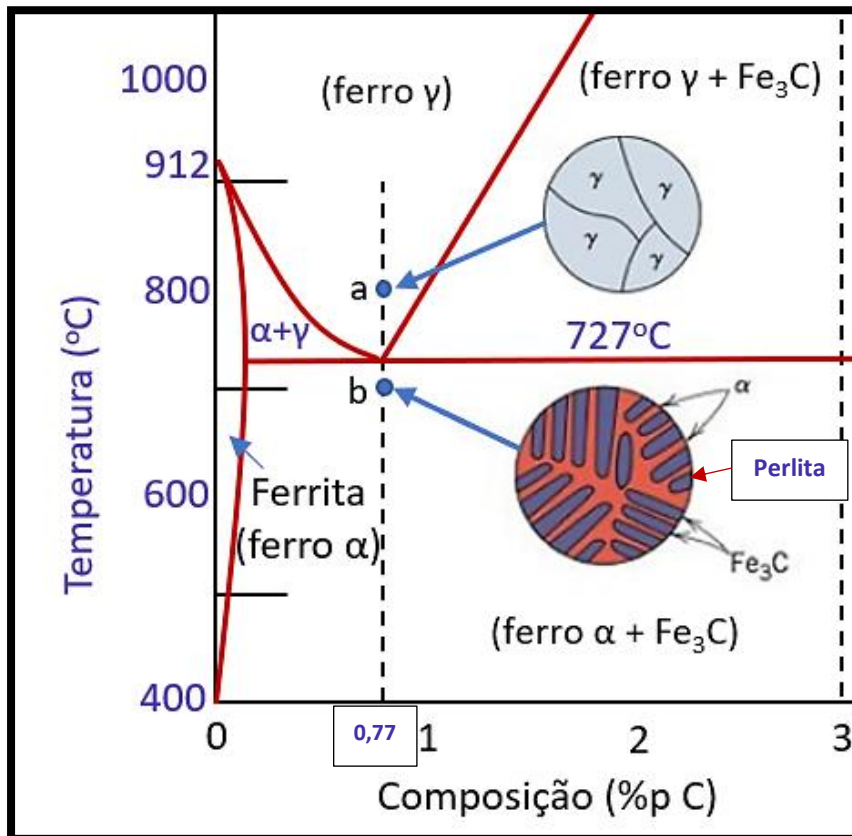
Assim, Coruja, as características e propriedades mecânicas das ligas ferro-carbono vão se modificando baseadas nessas concentrações.

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 **eutetoide**.

Fique tranquilo, Estrategista, **eutetoide** 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”.



22

Nesse sentido, Estrategista, para cada concentração de carbono, teremos **diferentes microestruturas** conforme se aquece ou se resfria o material. Assim, no **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 α**) 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**.

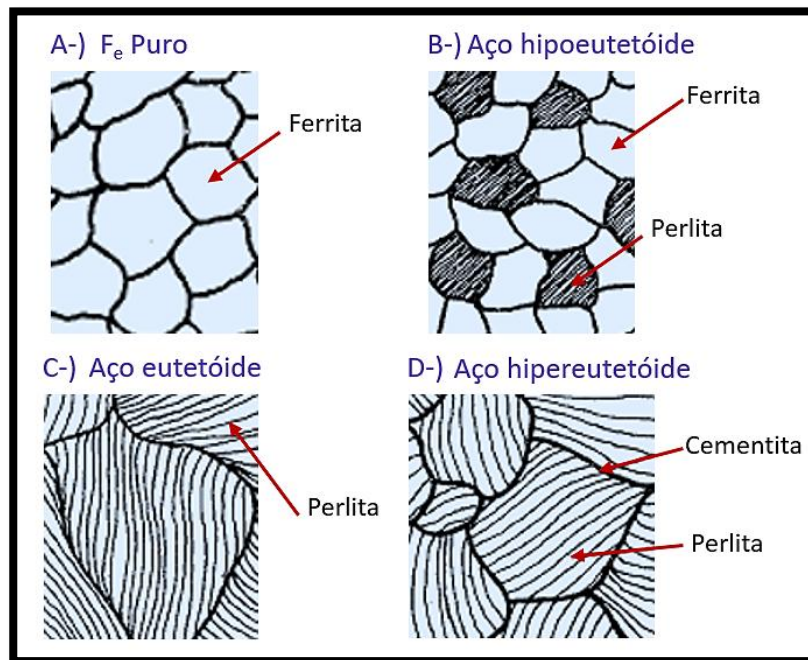
²² Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



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! ;)



23

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. Assim, a **ferrita** indicada na figura (não pertencente à ferrita do grão perlítico em aços hipoeutetóides), chama-se **ferrita pró-**

²³ 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.



eutetoide, ao passo que a **cementita** indicada na figura (não pertencente à cementita do grão perlítico em aços hipereutetoides), chama-se **cementita pró-eutetoide**.

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.

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 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:

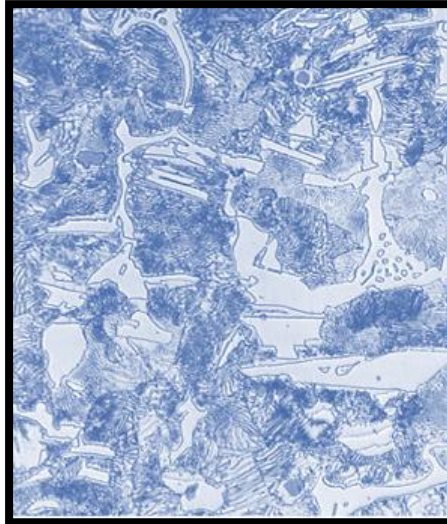
Ferro Fundido Branco:

Possui coloração branca por conta do alto teor de carbono na forma de carboneto Fe_3C (**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 em aplicações comerciais, tais como: **revestimento para misturadores de cimento, caixas de engrenagens, cubos de rodas, sapatas de freios, equipamentos para britamento de minério**, etc.

Veja a figura²⁴ de sua microestrutura, a seguir, Coruja.

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





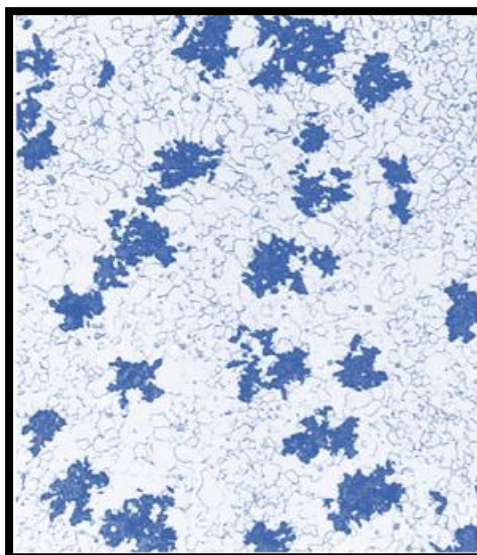
Ferro Fundido Maleável

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.

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 figura²⁵ a seguir da microestrutura desse tipo. As áreas mais escuras são as grafitas parecendo rosas. Algumas aplicações típicas comerciais são: **pedais de embreagem, bielias, caixas de engrenagens, sapatas de freios, etc** (parecidas com a do ferro fundido branco).

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





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.

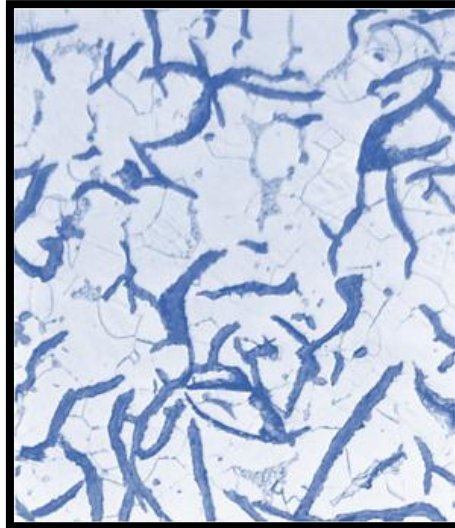
Conforme aponta parte da literatura específica²⁶, são caracterizados por apresentarem **baixa resistência em tração** por conta das extremidades dos flocos de grafita (são pontiagudos) e podem servir de pontos de concentração de tensão.

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 figura²⁷ a seguir da sua microestrutura:

²⁶ Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

²⁷ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

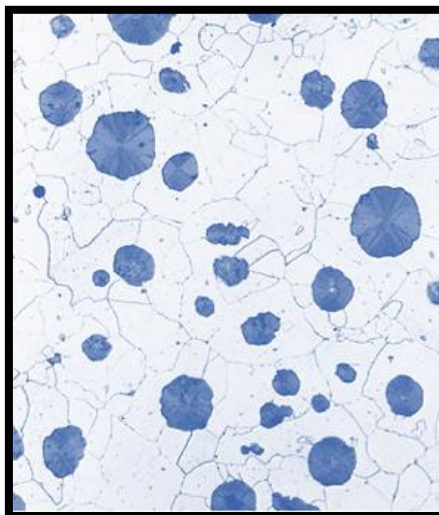




Ferro Nodular (ou Dúctil)

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.

