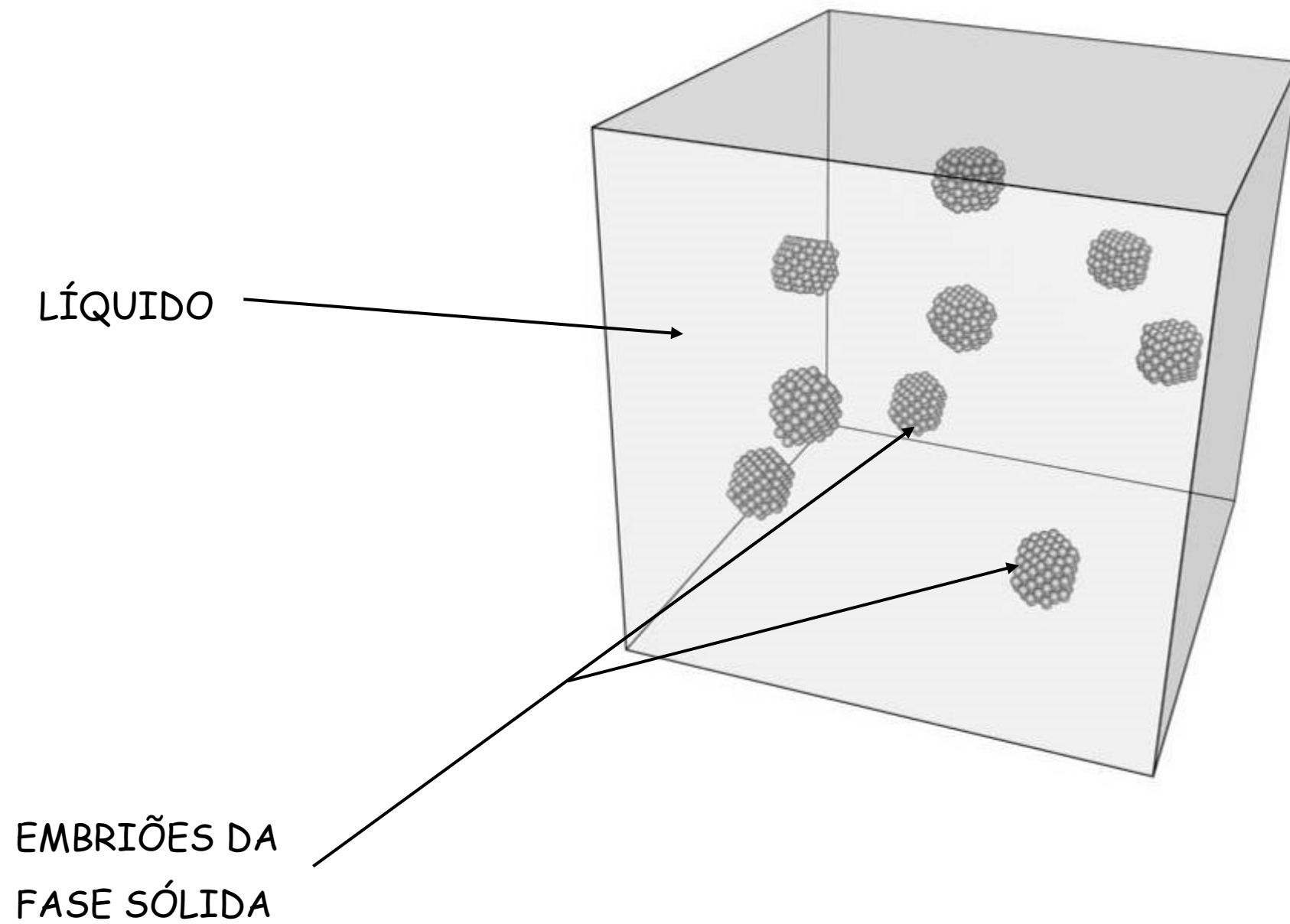


Introdução a Ciência e Engenharia dos Materiais - SMM0300

Microestrutura
Grão
Ligas Metálicas

Prof. Dr. Haroldo Cavalcanti Pinto
1º semestre 2019



Esses embriões, com a evolução da transformação, são transformados em núcleos da nova fase, como mostra a figura 4.17

Na etapa de **nucleação**, os núcleos surgem de forma aleatória, cada um com orientação cristalográfica própria, porém, em um mesmo núcleo, seus átomos têm a mesma orientação cristalográfica e assim se define tal região como grão cristalino.

Na fase seguinte à nucleação, denominada de **crescimento**, esses núcleos crescem e entram em contato com seus núcleos vizinhos, formando nesses pontos de contato uma região conhecida como “contorno de grão”.
Devidos ao caráter tridimensional da estrutura atômica, o contato dos vários grãos com diferentes orientações gera superfícies de contornos de grão.

