

Maquete do sistema ternário Nb-Cr-B como um produto didático de apoio ao ensino do tema Diagrama de Fases

C.E. Rego^a, G.C. Coelho^{a,b}, A.A.A.P. Silva^b e M.I.S.T. Faria^{a,b}

^a Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, nº 1325, Três Poços, Volta Redonda, RJ, Brasil 27240-560.

^b Departamento de Engenharia de Materiais, DEMAR-EEL-USP, CP116, 12600-970, Lorena, SP, Brasil.

RESUMO

uma maquete tridimensional para o sistema ternário Nb-Cr-B foi desenvolvida visando a utilização de uma ferramenta didática para facilitar o estudo de diagramas de fases ternários e a necessidade de atender a demanda estabelecida para conclusão de cursos de mestrado profissional envolvendo a apresentação de um produto. O sistema Nb-Cr-B é o foco da dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Materiais do UniFOA intitulada “Contribuição ao Desenvolvimento de Materiais Estruturais para Aplicações em Altas Temperaturas: Avaliação Experimental das Relações de Fases do Sistema NB-Cr-B na Região Nb – Cr – CrB – Nb₃B₄”.

Esta maquete é constituída dos três subsistemas binários Nb-Cr, Nb-B e Cr-B, que permitem a construção do sistema ternário correspondente. Durante o desenvolvimento do trabalho de pesquisa do sistema ternário, foi identificada a necessidade de uma ferramenta tridimensional para facilitar o entendimento das relações de equilíbrio de fases deste sistema. A metodologia consistiu na reprodução dos subsistemas binários Nb-Cr, Nb-B e Cr-B em arame e fixação dos mesmos em uma base de acrílico contendo a representação gráfica do triângulo de Gibbs.

Palavras chave: produto, maquete, sistema ternário, diagrama de fases.

ABSTRACT

A three-dimensional scale model for the ternary system Nb-Cr-B was developed aiming its use as a teaching tool to facilitate the study of ternary phase diagrams and to accomplish the necessity to present a product as a condition to obtain the master degree in the Professional Master Course in Materials of Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA). The Nb-Cr-B system is the focus of the thesis entitled "Contribution to the development of structural materials for high temperature applications: experimental evaluation of the phase equilibria in the Nb-Cr-B system in the Nb – Cr – CrB – Nb₃B₄ region".

This scale model consists of three binary subsystems Nb-Cr, Nb-B and Cr-B, enabling the construction of the corresponding ternary system. During the development of the research work of the ternary system, the need for a tridimensional tool to facilitate understanding the equilibrium phase relations of this system was identified. The methodology consisted in reproducing the three binary subsystems using copper wires and fixing them in an acrylic base containing the graphical representation of the Gibbs triangle.

Keywords: product, scale model, ternary system, phase diagram.

INTRODUÇÃO

A complexidade envolvida no estudo de diagramas de fases de sistemas ternários demanda ferramentas didáticas que permitam facilitar o entendimento desses sistemas.

Diagrama de fase ou diagrama de equilíbrio é um diagrama bidimensional que representa o equilíbrio entre várias fases de substâncias constituintes de um sistema. São mapas que permitem prever a microestrutura de um material em função da temperatura e composição de cada componente. Fase é uma porção homogênea do material que tem propriedades físicas ou químicas uniformes.

A dificuldade para assimilação de conceitos associados a esses sistemas está particularmente ligada à necessidade de compreensão no campo tridimensional.

Quando é considerada a pressão constante, normalmente de 1 atm (101325 Pa), um sistema ternário é representado tridimensionalmente por um prisma cuja base é um triângulo equilátero, denominado triângulo de Gibbs, com lados correspondentes aos subsistemas binários e arestas correspondentes aos componentes puros.

Assim, uma maquete como um produto didático contribui para o objetivo de auxiliar a compreensão e aprendizado de conceitos relacionados a diagramas ternários, através da visualização tridimensional desse sistema.

Neste caso, foi desenvolvida uma maquete para o sistema Nb-Cr-B, sendo que informações experimentais relativas a esse sistema são praticamente inexistentes na literatura, tendo sido encontrado apenas um estudo referente à Investigação do sistema ternário Nb-Cr-B na isoterma de 1400 °C.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho envolveu basicamente as seguintes etapas: (i) definição de material adequado para produção das estruturas dos subsistemas binários; (ii) corte de pedaços de arame que formam cada uma das estruturas dos subsistemas binários (iii) solda dos pedaços de arame para reprodução dos subsistemas binários (iv) preparação de uma base de acrílico para representação do triângulo de Gibbs.