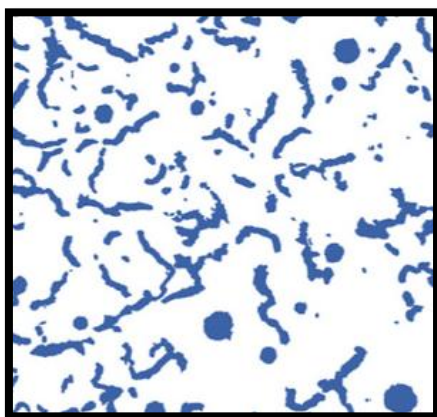
A matriz (parte mais clara) é ferrítica ou perlítica a depender do tratamento térmico. Como propriedades mecânicas temos que eles são mais resistentes e bem **mais dúcteis** que o ferro cinzento. Veja a figura a seguir sobre a microestrutura desse tipo. Costuma ter elevada **tenacidade** e é muito utilizado 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 figura²⁸ 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!

²⁸ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwisch, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Curvas TTT

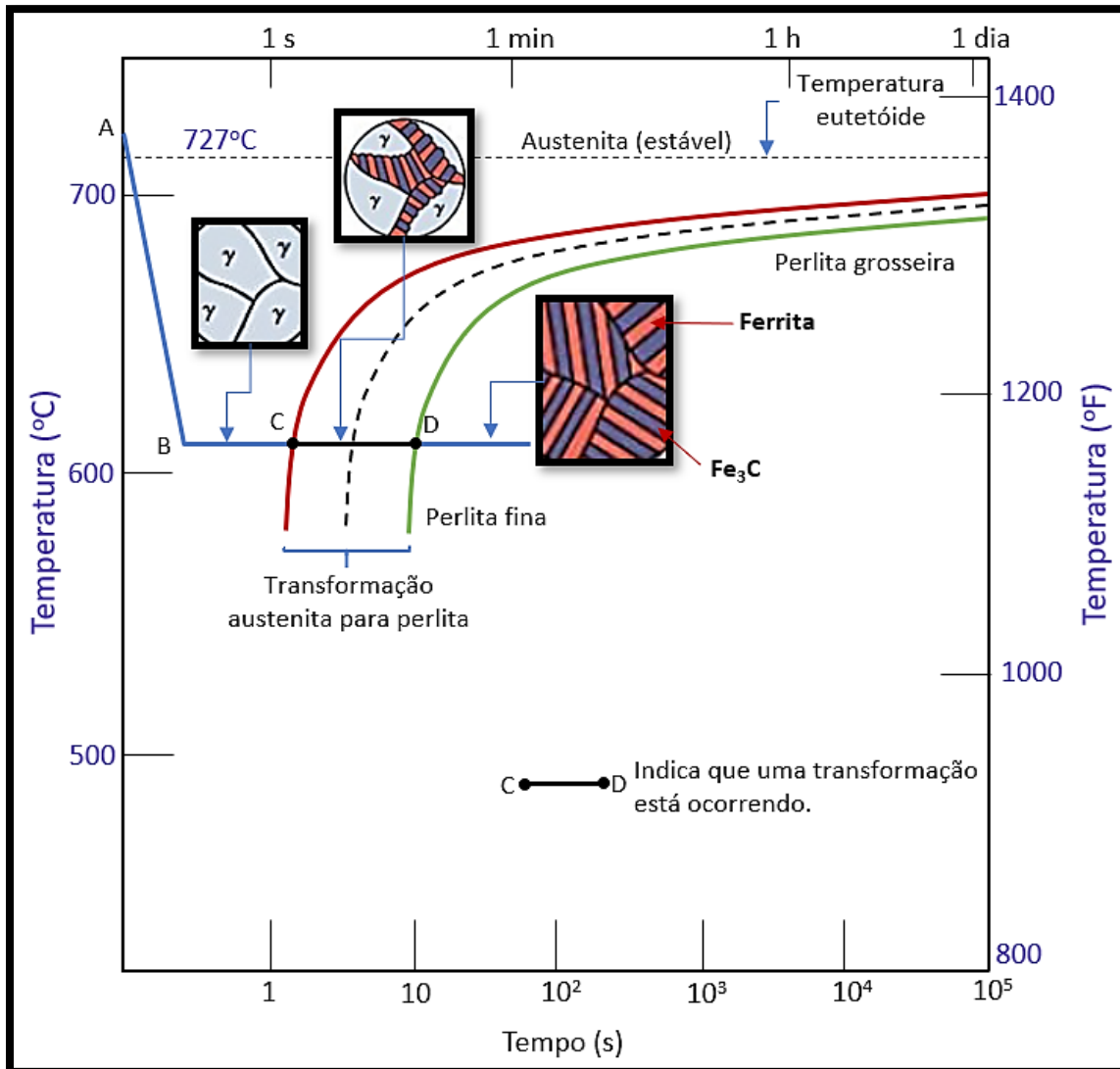
Também denominadas de **Diagramas de Transformação Isotérmica**, as **Curvas TTT (Tempo, Transformação e Temperatura)** consistem na análise de como a **temperatura e o tempo** em que ocorre determinada **transformação** influenciam na **microestrutura final**.

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 γ** (fase cuja **microestrutura** recebe o nome de **austenita**) necessita de movimentação atômica até, em um **resfriamento**, atingir a **microestrutura ferrita** do **ferro α** . 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 eutetoide** (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.





29

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 γ** (proveniente do estágio anterior em “A”) e em “D” a estrutura **perlítica** obtida (que é **cementita + ferrita**).

²⁹ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



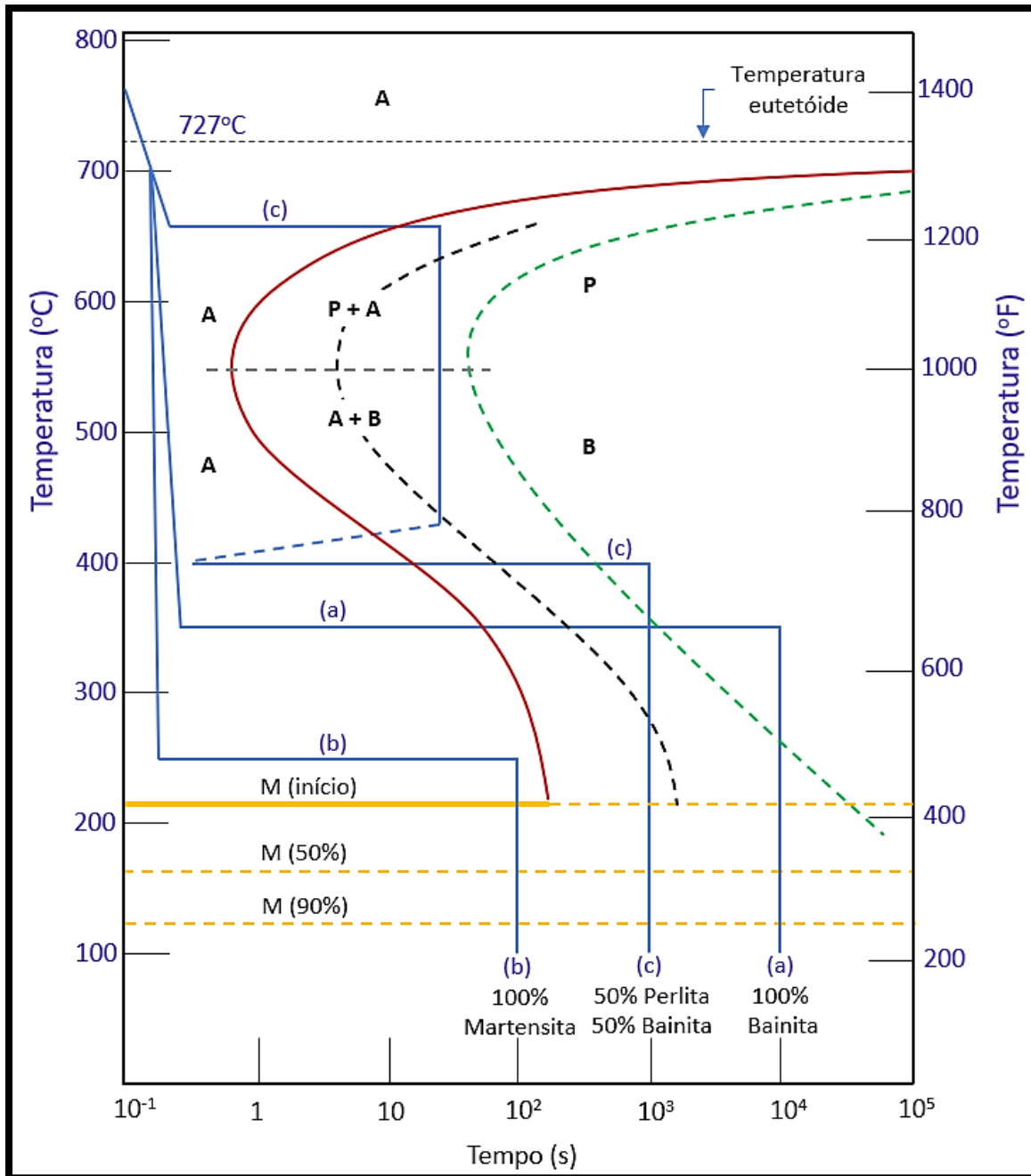
Perceba, Estrategista, que esse aço foi resfriado do ponto “A” do gráfico, rapidamente, até o ponto “B” (ou seja, ele estava com uma temperatura acima de **727°C**, no campo **austenítico**) e se manteve na temperatura do ponto “B” (em torno de 625°C) até o término de sua transformação.