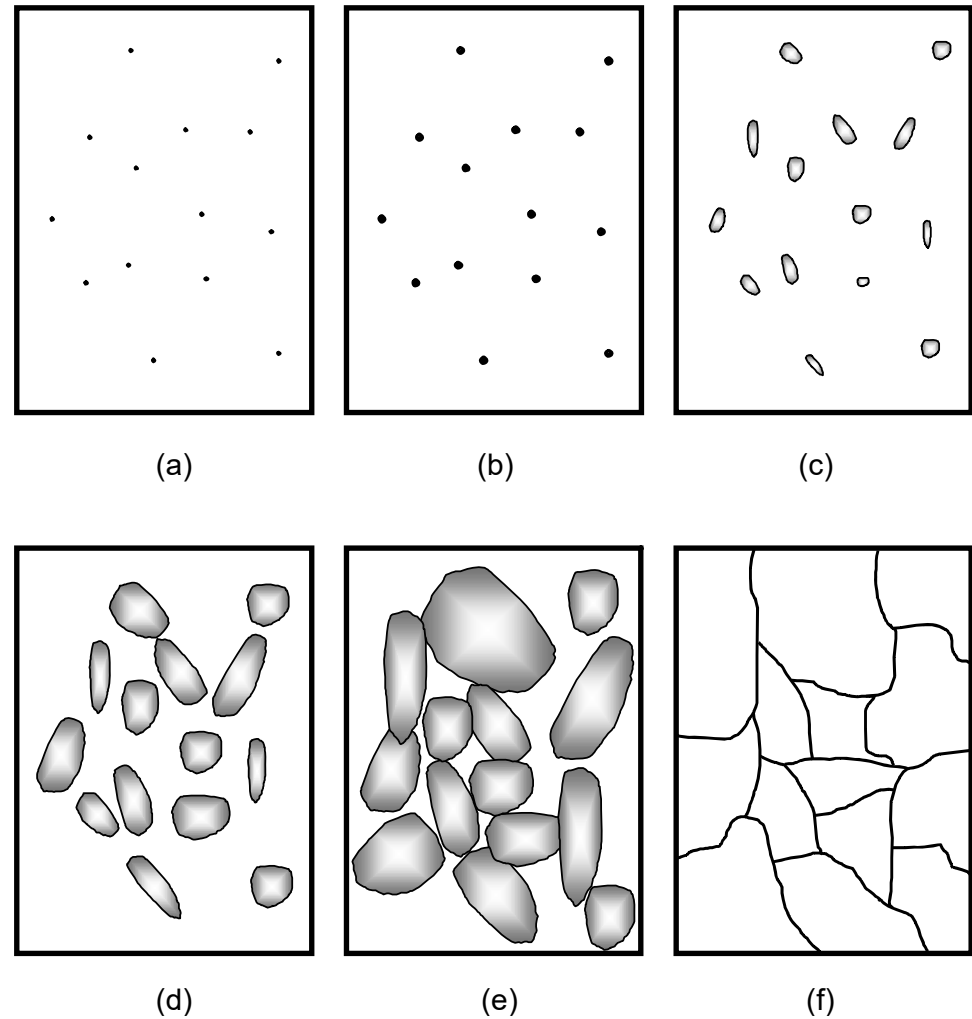
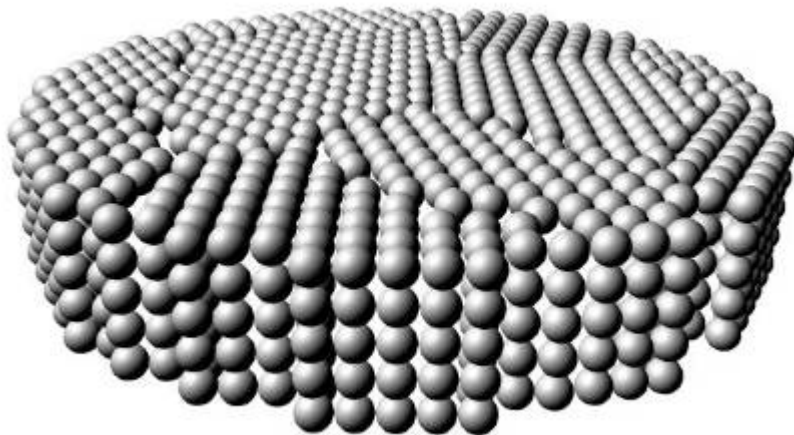


Figura 4.17. Formação de um material policristalino:
(a) Presença de embriões;
(b) Embriões transformam-se em núcleos;
(c) Crescimento dos núcleos;
(d) Núcleos dão origem aos grãos cristalinos;
(e) Encontro dos grãos cristalinos com seus vizinhos e
(f) Contornos dos grãos cristalinos.



Em um estudo metalográfico são utilizados reagentes químicos para se revelar o contorno de grão.

Os átomos de um contorno de grão estão ligados a seus vizinhos de forma menos intensa que os átomos localizados no interior do grão cristalino. Tal fato permite que a região dos contornos de grão sofra mais intensamente a ação de reagentes químicos.

Isso permite revelar os contornos, pois é mais fácil reagir átomos dessa região em comparação com átomos do interior do grão. Dessa maneira, a região do contorno de grão aparece mais escura no microscópio devido à capacidade menor de refletir a luz em comparação com regiões onde a reação química não foi intensa, como mostra a figura 4.20.

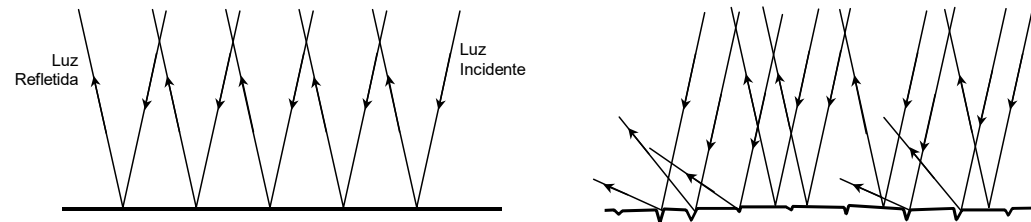
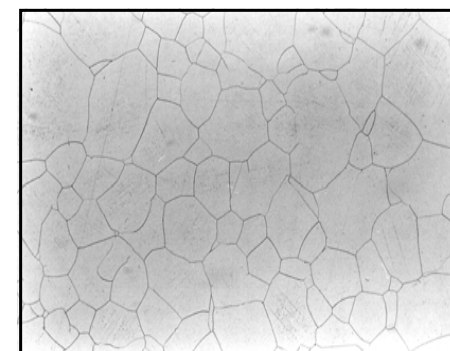
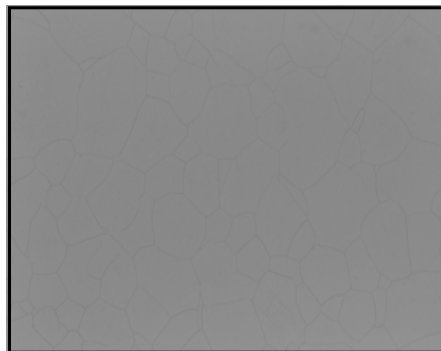


Figura 4.20.

(a) Amostra só polida e

(b) atacada quimicamente.

A região do contorno de grão aparece mais escura no microscópio devido à menor capacidade de reflexão de luz da mesma.



