

Aula 00

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

Autor:

Felipe Canella, Juliano de Pelegrin

12 de Janeiro de 2023

Sumário

INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DOS MATERIAIS.....	4
A QUÍMICA DA CIÊNCIA DOS MATERIAIS.....	7
Digrama de Pauling, camada de valência e ligações	7
Ligação iônica (Eletrovalente)	13
Ligação covalente	14
Ligação metálica.....	16
Agrupamentos no cristalino e microestrutura.....	19
Cúbica de Faces Centradas (CFC)	20
Cúbica de Corpo Centrado (CCC).....	21
Hexagonal Compacto (HC)	23
FEA - Cúbica de Face Centrada (CFC).....	24
FEA - Cúbica de Corpo Centrado (CCC).....	25
Sistemas cristalinos	28
Sólidos não cristalinos	30
Alotropia e polimorfismo.....	30
Difusão no Estado Sólido	32
Difusão – Regime Estacionário	34
Difusão – Regime Não Estacionário	36
DEFORMAÇÕES, PROPRIEDADES MECÂNICAS E PRINCIPAIS ENSAIOS	38
Deformação elástica.....	38
Deformação plástica.....	42



Propriedades mecânicas dos materiais.....	46
Resistências (tração e compressão), resiliência, ductilidade e tenacidade	49
Dureza.....	55
Ensaio.....	56
Mecanismos para aumento da resistência mecânica.....	59
Encruamento	60
Redução do tamanho dos grãos	61
Endurecimento por precipitação	62
Propriedades térmicas, elétricas, magnéticas e químicas	62
Propriedades térmicas	62
Propriedades elétricas e magnéticas.....	63
Propriedades químicas.....	64
DIAGRAMAS DE FASES, CURVAS TTT E CCT	66
Diagrama de fases – principais conceitos.....	66
Diagramas de fases – (Fe-C).....	75
Ferros fundidos.....	80
Curvas TTT.....	85
Diagramas TRC ou Curvas CCT.....	90
Considerações finais	93
Questões com comentários.....	94



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"**:

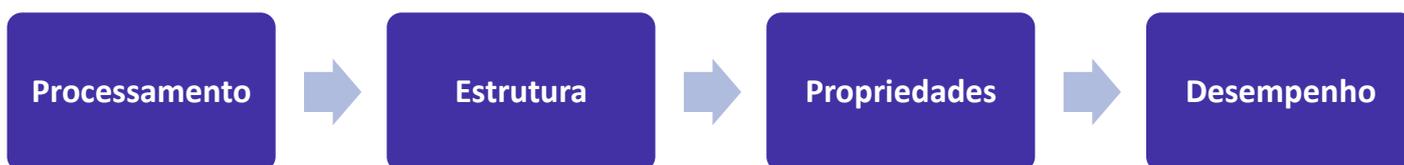


INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DOS MATERIAIS

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.

Em **ligas metálicas** do tipo **ferro-carbono (Fe-C)** que compõem os diferentes tipos de **aços**, temos a inclusão de outros elementos que proporcionam mudanças nas propriedades desses aços. Como, por exemplo:

- **Níquel:** gera o refinamento do grão, pois diminui a velocidade de transformação do aço em suas fases. Com isso, concilia a boa resistência mecânica com boa ductilidade pela **microestrutura atingida**.
- **Cromo:** gera a formação de carbonetos, pois aumenta o crescimento de grãos e permite o carbono adentrar o cristalino, além de **umentar a resistência à corrosão e oxidação**.



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

Em materiais **cerâmicos**, por exemplo, temos composições diferentes por diferentes tipos de **átomos de elementos químicos**, como metais e ametais.

Já em materiais **compósitos**, materiais formados a fim de aprimorar determinada propriedade, surgem pela combinação de **outros materiais** para fins específicos na engenharia.

Dessa forma, conforme expliquei, algumas **ligas metálicas** com diferentes elementos químicos, geram materiais amplamente utilizados na engenharia por suas **propriedades** específicas. Os principais são:

1. **Aços:** são ligas metálicas de **ferro e carbono** que, a depender da concentração de **carbono**, pode ser classificado em **duro** ou **mole**;
2. **Bronze:** é uma liga metálica formada de **cobre e estanho** de característica resistente a corrosão;
3. **Latão:** é uma liga metálica formada de **cobre e zinco** de elevada maleabilidade;

Claro que todas essas ligas metálicas também podem receber outros elementos químicos a fim de atingir determinada propriedade mecânica, ou melhorar alguma já existente. Dessa forma, podem ser incluídos átomos de **chumbo, zinco, prata, molibdênio, cádmio, silício, fósforo, entre outros**.

Veja como esse assunto "decoreba" e "bobinho" pode aparecer em uma questão de prova (apesar de ser de uma "sacanagem" ímpar, pois seria impossível decorar todas as composições de ligas metálicas existentes. Mas, foquemos nas principais, certo, Coruja?! rs.)



(FGV/ Mecânica)

O bronze é a liga metálica mais antiga empregada pela Humanidade. Essa liga é formada por

- a-) cobre e zinco.
- b-) cobre e estanho.
- c-) estanho e zinco.
- d-) estanho e chumbo.
- e-) zinco e chumbo.



Comentário:

Letra "a": como vimos, cobre e zinco forma o famoso **latão**. Alternativa errada.

Letra "b": bingo! Cobre e estanho são os elementos que formam o **bronze**. Alternativa correta.

Letra "c": não recebe nenhum título a ser utilizado, podendo fazer parte como elemento de liga de outras ligas metálicas;

Letra "d": mesmo raciocínio da letra "c".

Letra "e": mesmo raciocínio da letra "c" e "d".

Gabarito: "b".



A QUÍMICA DA CIÊNCIA DOS MATERIAIS

"Poxa, Professor, vamos falar realmente de química?????" Sim, Estrategista, teremos que ter essa introdução a certos conceitos de química a fim de moldarmos o entendimento dos demais assuntos.

Todavia, confie em mim! Vai ser moleza e sem grandes desafios! Esse assunto é bem prático e tentarei ao longo do estudo trazer exemplos reais a fim de deixar tudo mais claro para você!

Além disso, o que é importante para nós é a **Ligação Metálica** (Lembra dela do Ensino Médio?). Pois bem, vamos comentar sobre seu funcionamento já que nos dará base para entendermos o papel dos diversos **elementos químicos** que outrora serão colocados nas **ligas metálicas**.

Dessa forma, vamos comentar um pouco sobre as forças intermoleculares e ligações interatômicas. E por que elas são importantes? Pois entender a **estrutura atômica e as ligações interatômicas** compreenderemos o porquê de certos **elementos químicos** se ligar (e como se ligam), afetando as **propriedades** dos materiais.

Não precisamos entrar nas **equações** de energia e forças interatômicas e intermoleculares, pois fogem do escopo de cobrança da banca (ufa! Pode respirar tranquilamente, Estrategista! Rs). Mas, entender o **conceito** será necessário a fim de compreendermos o papel da **microestrutura** dos **crystalinos** e como os **átomos** vão interferir neles e nas propriedades das diversas **ligas metálicas** que veremos adiante.

"Bora"? Avante, Estrategista! A vaga já é sua!

Digrama de Pauling, camada de valência e ligações

Acredito que você já tenha ouvido falar da **camada de valência**, certo? Contudo, vamos relembrar bem rapidamente.

No ensino médio, ensinaram-lhe sobre o **Diagrama de Pauling**, também chamado de Diagrama de Distribuição Eletrônica. Esse diagrama mostrava como os elétrons se distribuíam pelas camadas e subcamadas (também denominados, subníveis) da **nuvem eletrônica** que circunda o átomo conforme ele recebe energia.

Lembre-se, Estrategista, o **átomo** em seu **núcleo** contém **nêutrons e prótons** (partículas de **carga positiva**) e em torno desse núcleo **orbitam** os **elétrons (carga negativa)**, distribuídos em **camadas**. Em elementos químicos no estado **fundamental**, sem receber ou perder elétrons para outros, o número de prótons (**número atômico**) também corresponde ao número de **elétrons**.



ESCLARECENDO!



Número atômico é o número que designa o **elemento químico na tabela periódica** (veremos a seguir) e o número que significa quantos **prótons** compõem o núcleo do átomo.

Nesse sentido, com o passar dos séculos, vários modelos atômicos foram sugeridos a fim de explicar como o elétron se comportava em torno do núcleo dos átomos. Dessa forma, o modelo atual, **uma evolução do modelo de Bohr**, explica sobre a existência das **órbitas** em torno do átomo por onde os elétrons se movimentam.

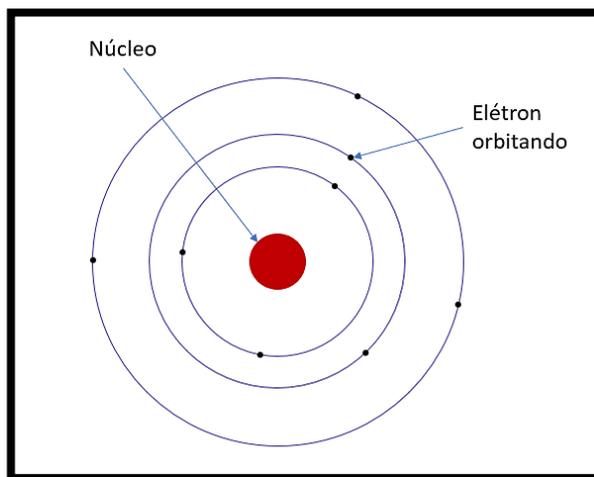
Depois, **trabalhos** mais complexos de **Heisenberg e Schroedinger** comprovaram e permitiram calcular, por equações complexas (não cabe dentro do nosso estudo), a probabilidade de encontrar o elétron em uma **nuvem eletrônica** que eles fazem, já que se movimentam em diferentes posições.

Em trabalhos posteriores, **Pauling** conseguiu desenvolver o **princípio da exclusão de Pauling** que dizia que cada **camada** (órbita que o elétron se encontra) possui **subcamadas** e que nelas existem **quantidades máximas** de elétrons.

Conforme o elétron **recebe** energia, ele "pula" para camadas mais externas (longe do núcleo do átomo) e quando **libera** esse energia em forma de **luz**, ele volta para camada mais próxima.

De toda essa história extremamente resumida, nos interessa entender os **elétrons da camada de valência** e seus papéis nas **ligações intermoleculares**. Veja na figura abaixo o elétron orbitando o núcleo do átomo.





1

Na tabela abaixo, trago o exemplo de distribuição eletrônica de alguns átomos nas camadas de cada orbital (K = 2 elétrons, L= 8 elétrons, M= 18 elétrons, N = 32 elétrons, O = 32 elétrons, P = 18 elétrons e Q = 2 elétrons).

Cada **orbital** mencionado corresponde a uma **camada** e as **subcamadas** (também chamados de **subníveis**) são designadas por **letras (s, p, d e f)**. Cada letra comporta uma **quantidade máxima de elétrons (s = até 2 elétrons; p = até 6 elétrons; d = até 10 elétrons e f = até 14 elétrons)**.

Perceba, observando a tabela a seguir, que o **hidrogênio** é o elemento cujo o número atômico (quantidade de prótons no núcleo e para um **elemento em seu estado fundamental**, a mesma quantidade de elétron) é **1**. Ou seja, ele tem 1 elétron em sua **camada**. Assim, a camada e subnível desse elemento, em seu estado fundamental, é **1s²**.

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



Elemento	Elemento	Número Atômico	Configuração Eletrônica
Hidrogênio	H	1	$1s^1$
Hélio	He	2	$1s^2$
Lítio	Li	3	$1s^2 2s^1$
Berílio	Be	4	$1s^2 2s^2$
Boro	B	5	$1s^2 2s^2 2p^1$
Carbono	C	6	$1s^2 2s^2 2p^2$
Nitrogênio	N	7	$1s^2 2s^2 2p^3$
Oxigênio	O	8	$1s^2 2s^2 2p^4$
Flúor	F	9	$1s^2 2s^2 2p^5$

2

Agora, estamos começando a chegar onde eu quero. Percebe que os últimos elétrons das últimas camadas são denominados de **elétrons de valência**. São esses elétrons que serão **cedidos** ou **compartilhados** a fim de estabelecer as **ligações interatômicas**.

Aqui, surge a necessidade de eu comentar sobre a **Teoria do Octeto**. Nada mais é, Estrategista, que uma teoria a respeito da **estabilidade** do átomo. Os átomos, a fim de se tornarem estáveis, **cedem, adquirem ou compartilham elétrons** com outros átomos para atingir **8 elétrons** na sua **camada de valência**. E é assim que surgem, na natureza, as **ligações químicas (interatômicas e intermoleculares**, estas também chamadas de **forças**).

Nos interessa as **ligações interatômicas**, aquelas ligações que vão existir entre os átomos e que serão necessárias para a criação de **moléculas**. Perceba que o **nitrogênio** possui 7 elétrons para serem distribuídos e que na sua última camada (camada 2), ele possui 5 elétrons. Muito bem. Para que o **nitrogênio** se torne um elemento **estável** ele necessita de **mais 3 elétrons**, completando assim 8 elétrons na sua camada de valência.

Quase todas as informações podem ser encontradas na famosa **tabela periódica**. Nela, é possível encontrar os elementos posicionados em ordem crescente (da direita para a esquerda e de baixo para cima de quem lê este *pdf*) dos números atômicos. Na tabela periódica, **cada coluna** (também chamada de **família**) agrupa os elementos químicos que contém **propriedades químicas e físicas muito parecidas**.

Nesse sentido, cada **família** possui os elementos com **mesmo número** de elétrons na **camada de valência** (e muitas das propriedades são similares por conta disso). Nas páginas seguintes, eu coloquei uma tabela periódica a fim de entendermos algumas características dela (tive que colocar em paisagem para ampliar seu tamanho, pois as letras estavam muito pequenas. Sem me xingar, hein? rs).

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



As principais características podem ser especificadas pelas colunas, assim:

- a) **Coluna "0" ou Grupo VIIIA:** é coluna dos gases inertes, ou **gases nobres**. Esses elementos possuem 8 elétrons em sua camada de valência e, por isso, possuem configurações eletrônicas estáveis;
- b) **Grupo VIIA:** também chamados de **halogênios**, fazem parte o **Flúor (F), Cloro (Cl), Bromo (Br), Iodo (I), Astató (At)**. Possuem **7 elétrons** na sua camada de valência e **tendem a receber** elétrons (um) para se estabilizar;
- c) **Grupo VIA:** também chamados **calcogênios**, fazem parte o **Oxigênio (O), Enxofre (S), Selênio (Se), Telúrio (Te) e o Polônio (Po)**. Possuem **6 elétrons** na sua camada de valência e **tendem a receber** elétrons (dois) para se estabilizarem;
- d) **Grupo VA:** nela são encontrados o **Nitrogênio (N), Fósforo (P), Arsênio (As), Antimônio (Sb) e Bismuto (Bi)**. Possuem **5 elétrons** na sua camada de valência e **tendem a receber** elétrons (três) para se estabilizar;
- e) **Grupo IVA:** nela são encontrados o **Carbono (C), Silício (Si), Germânio (Ge), Estanho (Sn) e Chumbo (Pb)**. Possuem **4 elétrons** na sua camada de valência e **tendem a compartilhar** elétrons para se estabilizar;
- f) **Grupos IIIB e IIB:** são encontrados os **metais de transição**;
- g) **Grupo IIA:** são os **metais alcalinoterrosos**, fazem parte **Berílio (Be), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Estrôncio (Sr), Bário (Ba) e Rádío (Ra)**. Possuem **2 elétrons** na sua camada de valência e **tendem a perder** elétrons para se estabilizar;
- h) **Grupo IA:** são os **metais alcalinos**, fazem parte **Lítio (Li), Sódio (Na), Potássio (K), Rubídio (Rb), Césio (Cs) e Frâncio (Fr)**. Possuem **1 elétron** na sua camada de valência e **tendem a perdê-lo** para se estabilizar;

Obs: não precisa decorar nada disso, hein? Muito menos os elementos e seus nomes! Só precisamos entender a lógica das ligações e, principalmente, da **ligação metálica**.



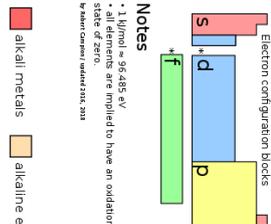
Periodic Table of the Elements

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1.008 1s ¹	2 He 4.0026 1s ²	3 Li 6.94 2s ¹	4 Be 9.0122 2s ²	5 B 10.81 2s ² 2p ¹	6 C 12.011 2s ² 2p ²	7 N 14.007 2s ² 2p ³	8 O 15.999 2s ² 2p ⁴	9 F 18.998 2s ² 2p ⁵	10 Ne 20.180 2s ² 2p ⁶	11 Na 22.990 3s ¹	12 Mg 24.305 3s ²	13 Al 26.982 3s ² 3p ¹	14 Si 28.086 3s ² 3p ²	15 P 30.974 3s ² 3p ³	16 S 32.06 3s ² 3p ⁴	17 Cl 35.45 3s ² 3p ⁵	18 Ar 39.948 3s ² 3p ⁶
19 K 39.098 4s ¹	20 Ca 40.078 4s ²	21 Sc 44.956 3d ¹ 4s ²	22 Ti 47.887 3d ² 4s ²	23 V 50.942 3d ³ 4s ²	24 Cr 51.996 3d ⁵ 4s ¹	25 Mn 54.938 3d ⁵ 4s ²	26 Fe 55.845 3d ⁶ 4s ²	27 Co 58.933 3d ⁷ 4s ²	28 Ni 58.693 3d ⁸ 4s ²	29 Cu 63.546 3d ¹⁰ 4s ¹	30 Zn 65.38 3d ¹⁰ 4s ²	31 Ga 69.723 4s ² 4p ¹	32 Ge 72.630 4s ² 4p ²	33 As 74.922 4s ² 4p ³	34 Se 78.971 4s ² 4p ⁴	35 Br 79.904 4s ² 4p ⁵	36 Kr 83.798 4s ² 4p ⁶
37 Rb 85.468 5s ¹	38 Sr 87.62 5s ²	39 Y 88.906 4d ¹ 5s ²	40 Zr 91.224 4d ² 5s ²	41 Nb 92.906 4d ⁴ 5s ¹	42 Mo 95.95 4d ⁵ 5s ¹	43 Tc 98.906 4d ⁵ 5s ²	44 Ru 101.07 4d ⁷ 5s ¹	45 Rh 102.91 4d ⁸ 5s ¹	46 Pd 106.42 4d ¹⁰	47 Ag 107.87 4d ¹⁰ 5s ¹	48 Cd 112.41 4d ¹⁰ 5s ²	49 In 114.82 5s ² 5p ¹	50 Sn 118.71 5s ² 5p ²	51 Sb 121.76 5s ² 5p ³	52 Te 127.60 5s ² 5p ⁴	53 I 126.90 5s ² 5p ⁵	54 Xe 131.29 5s ² 5p ⁶
55 Cs 132.91 6s ¹	56 Ba 137.33 6s ²	57 La 138.91 5d ¹ 6s ²	58 Ce 140.12 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	59 Pr 140.91 4f ³ 6s ²	60 Nd 144.24 4f ⁴ 6s ²	61 Pm 144.91 4f ⁵ 6s ²	62 Sm 150.36 4f ⁶ 6s ²	63 Eu 151.96 4f ⁷ 6s ²	64 Gd 157.25 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	65 Tb 158.93 4f ⁹ 6s ²	66 Dy 162.50 4f ¹⁰ 6s ²	67 Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²	68 Er 167.26 4f ¹² 6s ²	69 Tm 168.93 4f ¹³ 6s ²	70 Yb 173.05 4f ¹⁴ 6s ²	71 Lu 174.97 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	72 Hf 178.49 5d ² 6s ²
87 Fr 223.02 7s ¹	88 Ra 226.02 7s ²	89 Ac 227.03 6d ¹ 7s ²	90 Th 232.04 6d ² 7s ²	91 Pa 231.04 5f ² 6d ¹ 7s ²	92 U 238.03 5f ³ 6d ¹ 7s ²	93 Np 237.04 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	94 Pu 244.06 5f ⁶ 6d ¹ 7s ²	95 Am 243.06 5f ⁷ 7s ²	96 Cm 247.07 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	97 Bk 247.07 5f ⁹ 7s ²	98 Cf 251.08 5f ¹⁰ 7s ²	99 Es 252.08 5f ¹¹ 7s ²	100 Fm 257.10 5f ¹² 7s ²	101 Md 258.10 5f ¹³ 7s ²	102 No 259.10 5f ¹⁴ 7s ²	103 Lr 262.10 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	104 Rf 261.10 5d ⁴ 6s ²

standard atomic weight — 55.845
 or most stable mass number — 762.5
 1st ionization energy — 1.83 eV/atom
 in kJ/mol

chemical symbol — **Fe**
 name — Iron
 electron configuration — [Ar] 3d⁶ 4s²
 radiative elements have * masses in parentheses

atomic number — 26
 electronegativity — 1.83
 oxidation states — +6, +4, +3, +2, +1, -1
 most common are bold



alkali metals alkaline earth metals lanthanides actinides transition metals unknown properties post-transition metals metalloids reactive nonmetals noble gases



Ligação iônica (Eletrovalente)

Essa ligação é formada, Estrategista, quando um **elemento químico** quer **ceder** elétron para se estabilizar e ou **outro elemento químico** quer **ganhar** elétron para também se estabilizar.

Dessa forma, teremos a **transferência** de elétrons do **metal** para o **ametal** (**outros não-metais da tabela periódica acima**) formando **cátion** (íons positivos - quando os elementos químicos perdem elétrons ficando mais **positivos**) e **ânion** (íons negativos - quando os elementos químicos ganham elétrons ficando mais **negativos**).

Por exemplo, ocorre **ligação iônica (eletrovalente)** entre o **Sódio (Na)** e o **Cloro (Cl)**, formando uma molécula chamada de **Cloreto de Sódio (NaCl)**. Nesse caso, Estrategista, o **Na** quer **perder** um elétron (família IA) para se estabilizar, ao passo que o **Cl** quer **ganhar** mais um elétron (família VIIA) para também se estabilizar.

- $_{11}\text{Na}: 1s^2, 2p^2, 2p^6, 3s^1$ (**perde 1 e⁻**) > Na^+ (íon positivo - cátion);
- $_{17}\text{Cl}: 1s^2, 2p^2, 2p^6, 3s^2, 3p^5$ (**ganha 1 e⁻**) > Cl^- (íon negativo - ânodo);

Assim, temos o Cloreto de Sódio (NaCl) mencionado. Por conta desse "interesse" de um átomo dar elétrons e o outro receber, essa ligação é considerada **extremamente forte!**

Agora, quero que preste mais atenção, Estrategista. Larga o celular e tome uma água. (Rs).

A respeito dessas **características** da ligação iônica, podemos apontar algumas **propriedades** dos compostos que possuem esse tipo de ligação entre seus átomos.

Veja que, por ser uma ligação forte (já que uma átomo **quer** ceder e o outro **quer** receber), não é qualquer quantidade de **energia** que vai separá-los, por exemplo.

É justamente por isso que as **energias de ligação** desses compostos são elevadas (variam de **600 a 1500 kJ/mol** (não se preocupe com essas unidades, pois para nós não terá relevância nessa parte dos nossos estudos). É mais para você visualizar.

"Tá, professor, mas e daí?" E daí que uma característica desses compostos é o **alto ponto de fusão e ebulição**, que vai exigir atingir, em alguns **processos** (como nos **tratamentos térmicos** que veremos mais à frente) **elevadas temperaturas** por conta dessa necessidade de **grande energia** para quebrar essa ligação.

³ Adaptado de Wikimedia Commons. Acesso em: 20/02/2020.



Além disso, são caracterizados por serem **duros e frágeis** (tranquilidade, Coruja, posteriormente vamos definir as **propriedades** dos materiais e você entenderá o porquê de um material ser "duro" e "frágil" ao mesmo tempo.)

Outra característica, Coruja, é relacionada ao **retículo cristalino** formado por conta desse tipo de ligação. Como os **elementos** se unem **ionicamente** (um dando elétron e o outro recebendo) **não "sobra"** elétron livre. Consequentemente, **compostos iônicos** possuem baixa **condutibilidade elétrica** quando **sólidos**, já que não possuem elétron livre no seu retículo para estabelecer uma corrente elétrica.



Perceba que a **condutibilidade dos compostos iônicos** é baixa em estado **sólido**. E por que não seria no **líquido**? Porque eles se tornam ionizados em meio aquoso, formando, no exemplo que citei (NaCl), **íons Na^+ e Cl^-** . Dessa forma, em meio aquoso, teremos **diferença de potencial** e, consequentemente, **corrente elétrica!**

Ligação covalente

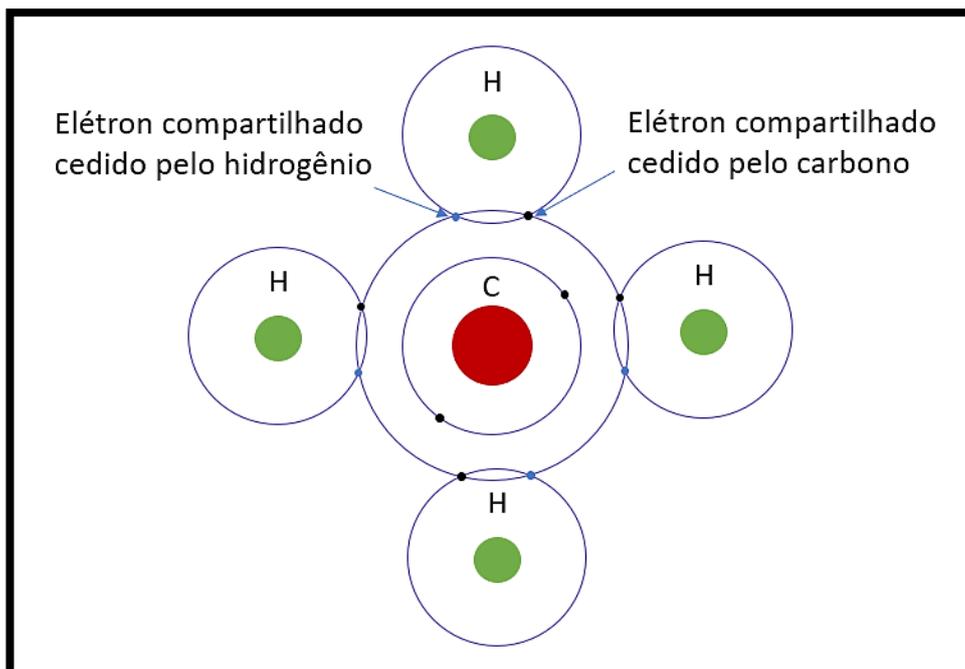
Diferente da ligação iônica, Estrategista, na ligação covalente os **dois** átomos querem **receber elétrons**. Ou seja, ambos querem se estabilizar **completando** suas respectivas **camadas de valência**.

E, agora? Como a natureza faria para resolver esse "impasse"?

Oras, muito simples: **compartilhamento**. Isso mesmo, Coruja, na **ligação covalente** os dois átomos vão compartilhar os elétrons que já possuem e ambos vão completar suas camadas de valência para se tornarem estáveis.

Veja na figura a seguir, na qual temos um composto formado pelo **carbono** (pertence à família IVA, logo possui **4 elétrons** na camada de valência) e o **hidrogênio** (apesar de não pertencer a família IA, possui **1 elétron** na sua camada de valência), formando o CH_4 :





4

Dessa forma, Estrategista, o carbono precisa de 4 elétrons para se estabilizar, ao passo que o hidrogênio precisa de 1. Logo, para cada carbono de um determinado composto (principalmente hidrocarbonetos), se unirão 4 hidrogênios, cada qual **compartilhando** 1 elétron que possui. Simples, não?

Essa é a **Ligação Covalente Normal** que eu descrevi. Existe também a **Ligação Covalente Dativa** que é bem simples, também. Só para você saber, nesta ligação, um dos átomos da ligação vai acabar **compartilhando** um dos pares de elétrons que possui com outro que precisa, **sem exigir deste o seu par**, pois já está "utilizando" de **outro elemento**.

A título de curiosidade é o que ocorre com o SO_2 - **ambos** são da família VIIIA e querem **receber 2 elétrons** para se estabilizarem. Todavia, o **Enxofre** (S) só **compartilha normalmente (ligação covalente NORMAL)** com um **Oxigênio** (O). Com o **outro Oxigênio** (O), ele simplesmente cede **um par** de elétron que ele possui dos **6 que ele tem** e, assim, os **dois oxigênios** ficam **estáveis e o enxofre também**, formando o dióxido de enxofre na natureza. "Coisa linda", não? Rs.

Ah, e grave que a ligação covalente é mais fraca que a ligação iônica. Essa é uma característica dela já que não necessariamente tem um átomo querendo "dar" e outro querendo "receber" elétrons, o que é um cenário mais estável na natureza do que na covalente.

⁴ Callister, W.D. Jr; Rethwisch, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Ligação metálica

É o tipo de ligação estabelecida entre os **metais e as ligas metálicas**. A depender do metal, ele pode possuir 1, 2 ou 3 elétrons na camada de valência. A principal característica dos metais é a **eletropositividade** que é uma tendência de **doar elétrons**. Todavia, ele não chega a doar.

O que ocorre é que os elétrons da camada de valência possuem facilidade de sair do átomo e ficam "circulando" pelo metal e, em um dado instante, quando o elétron se afasta, o metal fica positivo, momentaneamente. Depois, por atração da carga positiva do núcleo, esse elétron volta. Isso ocorre com todos os átomos o que gerou a **denominação** para essa ligação de "**mar de elétrons**".



Lembre-se, Estrategista, falou em "**Mar de elétrons**", falou em **ligação Metálica!**

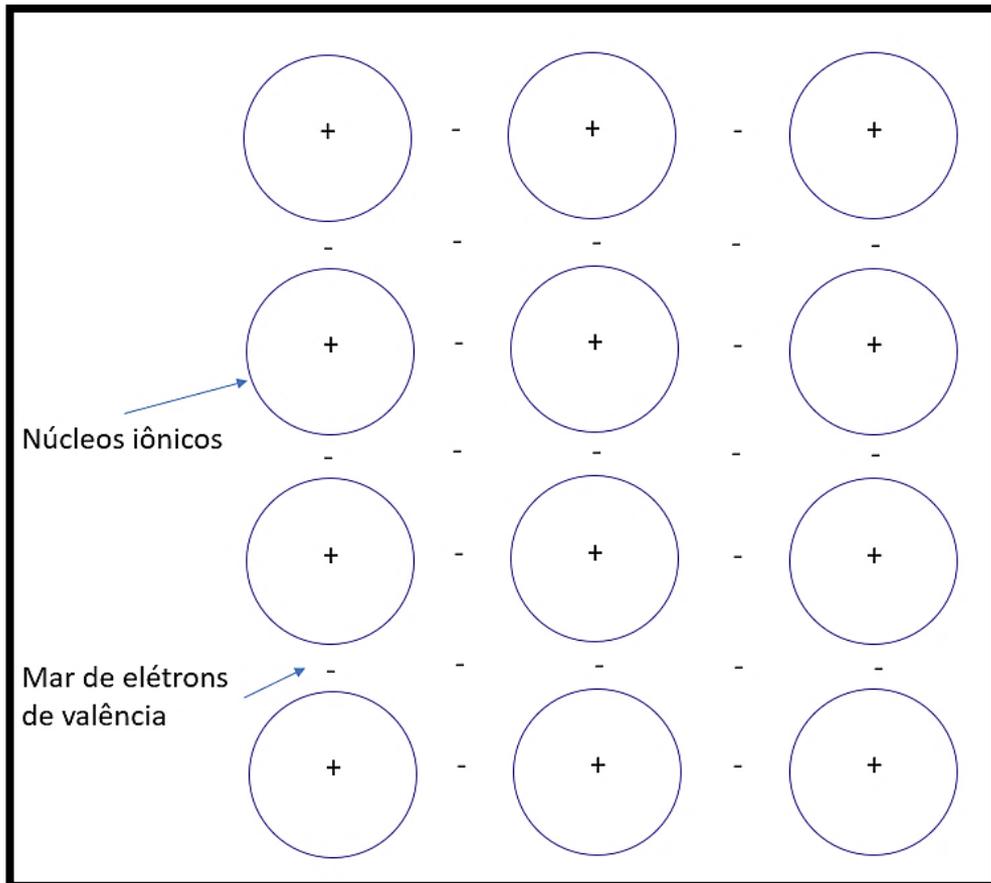
Consequentemente, essa característica dos metais gera uma das propriedades que eles possuem que é a **alta condutibilidade elétrica**. Ela é alta justamente por haver um elevado número de elétrons livres no retículo cristalino desse material, facilitando o surgimento de **corrente elétrica** e/ou sua **propagação**.

