

Diagramas de Equilíbrio

Regra da Alavanca

Augusto Camara Neiva

Escola Politécnica da USP



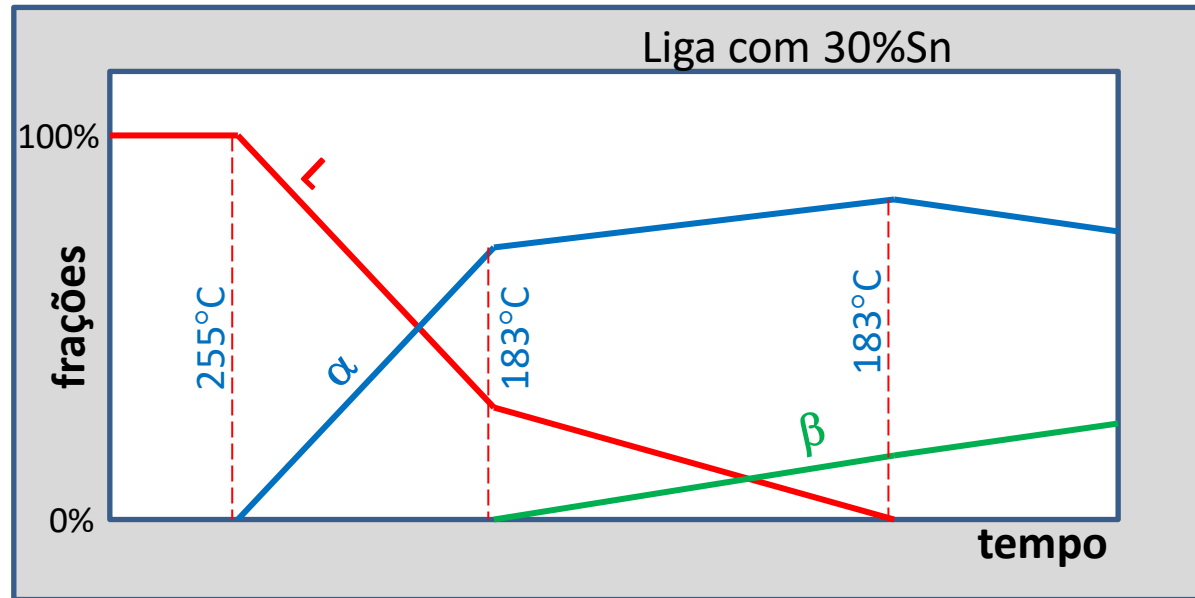
PROPOSITAMENTE, DISCUTIMOS A REGRA DA ALAVANCA EM UMA APRESENTAÇÃO SEPARADA, PARA RELEMBRAR QUE ELA É INDEPENDENTE DO DIAGRAMA DE FASES, OU DA TERMODINÂMICA.

ELA CORRESPONDE A UM SIMPLES BALANÇO DE MASSA, OU DE ÁTOMOS, OU DE QUALQUER GRANDEZA EXTENSIVA.

ELA SEMPRE É OBEDECIDA (A MENOS QUE HAJA CRIAÇÃO OU DESTRUIÇÃO DE MATÉRIA), QUER O SISTEMA ESTEJA EM EQUILÍBRIO, QUER NÃO ESTEJA.

REGRA DA ALAVANCA

A Regra da Alavanca é uma ferramenta matemática simples que podemos utilizar para cálculos envolvendo composições e frações de fases. Nós já vimos um exemplo qualitativo da variação das frações de três fases (líquido, α e β) ao longo da solidificação de uma liga Pb-Sn com 30%Sn em massa:



Com a Regra da Alavanca, estas frações podem ser calculadas quantitativamente em cada temperatura, com base nas seguintes informações:

- composição média da liga
- composição de duas fases (não necessariamente em equilíbrio)

Com informações corretas, a Regra da Alavanca é sempre obedecida, pois ela corresponde simplesmente a um balanço de massa ou de átomos em um sistema fechado. Ela nada tem a ver com Termodinâmica.