Microestrutura Bruta de Solidificação



Figura 4.2 – Zonas de cristalização em um lingote fundido. a) representação esquemática das três zonas; b) Crescimento colunar exagerado dos grãos em Zinco puro . Aumento: 2X (S. Riedel)

Refinamento Microestrutural por Conformação Mecânica

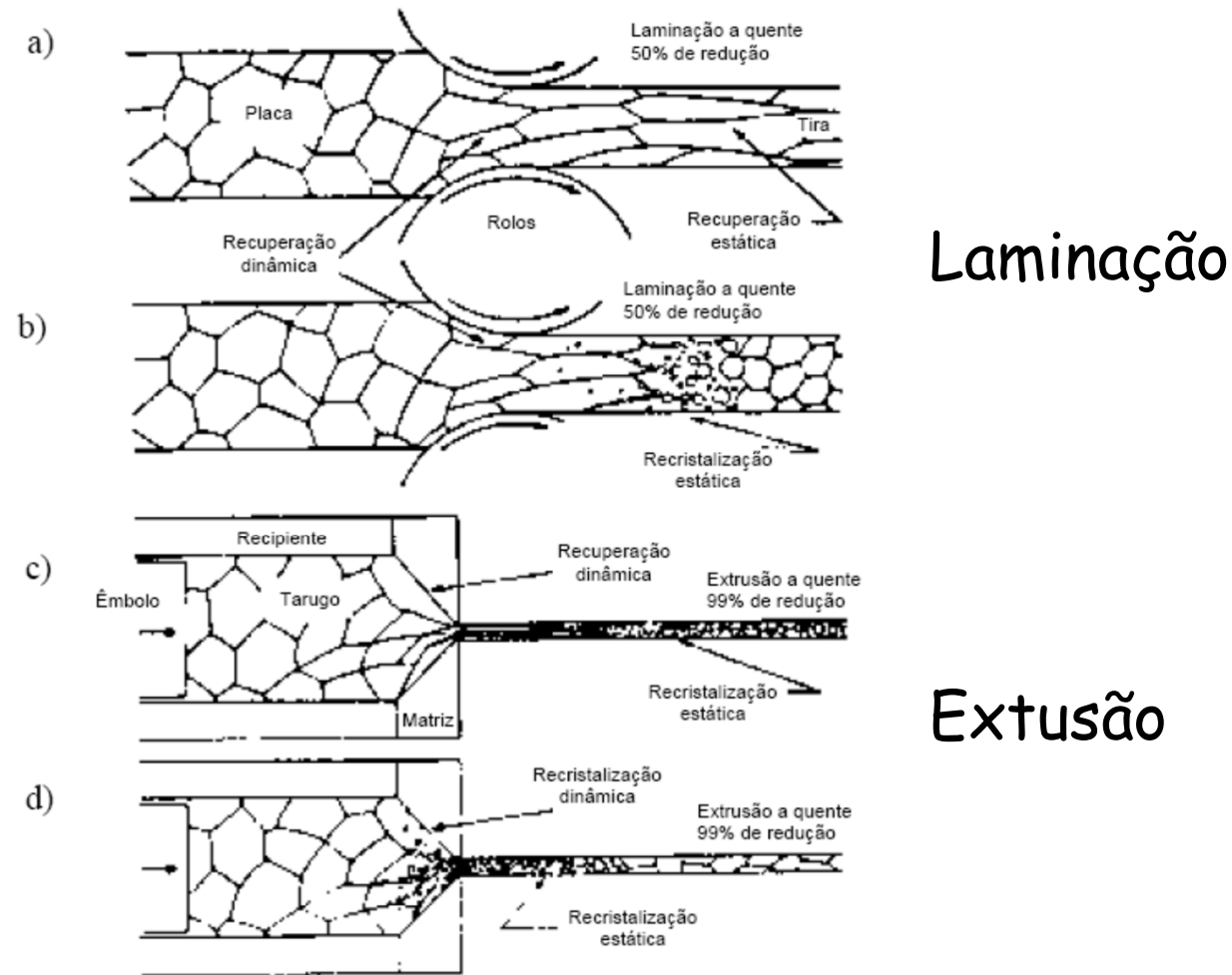
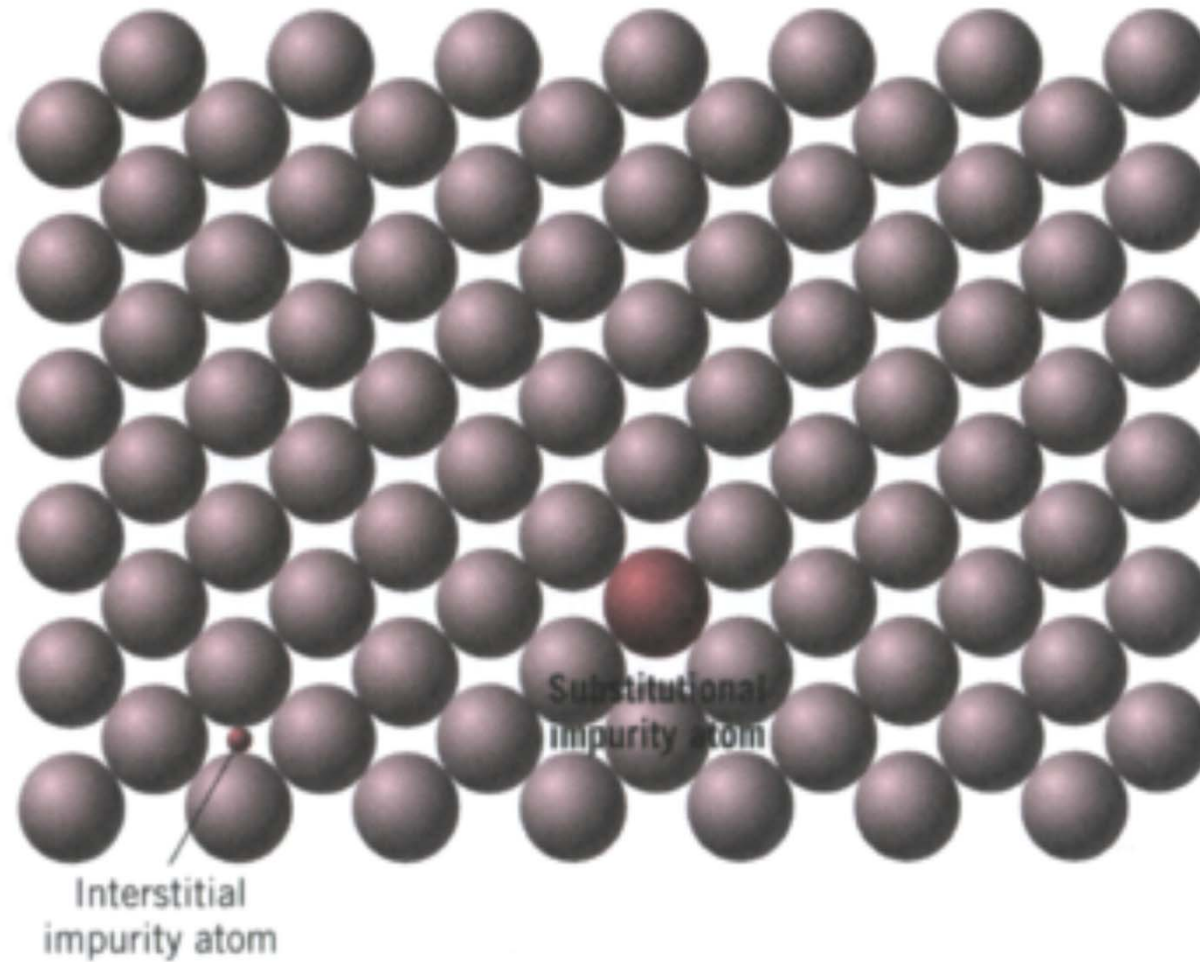