Perceba, Estrategista, que na foto a seguir temos os núcleos iônicos (núcleos virtuais formados pelos **núcleos positivos** dos átomos e os elétrons que **não são da camada de valência**). "Ah, professor, como assim?"

O que ocorre é que a resultante desses elétrons que não "desgrudam" para compor o "mar de elétrons" acabam influenciando muito menos que o núcleo do átomo que é positivo. Dessa forma, eles em conjunto não se neutralizam, criando esse núcleo fictício chamado núcleo iônico. (Tranquilo, Estrategista, não precisaremos de mais detalhes para nossa prova. Isso já é muito além.)

Veja a figura esquemática.





5

Esse "mar de elétrons livres" é que vai manter unidos os núcleos e, assim, manter elétrons livres compondo o retículo cristalino dos metais.

A ligação metálica pode ser forte ou fraca, variando de energia na casa dos **68 kJ/mol**, como para o mercúrio e até **849 kJ/mol**, como para o tungstênio. Isso influencia nas suas temperaturas de fusão que é de **-39°C** para um e **3410°C** para o outro.

CURIOSIDADE



Lembra quando falei sobre o **eletrodo não consumível de tungstênio** em nossa aula sobre soldagem? Olha ele e sua resistência elevada ao calor, rs).

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

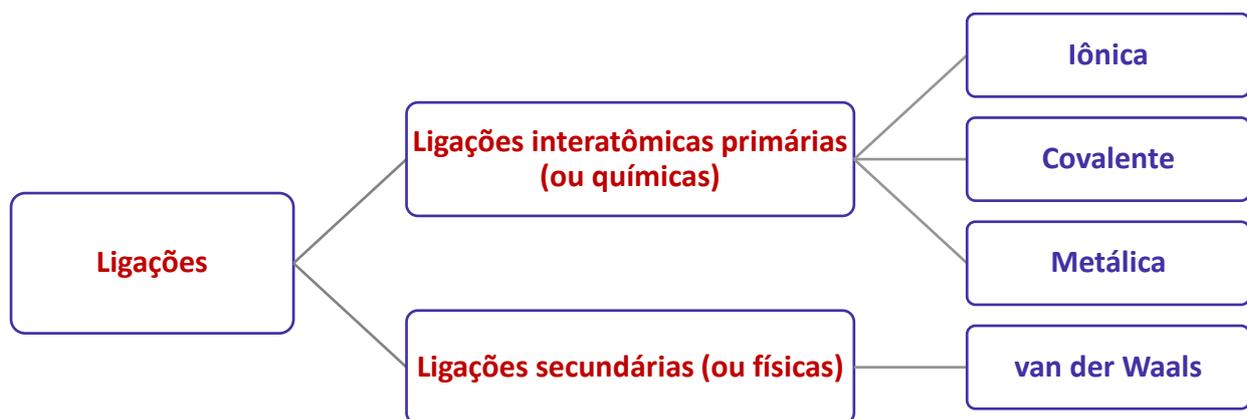


Veja bem, Estrategista, que conforme as ligações entre os átomos ocorrem, as **posições entre eles também mudam** e, dessa forma, características também serão diferenciadas. Essas características das ligações influenciam em como esses elementos vão compor as moléculas maiores e formar o **retículo cristalino dos materiais**.

O retículo cristalino, sem sombras de dúvidas, é extremamente importante para nós, pois muito do tratamento térmico e adição de elementos químicos na composição das ligas metálicas vão determinar propriedades específicas que o material precisa ter para cada função desempenhada.

Por isso, Estrategista, vamos falar dele agora e entender os diferentes arranjos que vão compor a **estrutura cristalina** dos materiais, em especial dos metais - são eles os adorados pelas bancas!

Coruja, essas três ligações que vimos (metálica, covalente e iônica) são consideradas **ligações primárias**, pela doutrina citada. Porém, temos algumas ligações **secundárias**, também chamadas de **ligações físicas** são **mais fracas** que as demais que vimos e recebem o nome de ligações de **van der Waals**. Portanto, atenção para sua prova:



As principais características que você precisa saber sobre as ligações secundárias de van der Waals é que são **fracas** se comparadas às ligações primárias. Normalmente, como aponta a literatura específica⁶, as energias de ligação dessas forças ficam na casa dos 10 kJ/mol (0,1 eV/átomo).

Além disso, as ligações secundárias existem, de maneira virtual, em **todos os átomos** ou **moléculas**. Todavia, sua presença pode não ser tão perceptível se as outras ligações primárias estiverem presentes (claro, as primárias possuem maiores energias de ligação). Um ponto interessante que pode surgir na sua prova é que para **gases inertes**, por conta da sua estrutura eletrônica estável e entre moléculas ligadas covalentemente, as ligações secundárias ficam **evidentes**.

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



Agrupamentos no cristalino e microestrutura

Estrategista, quando falamos em **microestrutura cristalina** de um material você precisa imaginar que os átomos, quando estabelecidas as ligações vistas na seção anterior, ficam **agrupados**. Esse agrupamento, **organizado e periódico**, vai formar aquilo que chamados de **retículo cristalino** (ou somente **cristalino**) dos materiais.

É como um jogo de montar do tipo *Lego*®, sabe? Que cada peça vai fazer parte de uma estrutura muito maior e como essas peças se agrupam, vai determinar como o brinquedo final fica. Fazendo uma analogia para nosso estudo, as "peças" seriam os átomos que agrupados formam **células unitárias**.

O conjunto de **células unitárias** vão determinar o **cristalino do material**, a partir do crescimento de **grãos** (vamos falar deles mais à frente). Esse processo ocorre, Estrategista, em materiais no estado **sólido**, formando um **padrão regular** de "construção" **tridimensional** que vai se **repetir**, fazendo com que cada átomo e, conseqüentemente, cada célula unitária fique junta.



Percebeu que eu disse "sólido", não é, Estrategista? Porque no estado **líquido** os átomos estão se movimentando e são distribuídos sem formar um padrão (por conta disso é que os líquidos possuem suas características físicas que conhecemos).

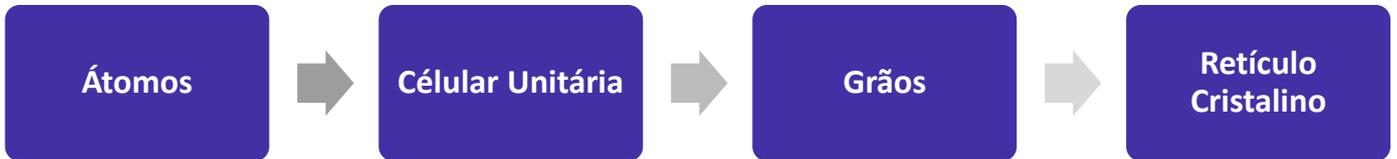
Todavia, quando os materiais estão no estado **sólido**, cada tipo de átomo e também as ligações que eles estabelecem vão formar **diferentes agrupamentos**. Essa diferença é que vai impactar decisivamente na **microestrutura** desse **cristalino** e, conseqüentemente, **em algumas propriedades mecânicas** desse material.

"Tá, Professor, mas quais **são essas estruturas**?" Pois bem, Estrategista, no total temos sete tipos de estruturas cristalinas que vão se formar a partir de sete grupos geométricos de células unitárias. Todavia, só nos interessa **3 desses tipos** que fazem parte de **2 grupos** e são os que caem em provas de concurso, além de terem grandes chances de aparecer.

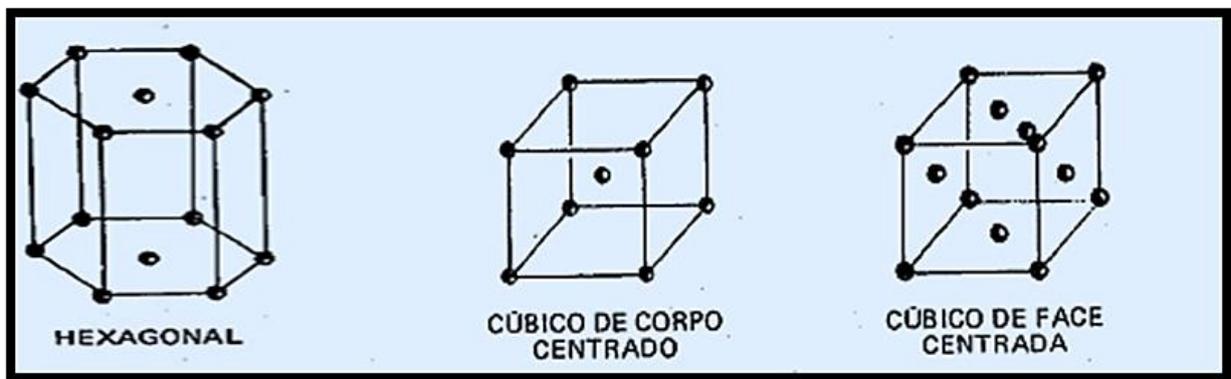
Na figura a seguir, temos os grupos geométricos e eu sinalizei para você quais são os tipos de cada grupo que serão detalhados e trabalhados em nossa aula (**Hexagonal, Cúbica de Face Centrada e Cúbica de Corpo Centrado**).



Cada **esfera** de cada figura, Coruja, é a representação dos **átomos** e como eles estão arranjados uns aos outros, compondo cada **célula unitária**, que, por sua vez, vai compor os **grãos** e a união destes o **retículo cristalino** do material, assim determinando sua **microestrutura**.



A seguir, vou detalhar cada uma dessa estrutura, bem como apresentar como os átomos ficam agrupados em suas respectivas células unitárias.

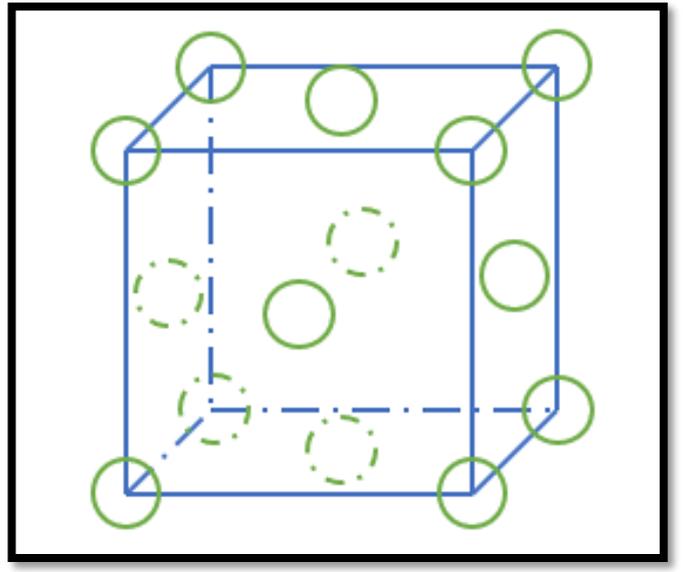


Cúbica de Faces Centradas (CFC)

Essa é a configuração da estrutura cristalina que faz parte a **maioria dos metais** pertencente ao grupo geométrico de forma cúbica. Nesse tipo de microestrutura, os átomos que compõem a célula unitária estão localizados em cada vértice e no centro de cada face do cubo. Veja na figura abaixo, Estrategista.

⁷ 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.





Os principais metais que possuem esse tipo de célula unitária em sua microestrutura do retículo cristalino (a depender da temperatura) são: **ferro γ^* (falaremos dele ainda nessa seção), cobre, alumínio, prata, ouro, chumbo, níquel**, entre outros.

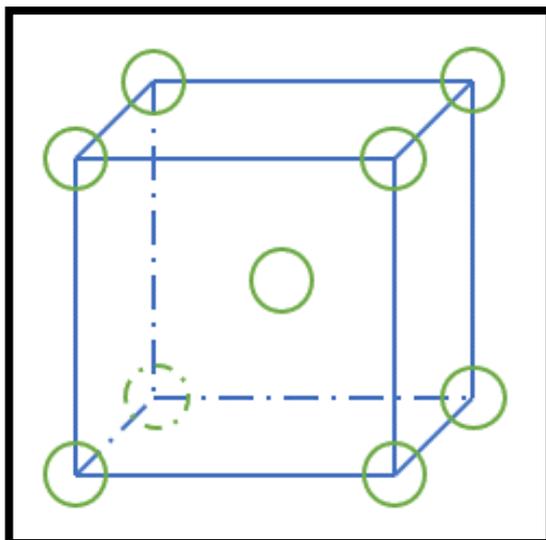
Cúbica de Corpo Centrado (CCC)

Nessa estrutura cristalina, os **átomos** vão se agrupar para formar a célula unitária **um em cada vértice** e **um átomo no centro do cubo formado**. Esse também é um tipo de configuração de estrutura pertence ao grupo de forma cúbica.

Veja a figura a seguir.

⁸ 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.

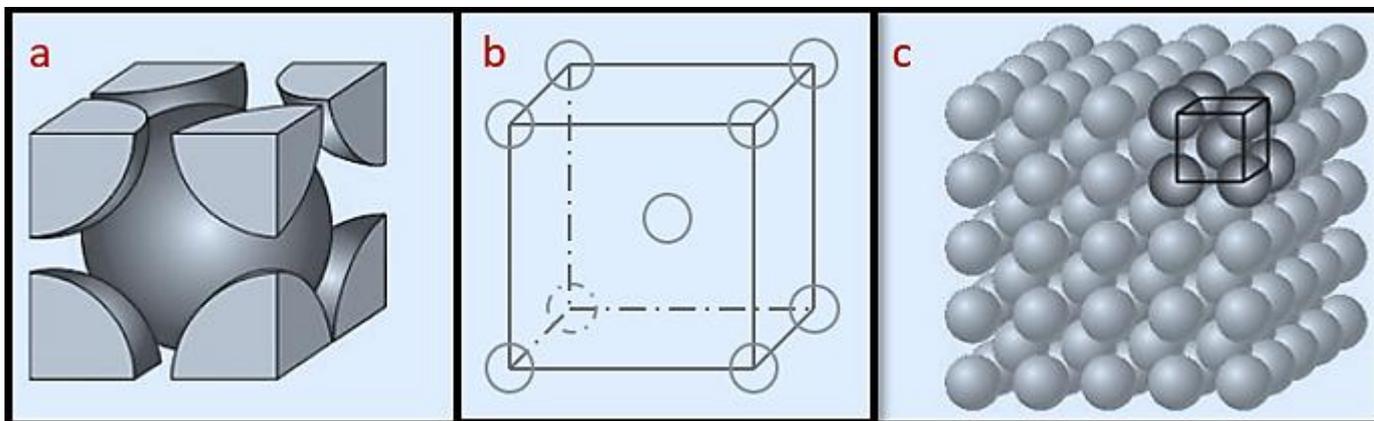




9

Na imagem abaixo, Estrategista, temos em "a" uma outra visualização da célula unitária CCC, em "b" a mesma representação com as esferas representando os átomos menores e em "c" como essa célula unitária ficaria representada com outras células unitárias na formação da **estrutura do cristalino**.

Aqui também temos exemplos dos principais metais que possuem esse tipo de célula unitária em sua microestrutura do retículo cristalino (**a depender da temperatura**). São eles: **ferro α^* (também falaremos dele ainda nessa seção), cromo, lítio, molibdênio, tântalo, tungstênio e vanádio**, por exemplo.



10

⁹ 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.

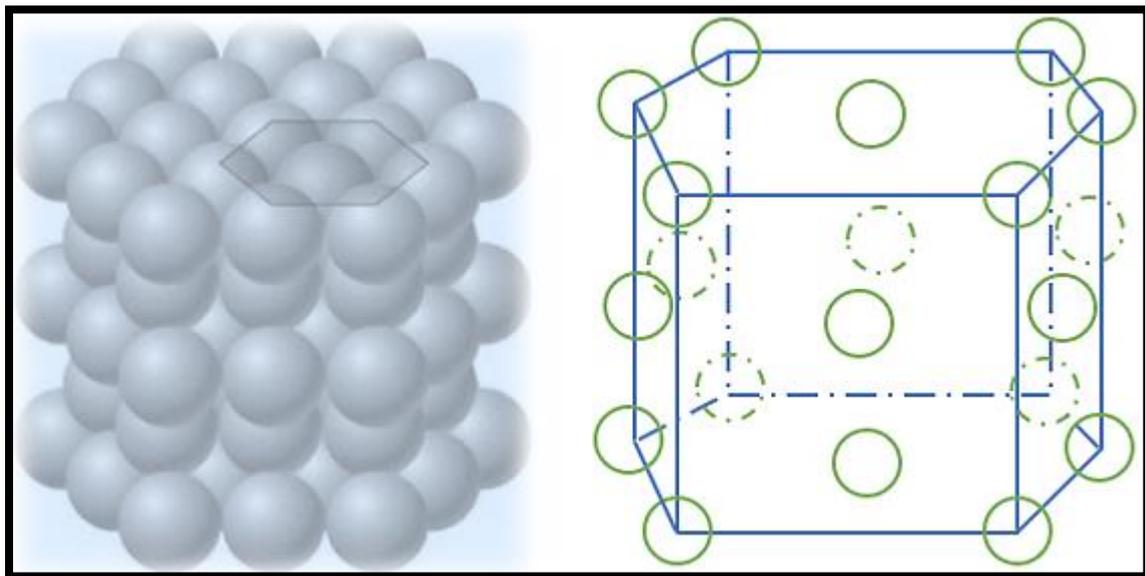
¹⁰ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Hexagonal Compacto (HC)

Nesse tipo de microestrutura, a célula unitária tem suas faces formada por **seis átomos**, tanto na **face superior** quanto na **inferior**. Esse conjunto de átomos formam **hexágonos regulares** e esses hexágonos envolvem **um átomo central**.

Um tanto quanto confuso, não é, Estrategista? Não se preocupe! As bancas não costumam ir além da simples cobrança de reconhecimento dos **nomes** e dos **desenhos**. Vamos ver duas figura para deixar mais clara a formação desse tipo de célula unitária.



11

Os materiais que possuem a microestrutura em **hexagonal compacto** (a depender da **temperatura**) em suas células unitárias que formaram seu cristalino são os metais como **zinco, magnésio, cobalto, cádmio e berílio**, por exemplo.

Estrategista, um ponto interessante que temos que conhecer para sua prova é sobre o **Fator de Empacotamento Atômico (FEA)**. Esse fator consiste, basicamente, no **quanto que os átomos que compõe um tipo de célula unitária ocupa de espaço dela**. Em outras palavras, é a **fração de volume** em cada tipo de célula unitária ocupada pelos seus átomos.

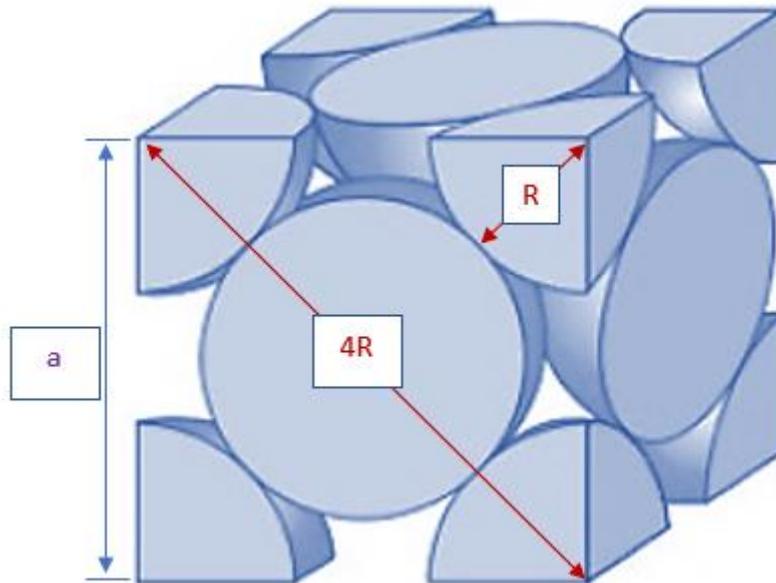
Nesse sentido, Coruja, para cada tipo teremos fórmulas diferentes para o cálculo do FEA. Os FEAs principais são dos tipos CCC e CFC (se cair, são esses que aparecerão).

¹¹ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012 e Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



FEA - Cúbica de Face Centrada (CFC)

Nesse tipo de célula unitária, Coruja, teremos 1/8 de cada átomo do retículo em cada vértice e 1/2 de cada átomo em cada face do cubo de aresta "a" que forma essa célula unitária. Veja na figura¹² abaixo:



Perceba, Coruja, que, admitindo um valor "a" para a aresta desse cubo da célula unitária, temos que a **diagonal** da face, por conta do **arranjo** dos átomos CFC, será igual a quatro vezes o raio de cada átomo, certo? Veja na figura acima. Assim, podemos calcular, tranquilamente, o valor de "a" e, assim, o **volume** dessa célula unitária, já que volume = a^3 .

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:

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

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

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



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):

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

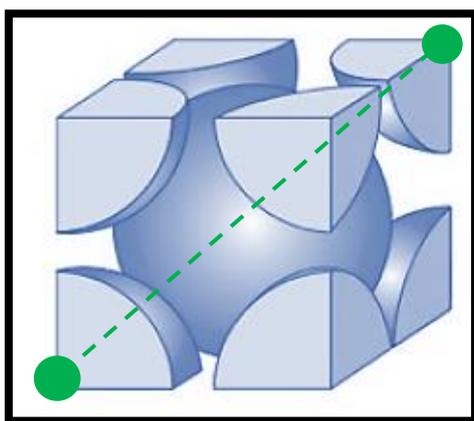
Coruja, tranquilidade! Esse assunto é pouco explorado e basta conhecermos conceitos básicos de geometria e a fórmula de volume de uma esfera que é $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$.



Coruja, se liga: memorize o valor de 0,74 para o FEA da CFC! Digo isso, pois esse é o **maior FEA** dentre os diferentes arranjos e, por conta disso, já foi cobrado em prova seu valor de maneira direta! ;)

FEA - Cúbica de Corpo Centrado (CCC)

Seguindo a mesma lógica, Coruja, perceba que nesse arranjo de átomos temos um total de **2 átomos** em volume que irão compor o volume total da célula unitária, já que teremos 1/8 de átomos vizinhos em cada vértice e 1 átomo central. Nesse sentido, temos que esse átomo central irá tocar os átomos de cada vértice ao longo da diagonal do cubo. Veja a figura¹³ a seguir:



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



Aplicando a mesma lógica de cálculo (teorema de Pitágoras), mas 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:

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

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

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

Pronto, Coruja! Como vimos, o FEA será razão entre o volume dos átomos que compõe a célula unitária pelo volume total dessa célula unitária. Assim, temos:

$$FEA = \frac{V_{\text{átomos}}}{V_{\text{ccc}}} = \frac{(2) \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3}{\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3} = \frac{\frac{8}{3} \cdot \pi \cdot R^3}{\frac{64 \cdot R^3}{3 \cdot \sqrt{3}}} = 0,68;$$

Coruja! Sobre esse assunto é mais do que suficiente para sua prova! Vamos adiante!

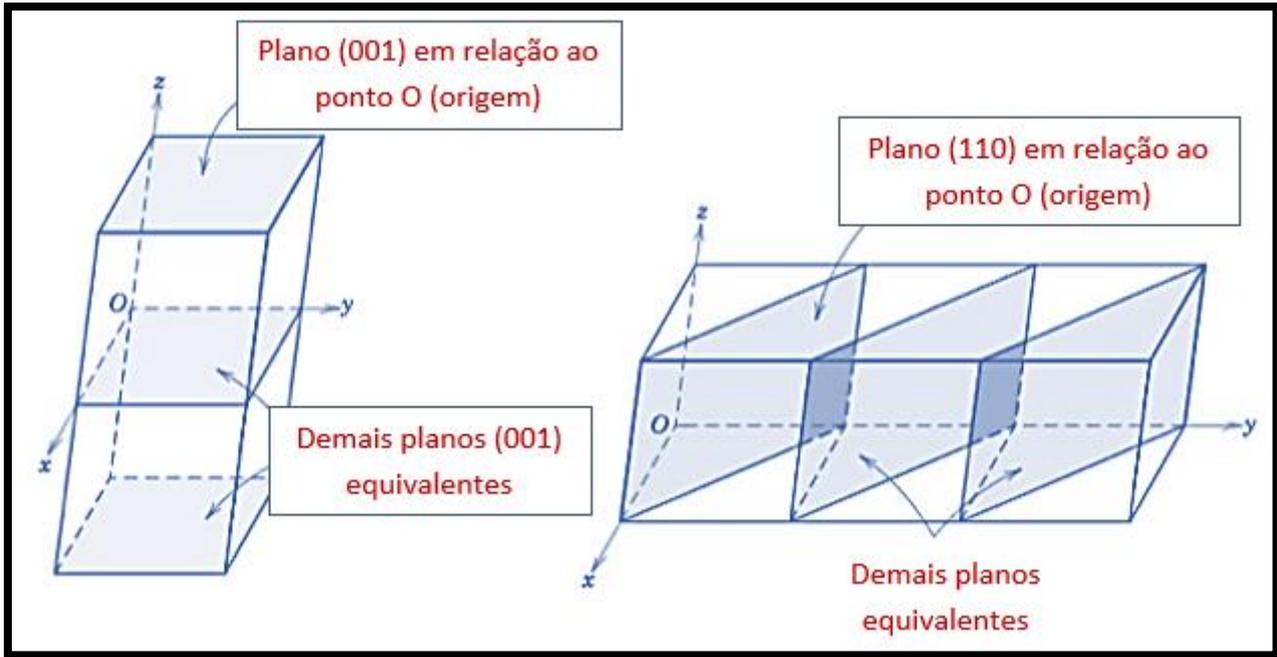
Índices dos planos cristalográficos

Um ponto que pode surgir na sua prova, Estrategista, são os **planos cristalográficos com os índices de representação** de cada plano no espaço. Dessa forma, esses planos formam, também, as células unitárias (CCC, CFC, HC, TCC, etc) que possuem posicionamento específicos dos seus átomos no espaço. Assim, temos que lembrar que para identificar esses planos são admitidos, arbitrariamente, três eixos que são perpendiculares (possuem 90°) entre si (para as principais células unitárias, claro), cuja orientação é dada pelo conjunto de **3 números** denominados de **Índices de Miller**.

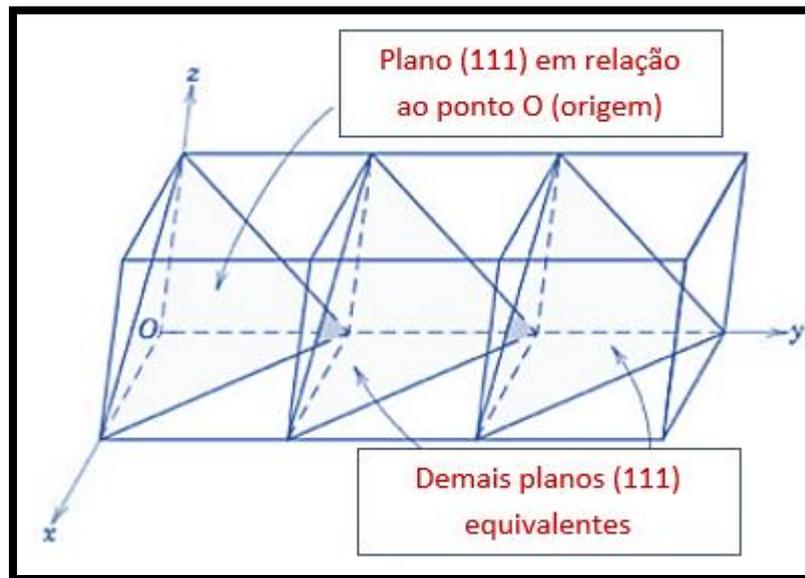
Coruja, moleza! Esses índices nada mais são do que indicadores da **distância interatômica** do vetor que passa por uma origem desse sistema de coordenadas de três eixos até às **intersecções** dos planos com o eixo. Assim, simplifadamente (perder seu tempo com isso, tem baixo custo-benefício para sua prova) cada direção terá um valor "0" ou "1", indicando alguma distância na dada direção (x, y ou z). Assim, os valores "0" correspondem aos planos que são **paralelos** aos eixos específicos (nunca se cruzam e tendem ao infinito, gerando valores no índice tendendo a zero, pela divisão proposta por Miller) e os valores "1", correspondem aos planos que **interceptam** algum eixo específico. Veja a figura a seguir para você compreender melhor.

Em "a", temos o plano cristalográfico paralelo a X e Y, interceptando perpendicularmente o eixo Z, por isso é 0 em X e Y e 1 em Z. Veja que em "b" a situação é diferente, tendo 1 em X e Y e 0 em Z. Em "c", temos 1 para X, Y e Z:





14



15

Estrategista, esse assunto não tem aparecido em provas (é muito raro). Para seu certame, sugiro apenas que você associe os números dos índices acima com sua respectiva representação do plano! É mais do que suficiente para poupar sua memória para coisas mais importantes! ;).