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.





30

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

³⁰ 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, **10⁴ 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 **10² 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 **10³ 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!**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estrategista, chegamos ao término de mais uma aula! Agora, é fazer os exercícios e seu ciclo de revisão - principal pilar para ser aprovado em qualquer concurso!

Trouxe **questões das últimas provas!** Assim, sua preparação ficará completa sobre o tema de aula com diferentes bancas renomadas (FCC, CEBRASPE, CESGRANRIO, etc), além da banca do seu concurso! Dessa forma, você arrebentará na sua prova!

Aproveito para deixar, novamente, minhas redes sociais! Possuo uma conta no **Instagram®** na qual compartilho **questões comentadas, dicas de estudos** e **esquemas** sobre diferentes assuntos e temas de Engenharia Mecânica, de tempos em tempos.

Além disso, possuo também um canal no **Telegram®!** Por meio desse canal, eu compartilho outros tipos de informações pertinentes para você como **questões do tipo CEBRASPE/CEBRASPE (certo ou errado) inéditas** sobre Engenharia Mecânica.

Depois, dê uma olhada! ;)



[prof.canelas;](https://www.instagram.com/prof.canelas)



[t.me/profcanelas.](https://t.me/profcanelas)



QUESTÕES COM COMENTÁRIOS



Cesgranrio

1. (Cesgranrio/Transpetro – Engenheiro Mecânico - 2023)

Um sistema binário A-B apresenta um líquido que se solidifica de forma eutética com uma fração molar de B igual a 0,5. A fase rica em B não apresenta solubilidade para o componente A. A fase rica em A apresenta uma solubilidade máxima de 0,2 de B na temperatura do eutético. Uma liga contendo 35% molar de B foi preparada pela mistura de proporções adequadas de A e B no estado líquido. Essa liga foi resfriada lentamente buscando alcançar a solidificação de equilíbrio.

Qual a fase do primeiro constituinte precipitado e qual a sua quantidade, respectivamente?

- a) Fase rica em A, 50%
- b) Fase rica em A, 81,25%
- c) B puro, 35%
- d) B puro, 81,25%
- e) eutético.

Comentário:

Coruja, essa é uma questão que nos traz um pouco mais de interpretação de texto, do que dificuldade. Veja: no primeiro momento, ela diz no sistema binário A-B, temos um líquido que se solidifica de forma **eutética** (ou seja, teremos mais 2 fases distintas e sólidas em equilíbrio com esse líquido) em um ponto de concentração de 0,5 do constituindo B.

Para que você visualize melhor: é como se fosse o carbono, no diagrama Fe-C, que no ponto eutético tem aproximadamente 4,3% de teor. É a mesma lógica. Show?

Lindo!



Agora, ele diz que uma liga específica que tem 0,35% de B (e, conseqüentemente, 0,65% de A) vai resfriar lentamente até atingir a solidificação de equilíbrio. Aí, ele pergunta primeiro qual é a fase que irá precipitar primeiro. Oras, na composição da liga, temos muito mais A do que o teor máximo do ponto eutético, pois temos A = 0,65 ou 65%, ao passo que **no ponto eutético**, como ele afirma no começo do texto, possui **0,5 ou 50% de B e, conseqüentemente, 0,5 ou 50% de A**. Logo, como temos mais A do que B, a primeira fase a se precipitar por estar em excesso em relação ao ponto eutético dessa liga é a **fase rica em A** (umas vez que temos 65% de A e o eutético dessa liga possui um máximo, para o equilíbrio, de 50% de A e 50% de B).

Por fim, devemos calcular a quantidade que teremos de precipitação. Para isso, devemos aplicar a **Regra da Alavanca**, considerando os pontos de cada fase e do ponto eutético. Veja que ele diz no enunciado que a fase rica B não possui solubilidade em A e que a fase A possui solubilidade máxima de B de 0,2 ou 20%. Perfeito! Considerando que a liga tem A=65% e B=35%, e que o ponto eutético de equilíbrio deve ter 50% de A e 50% de B, aplicamos a Regra:

$$\text{Fração de A} = \frac{C_B \text{ no eutético} - C_B \text{ da liga}}{C_B \text{ no eutético} - C_B \text{ em A}} = \frac{0,5 - 0,35}{0,5 - 0,2} = 0,50 = 50\%$$

Gabarito: "a".

2. (Cesgranrio/Eletróbrás – Eletronuclear – Engenheiro Mecânico - 2022)

A estrutura dos ferros fundidos apresentará elementos que estão presentes nos aços, como ferrita, perlita e cementita. Entre os diversos tipos de ferros fundidos, existe um que apresenta o carbono quase inteiramente combinado na forma de Fe₃C, mostrando uma fratura branca e caracterizando-se por apresentar

- o teor de carbono na faixa entre 1% e 1,75%.
- a estrutura final com grafita esferoidal em uma matriz perlítica.
- excelente resistência mecânica, tenacidade e ductilidade.
- uma liga Fe-C-Si, de excelente usinabilidade, boas resistências ao desgaste e capacidade de amortecimento.
- as seguintes propriedades: elevadas dureza e resistência ao desgaste, tornando-o de difícil usinagem.

Comentário:

Opa! Questão tranquila pra gente, certo? Veja, Estrategista, que a primeira coisa é identificar **qual o ferro fundido (nosso FoFo)** estamos lidando. Veja que a "deixa" da questão foi dizer que sua **fratura é branca** e ter **o carbono quase inteiro na forma de cementita** (carboneto de ferro). Coisa linda. Estamos falando do **ferro fundido branco**! Dentre as características desse tipo de ferro fundido temos, conforme aponta a

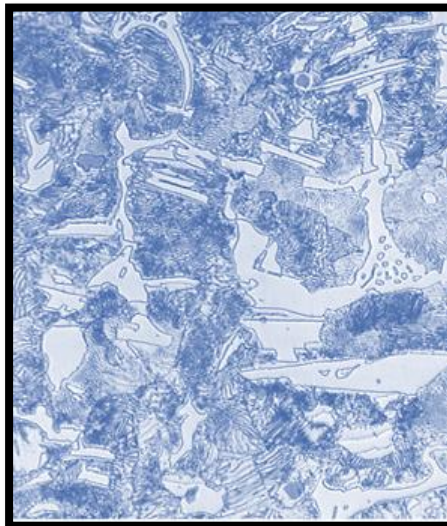


letra "e", **elevada dureza** e **resistência ao desgaste**, o que o torna de difícil usinagem. As demais não possuem relação direta e exclusiva desse tipo. Vamos lembrar suas características:

Ferro Fundido Branco:

Possui coloração branca por conta do alto teor de carbono na forma de carboneto Fe_3C (**cementita**), dando esse aspecto quando atinge fratura. Esse **ferro fundido** tem elevada **dureza** e resistência ao **desgaste**, além de baixa **usinabilidade e ductilidade**. Possui cerca de 2,5 a 3,8% de carbono (elevado teor). 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 em aplicações comerciais, tais como: **revestimento para misturadores de cimento, caixas de engrenagens, cubos de rodas, sapatas de freios, equipamentos para britamento de minério**, etc.

Veja a figura³¹ de sua microestrutura, a seguir, Coruja.



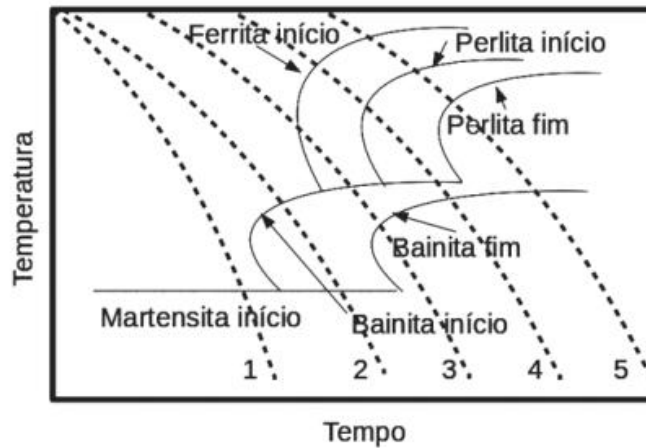
Gabarito: "e".

3. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)

Um engenheiro precisa solicitar o tratamento térmico de um aço SAE 4140 e conseguiu uma curva CCT desse aço ilustrada abaixo.

³¹ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.





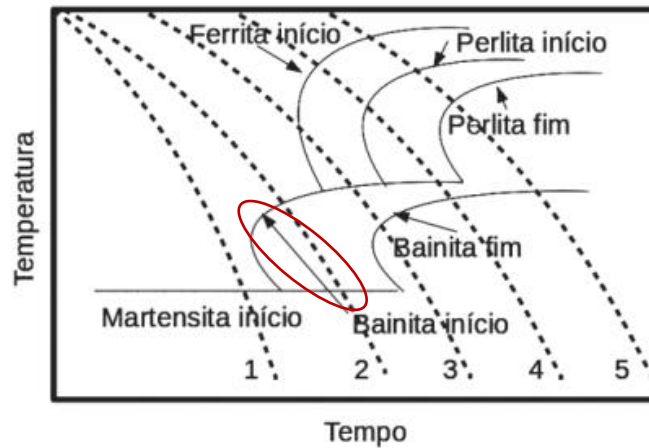
Para obter as propriedades mecânicas desejadas, ele precisa garantir que a microestrutura do aço temperado seja uma mistura de bainita e martensita. As linhas tracejadas na curva CCT indicam diferentes taxas de resfriamento, identificadas pelos números de 1 a 5. O número correspondente à taxa de resfriamento que irá proporcionar a microestrutura desejada é o

- a) 5
- b) 4
- c) 3
- d) 2
- e) 1.

Comentário:

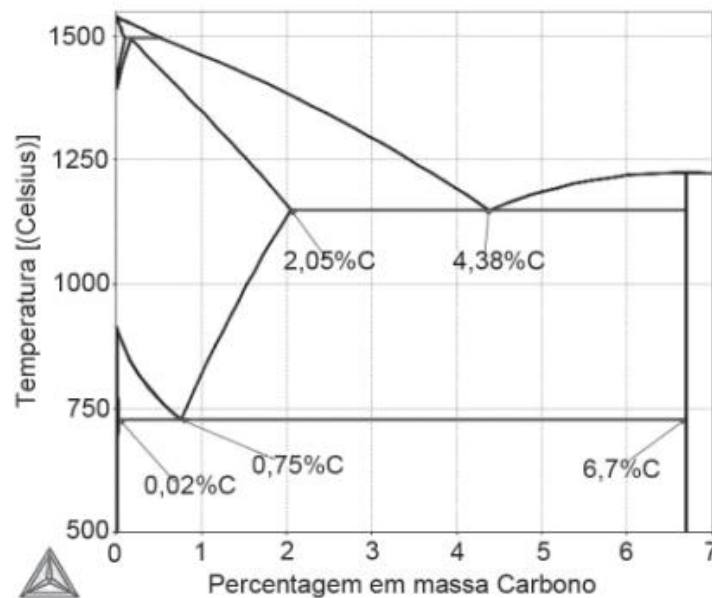
Oras, tranquilidade, Coruja! Vimos em aula sobre as curvas TTT e CCT. A curva CCT é uma curva de transformação **contínua**, na qual não há passagem isotérmicas. Perceba pela figura que há a indicação de cada início de microestrutura e, também, seu fim. Perceba que a única curva na qual temos o início da microestrutura **bainítica**, com término da transformação em **martensítica** é a **curva 2**. Veja no círculo em vermelho que indico na figura, ele cruza a curva de início da bainita e termina cruzando a curva da martensita logo abaixo:





Gabarito: "d".

4. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)



Considere uma liga de Fe-C com a composição em massa do carbono de 0,75%, conforme exibido na Figura acima. A quantidade de cementita formada quando essa liga é resfriada lentamente, vinda do campo austenítico até uma temperatura abaixo da temperatura eutetoide, é de

- a) 89,1
- b) 10,9
- c) 50,1
- d) 49,9
- e) 12,3.



Comentário:

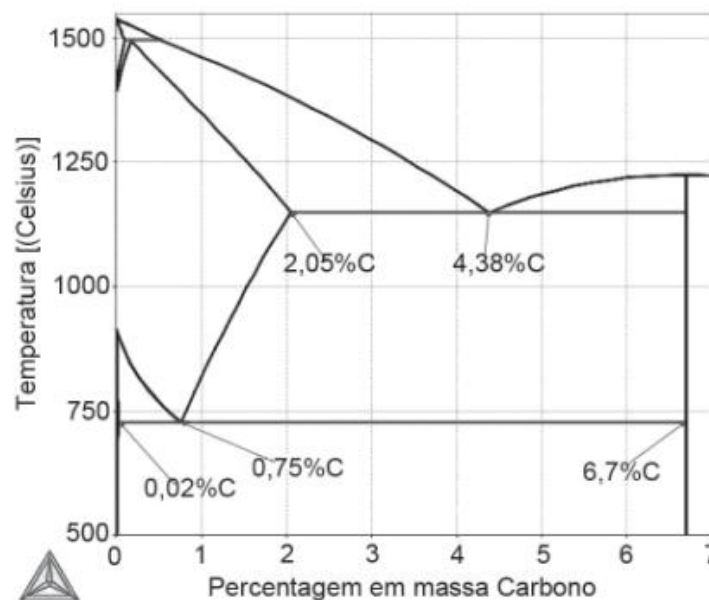
Mais uma questão, tranquila, Coruja. Ela cobra da gente a aplicação da nossa boa e velha **Regra da Alavanca**. Oras, temos um aço eutetoide que de acordo com a figura fornecida pela questão, possui 0,75% de carbono (veja que a depender do autor, podemos encontrar 0,76/0,77/0,8% e, agora, a Cesgranrio nos trouxe 0,75%, rsrs). Por isso, a questão vai mostrar pra você no enunciado quando ela cobrar algum valor fora do padrão. O que você precisa ter em mente é uma noção dos teores e os valores clássicos que comentei em aula. Enfim, ele quer saber qual a porcentagem de **cementita** nesse processo de resfriamento! Tranquilo!

Como vimos em aula, a **Regra da Alavanca** será aplicada como um razão entre a "distância" das curvas na linha de amarração contrária da microestrutura que se pretende encontrar, pelo total da "distância" da linha de amarração no limites dos intervalos. Ou seja, para a **cementita** nesse digrama ferro-carbono exposto no enunciado, temos:

$$\text{Fração cementita} = \frac{C_{\text{liga}} - C_{\text{ferrita}}}{C_{\text{cementita}} - C_{\text{ferrita}}} = \frac{0,75 - 0,02}{6,7 - 0,02} = 0,10928 = 10,93\%$$

Gabarito: "b".

5. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)



Considere uma liga de Fe-C com a composição em massa do carbono de 0,75%, conforme exibido na Figura acima. A quantidade de cementita formada quando essa liga é resfriada lentamente, vinda do campo austenítico até uma temperatura abaixo da temperatura eutetoide, é de

a) 9,1



- b) 10,9
- c) 50,1
- d) 49,9
- e) 12,3.

Comentário:

Mais uma questão, tranquila, Coruja. Ela cobra da gente a aplicação da nossa boa e velha **Regra da Alavanca**. Oras, temos um aço eutetoide que de acordo com a figura fornecida pela questão, possui 0,75% de carbono (veja que a depender do autor, podemos encontrar 0,76/0,77/0,8% e, agora, a Cesgranrio nos trouxe 0,75%, rsrs). Por isso, a questão vai mostrar para você no enunciado quando ela cobrar algum valor fora do padrão. O que você precisa ter em mente é uma noção dos teores e os valores clássicos que comentei em aula. Enfim, ele quer saber qual a porcentagem de **cementita** nesse processo de resfriamento! Tranquilo!

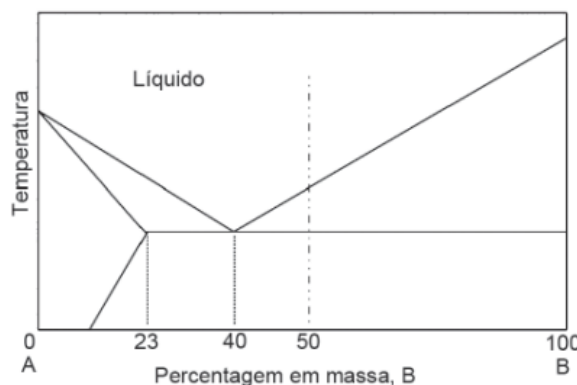
Como vimos em aula, a **Regra da Alavanca** será aplicada como um razão entre a "distância" das curvas na linha de amarração contrária da microestrutura (ou fase) que se pretende encontrar, pelo total da "distância" da linha de amarração no limite considerados. Ou seja, para a **cementita** nesse digrama ferro-carbono exposto no enunciado, temos:

$$\text{Fração cementita} = \frac{C_{\text{liga}} - C_{\text{ferrita}}}{C_{\text{cementita}} - C_{\text{ferrita}}} = \frac{0,75 - 0,02}{6,7 - 0,02} = 0,10928 = 10,93\%$$

Gabarito: "b".

6. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)

O sistema binário A-B, ilustrado na Figura abaixo, apresenta uma reação eutética.



Uma liga, contendo 50% massa de B, foi resfriada de uma região contendo somente líquido até uma temperatura 0,1°C acima do eutético e mantida nessa temperatura até estabelecer o equilíbrio

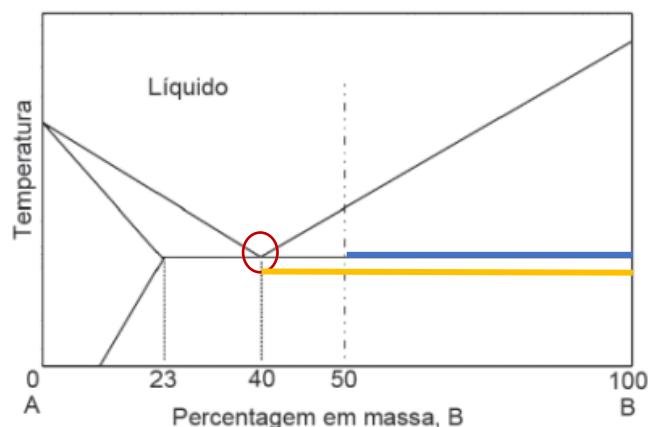


termodinâmico no sistema. A quantidade de líquido e a composição do líquido presentes nessa temperatura são:

- a) 100% da fase líquida contendo 50% massa de B.
- b) 100% da fase líquida contendo 100% massa de B.
- c) 83,3% da fase líquida contendo 40% massa de B.
- d) 16,7% da fase líquida contendo 50% massa de B.
- e) 16,7% da fase líquida contendo 40% massa de B.

Comentário:

Eita! Mais uma vez, nossa regrinha rsrs. Antes, saiba que o ponto eutético é o ponto no qual temos a reação eutética, na qual uma fase líquida está em equilíbrio com duas fases sólidas. Nesse caso, temos uma liga com teor de um elemento qualquer "B" em 50%, sendo resfriada até região com temperatura 0,1°C acima da linha que marca o eutético. Perceba, pelo diagrama, que no ponto eutético temos 40% de teor de "B" nessa liga fictícia apresentada. Por isso, o limite de 40% e 100% de teores de "B" serão utilizados na nossa regrinha. Percebe o **ponto eutético** circulado em vermelho no diagrama e as linhas de amarração total (amarelo) e parcial (azula) para acharmos a fração da fase líquida nessa liga:



Lembre-se, a **Regra da Alavanca** será aplicada como um razão entre a "distância" das curvas na linha de amarração contrária da microestrutura (ou fase) que se pretende encontrar, pelo total da "distância" da linha de amarração no limite considerados. Ou seja, para acharmos a fase **líquida** nesse digrama, temos:

$$\text{Fração líquida} = \frac{C_{Btotal} - C_{liga}}{C_{Btotal} - C_{eutético}} = \frac{100 - 50}{100 - 40} = 0,8333 = 83,3\%$$

Gabarito: "c".

7. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)



Os materiais cristalinos apresentam uma organização periódica em que o volume unitário pode ser descrito por um paralelogramo com parâmetros geométricos bem definidos: arestas, denominadas a , b e c e os ângulos entre os planos das faces do paralelogramo, denominados α , β e γ . Associe o sistema cristalino com seus parâmetros geométricos

I – Sistema Cúbico	P – $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
II – Sistema Hexagonal	Q – $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$
III – Sistema Tetragonal	R – $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
IV – Sistema Ortorrômico	S – $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
	T – $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$

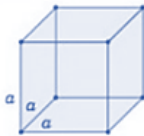
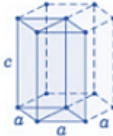

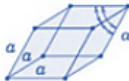
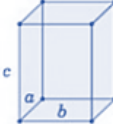
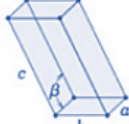
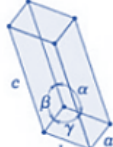
As associações corretas são:

- a) I – P , II – T, III – Q , IV – R.
- b) I – Q , II – R, III – S , IV – T.
- c) I – Q , II – T, III – R , IV – S.
- d) I – Q , II – R, III – P , IV – S.
- e) I – T , II – R, III – S , IV – Q.

Comentário:

Olha aí, Coruja! Questão que nos cobra nosso conhecimento sobre **Sistemas Cristalinos!** Oras, vimos diferentes sistemas em aula. Bora relembrar?



Sistema Cristalino	Relações Axiais	Ângulos entre eixos	Geometria da Célula Unitária
Cúbico	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Romboédrico (Trigonal)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Ortorrômbico	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Monoclínico	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclínico	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

Veja que conhecer os principais sistemas e suas relações axiais e angulares é de suma importância. Por isso, veja que temos para o sistema **cúbico** (axiais: $a = b = c$ e angulares: $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$). Já matamos as letras “a” e “e”, pois I-Q.

Hexagonal ($a = b \neq c$ e $\alpha = \beta = 90^\circ$ e $\gamma = 120^\circ$) e **Tetragonal** ($a = b \neq c$ e $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$).

Gabarito: “d”.

8. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)

Tratamentos térmicos em fornos com oxigênio causam a decarbonetação superficial dos aços. Esse processo depende da difusão do carbono do interior para a superfície do aço e sua reação com o oxigênio.



A espessura de descarbonetação, x , depende da temperatura, T , e do tempo, t , segundo a expressão $x^2 = D(T) \cdot t$, em que $D(T)$ é a difusividade em função da temperatura, com uma energia de ativação de 241000 J/mol e constante dos gases $R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$.

Um engenheiro solicitou o tratamento térmico de uma peça plana em aço ao carbono durante 1 hora a temperatura de 875°C e observou, depois, por metalografia que a região com maior descarbonetação era de $200 \mu\text{m}$. Ele achou a perda muito significativa e resolveu reduzir a região de descarbonetação para $20 \mu\text{m}$. Que temperatura ($\pm 1^\circ\text{C}$) ele precisou empregar mantendo o mesmo tempo de tratamento térmico?

- a) 495°C
- b) 698°C
- c) 768°C
- d) 875°C
- e) 971°C .

Comentário:

Questão que parece difícil, Coruja! Mas, na realidade, não é! Ela é complicada e, na minha opinião, nesse nível não vai aparecer na sua prova. Claro, você teria que lembrar de dois detalhes para resolvê-la: primeiro, a **fórmula** que relaciona o fator **temperatura** e **coeficiente de difusão** e que a **energia de ativação**, a **constante dos gases** e o **constante D_0** são todas... **constantes!** Logo, elas não se alteram para cada região "x" no processo descrito pelo enunciado.

Bom, vamos lá. Primeiro, vamos relembrar da nossa fórmula para a relação da temperatura e a difusão no estado sólido de um elemento em difusão:

$$D = D_0 \times \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right);$$

Além disso, o enunciado nos fornece a expressão que rege a espessura de descarbonetação "x" para cada valor de temperatura "T" e tempo "t". Legal! Oras, veja que na expressão $x^2 = D(T) \cdot t$, nosso $D(T)$ é a difusividade em função da temperatura, cuja fórmula eu escrevi aí em cima. Coisa linda! Veja que o tempo, para os dois processos é de 1 hora. Logo, $t = 1$ para ambas as espessuras. Colocando a temperatura de 875°C para Kelvin (1148 K) na espessura de $200 \mu\text{m}$, vamos encontrar o seguinte:

Para $x = 200 \mu\text{m}$:

$$200^2 = D_0 \times \exp\left(-\frac{Q_d}{RT_1}\right) \cdot 1$$

Para $x = 20 \mu\text{m}$:



$$20^2 = D_o \times \exp\left(-\frac{Q_d}{RT_2}\right) \cdot 1$$

Perceba, Coruja, que se isolarmos D_o em cada equação (isso porque ele é um constante igual para os dois processos), temos a seguinte expressão:

$$D_o = \frac{200^2}{\exp\left(-\frac{Q_d}{R \cdot T_1}\right)}; e D_o = \frac{20^2}{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_2}\right)};$$

Oras, podemos igualar as equações, certo? Assim, temos:

$$\frac{200^2}{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_1}\right)} = \frac{20^2}{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_2}\right)} \text{ ou } \frac{200^2}{20^2} = \frac{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_1}\right)}{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_2}\right)} = 100 = \frac{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_1}\right)}{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_2}\right)};$$

Legal, agora, vamos aplicar log dos dois lados:

$$\log 10^2 = \log \frac{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_1}\right)}{\exp\left(-\frac{Q_d}{RT_2}\right)} = 2 = \left(-\frac{Q_d}{2,3R}\right) \times \frac{1}{T_1} + \left(\frac{Q_d}{2,3R}\right) \times \frac{1}{T_2};$$

Oras, lembre-se que a relação de log e base "e" é 2,3, Coruja! Temos na teoria, inclusive, a expressão com log:

$$\text{Log}(D) = \text{Log}(D_o) - \frac{Q_d}{2,3T} \cdot \left(\frac{1}{T}\right);$$

Perceba, Estrategista, que agora temos que resolver a relação $Q_d/2,3R$, certo? Substituindo os valores do enunciado, temos:

$$\frac{Q_d}{2,3R} = \frac{241000}{2,3 \times 8,314} = 12,604;$$

Voltando para a equação, temos:

$$2 = (-12,604) \times \frac{1}{1148} + (12,604) \times \frac{1}{T_2} = T_2 = 971 \text{ K} = 698 \text{ °C}$$

Gabarito: "b".

9. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)

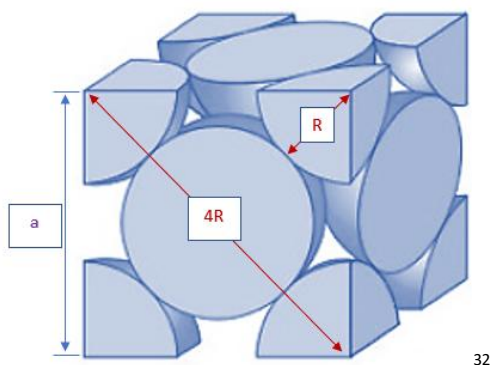


Nos metais com estrutura cristalina cúbica de faces centradas (CFC), o fator de empacotamento atômico é

- a) - 0,68.
- b) - 0,70.
- c) - 0,72.
- d) - 0,74.
- e) - 0,76.

Comentário:

Conforme vimos, Coruja, questãozinha que nos cobra o **FEA (Fator de Empacotamento Atômico)**. Perceba que a questão quer diretamente saber o valor para o arranjo de célula unitária CFC. Lembre-se que eu disse para você memorizar, pois para a CFC o FEA é considerado o **maior** valor (0,74) pela doutrina dominante. Todavia, caso você não se lembrasse, poderia calcular. Como vimos, CFC é **Cúbica de Face Centrada** (logo, temos um cubo - todas as células unitárias serão - com as faces dos átomos voltadas para o centro). Top! Já dá para matar com conhecimentos de geometria e suas fórmulas:



Assim, aplicando o nosso bom e velho teorema de Pitágoras, encontramos o valor de "a" para o triângulo retângulo formado com sua hipotenusa (4R) e catetos adjacentes e opostos iguais a "a":

$$a^2 + a^2 = (4R)^2;$$

$$a = 2R\sqrt{2}$$

Oras, como sabemos, temos o volume total dessa célula unitária dado por:

³² Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



$$V_{cfc} = (a^3) = (2R\sqrt{2})^3 = 16R^3\sqrt{2};$$

Show, Estrategista! Como vimos, o FEA será a razão entre o volume de átomos que compõe a célula unitária, pelo volume total da própria célula. Como temos um **volume de átomos que correspondem a 4 átomos inteiros** na célula unitária **CFC** (veja na figura, Coruja! Perceba que em cada face temos metade de um átomo e em cada vértice um oitavo de cada átomo), podemos calcular o FEA para a célula unitária CFC pela seguinte fórmula (com o volume de uma esfera maciça):

$$FEA = \frac{V_{\text{átomos}}}{V_{cfc}} = \frac{(4) \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3}{16R^3\sqrt{2}} = 0,74;$$

Gabarito: "e".

10. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)

Dentre os vários tipos de transformação de fase, qual é o único que envolve somente processos adifusioniais?

- a) Decomposição espinoidal.
- b) Precipitação.
- c) Recristalização.
- d) Solidificação.
- e) Transformação martensítica.

Comentário:

Estrategista, questão que foge um pouco do conteúdo, mas é bem fácil! O pega é você saber identificar o significado da palavra **adifusional**. Oras, o que ela quer dizer? Tranquilidade! O prefixo "a" corresponde a negação, logo, temos um fenômeno que "não seja" difusional - que não ocorra a **difusão** entre os átomos específicos que compõe a liga metálica.

Como vimos no decorrer do nosso estudo, temos que o único "processo" de transformação de fase que resulta em uma **microestrutura metaestável** (não estável) é a **martensita**. Isso ocorre porque o **carbono** não passou pela **difusão** na mudança de fase (normalmente, por conta da queda abrupta de temperatura) e ele não se dissolve na estrutura ferrítica. Assim, surge, como vimos na aula essa fase metaestável com esse carbono intersticial e gerador de tensões. As demais transformações dependem de outros processos e possuem a difusão como fenômeno que pode ocorrer durante seus processos.

Gabarito: "e".



11. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2014)

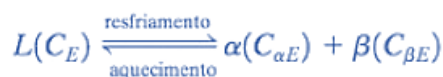
Em um diagrama de fases, a reação peritética de uma liga metálica define-se como uma reação trifásica na qual, durante o resfriamento,

- a) uma fase sólida se transforma em duas outras fases sólidas, no mesmo instante.
- b) uma fase líquida e uma fase sólida reagem, formando uma única, e nova, fase sólida.
- c) uma fase líquida se transforma em duas fases sólidas no mesmo instante.
- d) duas fases sólidas reagem, formando uma nova fase sólida.
- e) duas fases líquidas reagem, formando uma nova fase sólida.

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Veja que a questão nos cobra a **definição** dos tipos de reações inerentes aos pontos de equilíbrio de fases nos **diagramas de fases**. Conforme vimos, temos alguns pontos dos diagramas binários que possuem características eutéticas (eutético significa que naquele ponto existem três fases presentes). Dessa forma, a doutrina costuma definir algumas **reações** no aquecimento da liga e no resfriamento da liga nesses pontos. Assim, temos:

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 eutetoide: no resfriamento, **uma fase sólida (δ)** 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 (ϵ)** se transforma em **uma fase líquida (L)** e **outra fase sólida (δ)**. Por conseguinte, no resfriamento, temos a transformação inversa. Veja a expressão dela:



Gabarito: “b”.

12. (Cesgranrio/Innova S.A. – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2012)



As diferentes propriedades mecânicas dos aços carbono são responsáveis pela variedade de aplicações na indústria em geral.

Quando se requer boa deformação para a fabricação de produtos estampados a frio, em aço carbono, a propriedade requerida é a

- a) resiliência.
- b) ductilidade.
- c) tenacidade.
- d) elasticidade.
- e) fragilidade.

Comentário:

Questão "tranquilíssima", certo, Coruja? Ela nos cobra os conceitos das **propriedades mecânicas** dos materiais. Conforme vimos, sabemos que a **ductilidade** é justamente uma **medida do grau de deformação plástica suportado até a fratura** do material. Ou seja, para a situação proposta, perceba que o material precisa ter uma **boa deformação** para ser moldado no processo de conformação (estampagem) a frio. Assim, é ductilidade elevada que o material precisa ter a fim de não se romper rapidamente quando entrar no regime plástico de deformação.

A resiliência, como vimos, compreende ao regime elástico de deformação não permanente (letra "a", errada). A tenacidade também envolve o regime elástico além do plástico e está relacionada a absorção de energia e não necessariamente somente ao grau de deformação plástica (letra "c", errada). Elasticidade está dentro do regime elástico (letra "d", errada). Fragilidade corresponde a propriedade de materiais que possuem baixo grau de deformação plástica, rompendo-se rapidamente quando entra no regime plástico (letra "e", errada).

Gabarito: "b".

13. (Cesgranrio/Innova S.A. – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2012)

A reação eutética em um diagrama de fases de uma liga metálica é definida como uma reação trifásica, na qual, durante o resfriamento,

- a) uma fase sólida se transforma em duas outras fases sólidas, no mesmo instante.
- b) uma fase líquida se transforma em duas fases sólidas, no mesmo instante.
- c) duas fases (sendo uma líquida) reagem formando uma única (nova) fase sólida.
- d) duas fases sólidas reagem formando uma nova fase sólida.

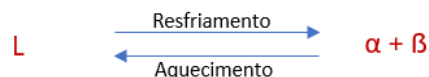


e) duas fases líquidas reagem formando uma nova fase sólida.

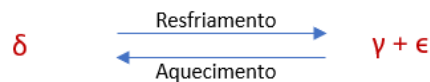
Comentário:

Olha ai, Coruja! Mais uma questãozinha que nos cobra as reações características dos pontos invariantes dos diagramas de fases binários eutéticos. Vamos lembrar?