Regra da alavanca

A 

B 

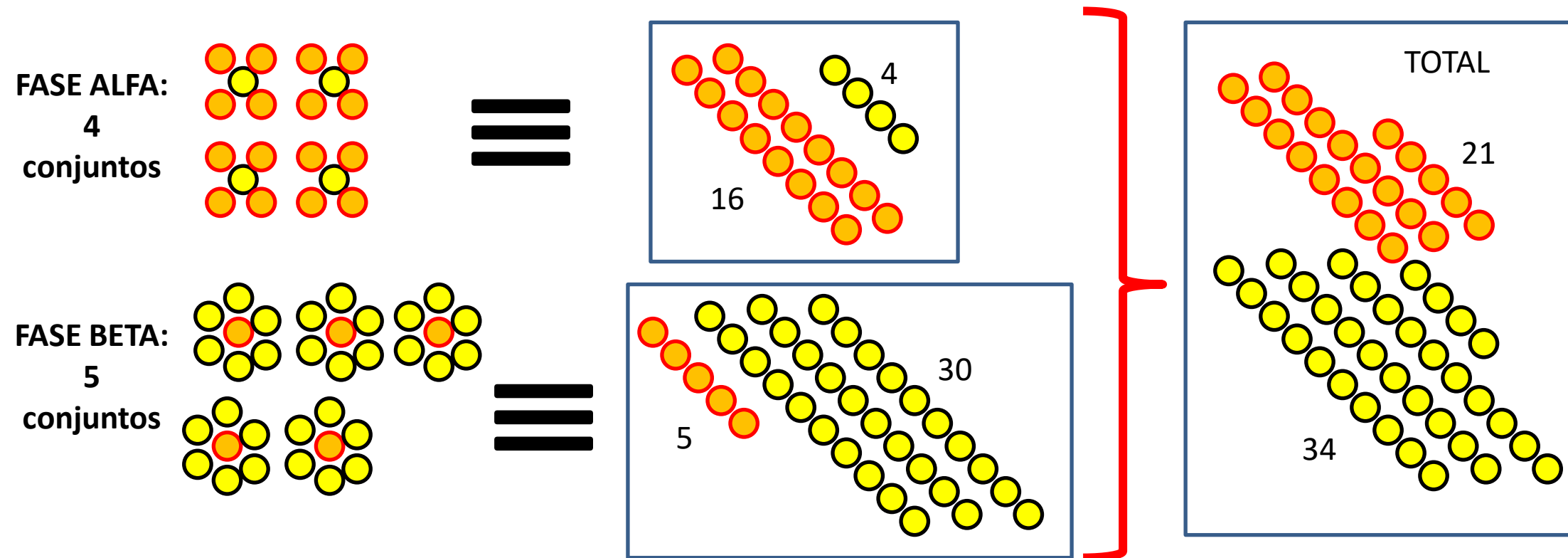
Composição da fase alfa = $4/(4+16) = 20,0\%$ B (e 80,0% A)

Composição da fase beta = $30/(30+5) = 86,7\%$ B (e 13,3% A)

Composição média = $(4+30)/(4+16+30+5) = 61,8\%$ B (e 38,2% A)

Fração da fase alfa = $(4+16)/(4+16+30+5) = 36,4\%$

Fração da fase beta = $(30+5)/(4+16+30+5) = 63,6\%$



Regra da alavanca

A 

B 

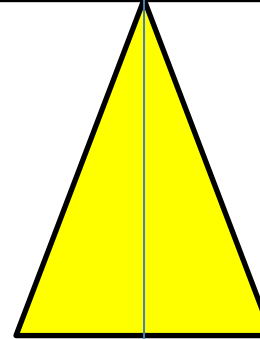
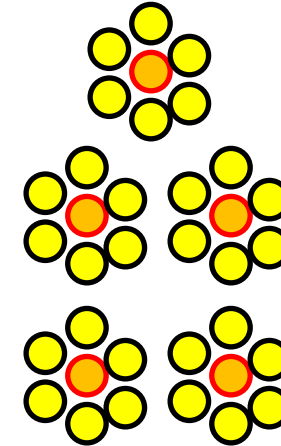
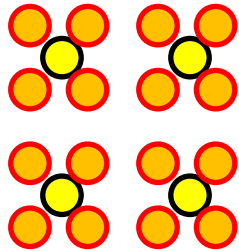
Composição da fase alfa = $4/(4+16) = 20,0\%$ B (e $80,0\%$ A)