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

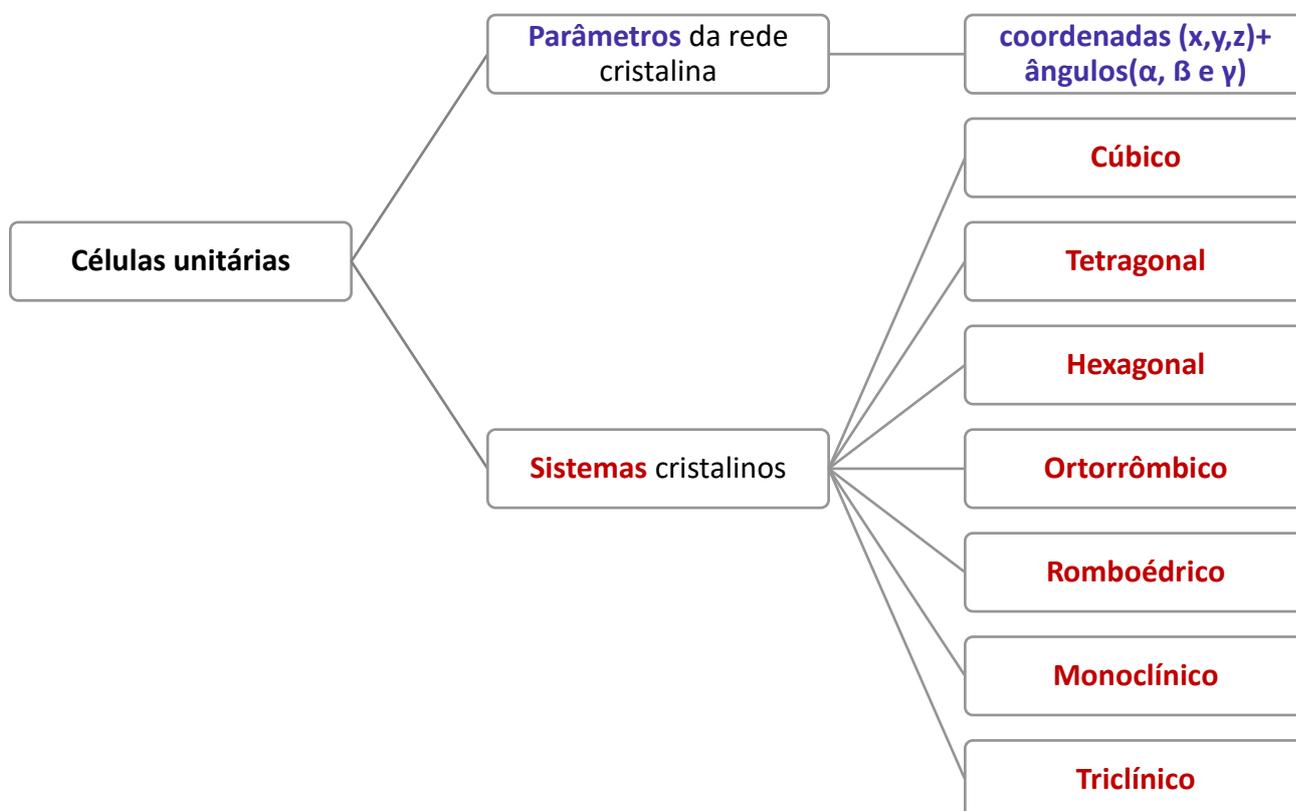
¹⁵ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Sistemas cristalinos

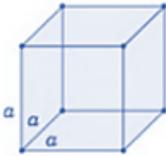
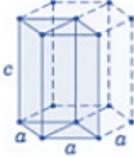
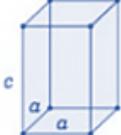
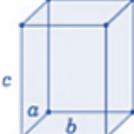
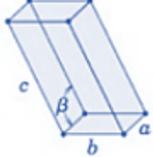
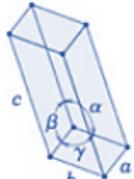
Coruja, o que você precisa saber sobre os famosos **sistemas cristalinos** é que eles nada mais são do que uma forma de **agrupar** os "n" tipos de estruturas cristalinas que existem, seguindo a lógica das **células unitárias** e/ou **arranjos atômicos** que vimos. Oras, para isso, temos um grupo de **coordenadas (x,y,z)** com origem em um dos vértices da célula unitária em questão e cada eixo desse vai dar a direção de cada aresta formadora da célula unitária (sem mistério, acabamos de ver anteriormente).

Além disso, os **ângulos** entre cada aresta também fará parte dessa geometria que define a célula unitária. Esses **ângulos** são comumente chamados de **α , β e γ** . Esse conjunto de coordenadas e ângulos são chamados de **parâmetros da rede cristalina** que formaram **sete sistemas cristalinos** (esses parâmetros e sistemas você precisa memorizar para sua prova!). Veja no esquema abaixo:



Coruja, veja que fácil é todo esse "blá, blá, blá" de sistemas cristalino na figura abaixo, proveniente da doutrina dominante sobre esse assunto:



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	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

16

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





Coruja, atenção, porque tem "cheiro" de prova: o **sistema cúbico** é o que possui **maior grau de simetria!** ;)

Sólidos não cristalinos

Estrategista, uma dúvida que pode surgir é: “mas todos os materiais sólidos são cristalinos?”. A resposta é **não**. Nem todos os materiais vão formar, no estado sólido, o retículo cristalino que é, como comentei, **uma organização periódica de um agrupamento de átomos pré-formado**.

Esses materiais recebem o nome de **Amorfos**. Normalmente, esses materiais **amorfos** (sem forma), possuem organizações atômicas e moleculares muito complexas que dificultam a organização periódica e regular do cristalino.



Quando a questão mencionar a palavra **amorfo** em relação a um material, lembre-se: **não forma cristalino**.

Alotropia e polimorfismo

Estrategista, nas páginas 16 e 17 dessa aula, eu marquei duas formas específicas de denominar o elemento **ferro**: uma é o **ferro γ** e a outra é o **ferro α** , conforme se muda a temperatura, lembra? Então, eu fiz isso porque elas são formas **alotrópicas** de um mesmo elemento! “Tá, Professor, e o que é **alotropia**???”

Alotropia e **polimorfismo** são características de certos metais (como o **ferro**) de possuir, **a depender da temperatura**, estruturas cristalinas **diferentes**, por conta de **diferentes** arranjos de suas **células unitárias** que **prevalecem**. Dessa forma, Coruja, o **ferro puro** em **temperatura ambiente** possui microestrutura **CCC**, ao passo que quando ele é aquecido até **temperaturas** em torno de **912°C** ele adquire outra microestrutura, a **CFC**.



Por conta disso, os metais, como o ferro, vão receber diferentes denominações. Como no exemplo citado (não por acaso, pois vamos utilizar muito o ferro e suas ligas nas próximas seções), o **ferro α** é a forma alotrópica que ocorre na faixa de **temperatura até os 912°C**. Já para **temperaturas acima de 912°C**, a forma alotrópica recebe o nome de **ferro γ** .

A alotropia é importante para o nosso estudo, pois você verá mais para frente que no caso do **ferro** e suas **ligas** (ferro – carbono que dão origem aos diversos tipos de **aços**), **a depender da temperatura**, teremos diferentes % de carbono a serem dissolvidos e que farão parte do **crystalino** da **liga**.

Para você ter uma ideia, Estrategista, a forma alotrópica **α (alfa) do ferro** consegue dissolver apenas **0,02% de carbono**, ao passo que a **γ (gama)** consegue dissolver cerca de **2%**. Você pode se perguntar qual a importância disso, certo? Todavia, veremos que essas diferentes porcentagens vão implicar em **propriedades mecânicas** completamente **distintas** e, dessa forma, **diferentes aços** poderão ter um **excelente desempenho** em certos **serviços**, ao passo que outros, com outras porcentagens em sua liga, **péssimo desempenho**.

“Mas, professor, você falou e falou da alotropia, mas e o **polimorfismo**? É a mesma coisa?”

Exatamente, Coruja! Vejo que você está bem sagaz, não é mesmo? Rs. Então, a **lógica** é a mesma, a única diferença é que falamos em **alotropia** quando nos referimos a **sólidos elementares**. Já o termo **polimorfismo** é utilizado quando há **mais do que um elemento** no composto.

Por exemplo: **O₂ (oxigênio)** e **O₃ (ozônio)** são formas **alotrópicas (só um elemento)**. No caso do **ferro**, quando temos a adição de **carbono**, temos 2 elementos (**F_eC**, formando **aço**) e, assim, temos o **polimorfismo**.



Fique atento, Estrategista: em prova, cobrou a definição e falou em só **um elemento** é **alotropia**. Se mencionar **2 ou mais elementos** é **polimorfismo**!

Na tabela a seguir, eu adaptei da renomada obra de Chiaverini alguns metais e suas formas alotrópicas em relação à temperatura.



Metal	Forma alotrópica - Temperatura ambiente	Forma alotrópica a demais temperaturas
Ca - Cálcio	CFC	CC acima 447°C
Co - Cobalto	HC	CFC acima de 427°C
Hf - Háfnio	HC	CC acima de 1742°C
Fe - Ferro	CC	CFC entre 912°C e 1394°C e CC acima de 1394°C

17

Estrategista, dentro dessa seara de conhecimento sobre **microestrutura, célula unitária, retículo cristalino e alotropia/polimorfismo**, para as bancas, é mais do que suficiente – eles não costumam ir além e cobrar as fórmulas para cálculo como fator de empacotamento ou dimensões e grandezas das células unitárias ou planos cristalográficos.

Um ponto importante sobre esse tema, Coruja, é sobre os **defeitos** nos cristalinos dos materiais que podem acontecer. De maneira resumida, quero que você guarde os seguintes:

- **defeito de lacuna**: considerado o mais **simples** pela a literatura. Como o próprio nome sugere, Estrategista, nada mais é que a **ausência** de um átomo onde ele deveria estar. Por isso, é denominada de **defeito pontual**.
- **discordância**: é um defeito **linear** (falaremos dela adiante);
- **superfície externa**: é um tipo de defeito **interfacial** (assim como o **contorno de grão**) que tem origem no fato dos átomos na superfície não estarem ligados a todos os átomos vizinhos, gerando um estado de **maior energia (já que suas ligações não estão estabilizadas)**.
- **contorno de grão**: é o defeito interfacial que **delimita a região que separa grãos que estão em orientações cristalográficas diferentes** nos materiais policristalinos

Difusão no Estado Sólido

Estrategista, primeiramente, devemos entender o que é a **difusão**. Oras, na lavra da doutrina dominante, ela nada mais é que um **fenômeno** relacionado ao **transporte de matéria** por movimento a nível

¹⁷ 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.

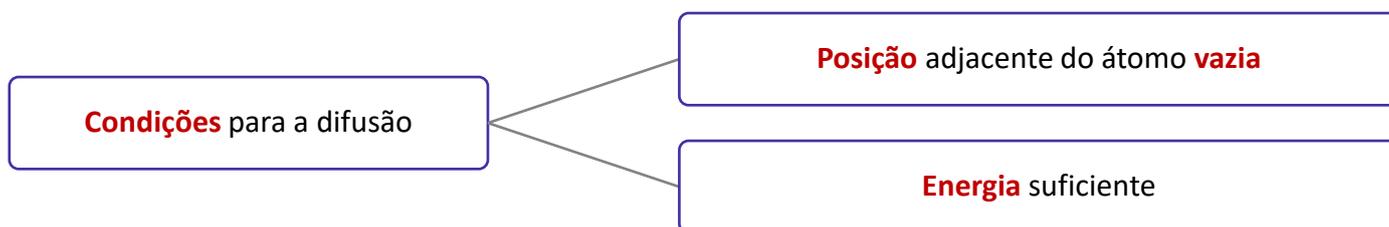


atômico. Assim, dada uma temperatura elevada, Coruja, mas abaixo da temperatura de fusão de dois metais (por exemplo, cobre e níquel) em contato, temos uma região, depois de um certo tempo, no qual teremos átomos de cobre e níquel formando uma **liga**.

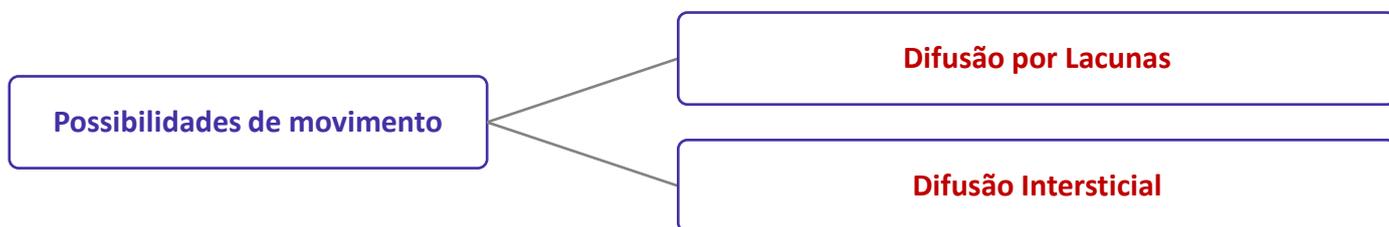


Estrategista, atenção, pois pode vir a aparecer na sua prova: quando temos **difusão** entre metais diferentes, temos a **interdifusão** ou **difusão de impurezas**. Quando o metal é **puro**, temos a **autodifusão!**

Coruja, perceba que para a difusão ocorrer, precisamos de sempre **duas condições** (além do **tempo**, que veremos adiante no regime não estacionário): **posição adjacente do átomo vazia** e **energia** (que, normalmente, provém da **temperatura** elevada que gera calor que, por sua vez, é energia em movimento). Assim, a energia **vibracional** pelo aumento da temperatura quebra as ligações vizinhas e faz com os átomos possam se movimentar e estabelecer novas ligações. Assim, memorize:



"Entendi, professor, mas... como esse movimento é feito?" Oras, Estrategista, temos **duas possibilidades** dominantes na lavra da literatura específica e você precisa levar para sua prova. Veja abaixo:

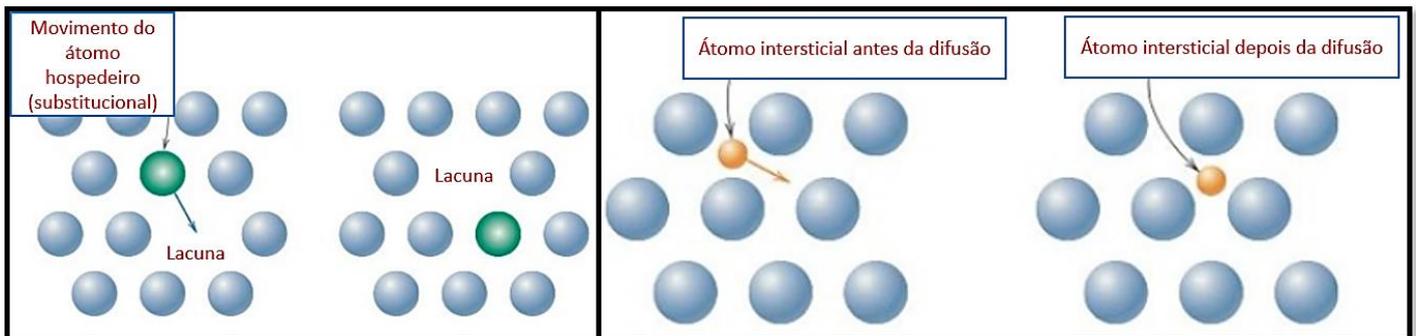


Oras, a **Difusão por Lacunas** ocorre quando se tem os **vazios** (lacunas) nos quais o átomo se move e assume esse posição. Aqui, cabe um detalhe: como o movimento do átomo é em direção à lacuna, é claro que o movimento da **lacuna** é sempre contrário ao do átomo (sem mistério, é dizer o óbvio!).



Por outro lado, Coruja, na **Difusão Intersticial**, o átomo avança e fica entre outros átomos, por isso o nome intersticial, saindo de uma região para outra vizinha que esteja vazia. É esse o tipo de mecanismo utilizado pelas **impurezas** que são átomos **menores** que os hospedeiros numa rede cristalina, por exemplo. Assim, temos o **hidrogênio, carbono, nitrogênio e oxigênio** como exemplo comuns. Nesse sentido, em uma liga metálica, como aço, temos os elementos de impurezas que se difundem por esse mecanismo. Além disso, esse mecanismo é o mais **rápido de ocorrer** e, como existem mais posições intersticiais entre os átomos de um material, a probabilidade desse mecanismo existir é **maior que a difusão por lacuna**.

Veja a imagem abaixo que mostra os dois mecanismos e o movimento dos átomos (hospedeiro e intersticial) proveniente da doutrina¹⁸:



Para finalizarmos esse assunto, convém vermos os **dois** possíveis **regimes** nos quais a difusão ocorre. Oras, a difusão no estado sólido é um fenômeno que **depende** do **tempo**. Assim, essa quantidade de um elemento que se movimenta em função do tempo, gera um **fluxo difusional**. Todavia, Coruja, se esse **fluxo** for constante e **não variar** com o tempo do processo, existe uma condição de **Regime Estacionário (no qual se encontra a 1ª Lei de Fick**, que veremos adiante) e, caso o fluxo varie em função do tempo, temos o **Regime Não Estacionário** (que faz parte a **2ª Lei de Fick**, que também veremos).

Difusão – Regime Estacionário

Coruja, aqui, apresentarei as equações que podem vir a aparecer dentro deste regime. Então, a primeira, expressa o **fluxo difusional (J)** que é uma relação entre uma **quantidade (M)** de massa (ou átomos) que se difunde por uma seção transversal de uma **área unitária** do sólido e por tempo:

$$J = \frac{M}{A \cdot t}; [J] = \frac{kg}{m^2 \cdot s} \text{ ou } \frac{\text{Átomos}}{m^2 \cdot s}$$

Essa equação pode aparecer para você na forma **diferencial** em relação ao tempo. Tranquilidade, lá do cálculo, temos:

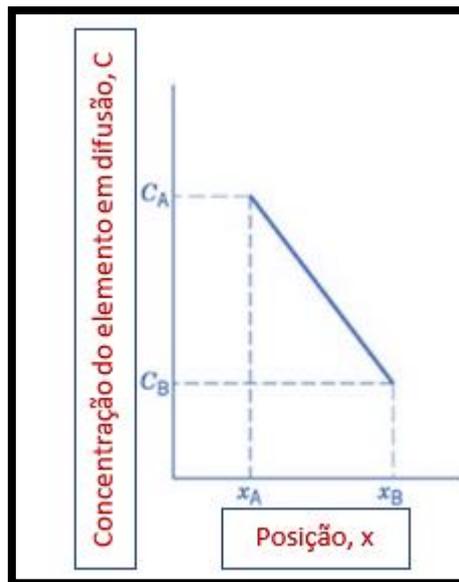
¹⁸ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



$$J = \frac{1}{A} \times \frac{dM}{dt};$$

Além disso, temos que entender que conforme a difusão ocorre, o **perfil de concentração** de determinado elemento muda conforme a **posição** (x) no interior do material sólido estudado, resultando em uma curva característica, cuja **inclinação** de um ponto dessa curva de concentração, nos remete ao **gradiente de concentração** que será linear nesse regime. Assim:

$$\text{Gradiente de concentração} = \frac{dC}{dx} = \frac{C_a - C_b}{x_a - x_b};$$



19

Estrategista, como o fluxo é proporcional ao gradiente no regime estacionário, podemos equacionar a difusão em uma única direção de maneira bem tranquila e essa é a nossa **1ª Lei de Fick**, na qual o sinal negativo da expressão mostra que a direção da difusão se dá **contra** o gradiente de concentração (da mais alta para a mais baixa nos sólidos):

$$J = -D \times \frac{dC}{dx};$$

Na qual, temos:

- **D** = chamada de **constante de proporcionalidade** e é o **coeficiente de difusão**, em m²/s;

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



CURIOSIDADE



Se liga, Coruja, pois um exemplo de regime estacionário para a difusão é a **purificação do gás hidrogênio**. Além disso, saiba que o **gradiente de concentração** pode ser chamado de **força motriz** da difusão, o que induz ela acontecer. Pode uma questão querer te pegar com esse nome ;)

Difusão – Regime Não Estacionário

Nesse regime, Estrategista, teremos a **2ª Lei de Fick**! Nada mais é que uma equação **diferencial parcial** que irá agora reger a situação na qual o **fluxo difusional** e o **gradiente de concentração** dentro do sólido **variam com o tempo** em um ponto específico. Saiba, Coruja, que **a maioria das situações** do dia a dia são dentro desse regime (se liga, por tem cheiro de prova colocar isso numa assertiva. rs).

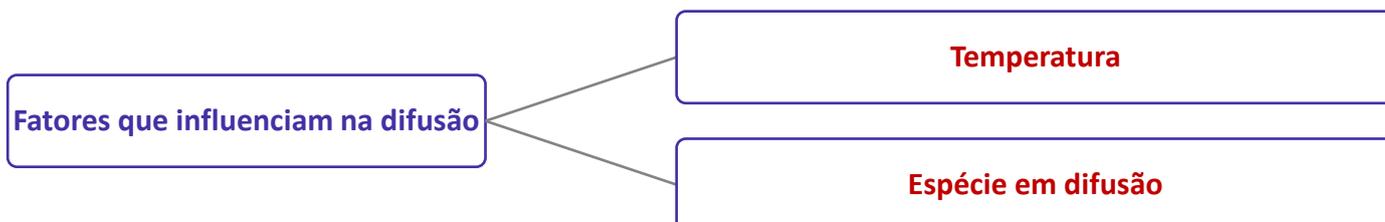
Assim, a equação diferencial na 2ª Lei de Fick é dada por:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right);$$

Conforme aponta a doutrina, caso o coeficiente de difusão for **independente da composição** (a ser verificado para cada situação específica), a equação é simplificada para:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right);$$

Coruja, sinceramente? Acho muito, mas muito difícil cair isso na sua prova, por conta do tempo. O que realmente importa, na minha opinião, é você saber os **dois fatores** que influenciam na **difusão**, são eles: **temperatura** e a **espécie em difusão**. Por isso, memorize:



A espécie em difusão é quase óbvio, certo, Coruja? Oras, diferentes elementos químicos vão impactar de forma diferente o **coeficiente de difusão**, tanto pelos átomos hospedeiros quanto pelos átomos em difusão, seja na autodifusão, seja na interdifusão (mecanismos de lacunas e intersticial). Tranquilo.

Agora, a **temperatura** tem um influência sobre esses coeficientes e na **taxa** de difusão (claro, maior a temperatura, maior energia vibracional, como vimos). Logo, a relação entre os coeficientes de difusão e a temperatura, dependem da energia de ativação necessária para produzir o movimento difusivo de 1 mol de átomos, e é expressa por:

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

Na qual:

- D_o = denominada **constante pré-exponencial** que **independe da temperatura** (m^2/s);
- Q_d = **energia de ativação** para a difusão (J/mol ou $eV/\text{átomo}$);
- R = constante dos gases ($8,31 \text{ j/mol.K}$ ou $8,62 \cdot 10^{-5} \text{ eV/átomo.K}$);
- T = temperatura na escala absoluta (K);

Essa equação pode ser expressa em termos de logaritmos naturais (neperianos, base “e”) ou em logaritmos na base 10. Aplicando logaritmo neperiano nos dois lados, e sabendo da propriedade de tomar expoente no logaritmo ($\ln e^x = x \cdot \ln e$) e $\ln e = 1$, temos:

$$\ln(D) = \ln(D_o) - \frac{Q_d}{R} \cdot \left(\frac{1}{T}\right);$$

Se for para logaritmo na base 10 (log), temos:

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

Coruja, como os valores de D_o , Q_d e R são constantes, essa equação pode ser resumida e aparecer de forma simplificada, como $y = b + m \cdot x$.

Estrategista, creio que desse assunto, para sua prova, é mais do que suficiente! Vejamos mais uma informação que acho pertinente, pois, apesar de nunca ter aparecido tem “cheiro de prova”, pois é bem “nota de roda pé”. Saiba que a **migração atômica** também pode ocorrer em **discordâncias, contornos de grão e superfícies externas**. Esses percursos podem receber a denominação de **“curto-circuito”**.

Seguimos, então, adiante! Falaremos agora das **propriedades mecânicas dos materiais**, das **deformações** e os **principais ensaios de medidas**!



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

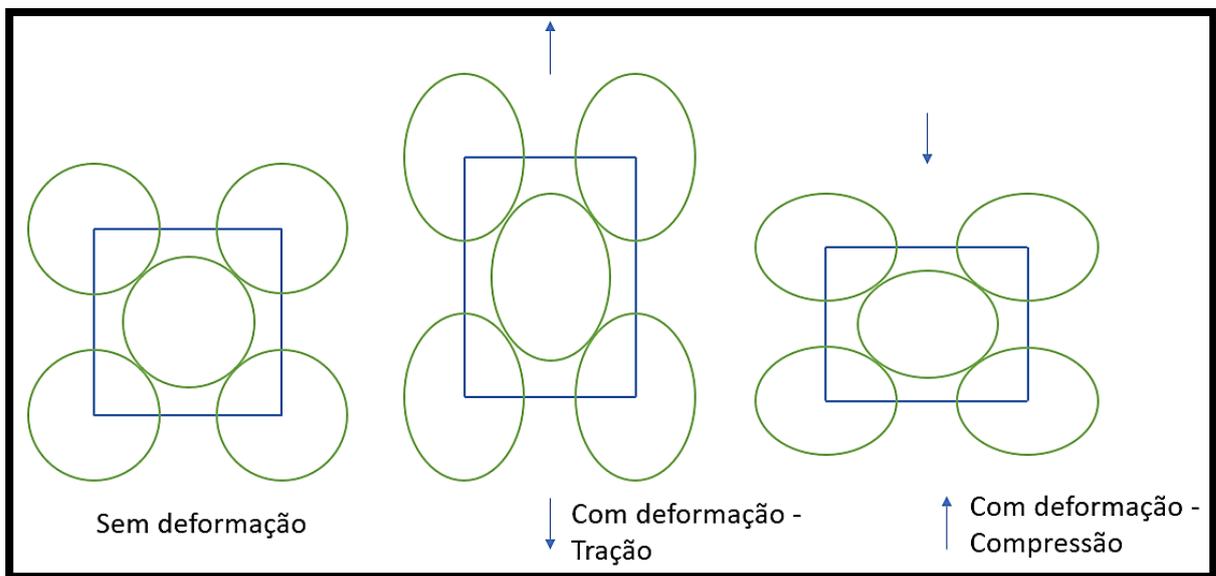


temporária. Nesse sentido, assim que a **tensão** aplicada ao material for **eliminada**, o material **volta a sua forma original**.

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”.



20

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:

²⁰ 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**.

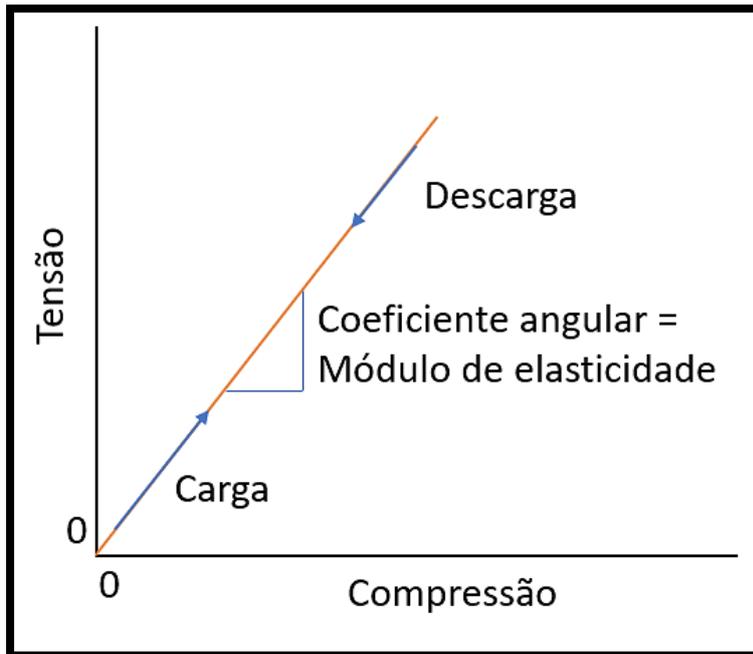


O **módulo de elasticidade** também pode ser chamado pela banca de **módulo de Young**. É a mesma coisa! :)

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.





21

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

22

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

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

²² 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

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

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

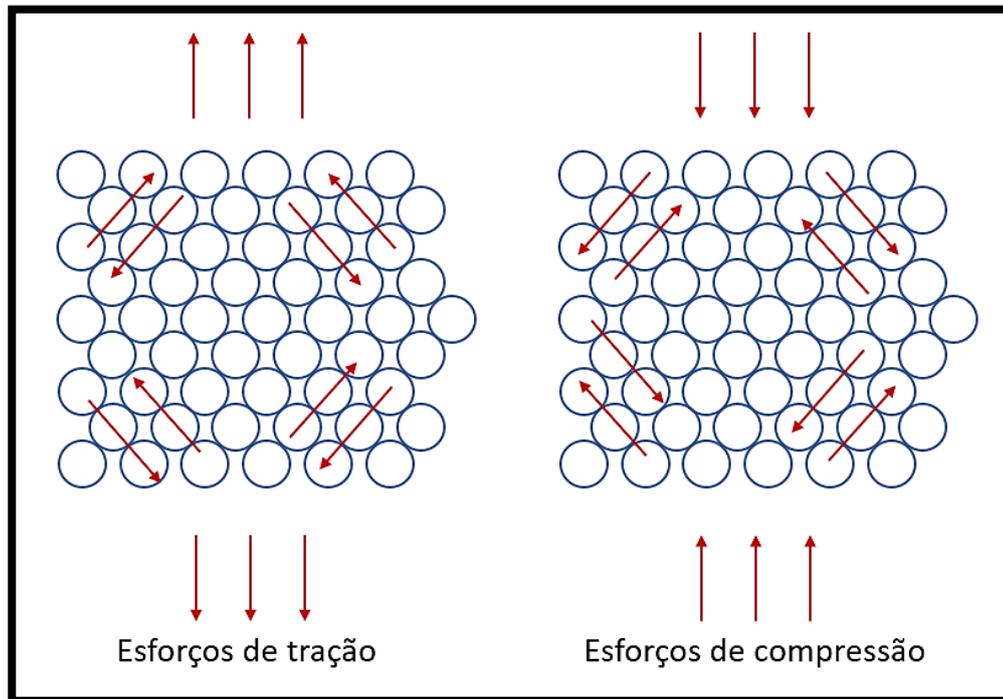
Normalmente, nos metais, a **deformação elástica** precede a plástica e fica em torno de **0,005** de unidade do material. Ou seja, é praticamente imperceptível a olho nu. Nos materiais **crystalinos** (os que **possuem retículo cristalino e não amorfos**), a **deformação plástica** ocorre por conta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

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

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



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



23

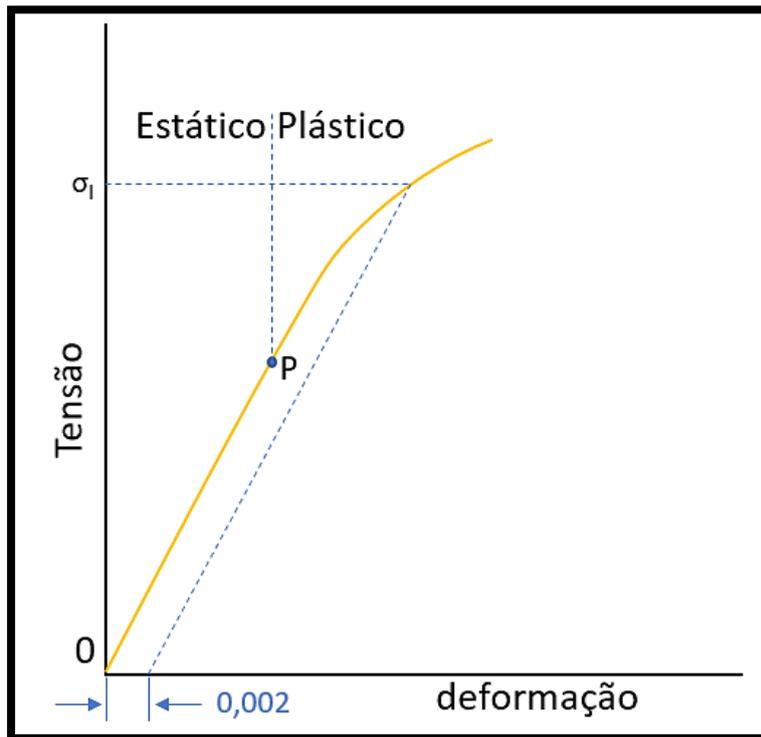
Coruja, saber qual o **limite de escoamento** de um metal (ou seja, o limite que ele suporta até começar a **deformar plasticamente**) é bem importante, pois é partir dele que certos projetos podem ser dimensionados e processos de fabricação (visto na aula passada) escolhidos.

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**.

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.





24

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 doutrina²⁵, 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.