Figura 5.2 - Comparação dos processos envolvidos no recozimento estático e dinâmico.

Soluções Sólidas

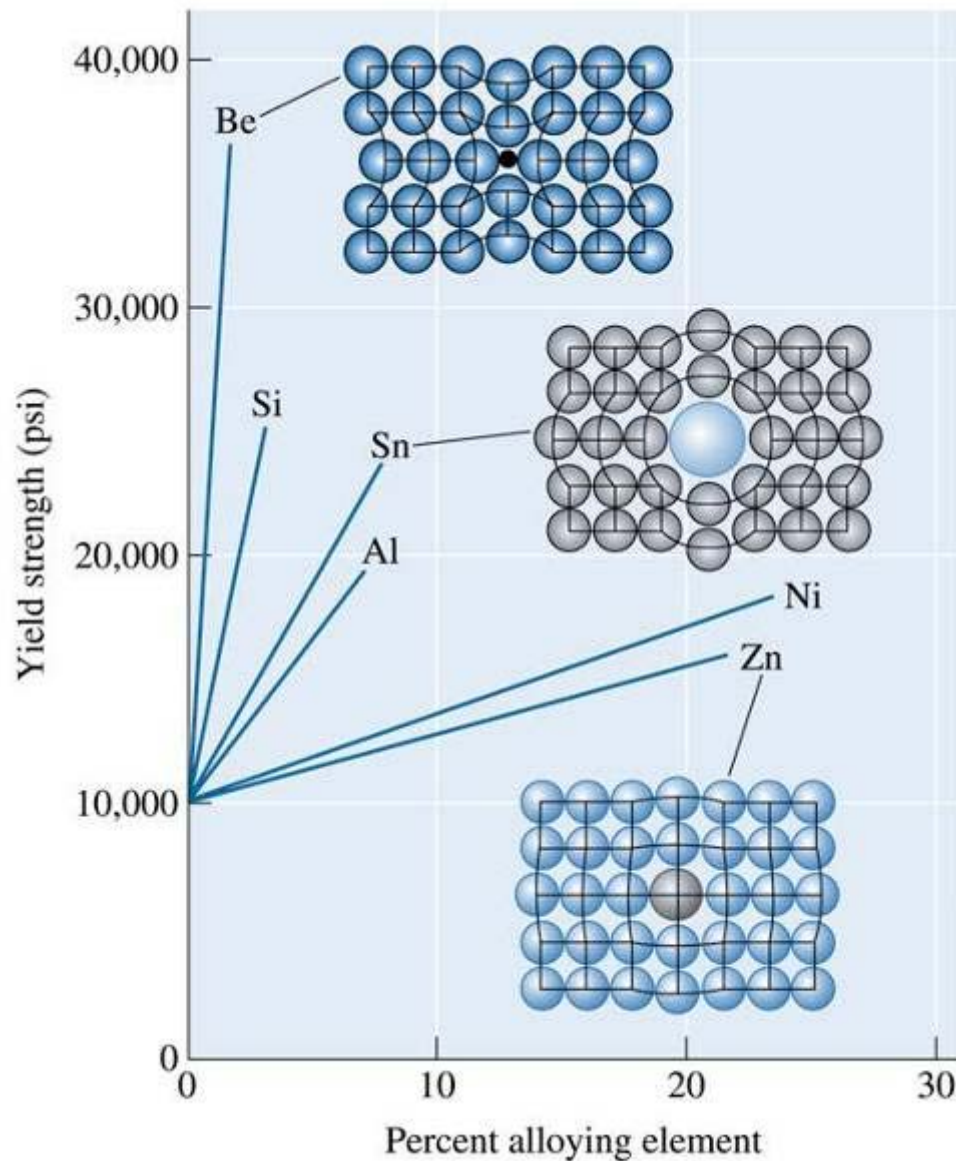
- A maior parte dos metais de engenharia é combinada com outros metais ou não-metais, de modo a proporcionar maior resistência mecânica, maior resistência à corrosão ou outras propriedades desejadas.
- **Solução sólida é um sólido constituído por dois ou mais elementos dispersos atômicamente numa única fase. Geralmente há dois tipos de soluções sólidas: substitucionais e intersticiais.**



Representação bi-dimensional de átomos substitucionais e intersticiais.