Composição da fase beta = $30/(30+5) = 86,7\%$ B (e $13,3\%$ A)

Composição média = $(4+30)/(4+16+30+5) = 61,8\%$ B (e $38,2\%$ A)

“peso” = 35

“peso” = 20



0%B 20,0%B 61,8%B 86,7%B 100%B



41,8

24,9



66,7



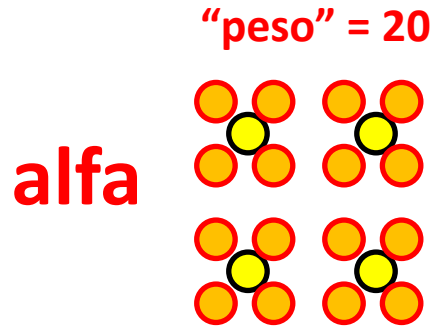
Regra da alavanca

A  B 

Composição da fase alfa = $4/(4+16) = 20,0\% B$ (e $80,0\% A$)

Composição da fase beta = $30/(30+5) = 86,7\% B$ (e $13,3\% A$)

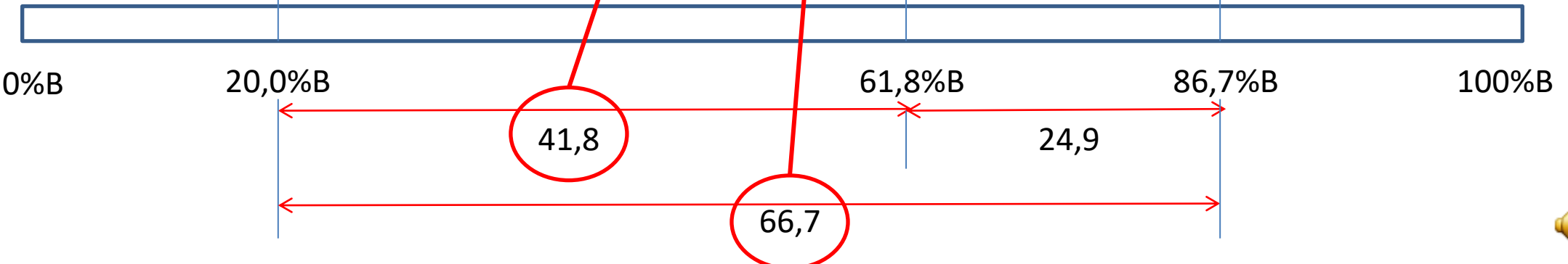
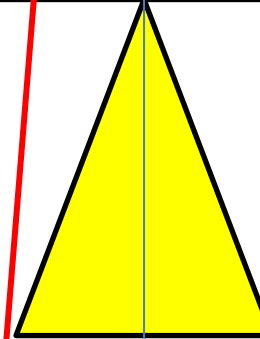
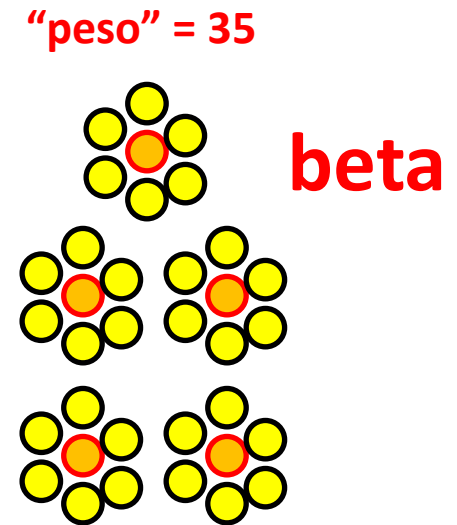
Composição média = $(4+30)/(4+16+30+5) = 61,8\% B$ (e $38,2\% A$)




REGRA DA ALAVANCA:

Fração de alfa = $24,9 / 66,7 = 36,4\%$

Fração de beta = $41,8 / 66,7 = 63,6\%$



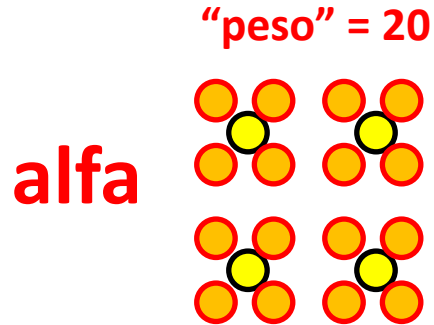
Regra da alavanca

A  B 

Composição da fase alfa = $4/(4+16) = 20,0\% B$ (e $80,0\% A$)