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

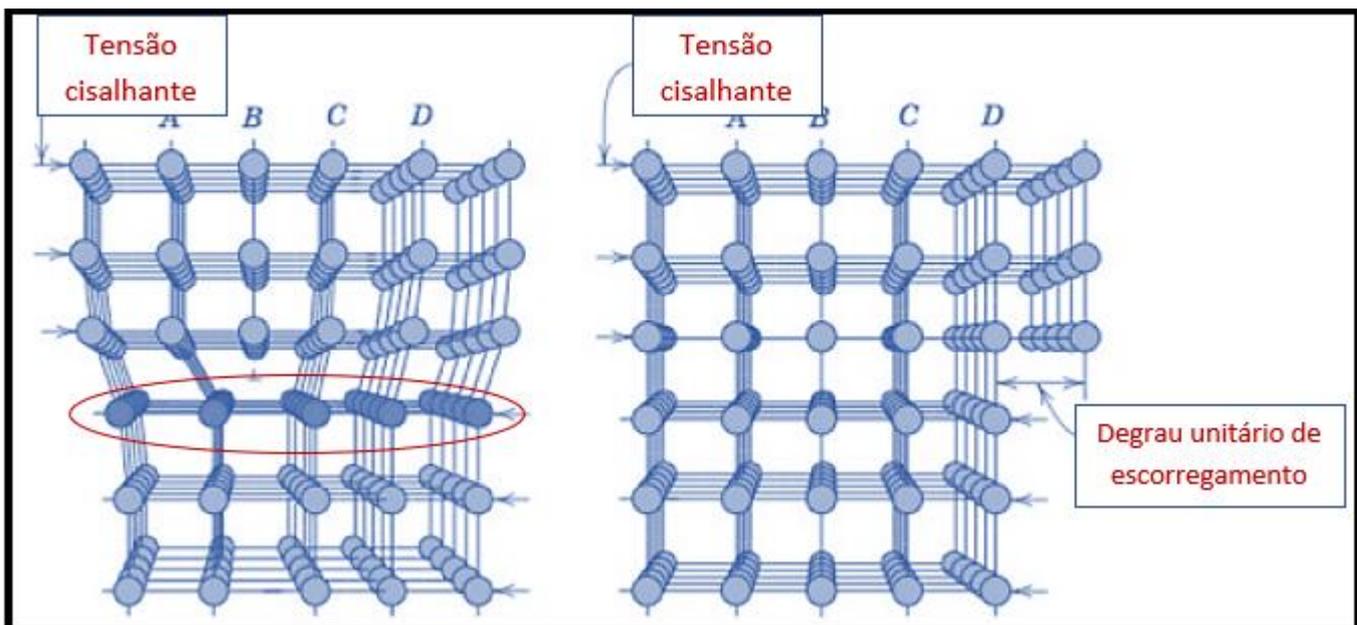
²⁵ Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Além desses pontos, Estrategista, é bom você saber que o processo de deformação plástica também está relacionada com as **discordâncias** existentes no reticulado 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 figura²⁶ a seguir que mostra o movimento desse semiplano quando temos a presença de uma força cisalhante:



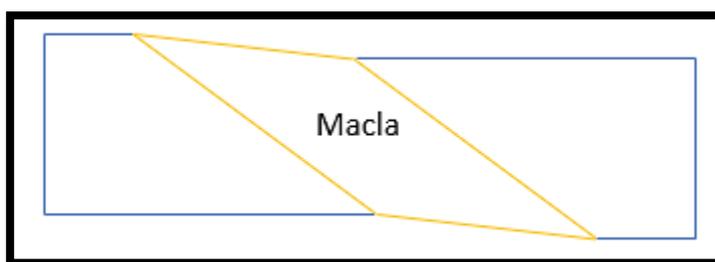
Dessa forma, Coruja, dada uma tensão cisalhante suficiente, o **plano de escorregamento** que circulei em vermelho na figura, será aquele plano limite no qual os semiplanos A,B, C e D serão deslocados, até a formação do degrau unitário de escorregamento que vai emergir. Esse é um exemplo de **discordância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

²⁶ 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 doutrina²⁷ 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 figura²⁸ 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

²⁷ Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.

²⁸ 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.





29

Além da “engenharia” e tecnologia por de 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**.

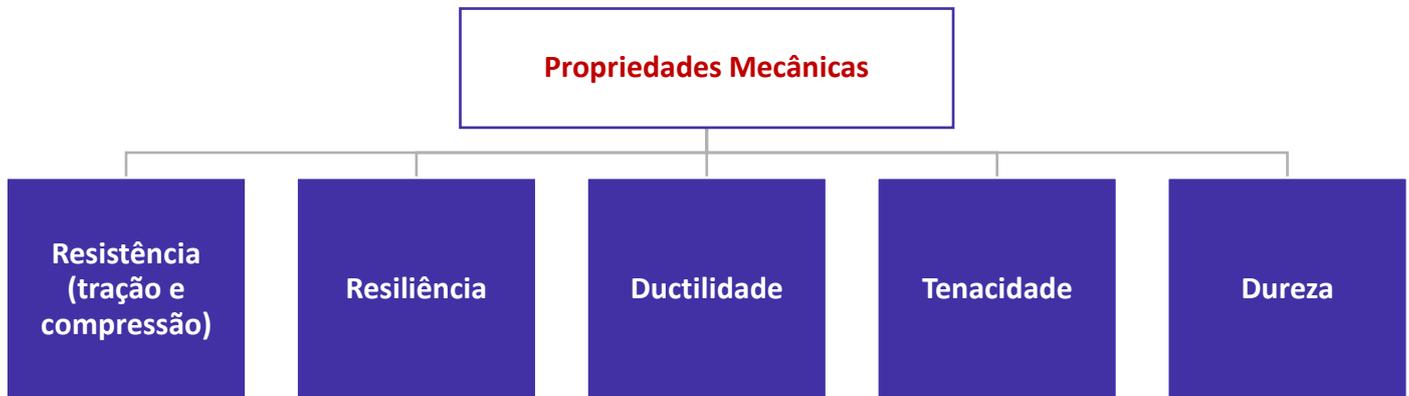
E pode ter certeza, Estrategista, que naquela época os engenheiros devem ter usado o que havia de melhor para o seu tempo e conhecimento. Todavia, naquele **serviço** específico, em águas próximas a 0°C, o aço se tornou **frágil** e, com o impacto, rompeu, provocando o acidente.

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?

²⁹ 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).

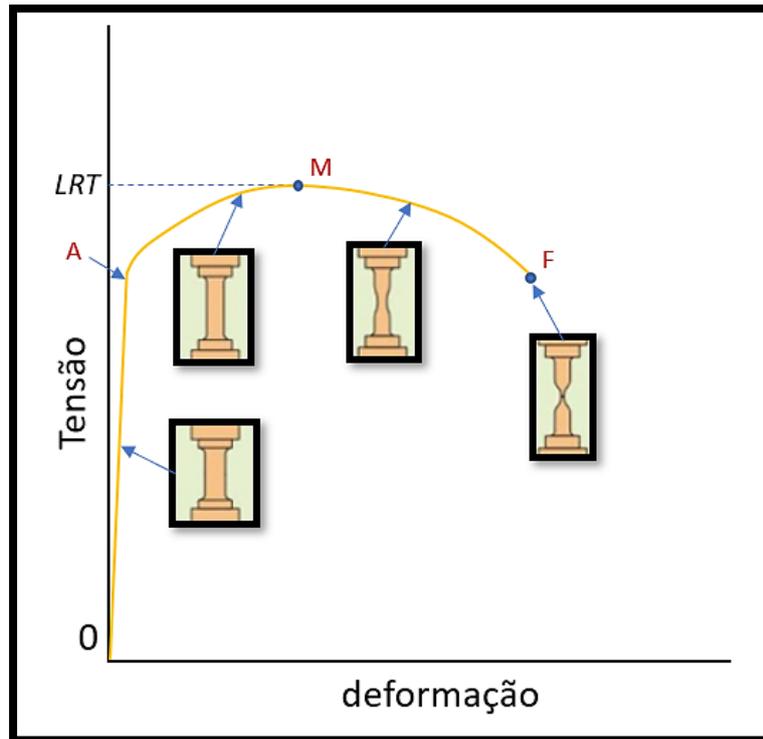
Após adentrar o campo da **deformação plástica** que acabamos de estudar, e ocorrer o **escorregamento** dos planos **crystalinos** que mencionei, o material atingirá um **limite** até se romper. A esse **limite** é dado o nome de **Limite de Resistência a Tração (LRT)**.

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 **augmenta**. Apesar desse perfil, depois desse ponto, ela começa a diminuir, até ocorrer a **fratura** no ponto "**F**".





30

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 **secção** 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.

³⁰ 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;

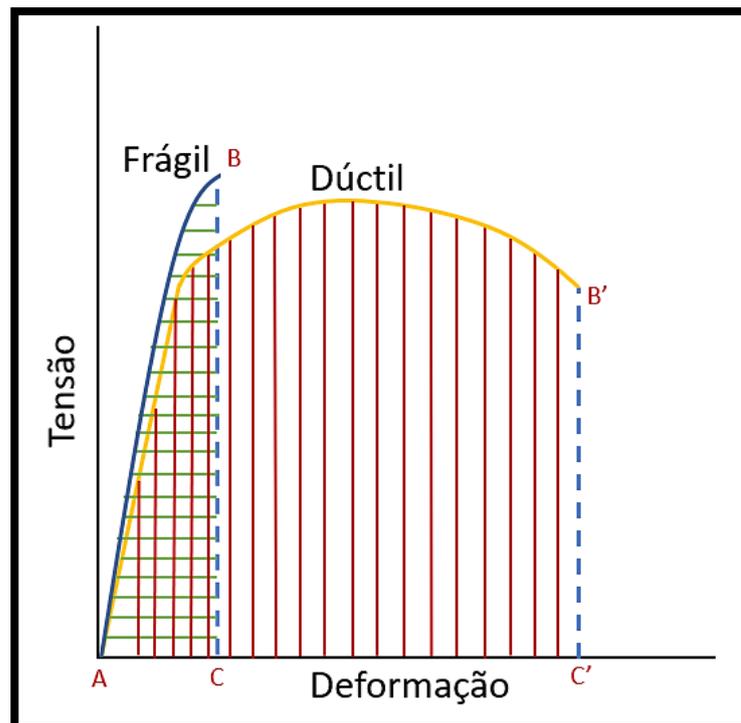
Por outro lado, Estrategista, quando o material **deforma muito pouco plasticamente**, ele é considerado **frágil!** É como se você comparasse um pedaço de vidro com o metal da latinha de refrigerante feita de alumínio.

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).



31

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

³¹ 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!**

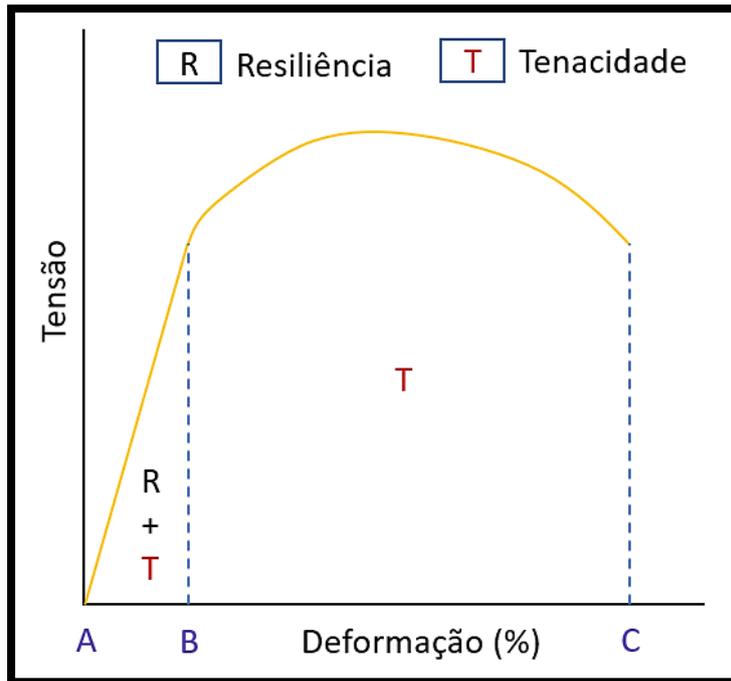
Todavia, temos que classificar mais uma **propriedade** intimamente relacionada a **ductilidade**: é a **tenacidade!** Estrategista, muito simples: a **tenacidade** nada mais é que a **capacidade** do material de **absorver energia**, **porém** dentro do campo de **deformação plástica e elástica**.

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:





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.

³² 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

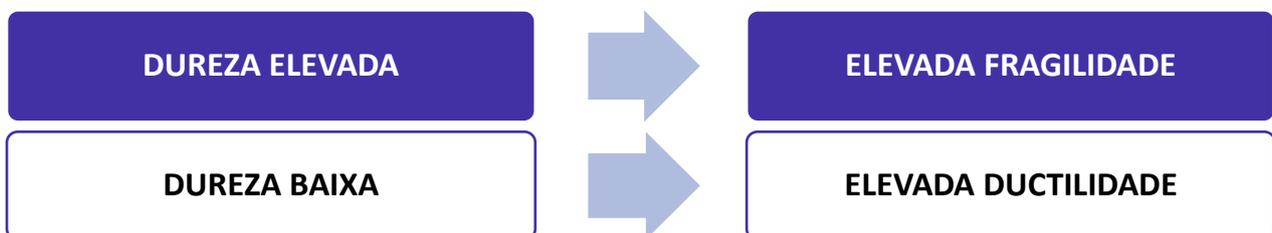
Uma importante propriedade mecânica para nós é a **dureza** e as medidas do quanto cada material é considerado **duro**. Sem adentrar as diferentes conceituações que existem para diferentes áreas do conhecimento, para nós, **dureza** é: um tipo de **resistência de um material** a uma deformação **plástica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

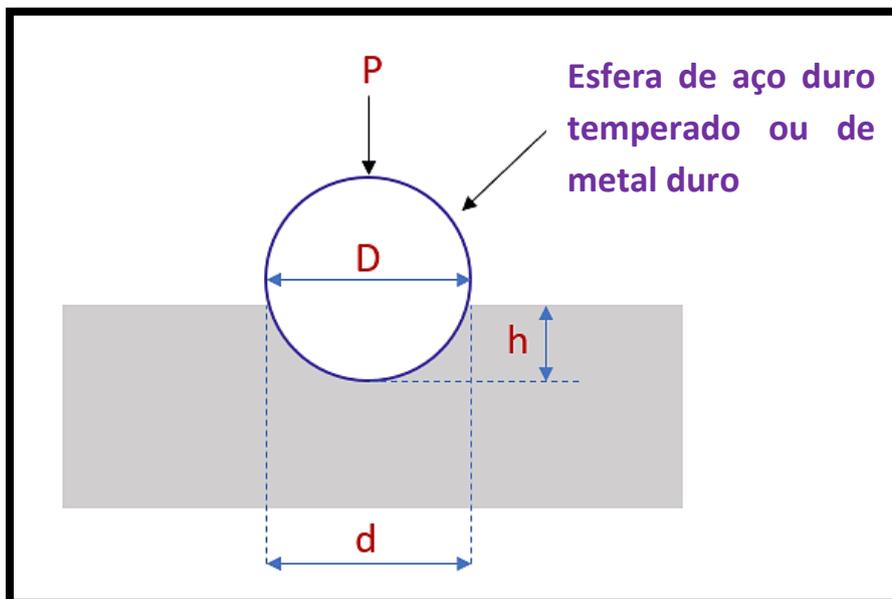
Ensaaios de Dureza

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.



33

³³ 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 matérias 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!

Mecanismos para aumento da resistência mecânica

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

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



com maior resistência mecânica (como, por exemplo, um maior limite de escoamento, por exemplo, além da dureza).



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

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

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

Encruamento

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

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

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

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

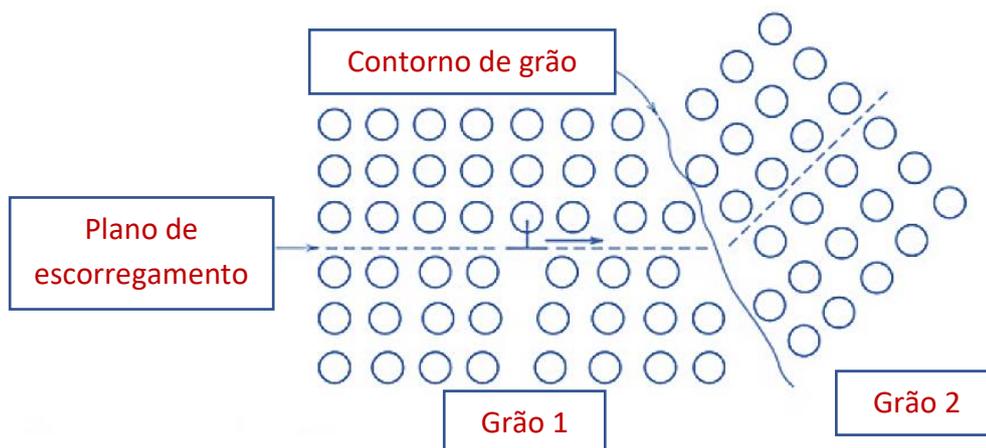


Redução do tamanho dos grãos

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

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

Esse obstáculo formado pelo contorno do grão existe, Coruja, porque conforme uma discordância passe entre uma grão pra outro adjacente no retículo, temos diferentes orientações entre eles. Assim, uma discordância precisaria mudar sua **direção** a fim de continuar seu movimento, permitindo assim a deformação. Por isso, quanto **maior área de contorno** (por conta do maior número de grãos que estão menores pelo refino) temos maior número de direções e dificuldade para a discordância se movimentar. Veja a figura³⁴ a seguir que ilustra essa fenômeno, Coruja.



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

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

Na qual,

³⁴ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



- σ_1 : tensão limite de escoamento;
- σ_0 : tensão necessária para mover discordâncias livres do material;
- k_1 : constante do material;
- d : diâmetro médio do grão;

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

Endurecimento por precipitação

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

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

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

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 explicitada 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 o 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 **umenta**.



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 doutrina³⁵:

- **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.

Contrário à **condutibilidade elétrica**, Estrategista, temos a **resistência elétrica** que, como o próprio nome sugere, é a propriedade do metal que vai de encontro com a primeira. A resistência elétrica **umenta**

³⁵ Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



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.

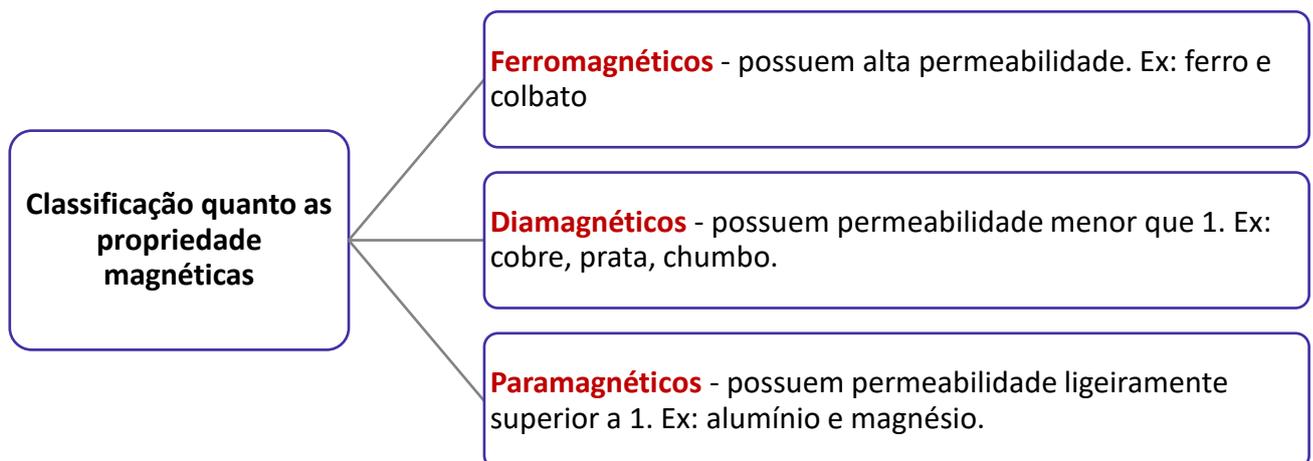
As **propriedades magnéticas**, Coruja, estão relacionadas com o comportamento do metal quando na presença de um **campo eletromagnético externo**.

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

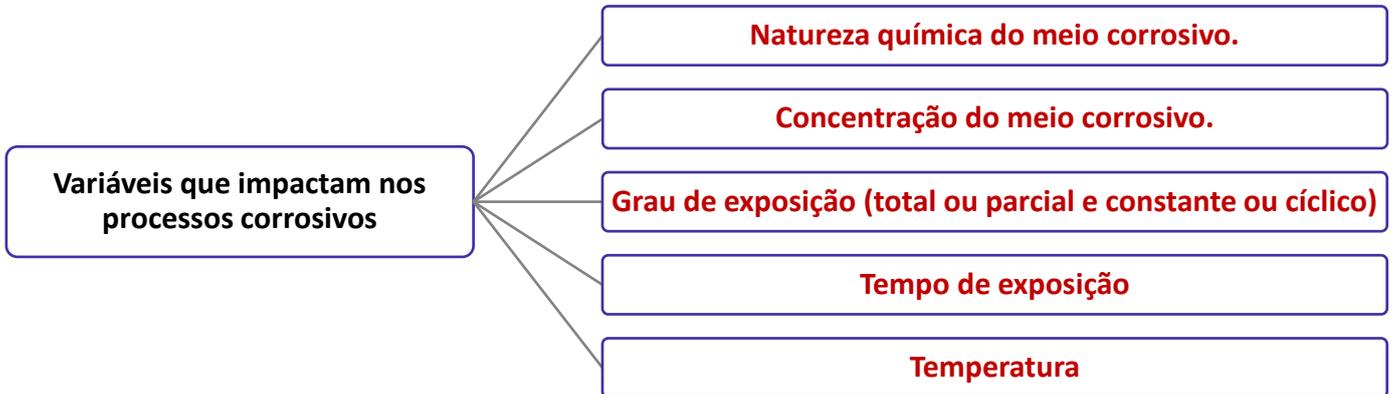
Conforme cita a literatura específica³⁶, Estrategista, as propriedades **químicas** estão relacionadas, essencialmente, à **resistências** que os metais terão a dois tipos de “ataque” executados pelo **meio** no qual eles estão inseridos: o **ataque corrosivo** e o **ataque oxidativo**.

³⁶ 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 doutrina³⁷ 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)?**

³⁷ 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 também 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:

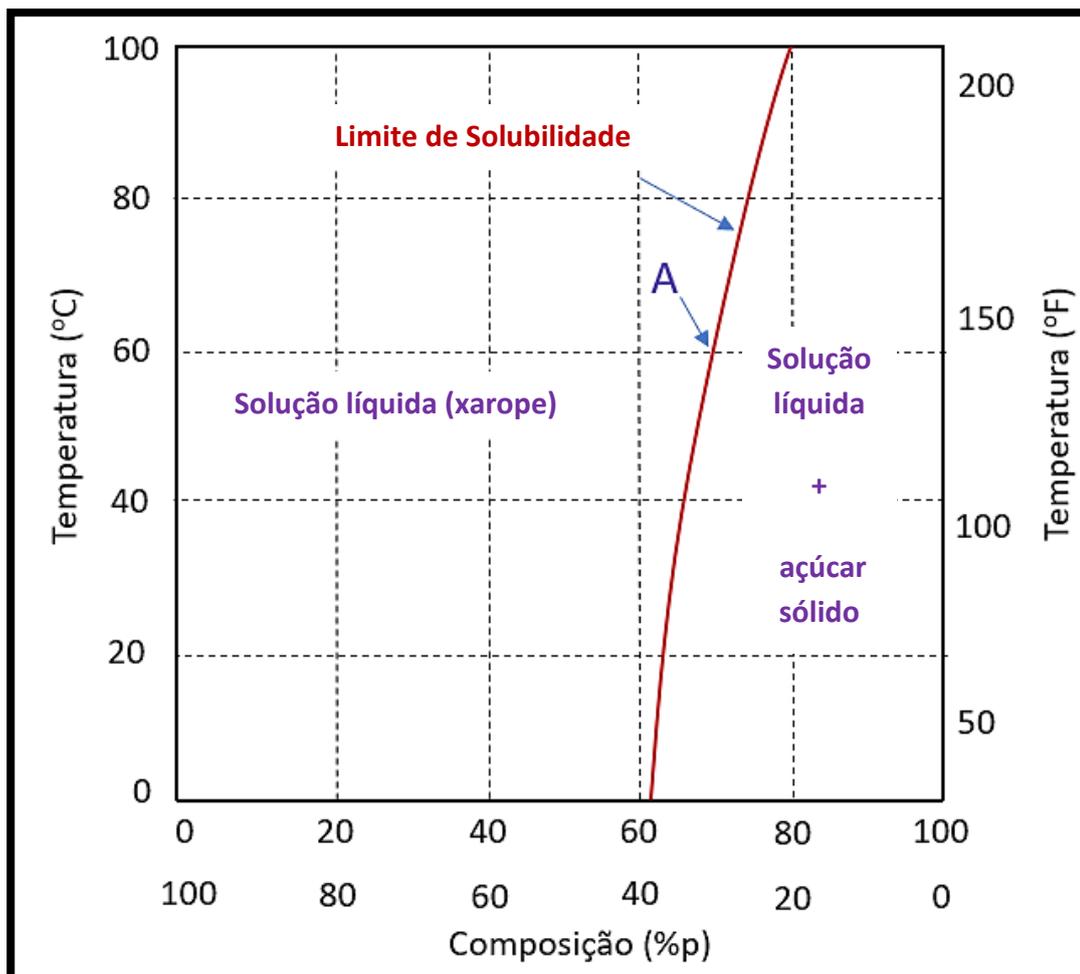
- **Solução Saturada**: é justamente a **solução** que **atingiu o Limite de Solubilidade**, dada um temperatura e uma pressão. É, em nossos dois exemplos, a **máxima** concentração de **soluto** (chocolate em pó ou açúcar) que o **sistema** suporta para ter uma **solução homogênea** com o **solvente**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



- **Solução Supersaturada:** seguindo a linha de raciocínio, é quando **temos mais soluto do que o Limite de Solubilidade**. Normalmente, se não alterar a temperatura e a pressão, teremos uma **solução heterogênea**, ou seja, com duas **fases**: uma com o **soluto** dissolvido no **solvente** e outra com um **precipitado**. Em nosso exemplo, é quando você, doido(a) para tomar aquele achocolatado caprichado, coloca 12 colheres de chocolate em pó em um copo de 200 ml de leite. O que acontece? Faz aquele achocolatado grosso, **concentrado**, e no fundo do copo, fica **aquele precipitado**, denso e não dissolvido. Pegou o “bizu”? (Cuidado com a saúde, hein, Corujinha?)

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





38

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**.

³⁸ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



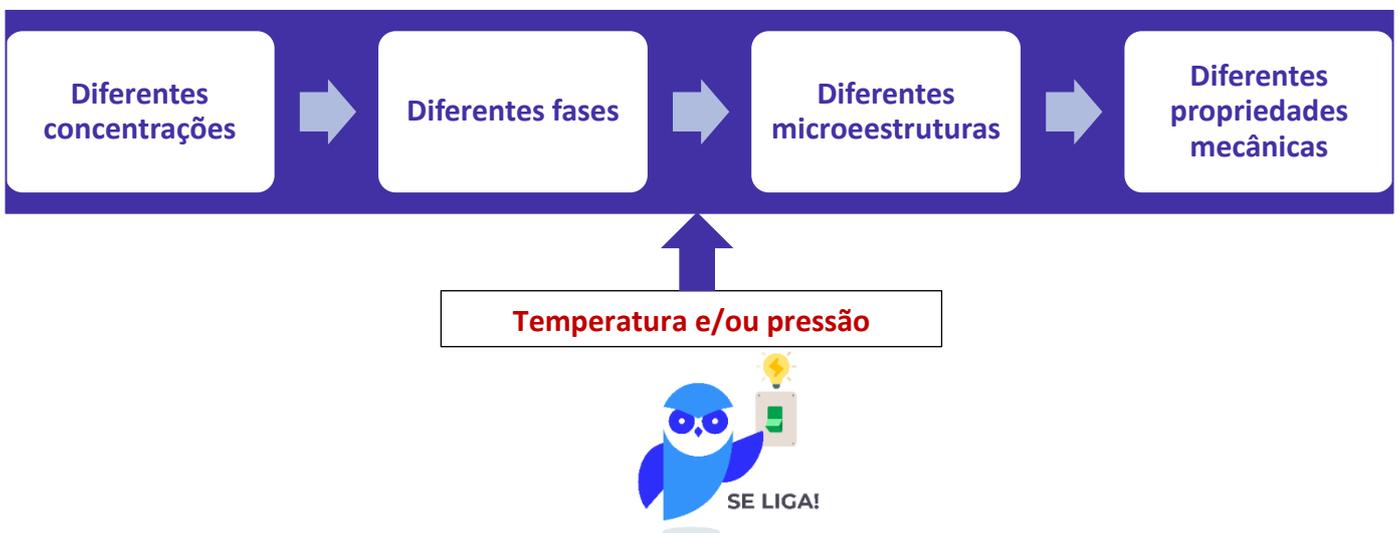
Esse mesmo raciocínio, Estrategista, também é empregado em **soluções sólidas**, nas quais os átomos do **soluto** vão fazer parte e substituir átomos do **solvente** na estrutura **crystalina**, por exemplo, de materiais que a possui. Aqui é que entramos com o **sistema (solução) Fe-C**.

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:



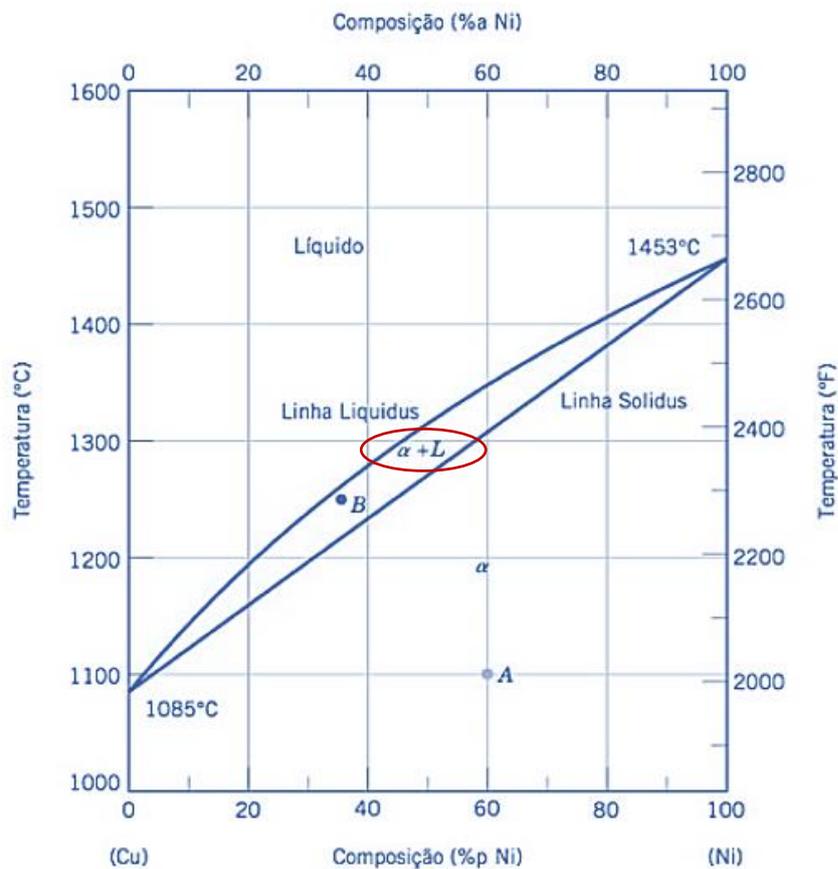
Estrategista, uma lei que você precisa conhecer a definição é a famosa **Lei de Fick**. Ela nos diz que a **quantidade** de um substância "m" que irá passar, por unidade de tempo "t", por uma unidade de área "A", a um plano em ângulo reto em relação a um ponto "x", é **proporcional** ao gradiente de 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 diagrama³⁹ 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

³⁹ 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**).