Após tentativa de emprego de diferentes materiais foi feita a opção pelo uso de arame de cobre.

Para montagem das estruturas foram utilizados como referências os binários Nb-Cr [2], Cr-B [3] e Nb-B [4] considerando a base das três estruturas na isoterma de 1000 °C, obedecendo a uma escala correspondente ao intervalo 0 a 100 % de concentração dos respectivos elementos puros situados em cada um dos vértices do triângulo de Gibbs.

O arame de cobre de dimensão 2 mm de diâmetro foi cortado, em escala apropriada, em diversos pedaços com auxílio de uma serra manual. Os seguimentos correspondentes a cada um dos subsistemas binários foram unidos por processo de soldagem com emprego de solda prata visando à reprodução em duas dimensões dos binários Nb-B, Cr-B e Nb-Cr. A solda prata é utilizada na união da maioria dos metais ferrosos e não-ferrosos, por ser feita a base de prata e cobre.

Para montagem da base de fixação das estruturas binárias foram preparados dois triângulos equiláteros, em acrílico incolor, obtidos através do corte de chapa de 7 mm de espessura. Os dois triângulos foram sobrepostos e fixados por três parafusos situados no ponto médio de cada um dos lados. Entre os dois triângulos, formando um sanduiche, foi colocado um gráfico de papel representando o triângulo de

Gibbs produzido por “Schleicher & Schuell, referência 3352 EINBECK Bestell Nr. 667751, Nr. 315 ½ made in Germany”

Coincidindo com cada um dos vértices do triângulo, representado no gráfico de papel, foram preparados dois pequenos furos, ligeiramente maiores que o diâmetro do arame de cobre, para permitir a fixação das estruturas dos subsistemas binários formando um conjunto em três dimensões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o diagrama de fases do sistema binário Nb-B [2], que foi a referência utilizada para a reprodução em arame conforme Figura 2, cuja base representa a isoterma de 1000 °C.

A Tabela 1 apresenta os dados das transformações invariantes do subsistema Cr-B segundo [2].

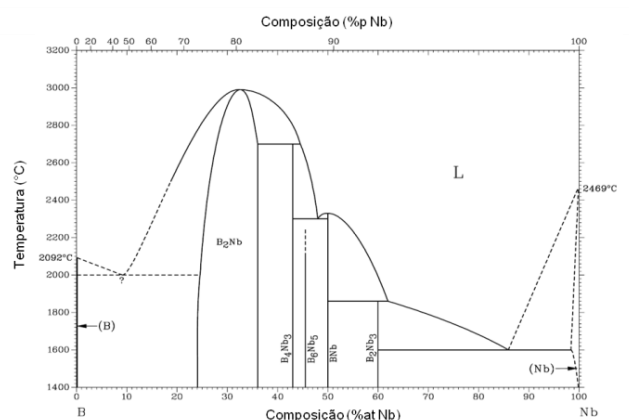


Figura 1 – Diagrama de fases do sistema binário Nb – B segundo [2].

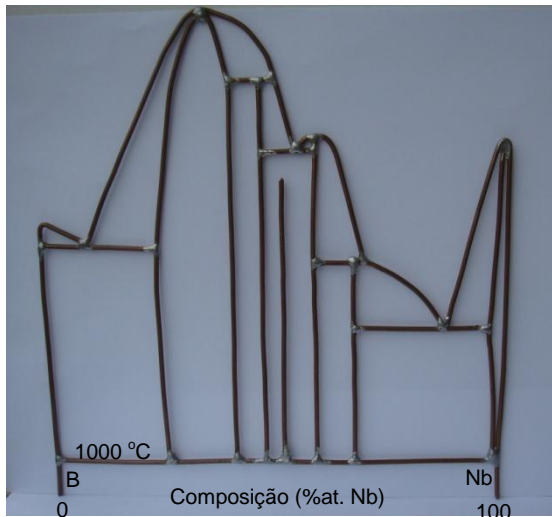


Figura 2 – Reprodução em arame do diagrama de fases do sistema binário Nb – B segundo [2].

Tabela 1 – Dados das transformações invariantes do sistema Nb-B [2].