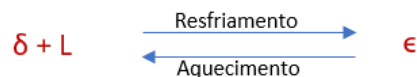
Reação eutética: no resfriamento, **uma fase líquida (L)** se transforma em **duas fases sólidas ($\alpha + \beta$)** na temperatura específica (temperatura do ponto eutético da liga). No aquecimento, o processo inverso ocorre. Abaixo temos a expressão dessa reação:



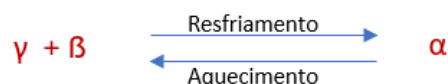
Reação eutetoide: no resfriamento, **uma fase sólida (δ)** se transforma em **duas outras fases sólidas ($\gamma + \epsilon$)**. No aquecimento, novamente, ocorre o inverso. Veja a expressão abaixo:



Reação peritética: no aquecimento, **uma fase sólida (ϵ)** se transforma em **uma fase líquida (L) e outra fase sólida (δ)**. 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:

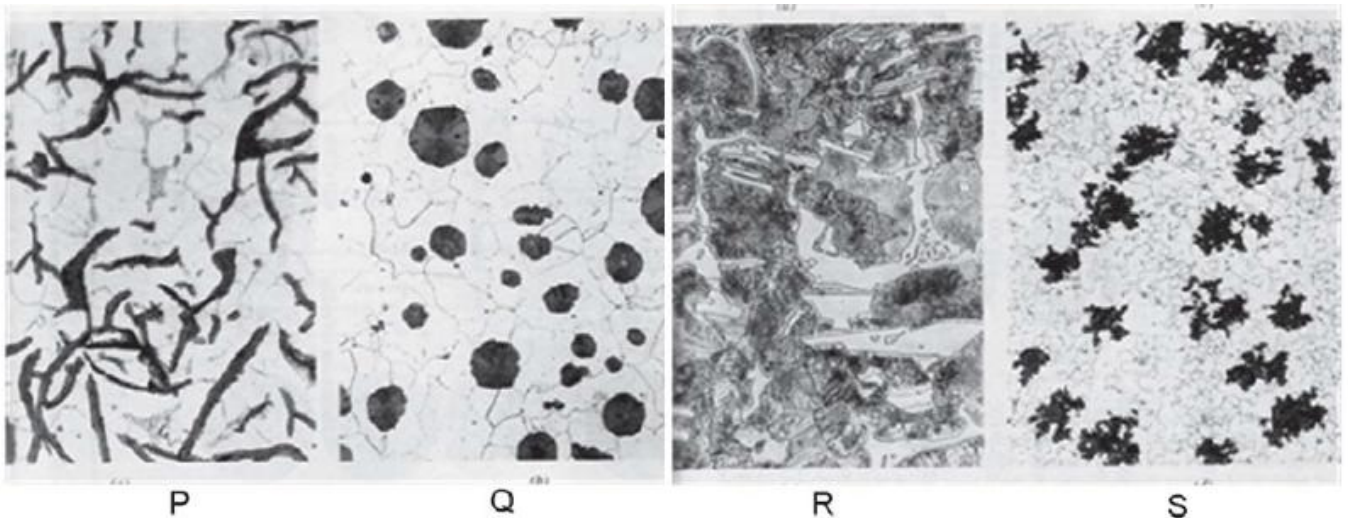


Gabarito: "b".

14. (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".

15. (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 **hipoeutetoide** (à direita do ponto eutetoide – 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 α). A microestrutura **perlítica** começa a se formar a partir da concentração de carbono na forma de carboneto (Fe_3C) 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** (Fe_3C – 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 hipoeutetoide (0,5% de carbono) não chega até 1000°C, já que em concentrações próxima de 0 de carbono, a máxima temperatura é de 912°C, decaindo conforme se aumenta a % de carbono, até 727°C – linha de temperatura eutetoide. Dessa forma, para a concentração proposta pelo enunciado e na faixa de temperatura de 1000 a 1200°C temos somente a microestrutura **austenítica** (fase do ferro gama - ferro γ);

III: perfeita! Exatamente, acima da temperatura de 1538°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 hipoeutetoide descrita (0,5% de carbono) temos temperatura ainda mais baixa que 1538°C na qual a fase única líquida passa a se fazer presente.



Gabarito: "c".

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

Em relação à estrutura dos metais, afirma-se que:

I - os metais com elevada pureza são, de um modo geral, menos duros e resistentes do que as ligas compostas pelo mesmo metal de base;

II - a expressão conhecida por Equação de Hall-Petch permite determinar a tensão de ruptura em função do diâmetro médio do grão para um metal policristalino;

III - um metal com granulação fina tem maior área total de contornos de grãos, o que facilita o movimento das discordâncias e aumenta sua dureza e resistência.

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

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

Comentário:

Questão tranquila, Coruja, que nos cobra o conhecimento sobre os **mecanismos** de **aumento de resistência em metais**. Vejamos cada assertiva:

I - corretíssima! De fato, de um modo geral, os metais com alta pureza (baixo teor de elementos de liga ou impurezas) são menos duros e resistentes, pois a inclusão de elementos que irão compor o retículo cristalino desses metais impõe deformações nele prejudicando o movimento das discordâncias (lembre-se que as discordâncias – defeitos – nos arranjos do átomos que compõe o retículo vão proporcionar a deformação plástica) entre os átomos vizinhos de cada grão do retículo. Dessa forma, o material fica com dureza elevada e mais resistentes. Os endurecimentos por precipitação e por solução sólida são feitos baseados nesses princípios;

II – errada! Conforme vimos, a **equação de Hall-Petch** estuda a dependência entre o **limite de escoamento** (e não de ruptura) e o **tamanho do grão**. Vimos que o tamanho do grão influencia na deformação plástica à medida que quanto maior ele for, mais fácil de ocorrer os movimentos das discordâncias entre os planos já que a área de contorno dos grãos é **menor** (ué, professor, mas os grãos não são maiores? Sim, Coruja, mas com grãos **menores**, temos **maior** área de contorno em uma mesma área total da microestrutura. Imagine uma concha de retalhos. Imaginou? Com grãos grandes, temos que os movimentos entre eles é mais fácil se tivéssemos muitos grãos menores, porém sem movimento já que seus contornos serão muito



mais numerosos, apesar de pequenos). Assim, a **área de contorno** de grãos pequenos será **maior**, pois há um número maior de grãos. Essa característica impede o movimento das discordâncias, **elevando a dureza** e a **resistência** do material;

III – errada! De fato, como vimos, o material com granulação fina tem **maior área de contorno de grãos** (imagina que vários grãos com vários contornos aumentam essa área do que menos grãos maiores com menor número de contornos). Todavia, é justamente por isso que o movimento das discordâncias entre os átomos de cada grãos é **prejudicado** e, assim, aumenta-se a dureza e resistência do material.

Gabarito: "a".

17. (Cesgranrio/Usina Termelétrica – Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica – 2007)

Considere as três importantes propriedades mecânicas de um metal:

- 1 - medida do grau de deformação plástica que foi suportada até o momento da fratura;
- 2 - capacidade de absorver energia sem sofrer deformação plástica;
- 3 - medida da habilidade em absorver energia até sua fratura.

Estas propriedades estão relacionadas, respectivamente, com:

- a) resiliência, ductilidade e tenacidade.
- b) resiliência, tenacidade e ductilidade.
- c) tenacidade, ductilidade e resiliência.
- d) ductilidade, tenacidade e resiliência.
- e) ductilidade, resiliência e tenacidade.

Comentário:

Lembre-se sempre, Coruja:

Ductilidade: medida do **grau** de deformação plástica (regime plástico de deformação permanente) que o material tem até sua **ruptura**;

Resiliência: capacidade de **absorver** (e **devolver**) energia dentro do regime elástico (deformação não permanente);

Tenacidade: capacidade (também pode ser entendida como **habilidade**) do material em **absorver energia** até sua fratura/ruptura, envolvendo tanto o campo do regime elástico quanto plástico de deformação.

Gabarito: "e".

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

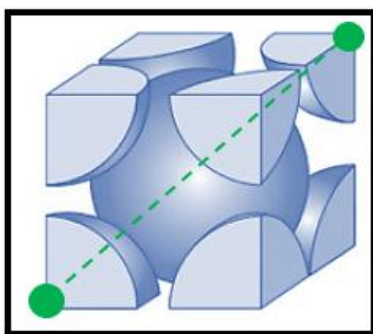


Diversos metais apresentam estrutura cristalina do tipo CCC. O cromo, o tungstênio e o molibdênio são alguns exemplos. Para calcular corretamente o volume da célula unitária CCC, onde R é raio atômico, deve-se adotar:

- 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:

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

$$2 \cdot a^2 + a^2 = 16 \cdot R^2;$$

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

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:

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



Gabarito: "e".

19. (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 α igual a 0,0218?