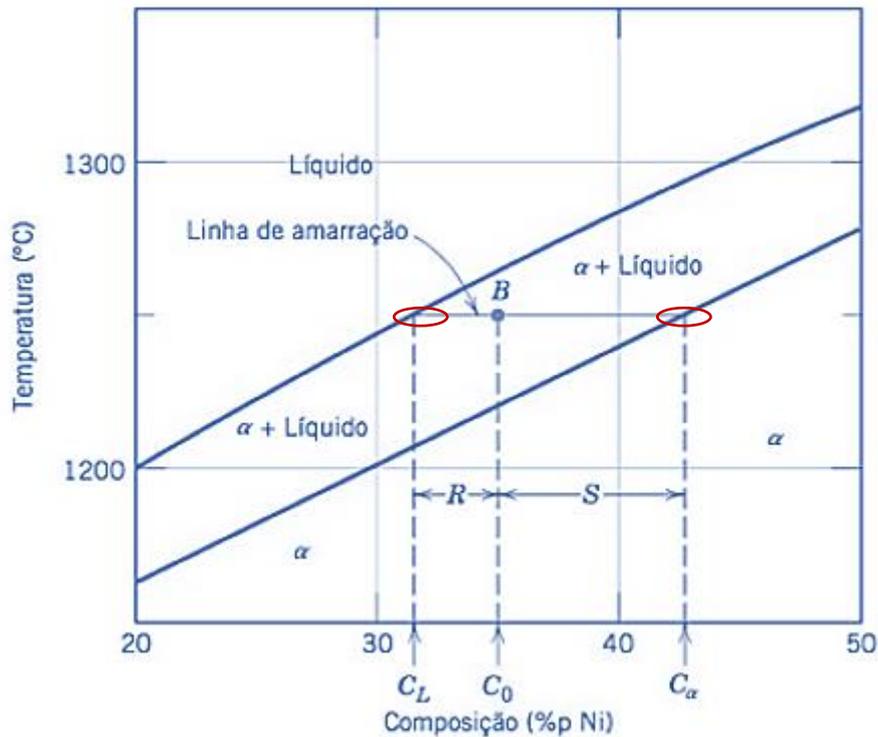
Oras, Coruja, determinar a **fase presente** é bem simples, certo? Basta fazemos que nem aquele joguinho "Batalhe Naval" e saberemos qual fase as coordenadas se referem. Por exemplo, me diga qual a fase de uma liga com 60% de Ni e 40% de Cu a uma temperatura de 1100°C (ponta "A", no gráfico). Oras, a 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 figura⁴⁰ a seguir.

⁴⁰ 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 intersecção com as linhas de fronteira das fases (*liquidus* para líquido e *solidus* para sólida).

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

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



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

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

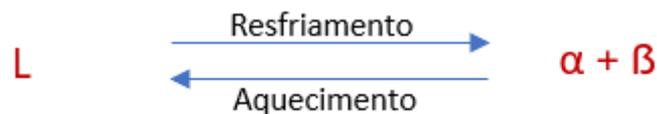
$$\text{Fração líquida} = \frac{42,5 - 35}{42,5 - 31,5} = 0,68;$$

Para a fase sólida, temos o mesmo raciocínio:

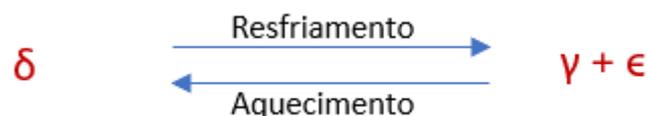
$$\text{Fração sólida} = \frac{R}{R + S} = \frac{C_0 - C_L}{C_{\alpha} - C_L} = \frac{35 - 31,5}{42,5 - 31,5} = 0,32;$$

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

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

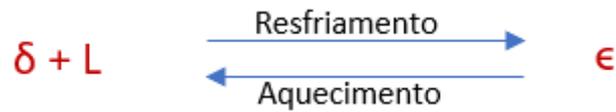


- **Reação eutetoide:** no resfriamento, **uma fase sólida (δ)** se transforma em **duas outras fases sólidas ($\gamma + \epsilon$)**. No aquecimento, novamente, ocorre o inverso. Veja a expressão abaixo:

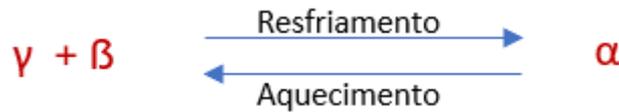


- **Reação peritética:** no aquecimento, **uma fase sólida (ϵ)** se transforma em **uma fase líquida (L)** e **outra fase sólida (δ)**. Por conseguinte, no resfriamento, temos a transformação inversa. Veja a expressão dela:





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

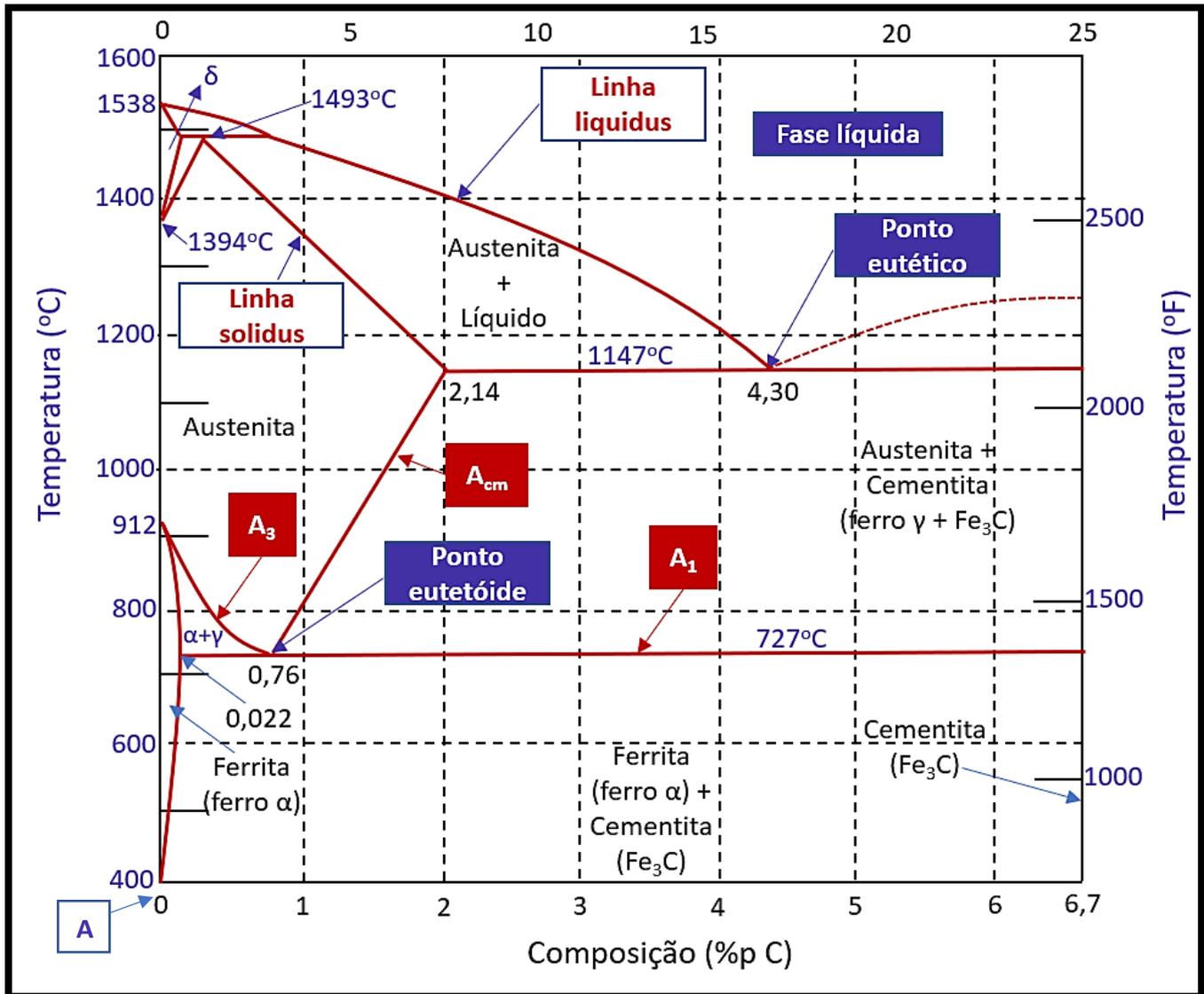


Diagramas de fases – (Fe-C)

Coruja, a fim de tonar 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”:





41

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%**.

⁴¹ 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 esquerdo do gráfico, delimita o limite entre os **aços** e os **ferros fundidos**, passando a atuar, quando acima de concentrações de 6,70% de carbono predominantemente até 100% de carbono, chamada de grafita pura. Essa parte foge ao escopo do nosso estudo, Estrategista.



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

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

Em outras palavras, Estrategista, na **ferrita ou ferro 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 na no gráfico nesse número!

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

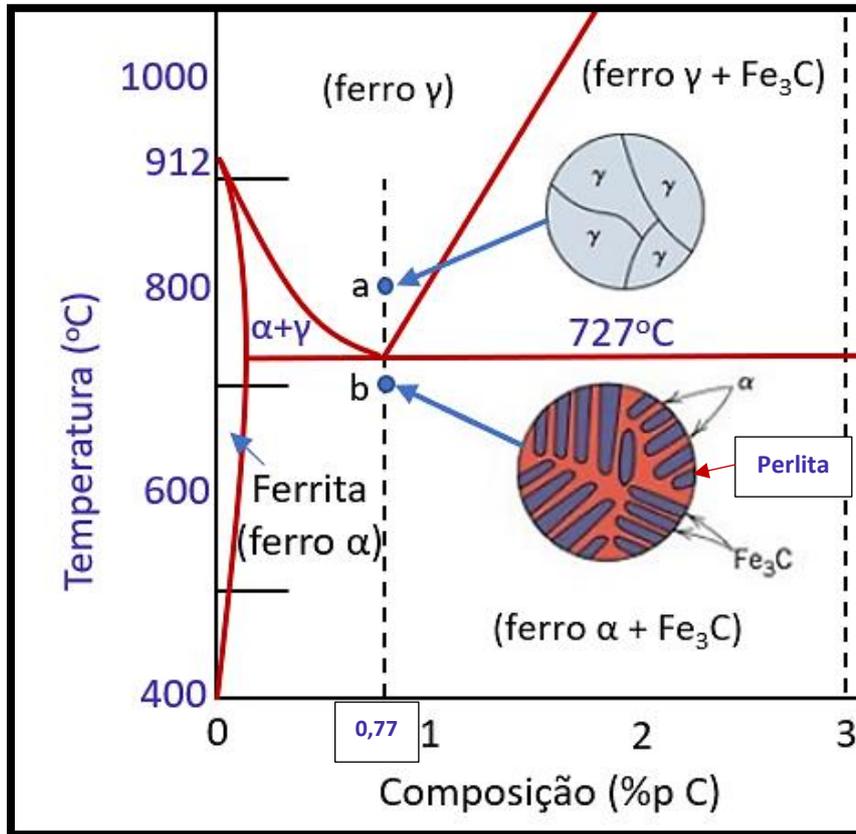
Assim, Coruja, as características e propriedades mecânicas das ligas ferro-carbono vão se modificando baseadas nessas concentrações.

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”.



42

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**.

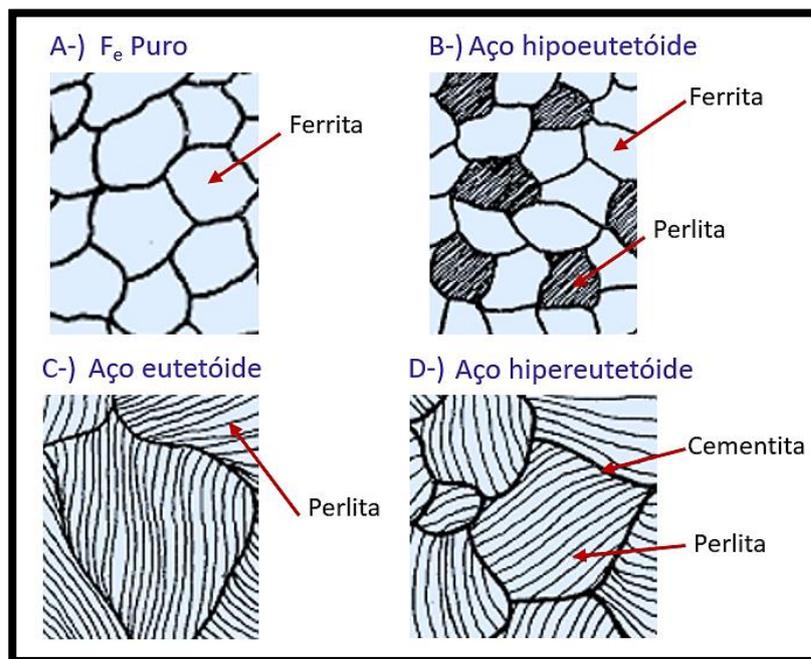
⁴² Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



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! ;)



43

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

⁴³ Adaptado de Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



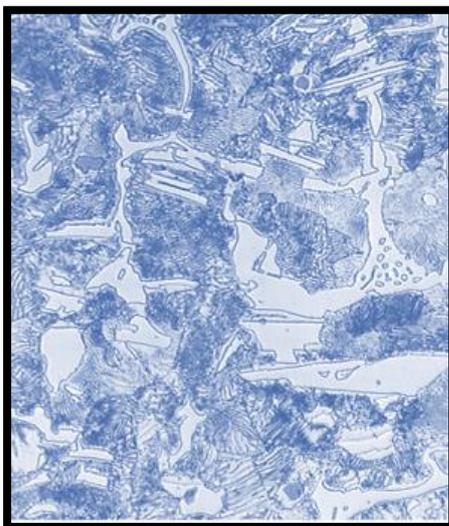
classificados como **ligas ternárias** (por conta de teores consideráveis de **silício**). Essa liga ferro-carbono é muito empregada na fundição por conta da temperatura de fusão (para estado líquido) menores que nos aços.

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

Ferro Fundido Branco:

Possui coloração branca por conta do alto teor de carbono na forma de carboneto Fe_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 figura⁴⁴ de sua microestrutura, a seguir, Coruja.



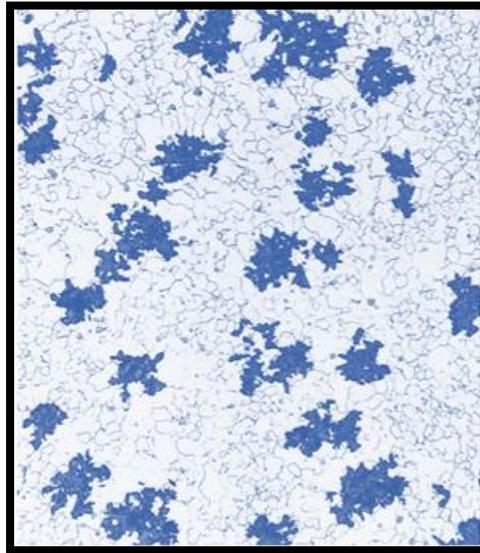
Ferro Fundido Maleável

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

⁴⁴ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Essas propriedades são alcançadas por tratamento térmico com temperaturas de 800 a 900°C, por muito tempo e em meio neutro (para prevenir oxidação). Dessa forma, os teores elevados de **cementita** do ferro fundido branco é decomposto, formando a **grafita** (existente na forma de aglomerados ou rosetas envolvidos por matriz ferrítica ou perlítica a depender do resfriamento posterior). Veja a figura⁴⁵ a seguir da microestrutura desse tipo. As áreas mais escuras são as grafitas parecendo rosas. Algumas aplicações típicas comerciais são: **pedais de embreagem, bielas, caixas de engrenagens, sapatas de freios, etc** (parecidas coma do ferro fundido branco).



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.

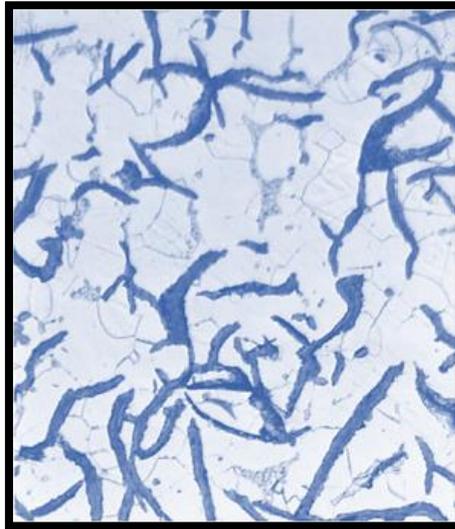
Conforme aponta parte da literatura específica⁴⁶, são caracterizados por apresentarem **baixa resistência em tração** por conta das extremidades dos flocos de grafita (são pontiagudos) e podem servir de pontos de concentração de tensão.

⁴⁵ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

⁴⁶ Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



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 figura⁴⁷ a seguir da sua microestrutura:



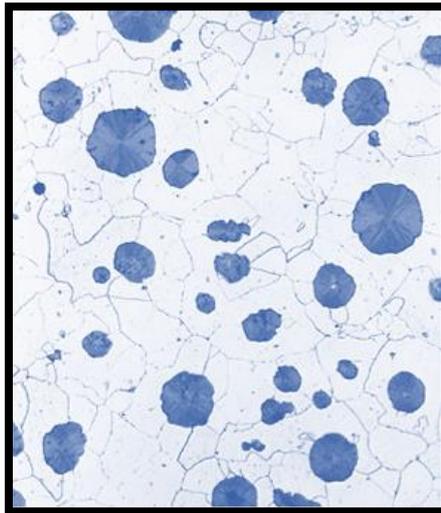
Ferro Nodular (ou Dúctil)

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.

⁴⁷ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

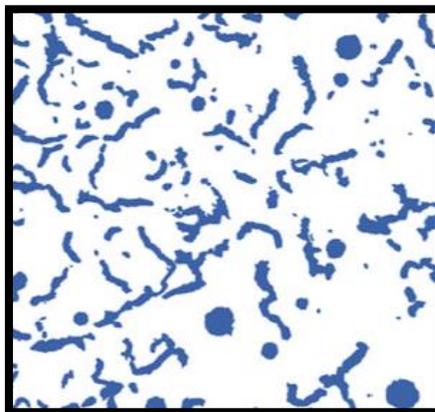




Ferro Vermicular

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 figura⁴⁸ 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.



⁴⁸ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



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!

Curvas TTT

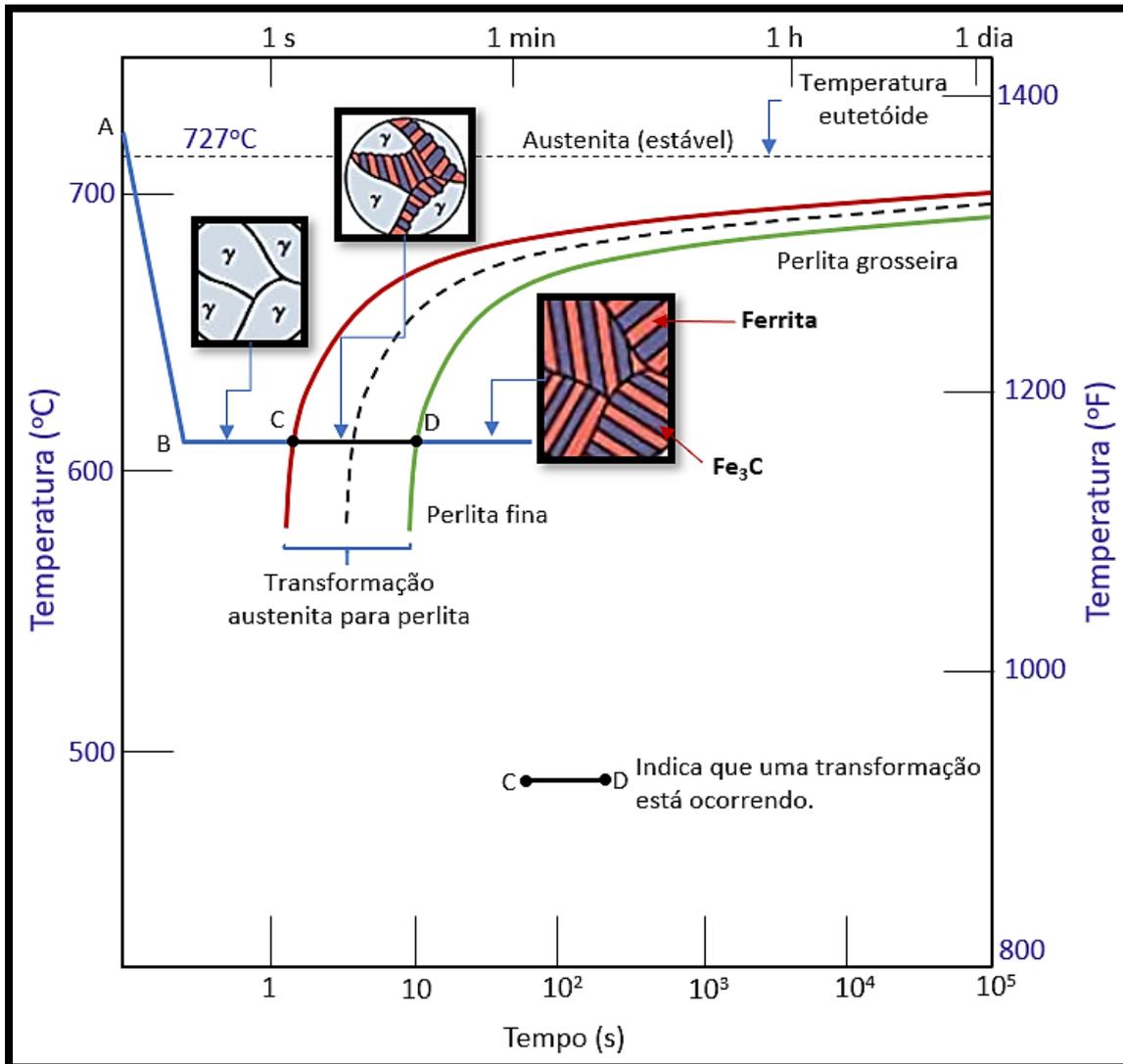
Também denominadas de **Diagramas de Transformação Isotérmica**, as **Curvas TTT (Tempo, Transformação e Temperatura)** consistem na análise de como a **temperatura e o tempo** em que ocorre determinada **transformação** influenciam na **microestrutura final**.

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 de 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.





49

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**).

⁴⁹ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



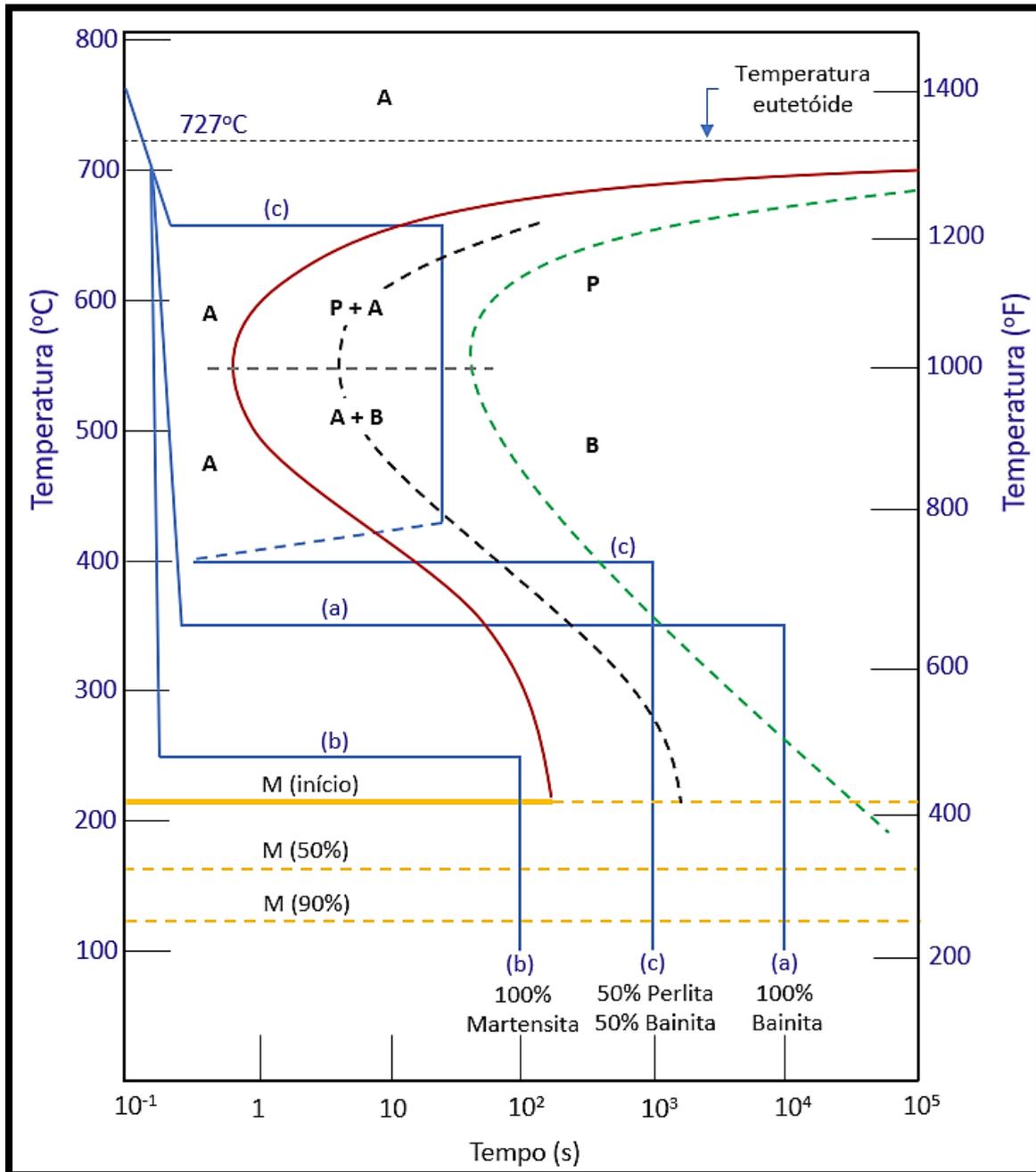
Perceba, Estrategista, que esse aço foi resfriado do ponto “A” do gráfico, rapidamente, até o ponto “B” (ou seja, ele estava com uma temperatura acima de **727°C**, no campo **austenítico**) e se manteve na temperatura do ponto “B” (em torno de 625°C) até o término de sua transformação.

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.





50

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

⁵⁰ 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!**

Diagramas TRC ou Curvas CCT

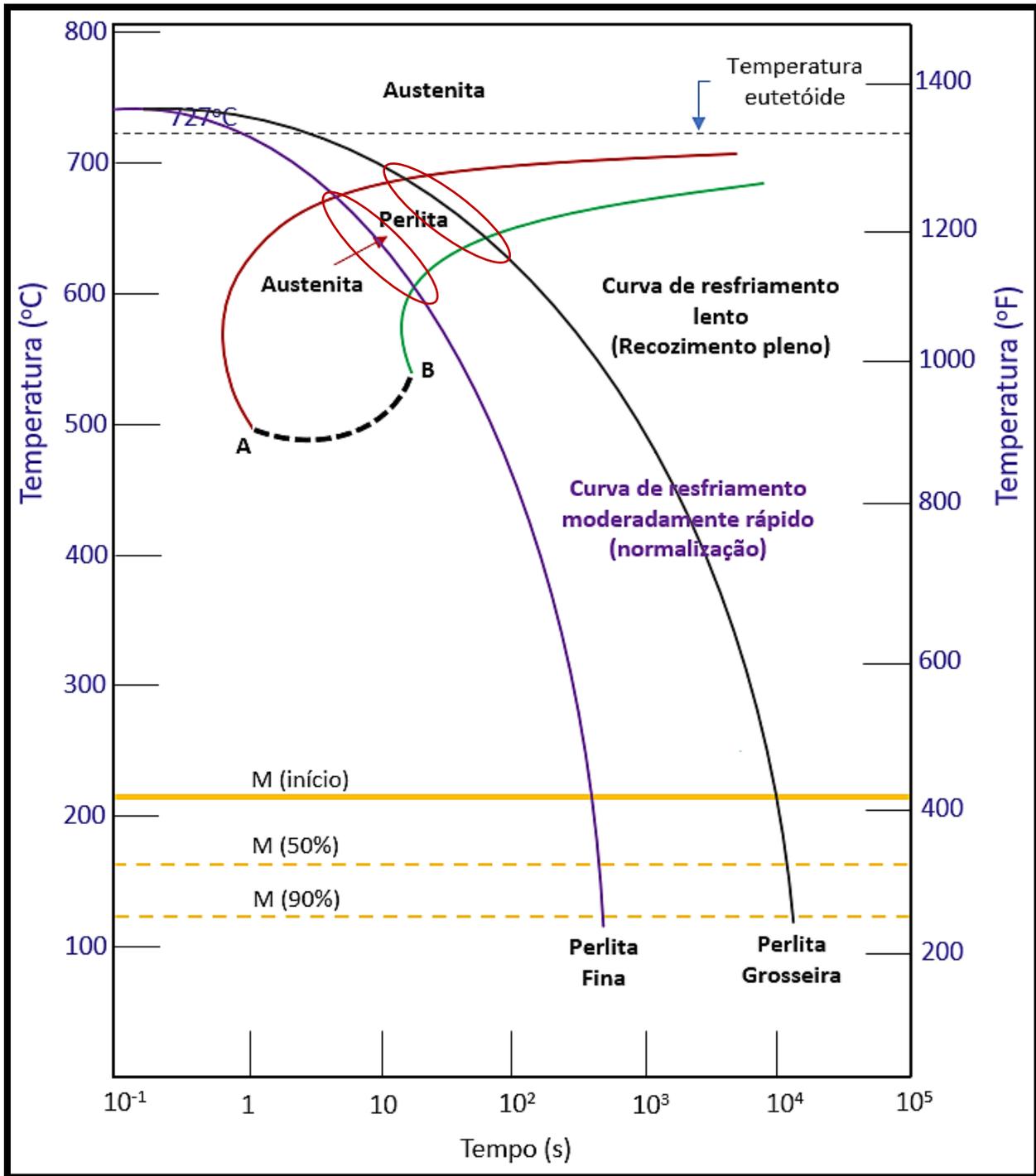
Estrategista, os diagramas TRC (Transformação por Resfriamento Contínuo) ou CCT (*Continuous Cooling Transformation*), nada mais são que diagramas que representam as mesmas transformações de microestrutura que vimos anteriormente, porém com o resfriamento **contínuo** (sem etapas com temperaturas iguais, ou seja, sem a **isotermia**).

Normalmente, os resfriamentos contínuos são mais aplicados, pois são menos custosos e trabalhosos, Coruja. Oras, é claro. Imagine que para manter uma peça na temperatura de 450 °C como nas Curvas TTT que vimos, gera custo e tempo. Dessa forma, uma grande **vantagem** das curvas CCT ou TRC em relação às TTT é em relação ao tempo e ao "dindin".

Bom, uma coisa que eu quero que você grave, pois pode ter "cheiro" de prova é que uma liga com composição **eutetoide** (e até mesmo aços-carbono comuns) se resfriados continuamente até a temperatura ambiente, **não apresentará a microestrutura bainita**. Isso quer dizer que a bainita não se forma em curvas CCT ou TRC? Claro, não! Callister, inclusive, mostra isso em sua obra para diferentes tipos de aços, como o 4340 que contém outros elementos de liga. Esse é um ponto crucial para seu entendimento, pois na obra de outro renomado autor, Chiaverini, consta, categoricamente, a afirmação de que e a **bainita não é formada** no diagrama CCT, porém, ele se refere aos aços-carbono (entende-se, os aços-carbono comuns).