Composição da fase beta = $30/(30+5) = 86,7\% B$ (e $13,3\% A$)

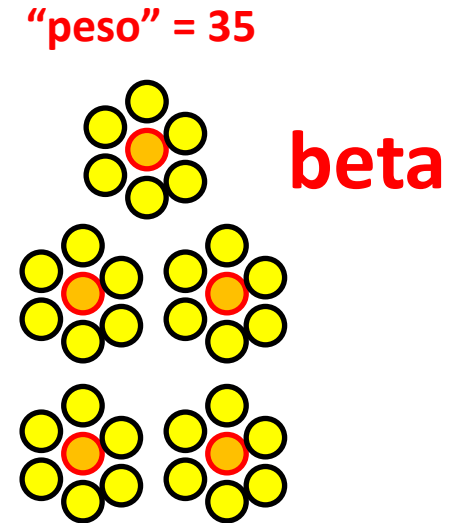
Composição média = $(4+30)/(4+16+30+5) = 61,8\% B$ (e $38,2\% A$)



REGRA DA ALAVANCA:

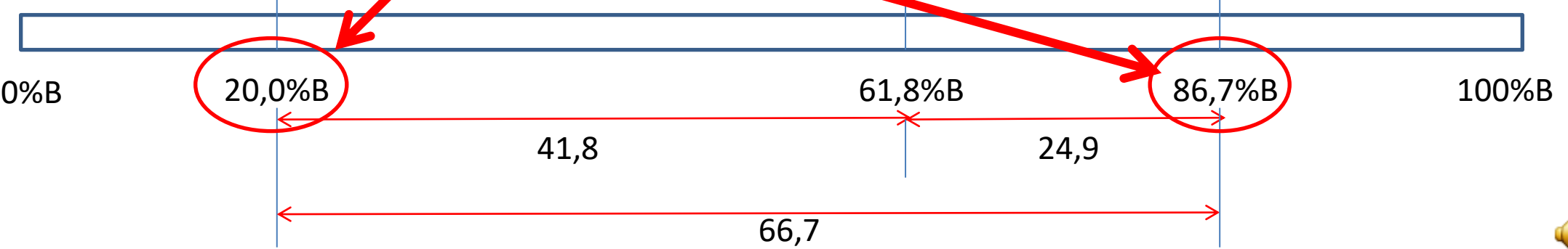
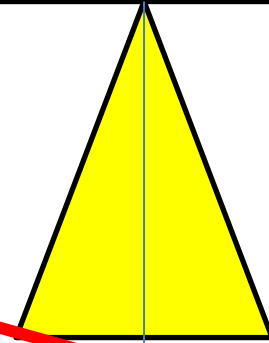
Fração de alfa = $24,9 / 66,7 = 36,4\%$