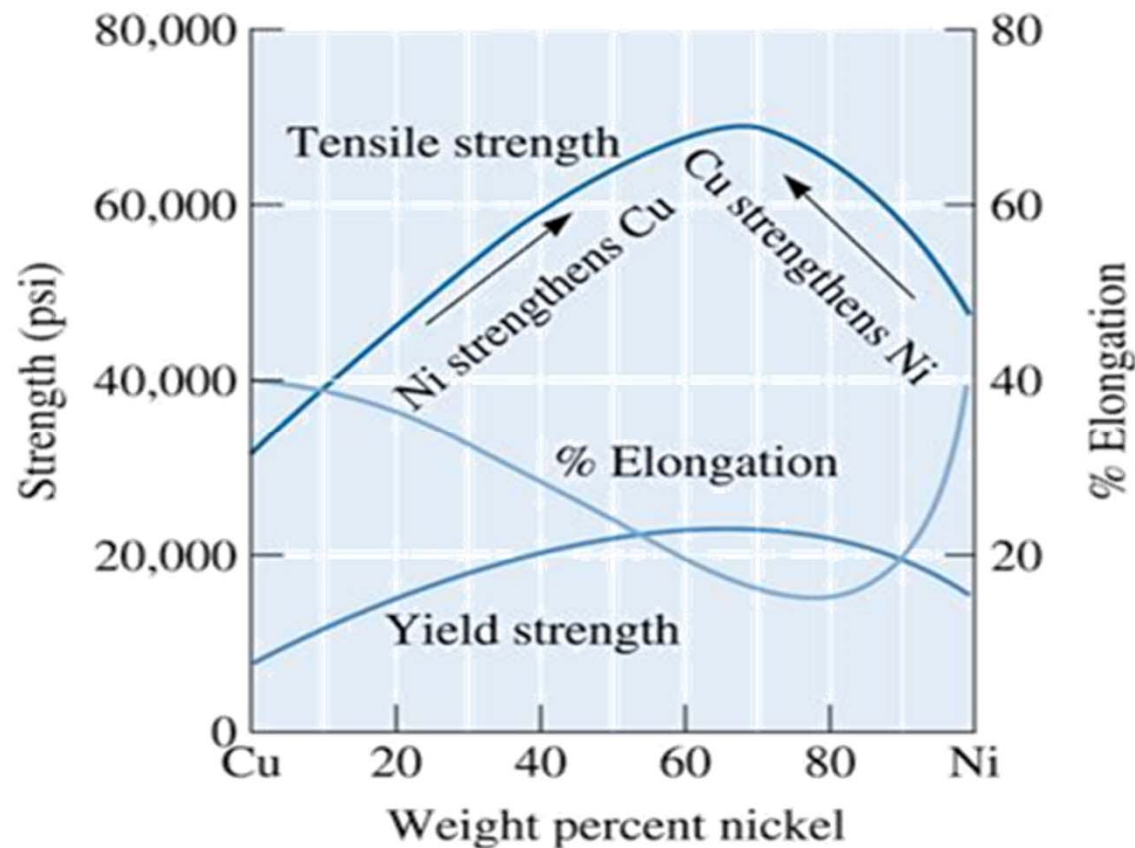
Fortalecimento por Solução Sólida

- A adição de um ou mais elementos a um metal pode provocar o aumento da resistência deste devido à formação de uma solução sólida.
- Quando os átomos substitucionais (soluto) se misturam, no estado sólido, com átomos de outro metal (solvente), criam-se campos de tensão em torno dos átomos de soluto. Estes campos dificultam os deslocamentos, tornando a solução sólida mais resistente que o metal puro.



Efeito de vários elementos de liga no limite de elasticidade do cobre. **Quanto maior a diferença entre o tamanho atômico dos elementos, maior o fortalecimento por solução sólida.**

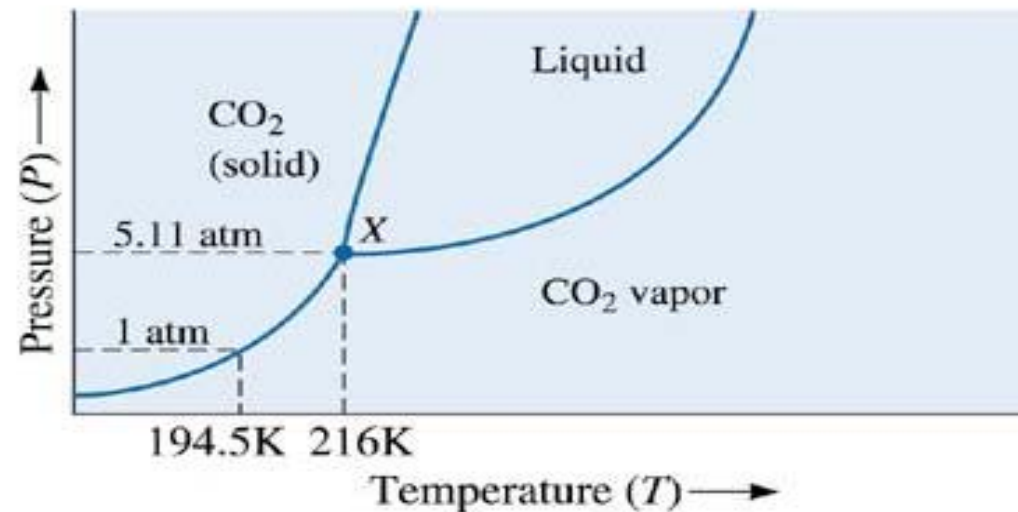
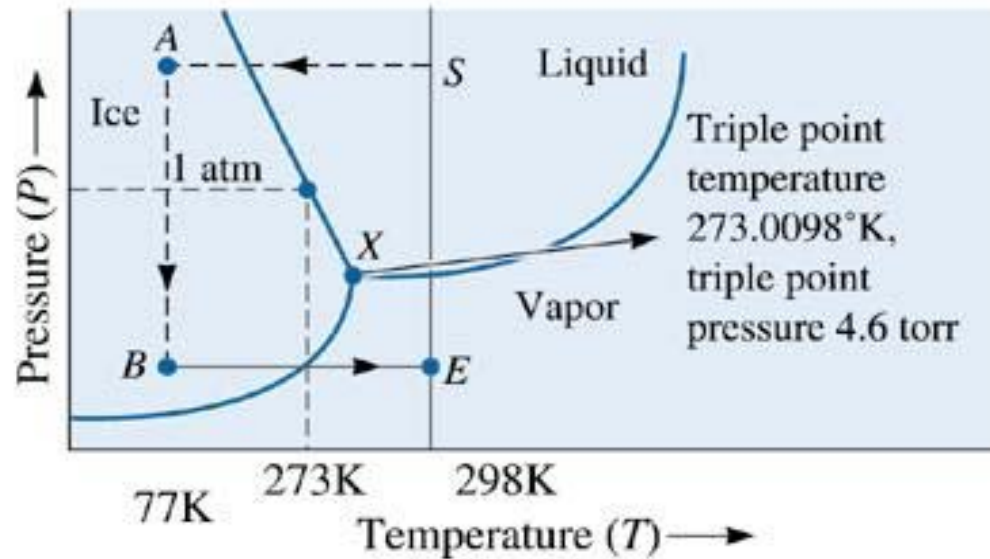
Relação entre Propriedades Mecânica e Teor de Elementos de Liga