Mas, para essa liga e nessas condições de resfriamento, a doutrina é expressa em mencionar que teremos, a depender da velocidade de resfriamento, **perlita grosseira** ou **perlita fina**. Vejamos um gráfico dessa transformação para ilustrar:





51

Os círculos que marquei no diagrama, Coruja, indicam as transformações que ocorrem. Perceba, Coruja, que para resfriamentos contínuos, porém mais rápido, temos a possibilidade de, novamente, **martensita** ser atingida (basta a curva de resfriamento tocar o ponto de inflexão da primeira curva de

⁵¹ Adaptado de Callister, W.D. Jr.; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



transformação) e/ou, **martensita + perlita**, caso a curva de resfriamento contínuo cruze a primeira curva de transformação, mas tangencie a segunda.

Coruja, esse assunto é muito pouco e explorado e quando aparece em provas sua cobrança é simples. Tanto que no material temos somente uma questão sobre esse assunto e é bem tranquila de ser respondida.



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)! 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



CEBRASPE

1. (CEBRASPE/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos - Inspeção – 2022)

Acerca da ciência dos materiais de construção mecânica, julgue os itens a seguir.

Os cristais são caracterizados pelo arranjo repetitivo de uma estrutura atômica básica.

() Certo () Errado

Comentário

Opa! Questão perfeita, Estrategista! De fato, os cristais são estruturas formadas pelo **retículo cristalino** – arranjo periódico (repetitivo) de uma estrutura atômica (formada por átomos) básica. Essa microestrutura é composta pelas células unitárias (de diferentes formas de arranjos que vimos – CFC, CCC, HC, etc).

Gabarito: correto.

2. (CEBRASPE/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos - Mecânica – 2022)

Em relação às propriedades dos materiais, julgue os itens subsequentes.

Quando um material é carregado além da tensão de limite elástico, observa-se uma deformação permanente.

() Certo () Errado

Comentário

Oras, de maneira geral, é exatamente isso que aconteça, Coruja! Quando temos um o limite elástico rompido, temos a entrada no campo **plástico** de deformação **permanente** (associe o “p” de plástico com



“p” de permanente). Dessa forma, quando cessados os esforços que geraram a tensão, o material não retorna ao formato original. Sobre as classificações de limites (elástico, proporcionalidade, escoamento superior e inferior, veremos em aula futura quando falarmos dos ensaios de tração).

Gabarito: correto.

3. (CEBRASPE/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos - Mecânica – 2022)

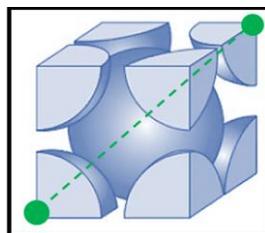
Em relação às propriedades dos materiais, julgue os itens subsequentes.

Para uma estrutura cúbica de corpo centrado que consiste em um átomo em cada vértice do cubo e um outro átomo no centro do cubo, o fator de empacotamento é igual a $\frac{\pi \cdot \sqrt{3}}{8}$.

() Certo () Errado

Comentário

Opa! Exatamente, Estrategista! Conforme vimos em aula, o arranjo de célula unitária Cúbica de Corpo Centrado (CCC), possui FEA (Fator de Empacotamento Atômico) igual a, aproximadamente, 0,68. Esse cálculo se dá da seguinte forma, aplicando teorema de Pitágoras em uma situação ideal de átomos como esferas perfeitas:



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

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

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

O FEA será razão entre o volume dos átomos que compõe a célula unitária pelo volume total dessa célula unitária. Assim, temos:

$$FEA = \frac{V_{\text{átomos}}}{V_{\text{ccc}}} = \frac{(2) \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3}{\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3} = \frac{\frac{8}{3} \cdot \pi \cdot R^3}{\frac{64 \cdot R^3}{3 \cdot \sqrt{3}}} = \frac{\pi}{8} = \frac{\pi \cdot \sqrt{3}}{8} = 0,68;$$



Gabarito: correto.

CEBRASPE

4. (CEBRASPE/SLU-DF – Analista de Gestão de Resíduos Sólidos – Engenharia Mecânica – 2019)

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

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

() Certo () Errado

Comentário

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

Gabarito: correto.

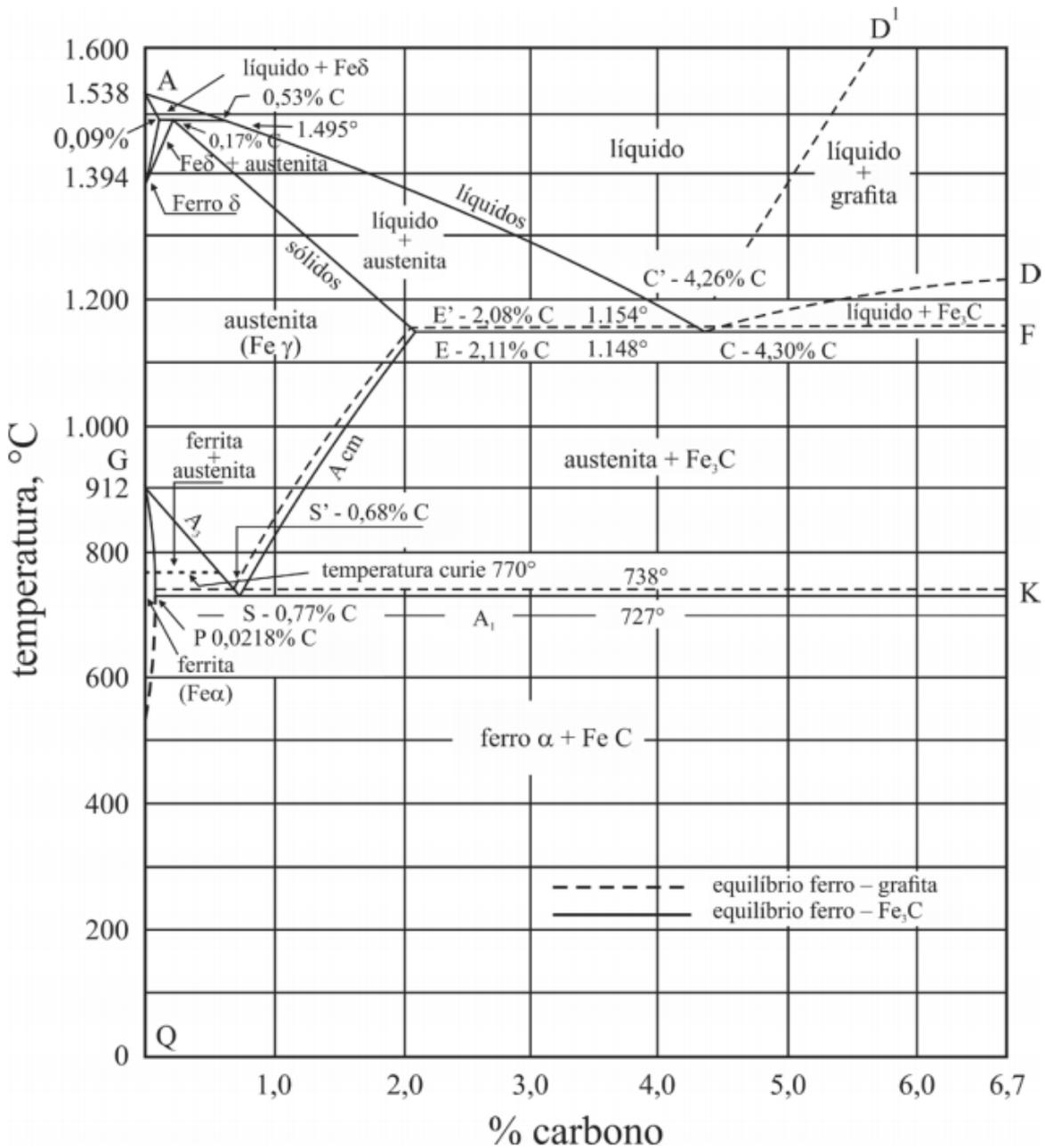
5. (CEBRASPE/SLU-DF – Analista de Gestão de Resíduos Sólidos – Engenharia Mecânica – 2019)

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

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



pura e de uma estrutura denominada perlita (tipo de estrutura lamelar composta de ferrita e de cementita dispostas alternadamente).”



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

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

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



() Certo () Errado

Comentário:

Questão moleza para você, Estrategista! De acordo com nossos estudos (e eu lhe disse que as questões cobram saber a localização no diagrama ferro-carbono), para essa questão, você teria que saber onde fica o ponto **eutetoide**. Lembre-se que ele é o ponto cuja temperatura é **727°C** e **%C** em **0,77**. Oras, se ele é resfriado a temperatura ambiente, saindo da fase **austenítica** (ferro γ ou ferro gama), temos parte de sua transformação em **ferrita** (ferro α ou ferro alfa) e parte em **cementita (Fe_3C)**.

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

Gabarito: correto.

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

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

O carbono tem alta solubilidade no retículo cristalino do ferro, tanto na fase γ quanto na fase α .

() Certo () Errado

Comentário:

Oras, Estrategista, questão também extremamente fácil. Lembre-se que a **célula unitária** do ferro γ e do ferro α (austenita e ferrita, respectivamente) são diferentes, certo? A primeira é a CFC (Cúbica de Face Centrada) e a segunda é a CCC (Cúbica de Corpo Centrado). Só com essa informação, já mataríamos, pois se elas são diferentes, é **claro** que o **carbono não terá** a mesma **solubilidade** em ambas as fases.

Além disso, até pelo diagrama padrão podemos perceber esse efeito. Veja que em temperaturas até **727°C**, nas quais ainda temos o ferro alfa, fase **ferrita**, o **limite de solubilidade** do **carbono** é baixíssimo (cerca de 0,022%), como vimos em aula. Além disso, perceba que ao virar ferro gama ou fase **austenítica**, o **limite de solubilidade** aumenta, possuindo limites até 2,1%.

Gabarito: errado.

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



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

Aços hipoeutetoides apresentam teor de carbono superior a 0,77%.

() Certo () Errado

Comentário:

Claro que não! Os aços hipoeutetoides (lembre-se, hipo significa “pouco”, “insuficiente”) ficam abaixo de **0,77%** em concentração de **Carbono**. Por conseguinte, os aços hipereutetoides, são os que possuem concentrações de carbono **superiores a 0,77%** e **inferiores a 2,11%**. Depois, temos os ferros fundidos que podem ser classificados quanto a posição de teor em relação ao ponto eutético (4,3% de carbono), sendo hipoeutéticos, eutéticos ou hipereutéticos.

Gabarito: errado.

8. (CEBRASPE/SLU-DF – Analista de Gestão de Resíduos Sólidos – Engenharia Mecânica – 2019)

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

A liga eutética corresponde a um teor de 4,3% de carbono no composto binário Fe-C.

() Certo () Errado

Comentário:

Conforme vimos em aula, o ponto **eutético** é o ponto do diagrama ferro-carbono que possui concentração de carbono em **4,3%** e a menor temperatura de fusão (ponto C do diagrama, na linha **liquidus**) onde temos 3 fases presentes (líquido + grafita; líquido + cementita; líquido + austenita).

Gabarito: correto.

9. (CEBRASPE/EMAP – Especialista Portuário – Engenharia Mecânica – 2018)

No que tange ao diagrama Fe-C em condições de equilíbrio, julgue o item seguinte.

Aços hipoeutetoides apresentam maior quantidade de ferrita em sua microestrutura à medida que o seu teor de carbono diminui; e aços hipereutetoides apresentam maior quantidade de cementita em sua microestrutura à medida que o teor de carbono aumenta.

() Certo () Errado



Comentário:

Veja que questão tranquila, Estrategista! Lembre-se do nosso ponto **eutetoide** no diagrama ferro-carbono (temperatura de aproximadamente 727 °C e teor de carbono em torno de 0,76/0,0,77%). Pois bem, para ligas que são **hipoeuteóides** (teores de carbono abaixo desse ponto) temos maior quantidade de ferrita (seja a ferrita proeutetoide que se formou acima da temperatura eutetoide se a liga foi aquecida e depois resfriada, seja ferrita eutetoide que faz parte da perlita - esta, uma composição de fases ferrita e cementita). Além disso, para ligas **hipereuteóides**, temos maior teor de **cementita** conforme o teor de carbono aumenta, seguindo para o lado esquerdo do diagrama, no qual temos a concentração máxima em torno de 6,7% de carbono na liga.

Gabarito: correto.

10. (CEBRASPE/INPI – Engenharia Mecânica – 2014)

Com relação às propriedades dos materiais destinados a aplicações industriais, julgue o item que se segue.

A resiliência, propriedade de um material poder absorver energia sem deformações permanentes, é importante para a escolha de materiais que serão utilizados como molas, que devem possuir elevados módulos de elasticidade quando submetidos a pequenas tensões de escoamento.

() Certo () Errado

Comentário:

Oras, Coruja, vimos que a **resiliência** é a capacidade do material de absorver energia e devolver essa energia dentro do campo elástico (regime no qual a deformação não é permanente). Dessa forma, cessados os esforços que geram as tensões, o formato original é atingido. Até aí, tudo perfeito. Todavia, sabemos que o **módulo de elasticidade** (também conhecido como **módulo de Young**) é uma medida de **rigidez** de caráter **linear** de cada material, obtido, inclusive a partir do grau de inclinação da curva tensão x deformação no submetido ao ensaio de tração. Todavia, veja que para que as molas que possuam **elevados** módulos de elasticidade, também exigirão **elevadas** tensões aplicadas para se atingir o **limite de escoamento** de seu material. Dessa forma, elevados **módulos de elasticidade** implica grandes tensões para fazer os planos cristalográficos escoarem e o material entrar no campo plástico de deformação permanente.

Gabarito: errado.

11. (CEBRASPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

Em relação às propriedades e características de materiais metálicos, poliméricos, cerâmicos e compostos, julgue o item a seguir.



Mesmo após deformação plástica, os metais conservam suas propriedades mecânicas originais.

() Certo () Errado

Comentário:

Oras, de acordo com nosso estudo, basta pensarmos no que consiste a **deformação plástica**. Lembra que ela é a **deformação permanente** na qual o material não retorna a sua forma original? Pois, bem. Se isso ocorre, imagine um material deformado plasticamente por esforços que gerem tensão de **tração** até formar o “**empescoçamento**” (parte fina até a fratura). Concorda que a **propriedade mecânica** em relação a resistência naquela região do “empescoçamento” será menor? Questão errada.

Gabarito: errado.

12. (CEBRASPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

Em relação às propriedades e características de materiais metálicos, poliméricos, cerâmicos e compostos, julgue o item a seguir.

Os materiais cerâmicos são compostos por elementos metálicos e não metálicos.

() Certo () Errado

Comentário:

Exatamente, Estrategista. Nas composições dos diferentes materiais cerâmicos, conforme vimos, possuímos diferentes tipos de átomos de elementos químicos (metais e ametais).

Gabarito: correto.

13. (CEBRASPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

Em relação às propriedades e características de materiais metálicos, poliméricos, cerâmicos e compostos, julgue o item a seguir.

Materiais formados pela combinação de outros materiais, com o objetivo de aprimorar determinada propriedade e, com isso, atender a diferentes finalidades, são denominados materiais compósitos.

() Certo () Errado

Comentário:



Os materiais compósitos são justamente os materiais formados a fim de **aprimorar determinada propriedade pela combinação de outros materiais**.

Gabarito: correto.

14. (CEBRASPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

Em relação às propriedades e características de materiais metálicos, poliméricos, cerâmicos e compostos, julgue o item a seguir.

Nas ligas metálicas monofásicas, a solubilidade não ultrapassa o limite de solubilidade dos metais e, com isso, suas propriedades permanecem iguais às dos metais puros.

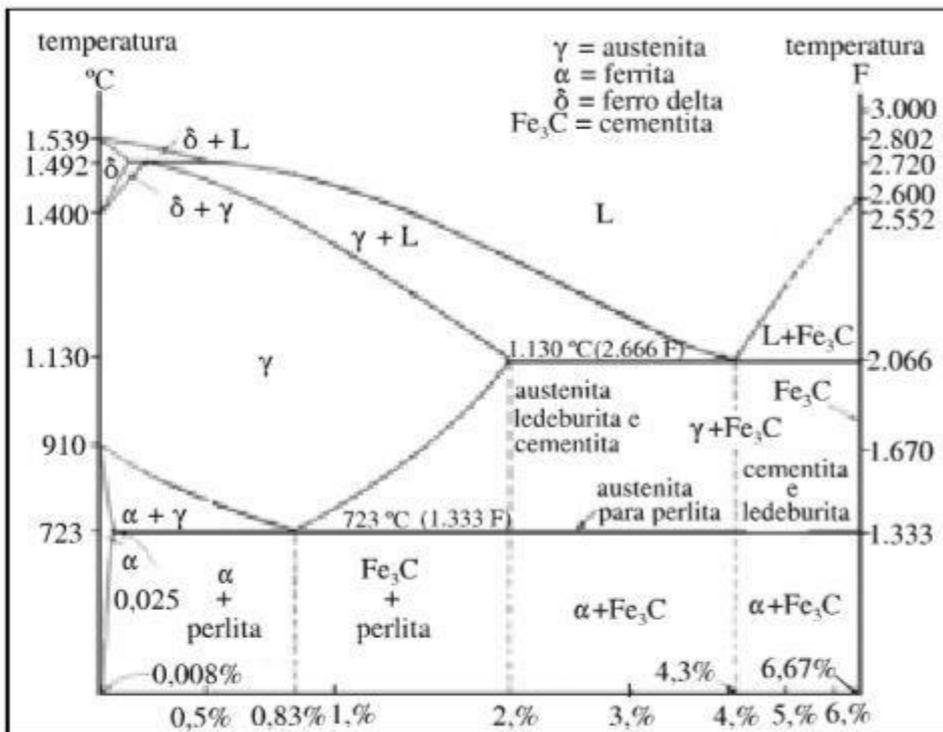
() Certo () Errado

Comentário:

Conforme estudamos, dizer que as **propriedades** são iguais é errado. Justamente, por ser uma liga metálica, na maioria das vezes, sendo ou não sendo uma fase única (monofásica) as propriedades são alteradas quando comparadas ao metal puro, sem outro elemento de liga.

Gabarito: errado.

15. (CEBRASPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)



As microestruturas das ligas metálicas podem ser controladas e modificadas por processos termo/químico/mecânicos, resultando em alteração substancial das propriedades mecânicas da liga. Considerando o diagrama Fe-C mostrado acima, julgue o item que se segue.

A perlita é uma mistura lamelar de ferrita e cementita com composição eutética, formada a partir da transformação da austenita.

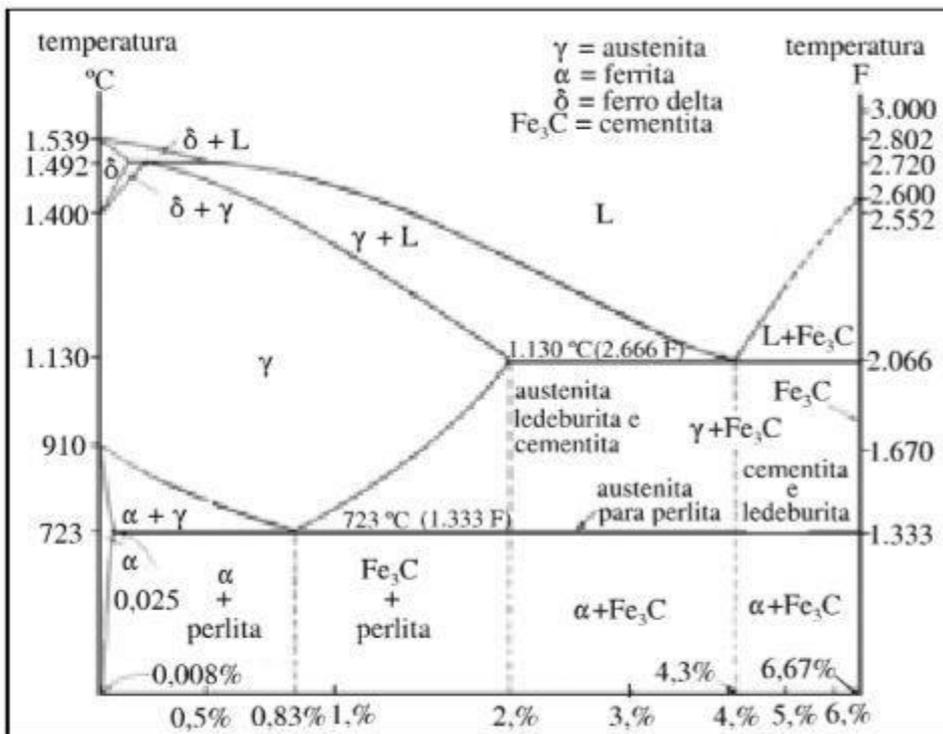
() Certo () Errado

Comentário:

A questão começa bem, Coruja, definindo de maneira correta o que é a **perlita** (mistura de duas fases - **ferrita** e **cementita** – de característica **lamelar** pelas lamelas alternadas das duas fases). Todavia, ela “caga” no final (rs). A **perlita** corresponde, principalmente, ao ponto **eutetoide** (composição de 0,76 ou 0,77% de carbono na liga ferro-carbono a depender do autor) durante o resfriamento da fase austenítica (transformação da austenita). Por conta disso, ela está errada. O ponto eutético é outro ponto invariante de equilíbrio, no qual temos a concentração de carbono em 4,3%.

Gabarito: errada.

16. (CEBRASPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)



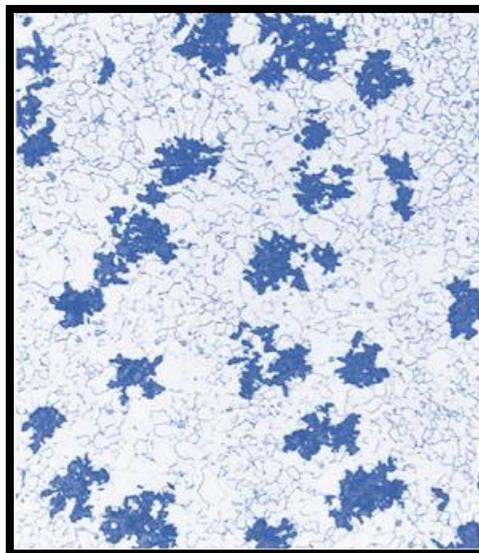
As microestruturas das ligas metálicas podem ser controladas e modificadas por processos termo/químico/mecânicos, resultando em alteração substancial das propriedades mecânicas da liga. Considerando o diagrama Fe-C mostrado acima, julgue o item que se segue.

O aquecimento do ferro fundido branco acima da temperatura eutetoide durante um período de tempo suficiente para permitir a decomposição da cementita produz aglomerados de grafita que resultam em aumento da ductilidade (comparada com a inicial), razão para o nome de ferro fundido maleável para o produto resultante desse processo.

() Certo () Errado

Comentário:

Perfeita descrição, Coruja! Conforme vimos em aula, o **ferro fundido maleável** é o **ferro fundido branco** que sofreu **tratamento térmico** de longa duração tornando **dúctil e tenaz**. 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). Relembre uma imagem⁵² desse tipo de ferro fundido e seus aspecto de rosa da grafita:



Gabarito: correta.

17. (CEBRASPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)

⁵² Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



As respostas que os materiais oferecem à aplicação de forças, ou seja, as suas propriedades mecânicas, são dependentes da forma como a estrutura cristalina do material se organiza. Alterações microestruturais produzem mudanças nas propriedades mecânicas dos materiais metálicos e vice-versa. Quanto às relações entre microestrutura e propriedades mecânicas dos materiais metálicos, julgue o item a seguir.

A dureza também fornece uma medida da rigidez do material. Quanto mais duro, mais rígido será o material.

() Certo () Errado

Comentário:

Negativo, Coruja! Apesar de parecer iguais, a **rigidez** do material tem relação com sua **resiliência** (capacidade de absorver e devolver energia dentro do campo elástico – sem deformar permanentemente). Por outro lado, o conceito de **dureza** é outro. Para a engenharia mecânica, ele é admitido como sendo a **resistência à penetração** do material, caracterizando uma deformação plástica localizada. Dessa forma, a dureza pode vir a depender de outros fatores para tornar o material duro. Por exemplo, um material submetido a um tratamento termoquímico, como a cementação, que aumenta o teor superficial do material e sua dureza, se submetido a um ensaio de tração, não necessariamente sua resiliência e **rigidez** terá sido aumentada. Por isso, as propriedades não se confundem e, muito menos, de maneira generalizada como propõe a questão.

Gabarito: errada.

18. (CEBRASPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)

As respostas que os materiais oferecem à aplicação de forças, ou seja, as suas propriedades mecânicas, são dependentes da forma como a estrutura cristalina do material se organiza. Alterações microestruturais produzem mudanças nas propriedades mecânicas dos materiais metálicos e vice-versa. Quanto às relações entre microestrutura e propriedades mecânicas dos materiais metálicos, julgue o item a seguir.

O módulo de elasticidade ou módulo de Young é uma medida da rigidez do material. Quanto maior o módulo, menor a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão e mais rígido é o material.

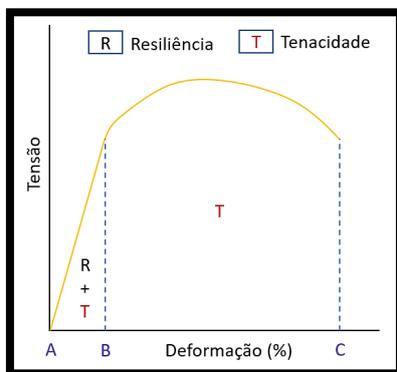
() Certo () Errado

Comentário:

Agora, sim! Perfeita definição de **rigidez** e do **módulo de Young** (também chamado de **módulo de elasticidade**). Conforme vimos, ele é aplicado e estudado no campo de regime elástico (deformação não



permanente) no qual cessado o esforço o material volta a sua forma original. Dessa forma, quanto **maior** o módulo, maior a inclinação da reta (curva linear do gráfico tensão x deformação) e **maior** sua **rigidez**. Conseqüentemente, menor sua resiliência. Lembre-se da curva característica:



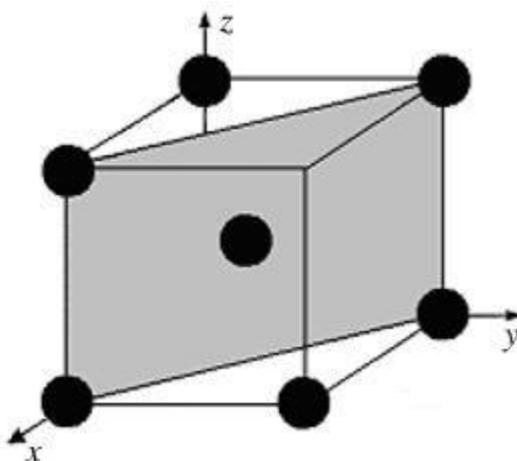
A curva linear, até começar a deformação plástica, temos uma inclinação que tem sua **tangente** numericamente igual ao **módulo de elasticidade** ou **módulo de Young** do material.

Gabarito: correta.

19. (CEBRASPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)

As respostas que os materiais oferecem à aplicação de forças, ou seja, as suas propriedades mecânicas, são dependentes da forma como a estrutura cristalina do material se organiza. Alterações microestruturais produzem mudanças nas propriedades mecânicas dos materiais metálicos e vice-versa. Quanto às relações entre microestrutura e propriedades mecânicas dos materiais metálicos, julgue o item a seguir.

A figura abaixo mostra a representação de um plano (111) em um cristal cúbico de corpo centrado.



() Certo () Errado



Comentário:

Errado, conforme vimos em aula, temos que o plano que intercepta perpendicularmente os eixos assume o valor 1, ao passo que, os planos que são paralelos ao eixo possuem valor "0". Assim, o plano em questão possui seu índice em X, Y e Z = (1,1,0). Por isso, questão está errada!

Gabarito: errada.

20. (CEBRASPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)

A grande vantagem do alumínio e suas ligas é a relação peso específico/resistência mecânica. O Al puro (99,99%) tem baixa resistência à tração, da ordem de 35 MPa; entretanto, a adição de elementos de liga e a realização de trabalho a frio e tratamentos térmicos permitem aumentar a resistência à tração para valores acima de 80 MPa. Acerca das ligas de alumínio, julgue o item seguinte.

Ligas de alumínio em geral são passíveis de envelhecimento artificial, um tratamento térmico comum em ligas que sofreram encruamento e que consiste no aquecimento à temperatura de 150 °C, por algumas horas, seguido de resfriamento lento. Esse processo produz ductilidade e estabilidade dimensional. Um uso bastante comum desse tratamento é a aplicação de rebites em estruturas aeronáuticas.

() Certo () Errado

Comentário:

Conforme vimos, Coruja, em ligas de **alumínio**, de fato, temos o tratamento térmico de **envelhecimento** (que nada mais é que um **endurecimento por precipitação** de outros elementos de liga). Todavia, vimos que temos dois tipos: o **envelhecimento natural** e o **envelhecimento artificial**. Em ambos, temos a liga de alumínio (como, por exemplo, a mais comum - liga alumínio e cobre) submetida a temperaturas **superiores a 500°C** (cerca de 540°C a depender do teor de cobre). Depois disso, temos o **resfriamento rápido**. Nessa etapa é que ocorre ou o envelhecimento natural (a liga descansa em temperatura ambiente, por cerca de 2 dias) ou envelhecimento artificial (no qual a liga é submetida a temperaturas superiores a ambiente - de 115 a 190°C - por algumas horas a fim de atingir a precipitação dos elementos de liga).

Ou seja, pegou o erro da assertiva, Coruja? Primeiro, no **envelhecimento artificial** a liga também é submetida a temperaturas superiores a 150°C, como no envelhecimento natural. Segundo, em ambos o **resfriamento é rápido** (não é lento, como afirma a questão). Aí, no artificial, temos o retorno a temperaturas superiores a ambiente por algumas horas.

Gabarito: errada.

21. (CEBRASPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)



Parafusos são elementos mecânicos cuja característica principal é manter dois elementos estruturais unidos por meio da pré-carga aplicada no aperto. Considerando a necessidade de selecionar o material para parafusos que irão trabalhar sob carregamento estático a uma temperatura relativamente elevada, julgue o item subsequente.

Aços de baixo teor de carbono seriam uma boa opção pela facilidade de fabricar as roscas por processo de conformação, o que daria maior capacidade de carga aos parafusos.

() Certo () Errado

Comentário:

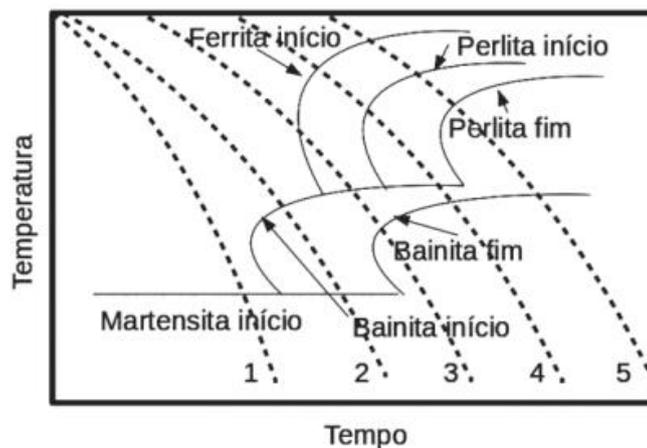
Estrategista, de fato, aços com **baixo teor de carbono** possuem **maior ductilidade** e, por conta disso, possuem maior **usinabilidade** e **maleabilidade**, implicando uma maior facilidade para fabricação da rosca do parafuso (processo de usinagem). Todavia, o fato de serem de baixo carbono, também impacta na sua **resistência mecânica estática** que o comando da questão nos mostra o que corresponde a uma **menor** capacidade de carga nesse parafuso. Por conta disso, a questão está errada.