Fração de beta = $41,8 / 66,7 = 63,6\%$



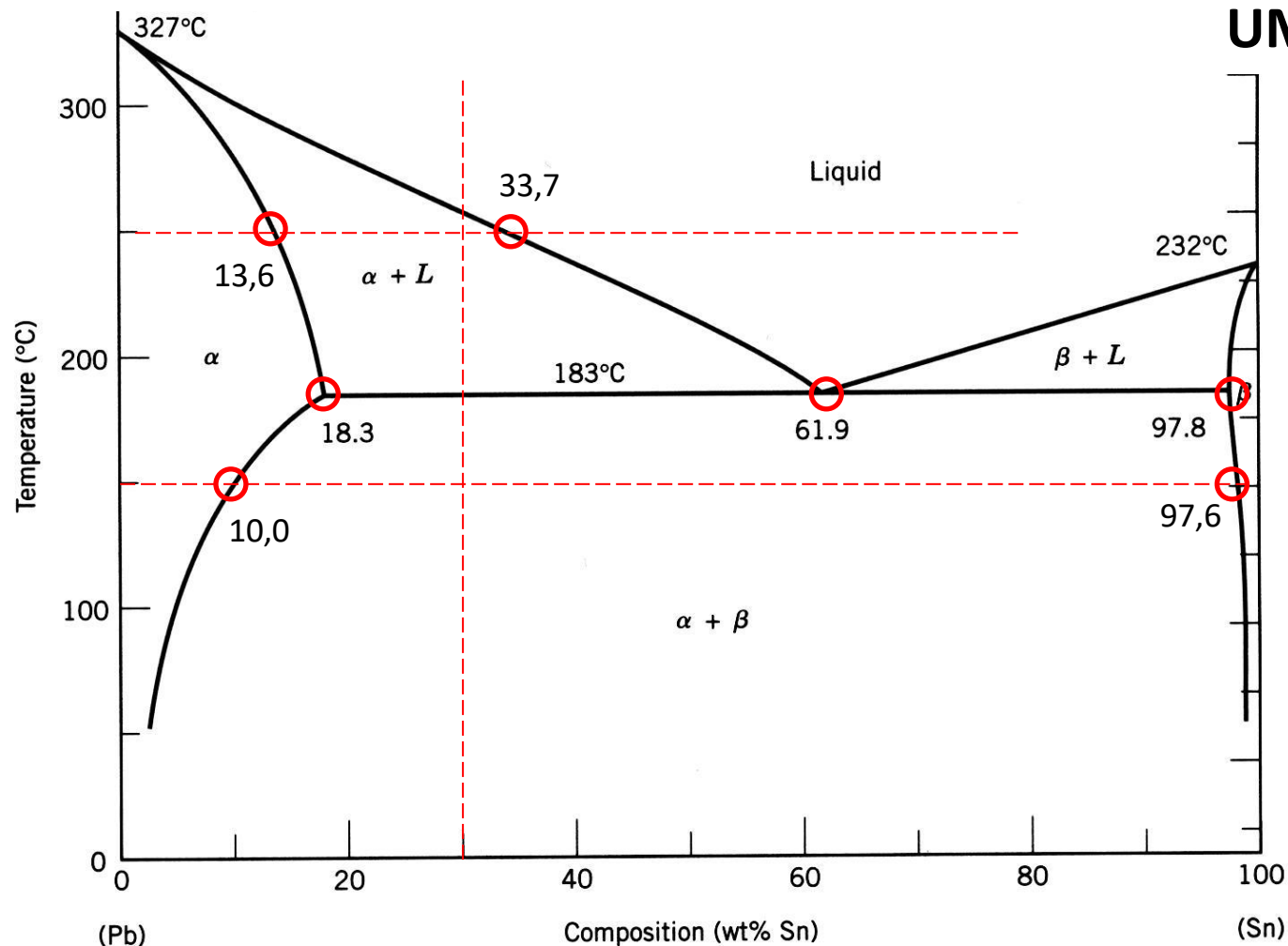
**ESTAS
COMPOSIÇÕES
NÃO PRECISAM SER
DE EQUILÍBRIO**