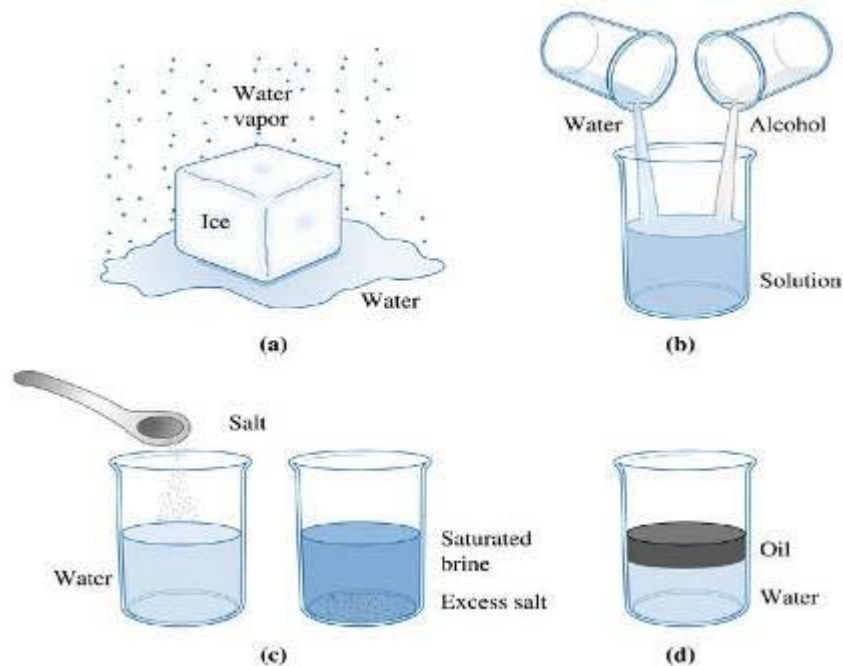


Propriedades mecânicas das ligas cobre-níquel. O cobre é fortalecido por até 60% de Ni, e o níquel é fortalecido por até 40% de Cu.

- **Fase:** Uma fase pode ser definida como uma porção homogênea de um sistema que possui características físicas e químicas uniformes. Se mais de uma fase estiver presente em um sistema, cada fase terá suas próprias propriedades individuais, e existirá uma fronteira separando as fases, da qual haverá uma mudança descontínua e abrupta nas características físicas e / ou químicas.
- **Solubilidade:** quantidade de um material que é completamente dissolvido em outro sem formar uma segunda fase.

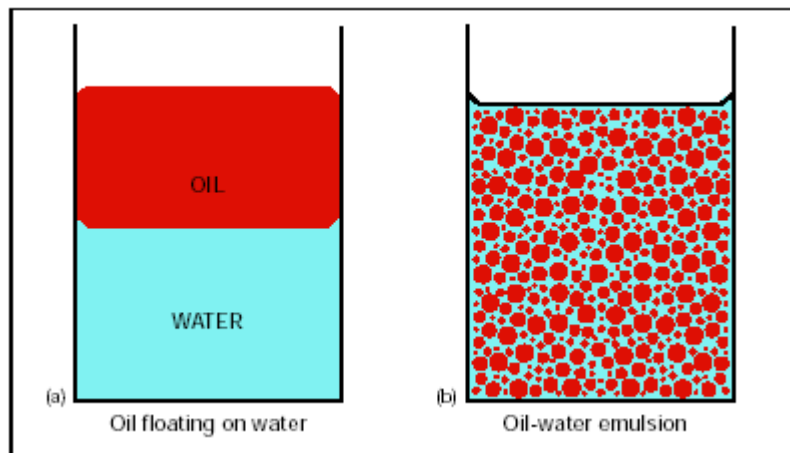
Influência da Temperatura e da Pressão no Equilíbrio de Fases





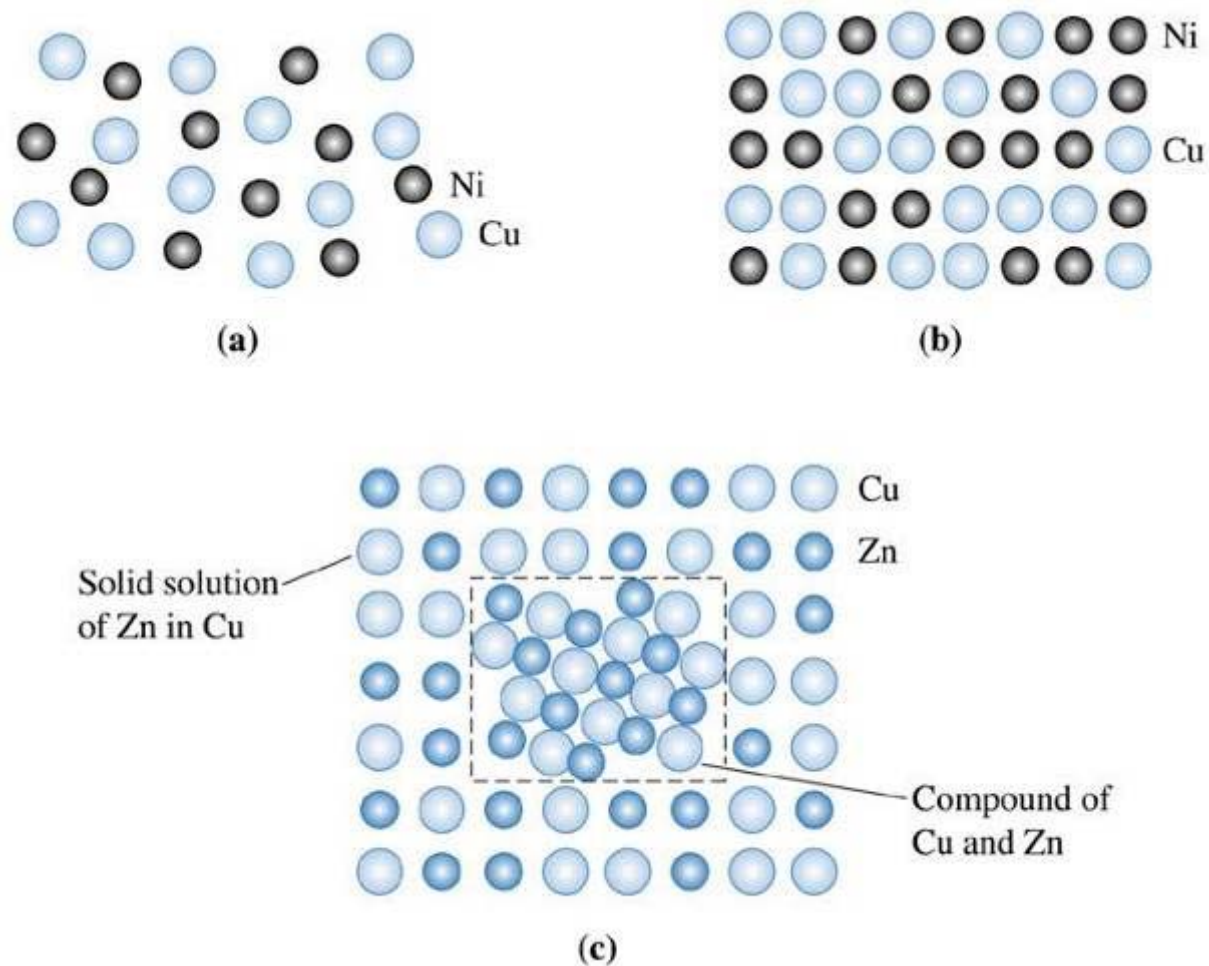
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[®] is a trademark used herein under license.