Gabarito: errada.

Cesgranrio

22. (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.



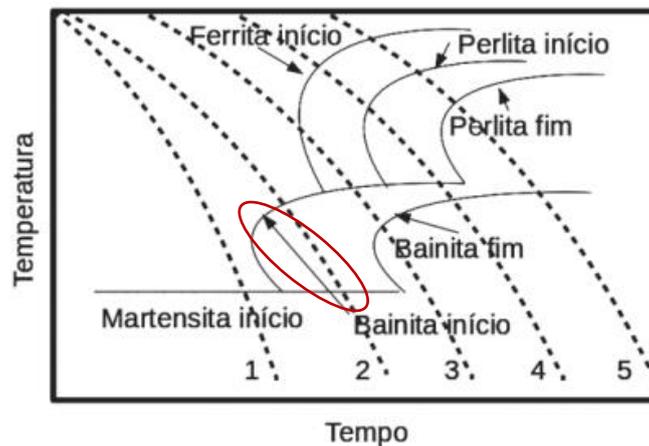
Para obter as propriedades mecânicas desejadas, ele precisa garantir que a microestrutura do aço temperado seja uma mistura de bainita e martensita. As linhas tracejadas na curva CCT indicam diferentes taxas de resfriamento, identificadas pelos números de 1 a 5. O número correspondente à taxa de resfriamento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



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

Comentário:

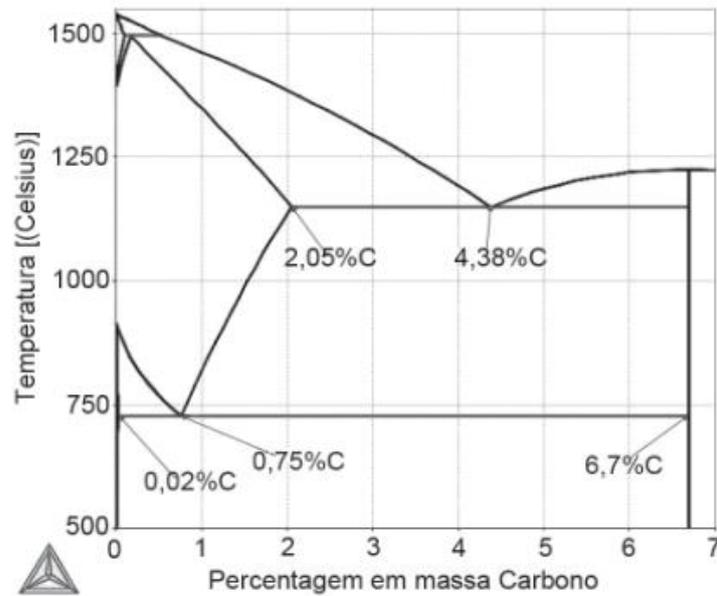
Oras, tranquilidade, Coruja! Vimos em aula sobre as curvas TTT e CCT. A curva CCT é uma curva de transformação **contínua**, na qual não há passagem isotérmicas. Perceba pela figura que há a indicação de cada início de microestrutura e, também, seu fim. Perceba que a única curva na qual temos o início 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".

23. (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!

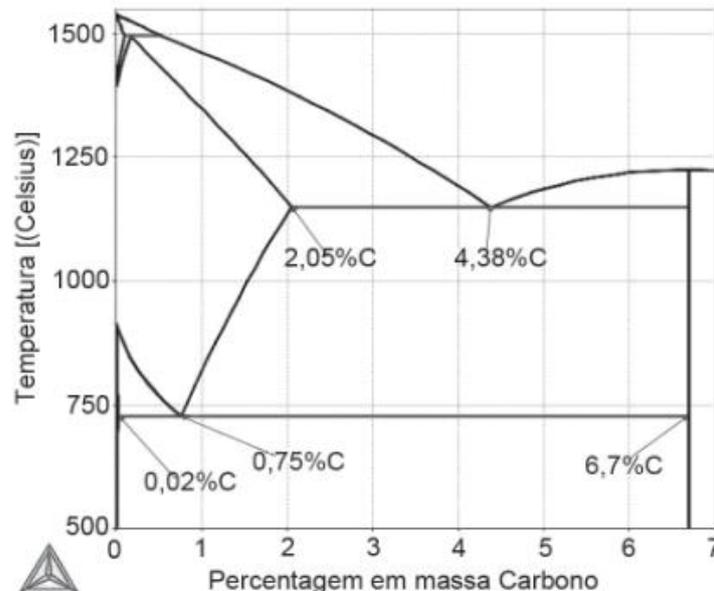
Como vimos em aula, a **Regra da Alavanca** será aplicada como um razão entre a "distância" das curvas na linha de amarração contrária da microestrutura que se pretende encontrar, pelo total da "distância" da linha de amarração no limites dos intervalos. Ou seja, para a **cementita** nesse digrama ferro-carbono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

24. (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 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!



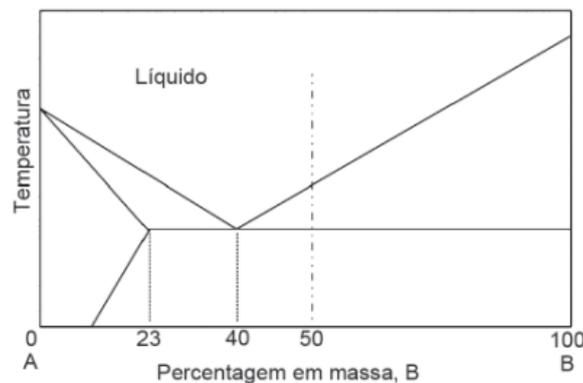
Como vimos em aula, a **Regra da Alavanca** será aplicada como um razão entre a "distância" das curvas na linha de amarração contrária da microestrutura (ou fase) que se pretende encontrar, pelo total da "distância" da linha de amarração no limite considerados. Ou seja, para a **cementita** nesse digrama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

25. (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:

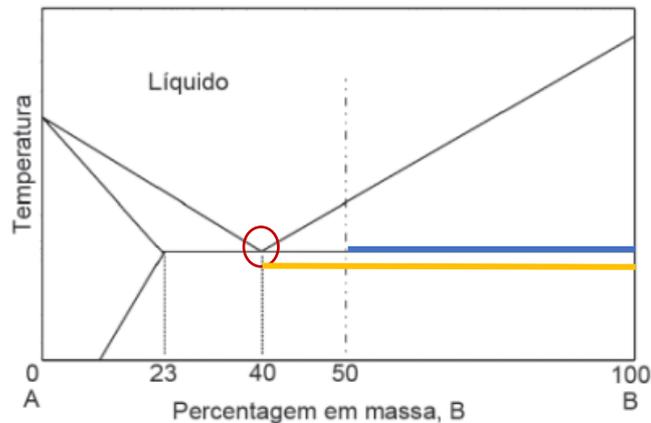
- a) 100% da fase líquida contendo 50% massa de B.
- b) 100% da fase líquida contendo 100% massa de B.
- c) 83,3% da fase líquida contendo 40% massa de B.
- d) 16,7% da fase líquida contendo 50% massa de B.
- e) 16,7% da fase líquida contendo 40% massa de B.

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".

26. (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 – $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
II – Sistema Hexagonal	Q – $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
III – Sistema Tetragonal	R – $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$
IV – Sistema Ortorrômbico	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:

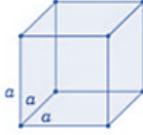
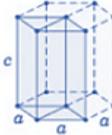
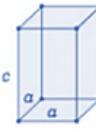
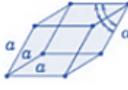
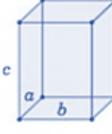
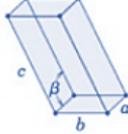
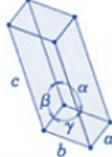
- a) I – P, II – T, III – Q, IV – R.
- b) I – Q, II – R, III – S, IV – T.



- 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".

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

Tratamentos térmicos em fornos com oxigênio causam a descarbonetação 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 $R = 8,314$ J/mol . 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 μm . Ele achou a perda muito significativa e resolveu reduzir a região de descarbonetação para 20 μm . 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 $x^2 = D(T).t$, 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 μm , vamos encontrar o seguinte:

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

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

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:

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

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 $Q_d/2,3.R$, 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".

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

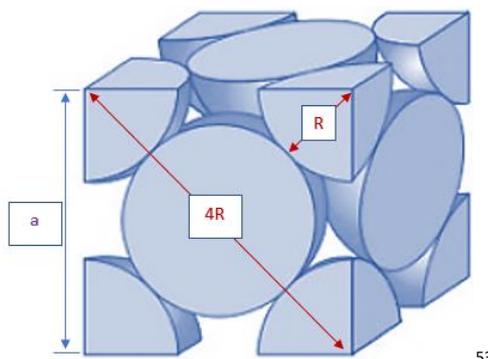
Nos metais com estrutura cristalina cúbica de faces centradas (CFC), o fator de empacotamento atômico é

- 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:





53

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:

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

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):

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

Gabarito: "e".

29. (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.

⁵³ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



- 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".

30. (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,

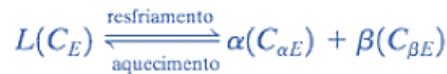
- a) uma fase sólida se transforma em duas outras fases sólidas, no mesmo instante.
- b) uma fase líquida e uma fase sólida reagem, formando uma única, e nova, fase sólida.
- c) uma fase líquida se transforma em duas fases sólidas no mesmo instante.
- d) duas fases sólidas reagem, formando uma nova fase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

31. (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".

32. (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.

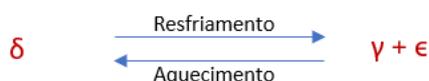
Comentário:

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

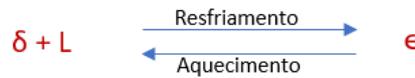
Reação eutética: no resfriamento, **uma fase líquida (L)** se transforma em **duas fases sólidas ($\alpha + \beta$)** na temperatura específica (temperatura do ponto eutético da liga). No aquecimento, o processo inverso ocorre. Abaixo temos a expressão dessa reação:



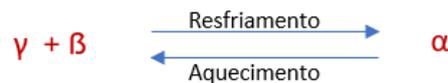
Reação eutetoide: no resfriamento, **uma fase sólida (δ)** se transforma em **duas outras fases sólidas ($\gamma + \epsilon$)**. No aquecimento, novamente, ocorre o inverso. Veja a expressão abaixo:



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:



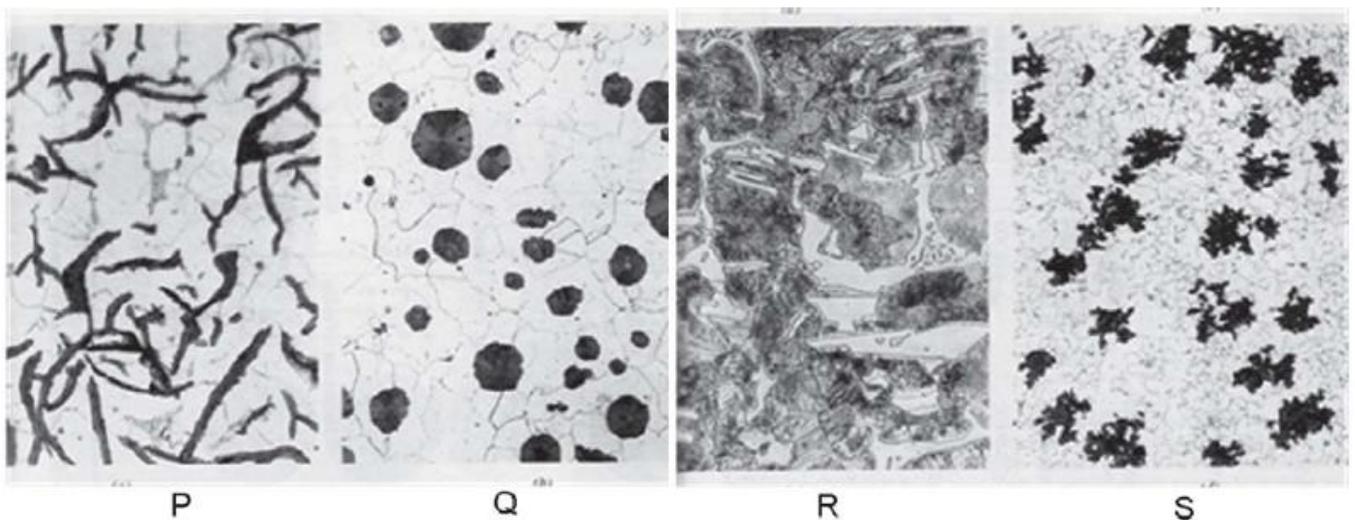
Reação peritetoide: no resfriamento, **duas fases sólidas** se transforma **em uma fase sólida única**. No aquecimento, temos a transformação inversa. Veja a expressão característica:



Gabarito: "b".

33. (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".

34. (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".

35. (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 dos átomos que compõem 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 resistente. 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 a 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 aumenta 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 grão é **prejudicado** e, assim, aumenta-se a dureza e resistência do material.

Gabarito: “a”.

36. (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".

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

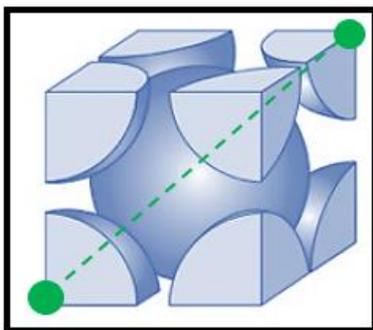
Diversos metais apresentam estrutura cristalina do tipo CCC. O cromo, o tungstênio e o molibdênio são alguns exemplos. Para calcular corretamente o volume da célula unitária CCC, onde R é raio atômico, deve-se adotar:

- 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”.

38. (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?

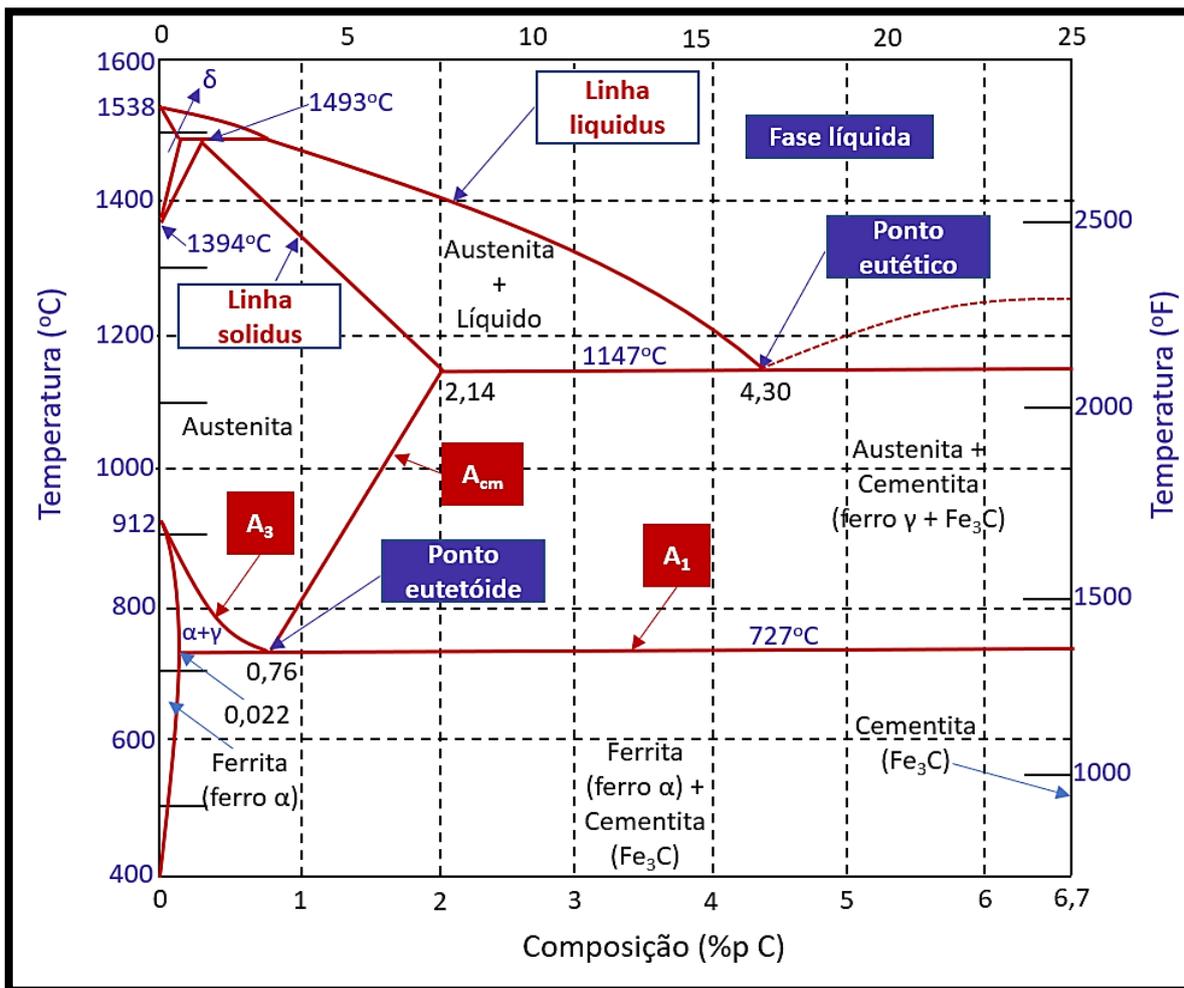
- a) 0,11.
- b) 0,13.
- c) 0,23.
- d) 0,67.
- e) 0,89.

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% de liga de carbono. Oras, vamos relembrar as curvas do nosso diagrama ferro-carbono e a fórmula da Regra da Alavanca para essa situação:



Perceba que no ponto 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:

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

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

Gabarito: "a".

39. (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".

40. (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".

41. (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".

42. (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".

43. (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".

44. (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".

45. (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".

Instituto AOCP

46. (AOCP/UEFS - BA - Analista - Engenharia Mecânica – 2018)

São exemplos de materiais com estrutura cristalina CFC, CCC e HC, respectivamente:

- a) Al, Cr, Zn.
- b) Mo, W, Zn.
- c) Au, Co, Al.
- d) Ag, Fe- α , Ni.
- e) Cu, Ag, Zn.



Comentário:

Essa é uma daquelas questões absurdas que não faz o menor sentido na sua vida, típica em concursos e que ao meu ver não seleciona nenhum candidato. Imagina ter que decorar o tipo de arranjo de célula unitária que compõem a microestrutura de cada material, não é mesmo? Além disso, depende da temperatura, também. Por exemplo, o cobalto em temperatura ambiente é HC, mas é CFC acima de 427°C como cita Chiaverini em sua renomada obra. Enfim, saiba que temos CFC (Cúbica de Faces Centradas), de maneira geral, para: **cobre (Cu), alumínio (Al), prata (Ag) e ouro (Au)**. A CCC (Cúbica de Corpo Centrado) tipicamente para: **cromo (Cr), ferro-alfa (Fe- α) e tungstênio (W)**. Com isso, conseguiríamos matar a questão. Além disso, HC (Hexagonal Compacto), tipicamente para: **zinco (Zn), titânio (Ti), magnésio (Mg) e cádmio (Cd)**.

Gabarito: "a".

47. (AOCP/UEFS - BA - Analista - Engenharia Mecânica – 2018)

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

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

Comentário:

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

Dito isso, vejamos cada alternativa:

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



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

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

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

Letra "e": correta! Apesar da definição de tenacidade estar equivocada é, de fato, a alternativa menos pior! Na realidade, a **tenacidade** é a **capacidade** do material em absorver energia total até se romper, envolvendo tanto o regime elástico quanto plástico. A resiliência está definida corretamente. Poderia ter mencionado o fato da devolução energética, mas é menos pior que a definição de tenacidade. Todavia, como disse, é a alternativa menos errada (a melhor, como diz o enunciado) e o nosso gabarito.

Gabarito: "e".

48. (AOCP/EBSERH - Engenheiro Mecânico – 2014)

Sistemas eutetoides são regidos pela reação eutetoide, que se caracteriza pela.

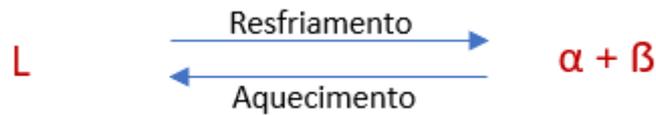
- decomposição exotérmica de uma fase sólida em duas outras fases sólidas durante o resfriamento e a reação inversa no aquecimento.
- decomposição isotérmica de uma fase sólida em duas outras fases sólidas durante o resfriamento e a reação inversa no aquecimento.
- decomposição exotérmica de uma fase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

Comentário:

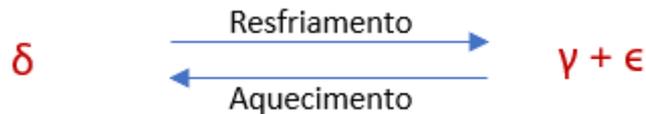
Questão tranquila, Coruja! Ela nos cobra as características da reações dos **pontos invariantes** (pontos de equilíbrio de fases). Vamos lembrar:

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

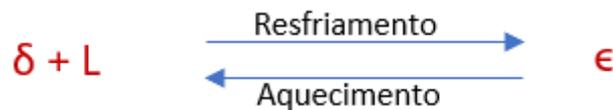




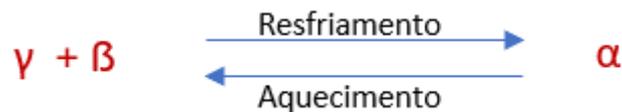
- **Reação eutetoide:** no resfriamento, **uma fase sólida (δ)** se transforma em **duas outras fases sólidas ($\gamma + \epsilon$)**. No aquecimento, novamente, ocorre o inverso. Veja a expressão abaixo:



- **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:



Nosso gabarito é a letra "b".

Gabarito: "b".

Marinha

49. (Marinha – Corpo Auxiliar de Praças – Mecânica – 2020)

Como é denominado o constituinte de forma lamelar, formado por lâminas muito delgadas e muito próximas umas das outras, de ferro alfa e Fe_3C , dispostas alternadamente?

- a) Perlita.
- b) Cementita.
- c) Ferrita.



- d) Martensita.
- e) Austenita.

Comentário:

Que moleza, hein, Coruja? Vimos que a microestrutura composta por lamelas alternadas de **ferrita** (ferro alfa) e **cementita** (carbeto de ferro – Fe_3C) é a nossa boa e velha **perlita** (lembre-se que perlita **não** é uma fase e, sim, uma composição das duas fases – ferrita e cementita).

Gabarito: “a”.

50. (Marinha – Corpo Auxiliar de Praças – Mecânica – 2020)

A resiliência de um material pode ser definida como:

- a) A medida do grau de deformação plástica que foi suportado até a fratura.
- b) A capacidade de um material absorver energia quando ele é deformado elasticamente e depois, com a remoção da carga, permitir a recuperação dessa energia.
- c) A habilidade de um material absorver energia e se deformar plasticamente antes de fraturar.
- d) Medida de resistência de um material a uma deformação plástica localizada.
- e) A capacidade de um material de resistir à deformação superficial provada por uma força aplicada de forma quase estática.

Comentário:

Outra questão muito tranquilo, certo? Oras, Estrategista, cansamos de ver e repetir que a **resiliência** ocorre no regime elástico do material (assim, já eliminamos a letra “a”, “c” e “d”). Além disso, a resiliência é a capacidade de absorver energia sem se deformar plasticamente (permanentemente) e devolver essa energia quando cessados os esforços que geraram essa deformação dentro do regime elástico (deformação não permanente).

Gabarito: “b”.

51. (Marinha – Corpo Auxiliar de Praças – Mecânica – 2020)

Em relação aos ferros fundidos, analise as afirmativas a seguir:

I – O ferro fundido branco é assim chamado porque possui o carbono quase que inteiramente na forma de Fe_3C , apresentando uma fratura branca;



II – O ferro fundido maleável passa por um tratamento térmico chamado de maleabilização, tornando-se mais tenaz;

III – O ferro fundido cinzento também é conhecido como ferro fundido dúctil e apresenta a grafita na forma esferoidal;

Assinale a opção correta.

- a) Apenas a afirmativa I está correta.
- b) Apenas a afirmativa II está correta.
- c) Apenas a afirmativa III está correta.
- d) Apenas a afirmativa I e II estão corretas.
- e) As afirmativas I, II e III estão corretas.

Comentário:

Oras, Coruja, questão muito tranquila que nos cobra as características principais dos tipos de ferros fundidos que vimos em aula. Vejamos:

I – perfeita! Exatamente esse é o motivo do nome do **ferro fundido branco** e seu tipo de fratura! Lembre-se que ele possui alta concentração de carbono que vai compor a cementita característica em sua microestrutura;

II - correta! O **ferro fundido maleável** é o ferro fundido branco que sofreu um tratamento especial (não precisa ser exatamente a maelabilização, mas esse é um nome utilizado também) fazendo com que ele se torne mais tenaz e mais dúctil, além de reduzir sua dureza e resistência mecânica;

III – errada! Ferro fundido cinzento é um e o dúctil (também chamado de **nodular**) é outro! Nada a ver! O **nodular** tem adição de **magnésio** e/ou **cério** que, conforme aponta a doutrina, gera uma microestrutura com a **grafita** formada em **nódulos** (partículas de formato mais **esférico**) em vez de flocos que nem no ferro fundido cinzento;

Gabarito: “d”.

52. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2018)

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

- a) Resistência mecânica.



- b) Elasticidade.
- c) Resiliência.
- d) Tenacidade.
- e) Plasticidade.

Comentário:

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

Gabarito: “c”.

53. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2018)

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

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

Comentário:

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

Gabarito: “a”.

54. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2013)

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



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

Comentário:

Estrategista, mais uma questão fácil! Vejamos cada assertiva:

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

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

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

Gabarito: "d".

55. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2012)

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

- a) Ferrita e cementita.



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

Comentário:

Conforme vimos, Coruja, temos a seguinte situação:

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

Gabarito: “c”.

FCC

56. (FCC/EMAE-SP – Engenheiro – Mecânica – 2018)

O metal mais resistente à corrosão e presente na tabela periódica é o

- a) Ferro.
- b) Alumínio.
- c) Cobre.
- d) Mercúrio.
- e) Irídio.

Comentário

Infelizmente, Estrategista, esse tipo de questão vale a “decoreba”. É uma pena bancas grandes fazerem uso desse tipo de cobrança, já que resistência à corrosão depende de outros fatores e não somente do elemento em questão.

Letra “a”: o ferro não é o metal mais resistente à corrosão da tabela periódica. Vide, por exemplo, estruturas de ferro (como um portão de casa, sem alguma proteção como pintura) submetido a atmosfera que contem vapor d’água – ferrugem (Fe_2O_3) na certa. Alternativa errada;



Letra “b”: o alumínio é mais resistente à corrosão que o ferro (quando comparados a certos meios específicos, pois cada elemento químico se comporta de uma forma em relação a outro). Na atmosfera, ele oxida menos que o ferro, por exemplo, mas ainda não é o elemento químico mais resistente à corrosão. Alternativa errada;

Letra “c”: novamente, a resistência a corrosão vai depender da atmosfera e/ou o meio no qual o metal em questão está inserido. Dessa forma, para certos meios, o cobre terá boa resistência a corrosão. Para outros, não. Todavia, ele também não é o mais resistente à corrosão da tabela periódica. Alternativa errada.

Letra “d”: o mesmo raciocínio das alternativas anteriores se aplica ao mercúrio. Alternativa errada;

Letra “e”: de fato, o irídio é o metal da tabela periódica que possui maior resistência à corrosão. Alternativa correta. Triste questão.

Gabarito: “e”.

57. (FCC/EMAE-SP – Engenheiro – Mecânica – 2018)

Sobre macrografia, considere:

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

Está correto o que consta de

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

Comentário:

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



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

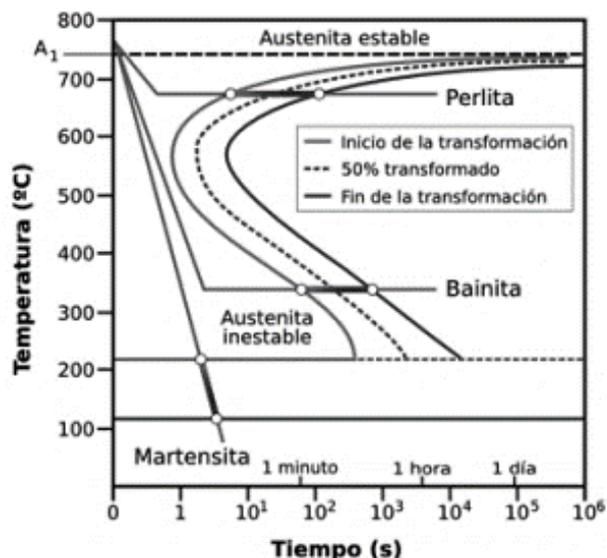
A asserção III está errada, pois a macrografia é um ensaio **visual** de análise e não é utilizado para medir a **dureza** do material, propriedade evidenciada por ensaios como Brinell, Vickers e/ou Rockwell, entre outros, ensaios de natureza destrutiva.

Gabarito: "b".

FEPese

58. (FEPese/DEINFRA-SC – Engenheiro – Engenharia Mecânica – 2019)

Assinale a alternativa que indica corretamente o gráfico representado abaixo.



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

Comentário

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



Gabarito: “a”.

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

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

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

Comentário

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

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

Gabarito: “b”.

Ufersa

60. (Ufersa/Ufersa – Engenheiro – Engenharia Mecânica – 2019)

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

- a) A tenacidade é a habilidade de um material absorver energia e se deformar elasticamente antes de fraturar.
- b) A resiliência é a capacidade de um material de absorver energia, quando ele é deformado plasticamente e, depois, com a remoção da carga, permite a recuperação dessa energia.
- c) A estricção do material é a diminuição da seção transversal do corpo de prova, após atingir carga máxima, na região aonde vai se localizar a ruptura.



d) A tensão limite de escoamento, também conhecido como limite de proporcionalidade ou limite de desvio n , pode ser determinada usando o método da pré-deformação que, para os aços, é corresponde a uma deformação plástica 0,2 por unidade de comprimento.

Comentário

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

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

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

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

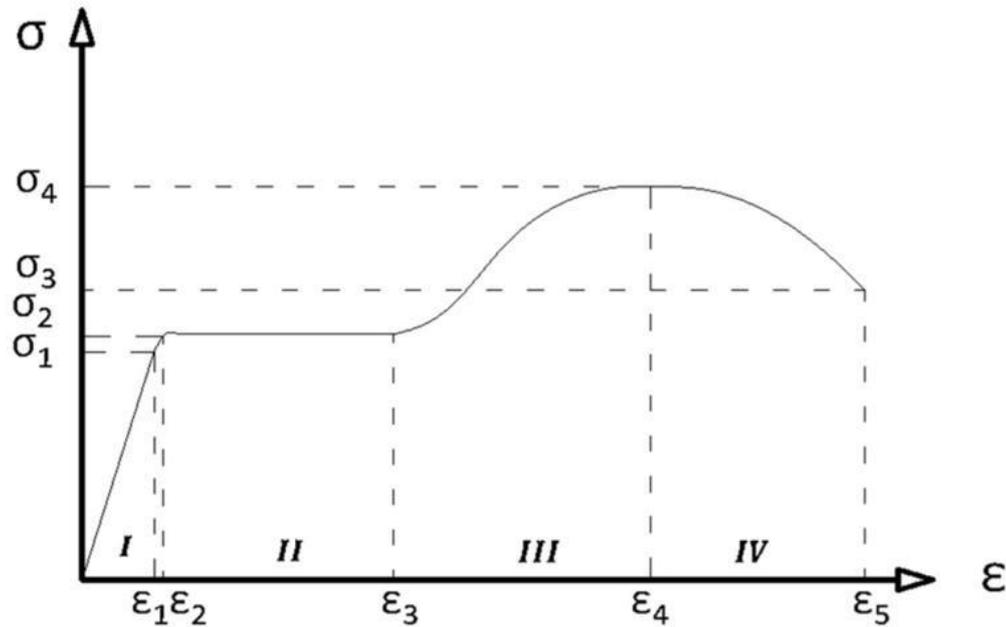
Gabarito: “c”.