**OBSERVEM: NÃO
UTILIZAMOS
QUALQUER
TERMODINÂMICA**



APLIQUEMOS A REGRA DA ALAVANCA EM TRÊS TEMPERATURAS, PARA

UMA LIGA COM 30%Sn EM MASSA



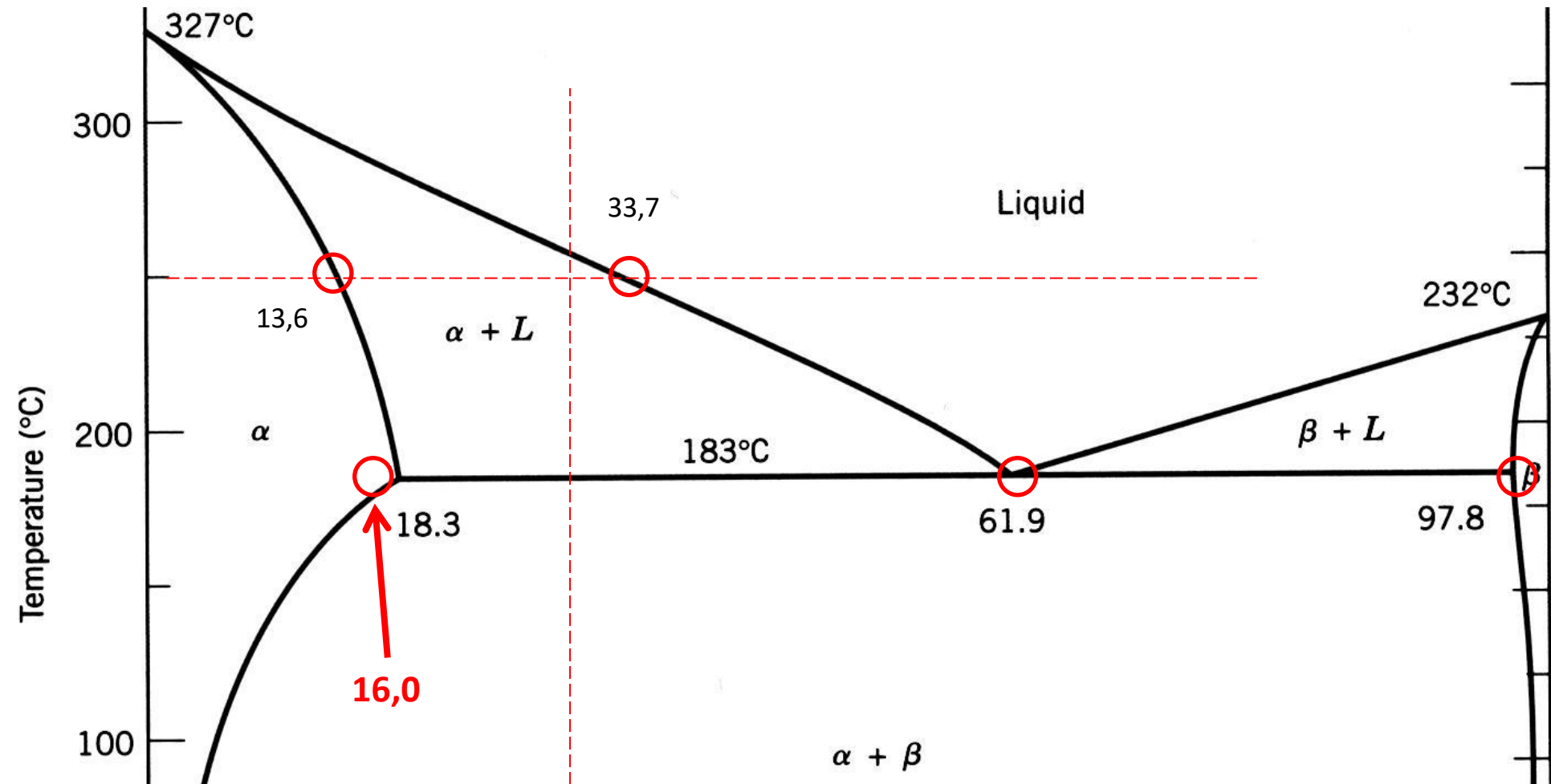
A 183°C, consideraremos “início” a situação de chegada a esta temperatura eutética em um processo de solidificação. Ou seja, tem-se apenas α e líquido.

No final da reação eutética, tem-se apenas α e β .

temperatura	numerador de α	denominador	fração α	fração L	fração β
250°C	33,7 – 30,0	33,7 – 13,6	18,4%	100,0-18,4=81,6%	–
183°C início	61,9 – 30,0	61,9 – 18,3	73,3%	100,0-73,3=26,8%	–
183°C final	97,8 – 30,0	97,3 – 18,3	85,3%	–	100,0-85,3=14,7%
150°C	97,6 – 30,0	97,6 – 10,0	77,1%	–	100,0-77,1=22,9%



E SE A FASE ALFA PRIMÁRIA TIVESSE, AO CHEGAR A 183°C, UM TEOR MÉDIO DE ESTANHO MENOR QUE O DE EQUILÍBRIO?



temperatura	numerador de α	denominador	fração α	fração L	fração β
250°C	33,7 – 30,0	33,7 – 13,6	18,4%	100,0-18,4=81,6%	–
183°C início	61,9 – 30,0	61,9 – 16,0	69,5%	100,0- 69,5 = 30,5%	–