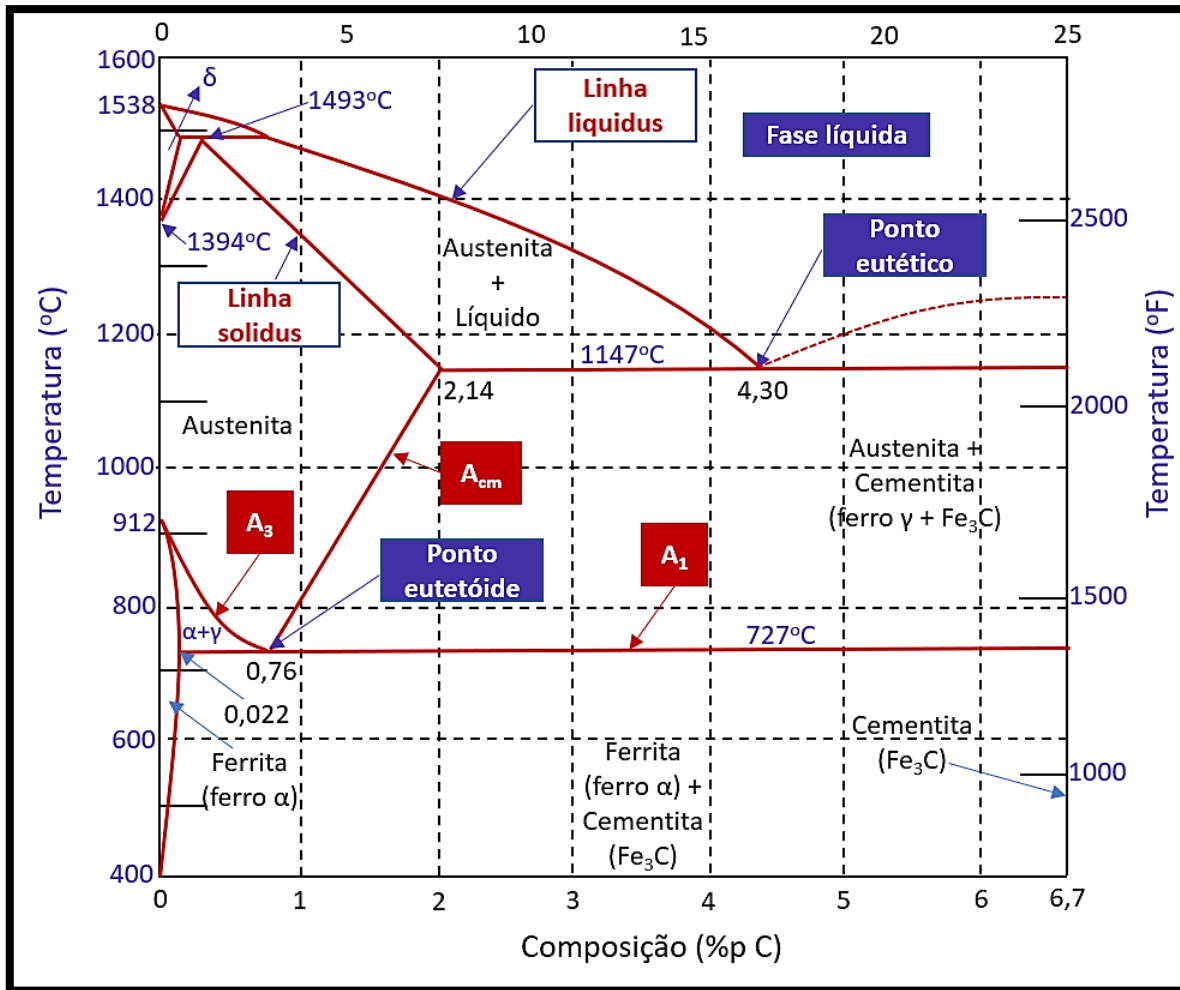
- a) 0,11.
- b) 0,13.
- c) 0,23.
- d) 0,67.
- e) 0,89.

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 **eutetoide** 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% da 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 eutetoide até a concentração de 6,7% de carbono, temos a fase **cementita** em maior concentração. Por outro lado, do ponto eutetoide 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 eutetoide) 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:

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

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

Gabarito: "a".



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

Um aço 4.340 possui 0,40% C, além de Ni e Cr na sua composição.

Qual o outro elemento de liga presente nessa família de aços de baixa liga?

- a) Cobre.
- b) Manganês.
- c) Molibdênio.
- d) Silício.
- e) Vanádio.

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Conforme vimos, em nossa tabela de classificação dos **aços** de acordo com a **ABNT** temos que o aço 4340 possui teores de carbono, níquel, cromo e **molibdênio** na composição da liga!

Gabarito: “c”.

21. (Cesgranrio/INNOVA – Técnico de Inspeção de Equipamentos Júnior – 2012)

A capacidade que o material tem de assimilar energia durante a deformação elástica e de liberá-la quando o esforço é retirado é denominada

- a) tenacidade.
- b) dureza.
- c) resiliência.
- d) elasticidade.
- e) plasticidade.

Comentário:

Conforme vimos em aula, Coruja, a capacidade do material em **absorver** e **devolver** energia dentro do regime **elástico** (deformação não permanente, na qual ele volta a sua forma original depois de cessada a tensão imposta) é a **resiliência**!

Gabarito: “c”.

22. (Cesgranrio/TERMOBAHIA – Técnico de Inspeção de Equipamentos e Instalação Júnior – 2012)



O comportamento de um material segundo um determinado esforço a que ele pode ser submetido é definido por suas propriedades

- a) tecnológicas.
- b) mecânicas.
- c) térmicas.
- d) químicas.
- e) ópticas.

Comentário:

Meu pai, hein, Coruja? Essa é a famosa questão "dada". O comportamento de um material de acordo com o esforço (tensão imposta) é definido por suas propriedades **mecânicas**, como em tração temos a **resiliência, ductilidade e tenacidade**, por exemplo.

Gabarito: "b".

23. (Cesgranrio/Petrobrás – Técnico de Inspeção de Equipamentos e Instalações Júnior – 2011)

Os ferros fundidos são constituídos de uma liga de ferro, em mistura eutética com outros elementos. Dentre seus principais tipos,

- a) os cinzentos possuem grandes veios de grafita, resultando em baixas resistência e ductibilidade.
- b) os brancos são duros e frágeis, com bastante cementita.
- c) os maleáveis são menos dúcteis do que os brancos ou cinzentos.
- d) os nodulares são obtidos por tratamento térmico dos ferros fundidos brancos.
- e) a quantidade de carbono possibilita a ocorrência de reações eutetoides durante a solidificação.

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Conforme vimos em aula, temos que os ferros fundidos possuem alguns tipos. Entre eles, temos o ferro fundido branco que tem como característica elevada dureza e alta fragilidade que, por conta dos altos índices de cementita na microestrutura, possuem coloração branca quando atingem a fratura.

Gabarito: "b".

24. (Cesgranrio/Petrobrás – Técnico de Inspeção de Equipamentos e Instalações Júnior – 2010)



O ferro fundido cinzento é a liga mais usada dentre os ferros fundidos, devido às suas características. NÃO representa(m) característica(s) desse material a

- a) boa modelagem e a fácil fusão.
- b) boa capacidade de amortecimento de vibrações.
- c) boa resistência mecânica.
- d) boa resistência ao desgaste.
- e) baixa usinabilidade.

Comentário:

Questão tranquila, Coruja, que nos cobra as principais características dos **ferros fundidos cinzentos**. Oras, vimos que eles possuem **boa usinabilidade e boa capacidade de amortecimento, além de combinar excelente resistência mecânica e ao desgaste**. Logo, a única alternativa incorreta é a letra "e".

Gabarito: "e".

25. (Cesgranrio/Liquigás – Engenheiro Júnior - Mecânica – 2015)

Qual a estrutura cristalina encontrada na austenita?

- a) Cúbica de Corpo Centrado
- b) Cúbica de Face Centrada
- c) Cúbica Simples
- d) Hexagonal Compacta
- e) Tetragonal

Comentário:

Eita, Estrategista! Que belezinha, certo? Para não errar nunca mais - **austenita** tem arranjo em célula unitária **CFC (Cúbica de Face Centrada)**.

Gabarito: "b".

26. (Cesgranrio/Liquigás - Engenheiro Júnior - Mecânica – 2014)

A microestrutura observada na transformação completa da austenita de um aço eutetoide, numa temperatura logo abaixo da temperatura da reação eutetoide sob resfriamento lento, é 100%



- a) martensítica
- b) bainítica
- c) ferrítica
- d) perlítica
- e) cementítica

Comentário:

Coruja, lembre-se que no ponto **eutetoide (0,76/0,77% de carbono)** temos que se a transformação é **lenta**, a microestrutura final será 100% perlítica! Lembre-se da curva TTT! Como a transformação nesse ponto é lenta, temos o cruzamento da curva acima do "joelho"!

Dessa forma, o gabarito é a letra "d".

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.