CEV-UECE

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

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





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

I. A zona "I" do gráfico corresponde à região onde o material apresenta um comportamento elástico, onde até a tensão σ_1 a relação $\sigma \times \epsilon$ é linear.

II. Ao atingir a tensão σ_2 , o material começará a escoar, deformando-se plasticamente sem apresentar qualquer aumento na carga, sendo então classificado como perfeitamente plástico durante toda a zona "II" do gráfico.

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

IV. Na zona "IV" do gráfico, o material passa por um processo de redução localizada da área da seção transversal, denominado estrição, até atingir a sua tensão de ruptura σ_3 .

Está correto o que se afirma em.

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

Comentário:



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

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

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

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

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

Gabarito: "d".

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

Considere as seguintes afirmações sobre o diagrama ferro-carbono:

- I. O ferro puro, ao ser aquecido, experimenta duas alterações na sua estrutura cristalina antes de se fundir.
- II. A austenita, quando ligada somente com carbono, não é estável a uma temperatura inferior à temperatura eutetoide.
- III. A cementita se forma quando o limite de solubilidade para o carbono na ferrita α é excedido a temperaturas abaixo de 500 °C.



IV. Uma liga de composição eutetoide, ao ser resfriada lentamente de uma temperatura de 800 °C até 600 °C, irá formar uma microestrutura conhecida por perlita.

Está correto o que se afirma em.

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

Comentário:

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

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

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

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

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

Gabarito: "c".

IESES

63. (IESES-GASBRASILIANO-SP/Engenheiro de Gás Natural – 2017)

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

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

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



d) Dureza.

Comentário:

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

Gabarito: “d”.

64. (IESES-GASBRASILIANO-SP/Engenheiro de Gás Natural – 2017)

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

O termo mecânico que representa uma medida da habilidade de um material de absorver energia até a sua fratura, é:

- a) Tenacidade.
- b) Resiliência.
- c) Elasticidade.
- d) Ductilidade.

Comentário:

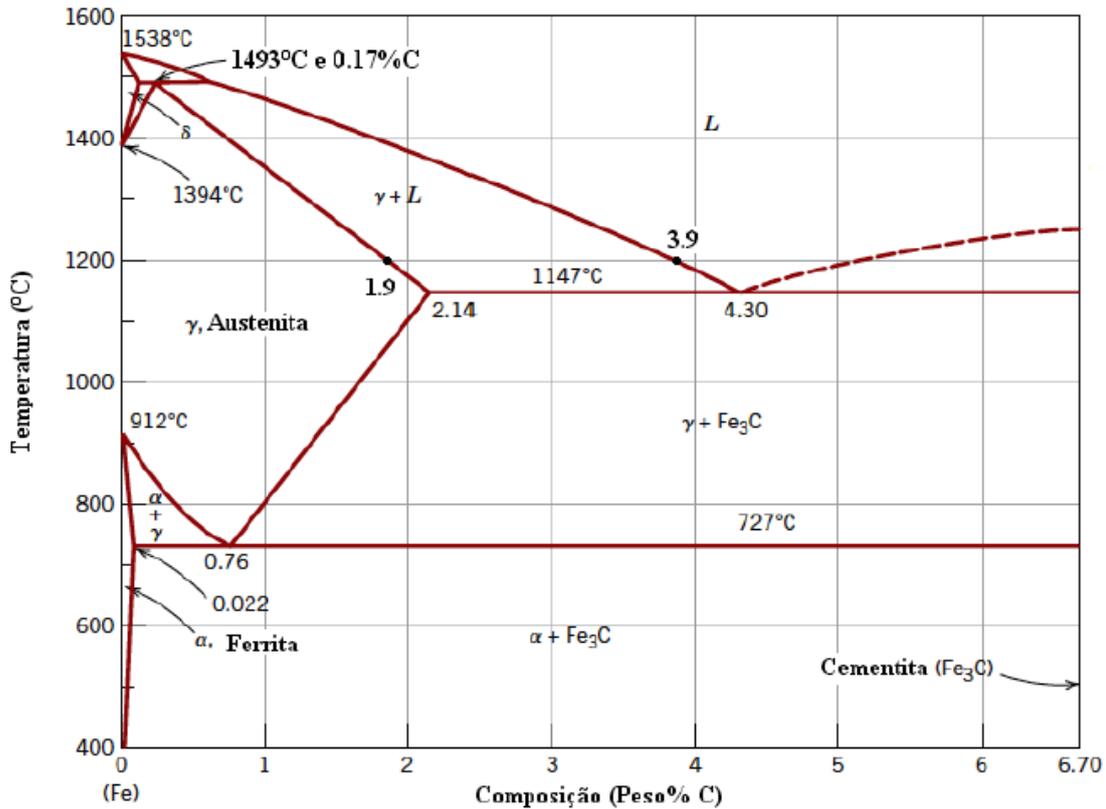
Lembre-se, Estrategista, quando falamos em **absorção energética até a fratura** temos que considerar o **campo plástico** do material. Dessa forma, a **tenacidade**, como vimos é a capacidade do material de absorver energia desde o campo elástico, até o campo plástico, no qual ele irá sofrer a fratura.

Gabarito: “a”.

65. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2014)

O anteriormente denominado diagrama ferro-carbono ou ferro-cementita, atualmente é expresso numa forma mais atualizada, como o Diagrama Ferro Carbetto de Ferro apresentado abaixo.





Em relação ao diagrama apresentado, as fases presentes para uma liga de ferro contendo 1,9% (em peso) de carbono a 1300°C serão

- a) ferrita e austenita.
- b) fase líquida e ferrita.
- c) austenita e cementita.
- d) fase líquida e austenita.

Comentário:

Nossa, que "ultraje" essa questão, hein, Coruja? Pelo o amor... que "pai" que eles foram! Basta verificar no ponto de 1,9% de carbono e 1300°C no diagrama (eles até marcaram) que temos a linha *solvus* que separa a fase sólida da liga (**austenita**) e a fase **líquida**.

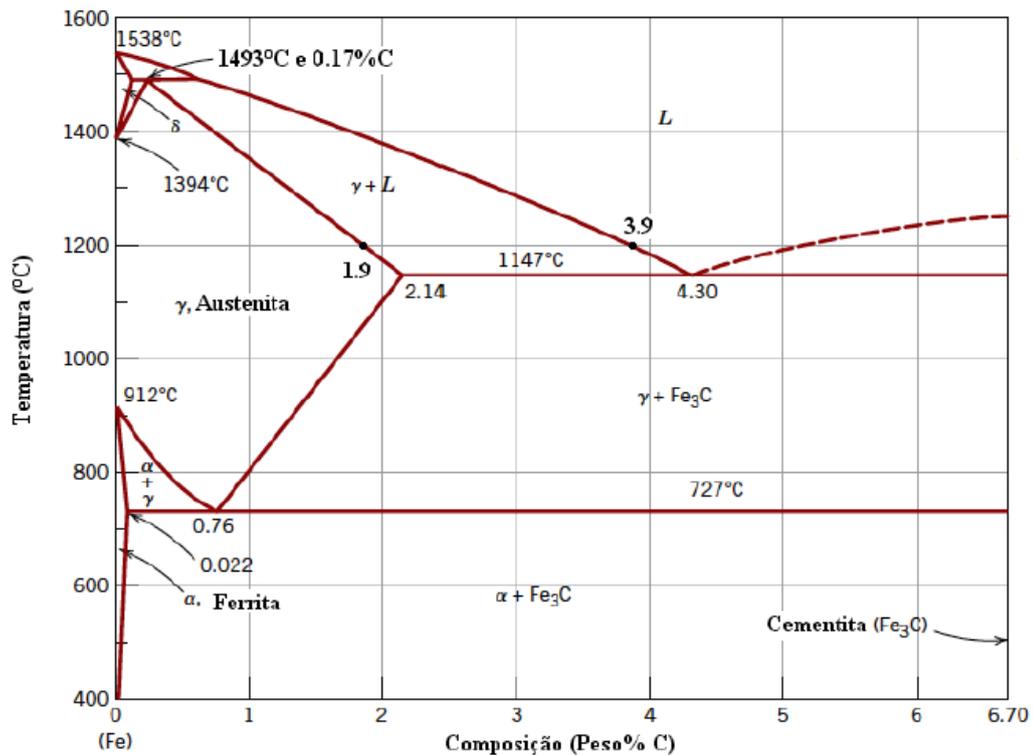
Gabarito: "d".

66. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2014)

A concentração de carbono, bem como os percentuais de fases, são importantes indicadores da "identidade" do material e podem ser obtidos a partir da análise dos diagramas Fe-Fe₃C. A quantidade



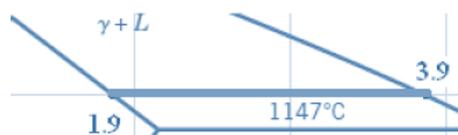
(em percentual) de fase líquida e sua concentração de carbono em uma liga de ferro, contendo 2% de Carbono a 1200°C, tomando por base o diagrama apresentado, são, respectivamente,



- a) 5% e 3,9%.
- b) 45% e 1,9%.
- c) 50% e 3,0%.
- d) 95% e 3,9%.

Comentário:

Moleza, Coruja! Veja que temos somente que aplicar a nossa **regra da alavanca** na isoterma que o enunciado nos disse: aquela que passa pela concentração de 2% de carbono a uma temperatura de 1200°C. Perceba:



Assim, veja que de um lado temos a concentração de 3,9% de carbono e a fase sólida (austenita, no caso) de 1,9% de carbono. Agora, aplicamos a **regra da alavanca** que vimos. O procedimento é simples, 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**. Vamos lá.

O percentual da fase que ele deseja saber é da líquida, bem como a o percentual da concentração de carbono dessa fase (que já vimos, é 3,9% - estamos entre a letra "a" e a "d"). Agora, fazemos a regra da alavanca para saber o quanto (em percentual) desse ponto (a 2% de carbono e 1200°C) é de fase líquida. Veja que só batendo o olho e, por conta de o ponto estar muito próximo a linha solvus, já dá para perceber que é 5% - letra "a". Isso porque o percentual da letra "d" é muito maior e, por conta disso, teria que o ponto estar mais próximo da linha liquidus. Sem cálculo, só com o conhecimento básico, dava para matar. Todavia, segue a **regra da alavanca**:

$$\text{Fração líquida} = \frac{S}{R + S} = \frac{C_0 - C_\gamma}{C_L - C_\gamma} = \frac{2 - 1,9}{3,9 - 1,9} = \frac{0,1}{2} = 0,05 = 5\%$$

Gabarito: "a".

67. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2014)

Um importante dado a ser extraído dos diagramas de fase é a ocorrência de reações. As temperaturas (em °C) em que ocorrem, respectivamente, as reações eutetoide, eutética e peritética são,

- a) 1147, 727 e 1493.
- b) 727, 1147 e 1493.
- c) 1538, 1147 e 727.
- d) 1200, 1300 e 1538.

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Basta você lembrar do nosso "bom e velho" **diagrama ferro-carbono** para responder essa questão.

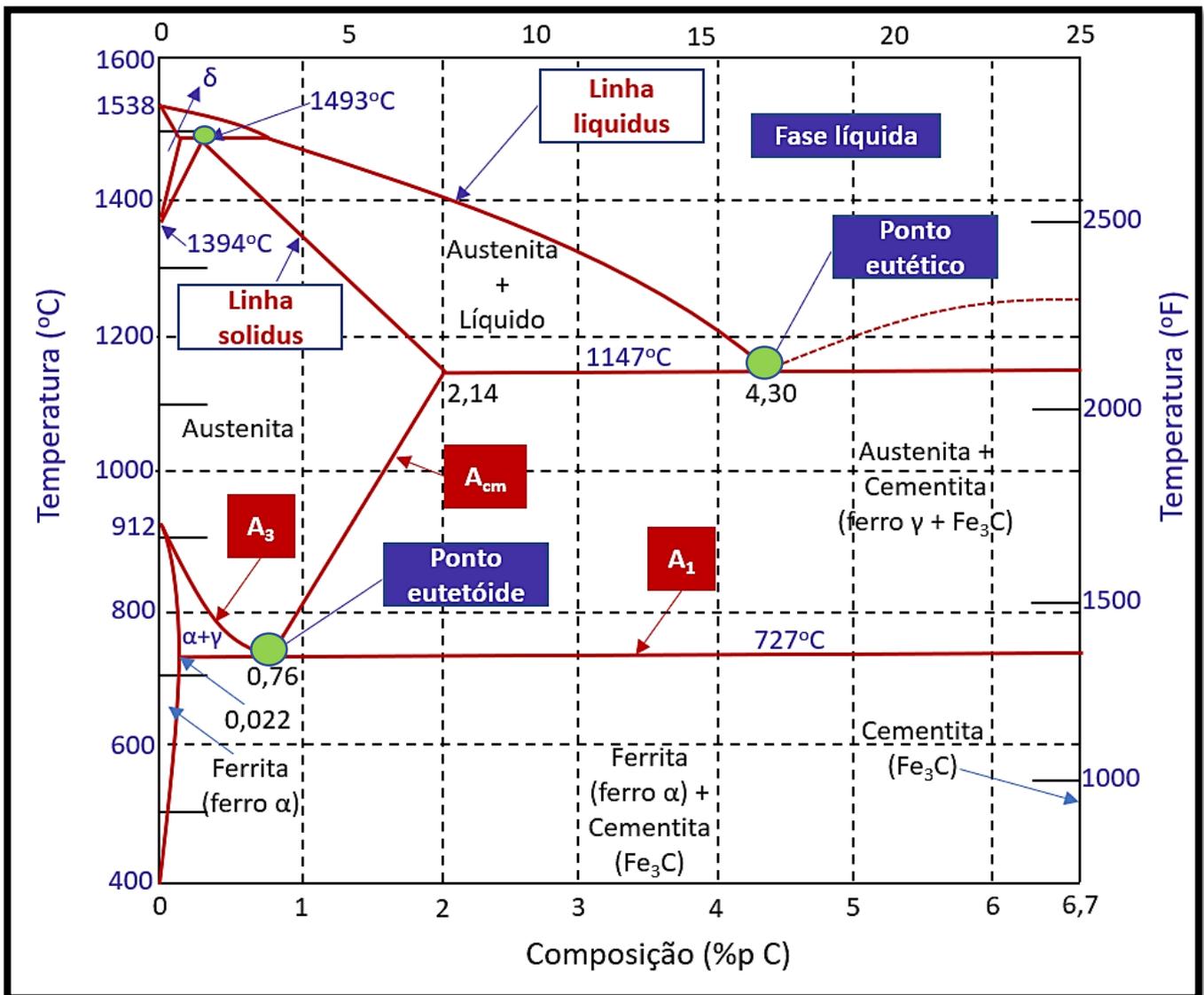
Oras, quando falamos em reação **eutetoide** (falamos do ponto eutetoide). Vamos relembrar? É o ponto cuja temperatura se encontra em, aproximadamente, **727 °C** e o teor de carbono é cerca de **0,76/0,77%**. A reação **eutetoide** vai gerar os dois sólidos no resfriamento (ferrita e perlita).

Legal! Matamos a questão. Veremos as outras.



Reação **eutética** é aquela do ponto eutético! Nesse ponto, temos a temperatura de **1147°C** (aproximadamente) e 4,30% de teor de carbono. Aqui, também temos a formação de dois sólidos (austenita e cementsita).

Reação **peritética** acontece com cerca de **1493°C** e teor de carbono em torno de 0,4%. Nela, teremos, no aquecimento a formação de uma fase sólida e uma fase líquida a partir de uma fase sólida! Veja o diagrama para recordar e os pontos mencionados em verde!



Gabarito: "b".

68. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2014)



Os diversos materiais utilizados na indústria metal-mecânica têm características e propriedades fundamentais para a determinação de suas aplicabilidades. Assinale a alternativa que apresenta corretamente a definição de resiliência,

- a) Habilidade de absorver energia até a sua fratura.
- b) Representação pela tensão máxima antes da ruptura do material.
- c) Medida do grau de deformação plástica que foi suportado na fratura do material.
- d) Capacidade de um material absorver energia quando se deforma elasticamente e, no descarregamento, recuperar a energia.

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Vimos várias vezes que a **resiliência é a capacidade do material de absorver e devolver energia dentro do campo elástico de deformação (não permanente)**.

Na letra "a", temos a definição relacionada à tenacidade, pois envolve tanto o campo elástico, quanto o plástico (até a fratura). Na letra "b", também temos um limite associado ao campo plástico, Coruja, pois, novamente, temos a deformação permanente representada na tensão limite máxima atingida antes da fratura. Por fim, na letra "c", temos a definição de **ductilidade** (associada ao uma **medida do grau de deformação plástica** até a fratura do material no limite de ruptura dele).

Gabarito: "d".

Idecap

69. (Idecap/Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba– 2019)

Constitui a propriedade mecânica que indica a capacidade do material ou elemento estrutural de se deformar sem a perda de sua capacidade de resistência, chegando à ruptura após acumular considerável quantidade de energia de deformação. É uma medida da capacidade de o elemento se deformar antes de sofrer a ruptura. Trata-se da.

- a) ductilidade.
- b) tração.
- c) tenacidade.
- d) dureza.
- e) resiliência.

Comentário:

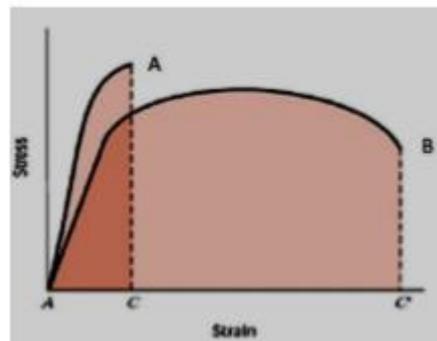


Oras, questãozinha "tranquila", certo, Coruja? Sem problemas. Perceba o gatilho final determina qual a propriedade mecânica mais provável dentre as alternativas: "é uma medida de capacidade de o elemento se **deformar antes de sofrer a ruptura**". Essa definição está em linha com a **ductilidade**. Apesar disso, você poderia ficar confuso(a) quanto a letra "c", pois ele cita "considerável quantidade de energia de deformação", mas não deixa claro se é somente no regime elástico (seria resiliência) ou tanto no regime elástico quanto plástico (tenacidade). Assim, nem a letra "c" e nem a "e" são mais indicadas como resposta, por falta de informação claras do enunciado. Lembre-se que a **tenacidade** é a absorção de energia **total** até a ruptura do material, considerando tanto o regime elástico quanto o plástico. Além disso, cabe comentar uma passagem do enunciado que eu não concordo muito, pois "sem a perda de sua capacidade de resistência" vai depender de que ensaio de tração estamos lidando (real ou convencional, também chamado de engenharia). Pelo visto, a Idecan considerou o real.

Gabarito: "a".

70. (Idecan/Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba– 2019)

A figura abaixo representa um ensaio de tração em materiais metálicos. Esse gráfico apresenta informações valiosas quanto ao comportamento dos materiais quando submetidos a tensões. Assinale corretamente a informação que é obtida com a área sob a curva tensão x deformação.



Fonte: Callister. Ciência e Engenharia de Materiais.

- a) Limite de resistência a tração
- b) Limite de escoamento
- c) Resiliência
- d) Tenacidade
- e) Dureza

Comentário:

Questão "moleza", Estrategista! Veja que ela nos cobra o nosso conhecimento da **área total** abaixo das duas curvas apresentadas (curva de cada material - A e B). Oras, perceba que em ambas as curvas, a



questão quer saber a **área Total** abaixo da curva. Lembre-se do "bizu": **Total > Tenacidade!** Claro, é justamente a **tenacidade** que é a **capacidade** do material de **absorver energia até a fratura**, envolvendo tanto o campo **elástico**, quanto **plástico** de deformação. Assim, corresponde a área **total** abaixo da curva tensão x deformação de um dado material. Por isso, nosso gabarito é letra "d". Além disso, perceba que o material "A" é **menos** dúctil e **mais** frágil que o material "B", pois assim que ele entra no campo plástico de deformação, atinge a ruptura. Claramente, nesse exemplo da figura mais simples, o material "B" é mais tenaz que o material "A".

Gabarito: "d".

71. (Idecan/Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba– 2019)

Uma empresa fornece componentes automotivos em ferro fundido cinzento de matriz ferrítica. Contudo, observou-se que o último lote adquirido de peças brutas fundidas tem ocasionado um desgaste excessivo das ferramentas de corte. Com o propósito de identificar as possíveis causas da diminuição da vida útil dessas ferramentas, procedeu-se a uma análise metalográfica em um corpo de prova retirado do lote em questão, cujo resultado é representado na micrografia abaixo.



Fonte: Chiaverinni

O desgaste excessivo da ferramenta é devido ao ferro fundido em questão ser

- a) branco.
- b) nodular.
- c) maleável.
- d) cinzento.
- e) vermicular.

Comentário:

Opa! Questão interessante que nos cobra o conhecimento sobre **ferro fundidos**. Oras, vimos que o ferro que possui como principal característica a sua **elevada dureza** (e, também, elevada fragilidade e baixa



ductilidade) é o ferro fundido **branco**. Perceba que a questão quer saber qual material que está gerando o **elevado desgaste** da ferramenta de corte. Por isso, o gabarito é a letra "a". Além disso, forneceu uma fotografia da microestrutura de um **ferro fundido branco hipereutético** proveniente da obra do ilustra Chiaverini. Perceba as lamelas pontiagudas, formando cristais finos (formados pela **cementita** de aspecto branco) em uma matriz de **ledeburita** (mistura de fases de **austenita** e **cementita**). Vamos lembrar as características dos demais ferros fundidos?

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;

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;

Ferro fundido nodular: também chamado de dúctil, 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;

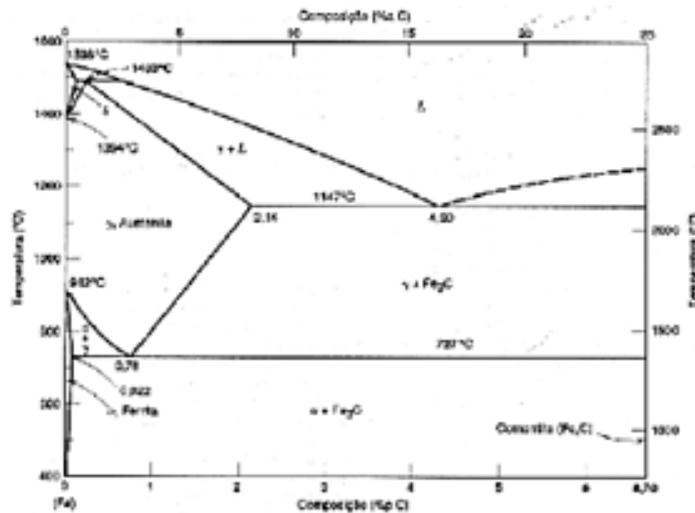
Ferro fundido vermicular: é intermediário entre o cinzento e o nodular. Sua forma lembra muito pequenos "vermes" (daí o nome) da **grafita** na matriz ferrítica ou perlítica (parte clara) e que recebem o nome de **CGI** (do inglês, *Compacted Graphite Iron*).

Gabarito: "a".

72. (Idecan/Corpo de Bombeiros Militar do DF – 2019)

O sistema ferro-carbono é um dos mais importantes das ligas binárias, e parte do seu diagrama de fases está apresentado a seguir.





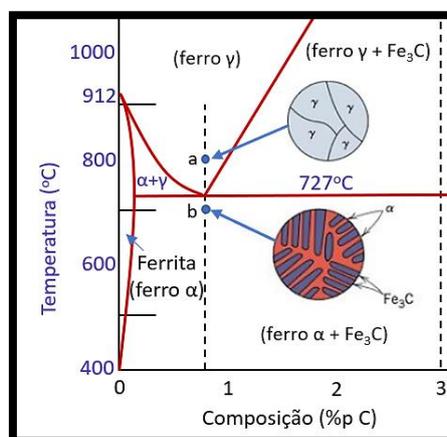
(CALLISTER, JR; WILLIAM, D. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. Rio de Janeiro, 2008. Sétima edição.)

Para um aço contendo 81% de perlita, as porcentagens de ferrita e cementita são, respectivamente:

- a) 19,0 e 81,0.
- b) 28,2 e 71,8.
- c) 71,8 e 28,2.
- d) 81,0 e 19,0.

Comentário:

Coruja, essa é uma questão confusa, pois ele não expressa qual a porcentagem (teor) de **carbono** para entendermos se esse porcentagem de perlita corresponde a um aço hipereutetoide ou hipoeutetoide. Dessa forma, utilizando a **regra da alavanca**, primeiro precisamos achar qual o teor de **carbono** dessa liga. Pra isso, precisamos admitir que esse aço com 81% de fase perlítica seja hiper ou hipoeutetoide já que a diferença para 100% da composição pode ser de ferrita ou de cementita. Admitindo que ele seja **hipereutóide**, temos a seguinte situação para a nossa regra da alavanca (lembre-se do nosso gráfico):

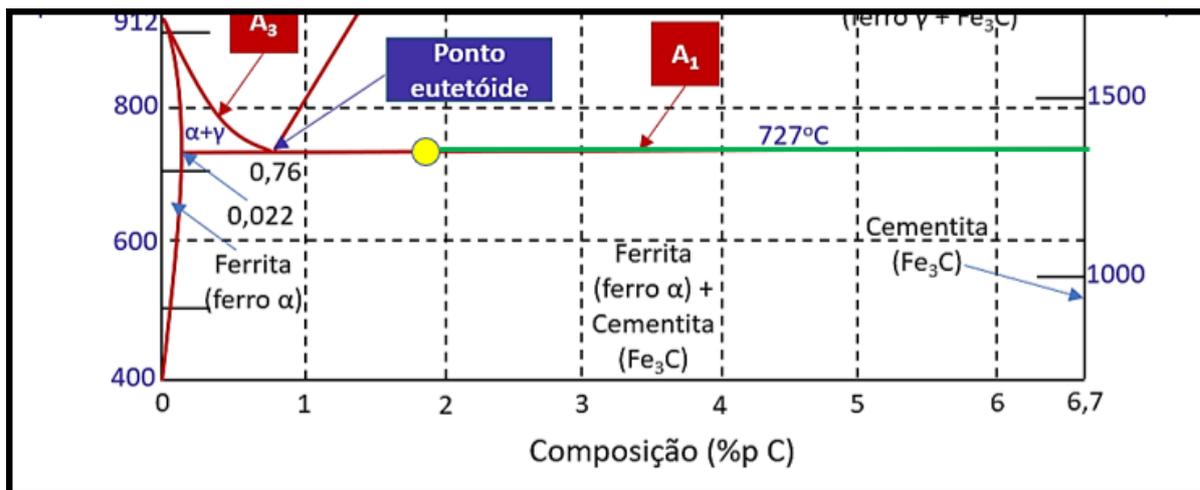


Assim, perceba que o aço está além do ponto eutetoide que tem concentração de carbono de %Ceutetoide = 0,76 e um máximo de concentração %C_{máx} = 6,67, que é o lado oposto do diagrama. Fazendo a regra da alavanca (lembre-se que para achar a % de uma fase, temos que pegar a diferença oposta até a outra extremidade e dividir pelo total). Como ele forneceu a % de perlita, nossa regra da alavanca vai do ponto eutetoide (0,76%) até ao lado de máxima concentração de cementita (6,67%):

$$\text{Fração perlítica} = \frac{C_{\text{máx}} - C_{\text{aço}}}{C_{\text{máx}} - C_{\text{eutetoide}}} = 0,81 = \frac{6,67 - C_{\text{aço}}}{6,67 - 0,76} = C_{\text{aço}} \cong 1,88;$$

Logo, esse aço com 81% de perlita tem uma concentração de carbono de %C = 1,88, aproximadamente.

Agora, temos que encontrar, a partir desse ponto e aplicando novamente a regra da alavanca, qual a porcentagem da fase ferrítica e cementita desse aço, já que a perlita é uma composição de ferrita e cementita. Oras, como temos o ponto, basta fazermos a regra da alavanca com os extremos para a **cementita de 6,67%** e de **0,76%** de carbono no ponto eutetoide. Pela regra da alavanca, para a fase ferrita, temos o "traçado em verde" para diferença de teores, sobre o total até o ferro puro a 0,022% de teor de carbono:



Assim:

$$\text{Fração de ferrita} = \frac{C_{\text{máx}} - C_{\text{aço}}}{C_{\text{máx}} - C_{\text{ferrita}}} = \frac{6,67 - 1,88}{6,67 - 0,022} \cong 0,72 \cong 72\% \text{ de ferrita};$$

$$\text{Fração de cementita} = \frac{C_{\text{aço}} - C_{\text{ferrita}}}{C_{\text{máx}} - C_{\text{ferrita}}} = \frac{1,88 - 0,022}{6,67 - 0,022} = 0,279 \cong 28\% \text{ de cementita};$$

Dessa forma, o gabarito é a letra "c" e o aço pode ser considerado hipereutoide, de fato.

Gabarito: "c".



73. (Idecan/Corpo de Bombeiros Militar do DF – 2019)

Frequentemente, os materiais metálicos utilizados em diversos produtos, como automóveis, são submetidos a cargas ou forças. Seu planejamento deve prever, através das propriedades de seu material, por exemplo, sua deformação, para que um impacto comum não seja nocivo a seu funcionamento e integridade. Sobre as propriedades mecânicas dos materiais, assinale a afirmativa correta.

- a) O fenômeno do escoamento consiste na deformação elástica de um material e ocorre um dado nível de tensão.
- b) A tenacidade consiste na medida da capacidade que um material possui de liberar energia no momento do seu rompimento.
- c) A ductilidade é a propriedade mecânica que representa a medida do grau de deformação plástica que resiste até a fratura do material.
- d) O processo de deformação em que tensão e deformação são inversamente proporcionais denomina-se deformação elástica. Quanto maior o material, menor a deformação elástica.

Comentário:

Mais uma questão sobre **propriedades dos materiais** da nossa Idecan (ela tende a cobrar esse assunto!). Vejamos cada alternativa:

Letra "a": errada! O fenômeno do **escoamento** dos grãos e dos planos cristalográficos do material consistem em uma **deformação plástica** (não elástica), cujo o formato do material é alterado **permanentemente**, não retornando ao seu formato original assim que cessados os esforços geradores de tensões;

Letra "b": errada! **Tenacidade** é a **capacidade do material** em **absorver** energia até o seu rompimento ou fratura que, no ensaio de tração, por exemplo, corresponde ao seu **limite de ruptura**. Por conta disso, ela envolve tanto o campo elástico quanto plástico do material;

Letra "c": perfeita! Exatamente isso, Coruja! A **ductilidade** corresponde a uma **medida** do **grau de deformação plástica** que o material consegue ter até a sua fratura;

Letra "d": errada. Não tem qualquer sentido essa alternativa. A deformação elástica está relacionada a ligações entre os átomos do material e não tem relação com o tamanho da peça ou relação inversa com sua tensão e deformação. Viagem total essa alternativa.

Gabarito: "c".



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.