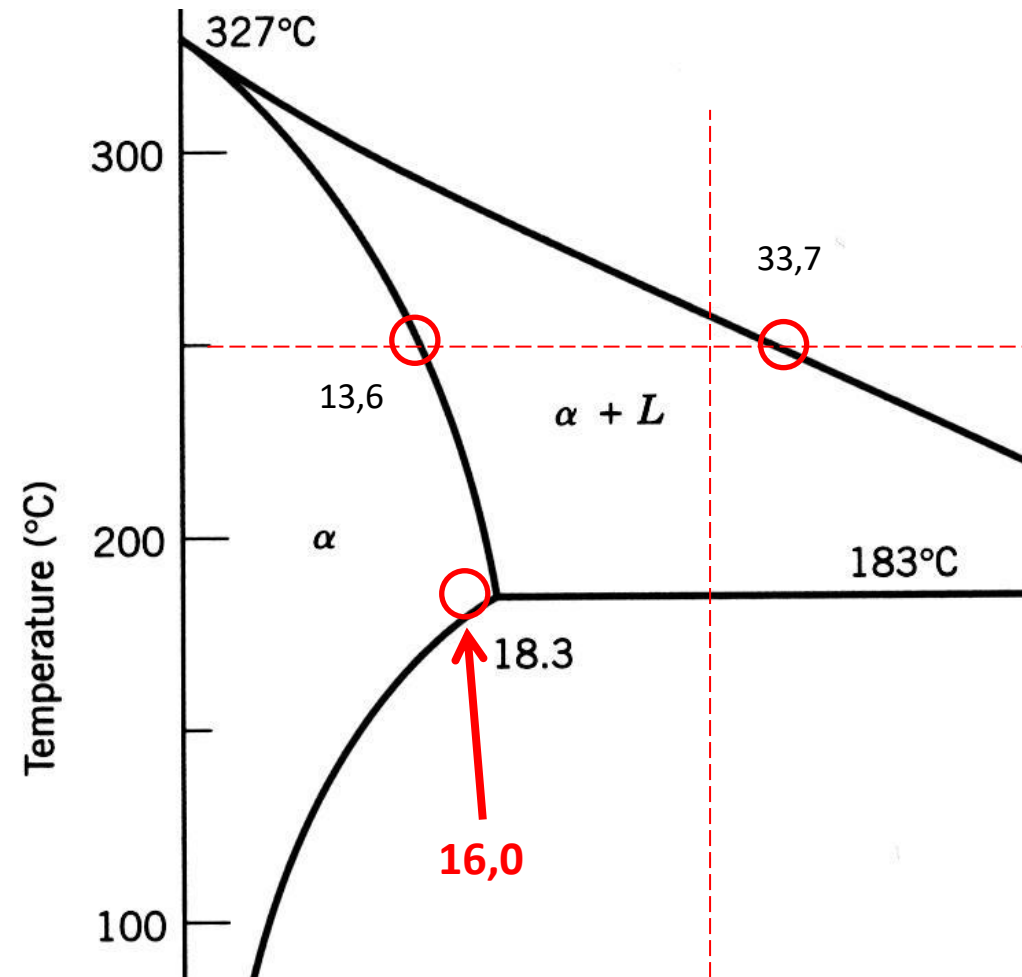
(Pb)

Composition (wt% Sn)

(Sn)



E SE A FASE ALFA PRIMÁRIA TIVESSE, AO CHEGAR A 183°C, UM TEOR MÉDIO DE ESTANHO MENOR QUE O DE EQUILÍBRIO?



Esta situação, que não “obedece” ao diagrama, é muito usual e é discutida em outra apresentação. A reação eutética subsequente pode ocorrer no equilíbrio. A regra da alavanca é calculada com base nos valores reais (médios) e não com base no diagrama.

temperatura	numerador de α	denominador	fração α	fração L	fração β
250°C	33,7 – 30,0	33,7 – 13,6	18,4%	100,0-18,4=81,6%	–
183°C início	61,9 – 30,0	61,9 – 16,0	69,5%	100,0- 69,5 = 30,5%	–
183°C final	97,8 – 30,0	97,3 – 18,3	85,3%	–	100,0-85,3=14,7%
150°C	97,6 – 30,0	97,6 – 10,0	77,1%	–	100,0-77,1=22,9%

(Pb)

Composition (wt% Sn)

(Sn)



FIM