Fases e solubilidade: (a) 3 estados da água - gasoso, líquido e sólido - são cada um uma fase. (b) Água e álcool têm solubilidade total. (c) Água e sal têm solubilidade parcial. (d) Óleo e água que virtualmente não se misturam

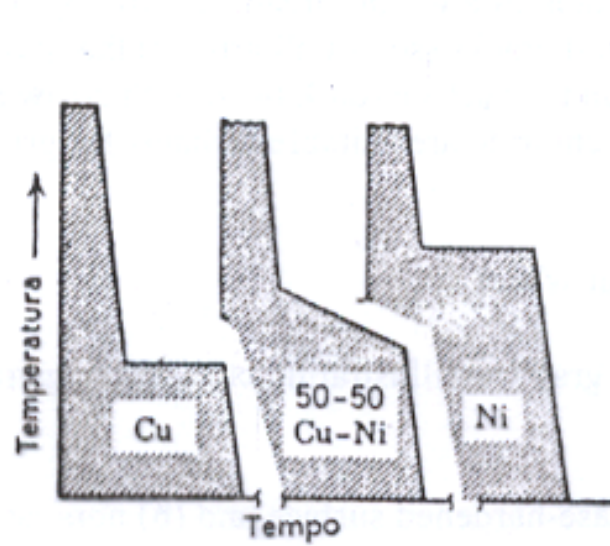


Duas fases em equilíbrio (a) óleo flutuando em água (b) emulsão de água-óleo. Ambos possuem as mesmas fases mas (a) possui uma microestrutura diferente de (b)

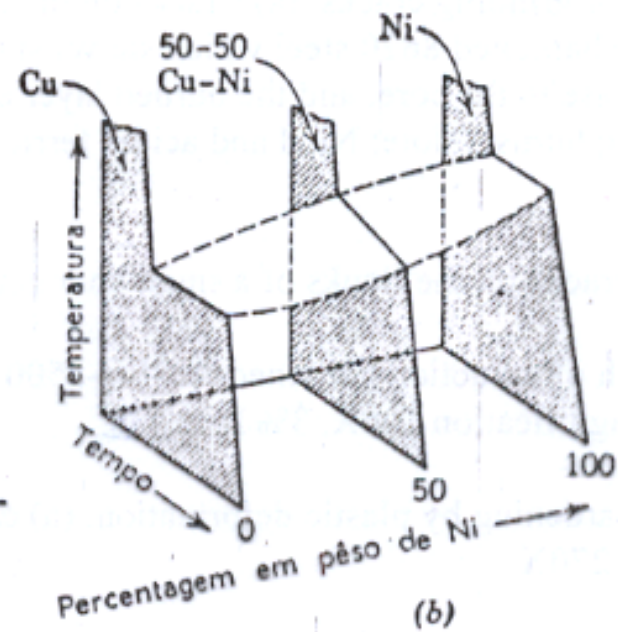
- **Limite de solubilidade:** máxima concentração de um soluto que pode ser adicionado sem formar uma nova fase.
- **Equilíbrio de fases:** estado de um sistema onde as características de fases permanecem constantes por um período indefinido de tempo. No equilíbrio a energia livre é mínima.



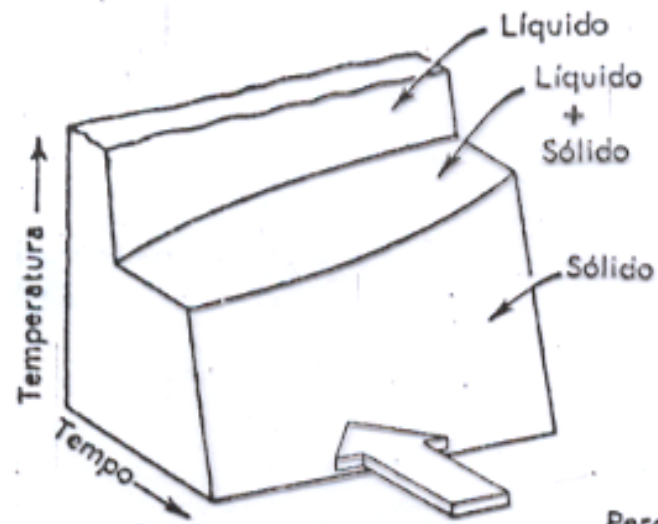
(a) Níquel e cobre no estado líquido são completamente solúveis. (b) Ligas sólidas de cobre e níquel exibem solubilidade sólida completa com átomos de cobre e níquel ocupando posições aleatórias no reticulado. (c) Em ligas de zinco e cobre com mais de 30% de Zn há a formação de uma segunda fase devido ao limite de solubilidade do zinco no cobre.



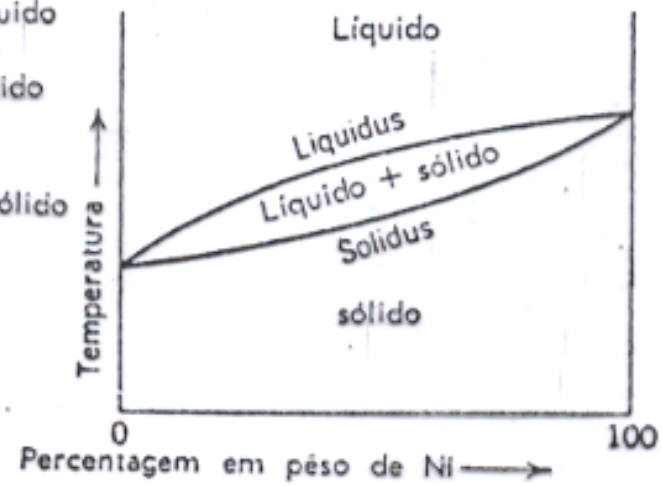
(a)



(b)



(c)



(d)

Diagramas de Fase

- São representações gráficas que indicam, para diferentes temperaturas, pressão e composições, quais as fases presentes em um material. Eles são construídos admitindo condições de equilíbrio (resfriamento lento), e a partir dele se obtém as seguintes informações:
 - Quais as fases presentes para diferentes composições e temperaturas
 - Em condições de equilíbrio, qual a solubilidade no estado sólido de um elemento em outro.
 - Qual a temperatura em que uma liga começa a solidificar, e o intervalo de temperaturas em que isto ocorre.
 - A temperatura em que as diferentes fases começam a fundir.

Diagramas de Fase

- Muitas das informações sobre o controle da microestrutura ou da estrutura de fases de um sistema de ligas são mostrados no chamado diagrama de fases.
- Diagramas de fases são úteis para prever as transformações de fases e as microestruturas resultantes.
- Representam as relações entre a temperatura e as composições, e as quantidades de cada fase em condições de equilíbrio.

Regras de Hume-Rothery

- Para que dois elementos tenham solubilidade total no estado sólido, têm de verificar uma ou mais das seguintes condições:
 - A estrutura cristalina dos dois elementos da solução sólida deve ser a mesma.
 - Os tamanhos dos átomos de cada um dos dois elementos não devem diferir mais do 15%.
 - Os elementos não devem formar compostos, isto, é as eletronegatividades dos dois não devem ser consideravelmente diferentes.
 - Os elementos devem ter a mesma valência.

Sistemas Binários Isomorfos

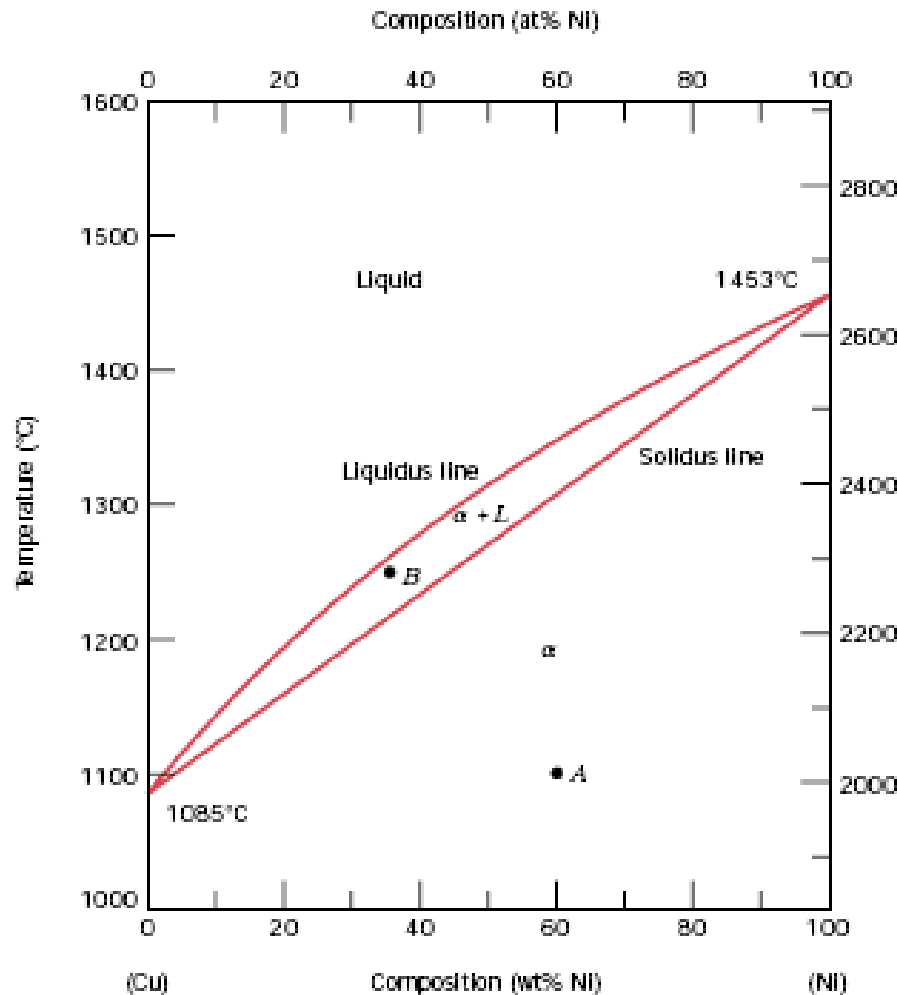


Diagrama de fases cobre-níquel. São designados isomorfos porque os dois elementos são completamente solúveis um no outro, quer no estado líquido, quer no estado sólido. A região acima da linha superior do diagrama, *liquidus*, corresponde à região de estabilidade da fase líquida, e a região abaixo da linha inferior, *solidus*, é a região de estabilidade da fase sólida. A área entre as duas linhas representa uma região bifásica, na qual coexistem as fases líquida e sólida.