Transformação	Composição do líquido (%at Nb)	Temperatura (°C)	Tipo de transformação
$L \leftrightarrow (\beta B)$	0,0	2092	Ponto de fusão
$L \leftrightarrow (\beta B) + NbB_2$	$\cong 9,0$	2000 ?	Eutética
$L \leftrightarrow NbB_2$	33,0	3000	Congruente
$L + NbB_2 \leftrightarrow Nb_3B_4$	42,8	2700	Peritética
$L + Nb_3B_4 \leftrightarrow Nb_5B_6$	45,5	2300 ?	Peritética
$L \leftrightarrow Nb_3B_4 + NbB$	48,0	2300	Eutética
$L \leftrightarrow NbB$	50,0	2350	Congruente
$L + NbB \leftrightarrow Nb_3B_2$	60,0	1850	Peritética
$L \leftrightarrow Nb_3B_2 + (Nb)$	60,0	1600	Eutética
$L \leftrightarrow (Nb)$	100,0	2469	Ponto de fusão

A Figura 3 apresenta o diagrama de fases do subsistema binário Nb-Cr [3], que foi utilizada como referência para a confecção em arame deste subsistema, conforme Figura 4. Da mesma forma que o subsistema Nb-B, a base desta reprodução representa a isoterma de 1000 °C.

A Tabela 2 apresenta os dados das transformações invariantes do subsistema Cr-Nb segundo [3].

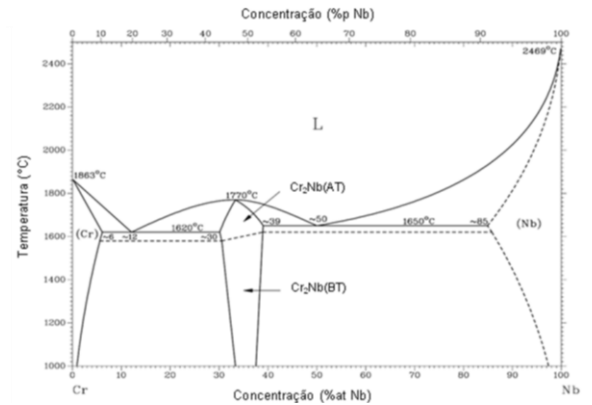


Figura 3 – Diagrama de fases do sistema binário Nb – Cr segundo [3].

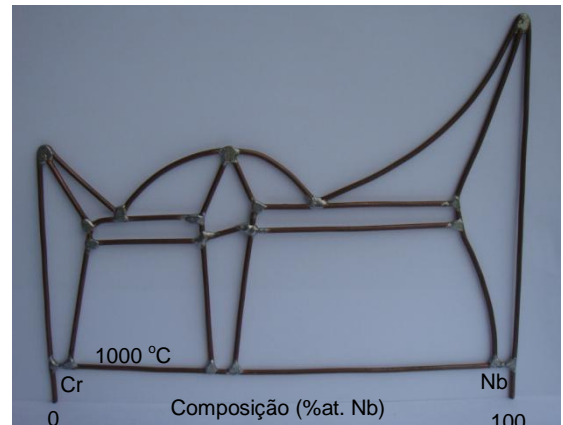


Figura 4 – Reprodução em arame do diagrama de fases do sistema binário Nb – Cr segundo [3].

Tabela 2 – Dados das transformações invariantes do sistema Cr-Nb [3].

Transformação	Composição do líquido (%at Nb)	Temperatura (°C)	Tipo de transformação
$L \leftrightarrow (Cr)$	0,0	1863	Ponto de fusão
$L \leftrightarrow (Cr) + Cr_2Nb$	$\cong 12,0$	1620	Eutética
$L \leftrightarrow Cr_2Nb(AT)$	34,0	1770	Congruente
$L \leftrightarrow Cr_2Nb(AT) + (Nb)$	$\cong 50,0$	1650	Eutética
$L \leftrightarrow (Nb)$	100,0	2469	Ponto de fusão

Está representado na Figura 5 o diagrama de fases referente ao binário Cr-B [4] que foi a referência utilizada para a montagem da estrutura em arame desse binário, conforme a Figura 6, cuja base, como nos dois subsistemas anteriores, representa a isoterma de 1000 °C.

A Tabela 3 apresenta os dados das transformações invariantes do subsistema Cr-B segundo [4].

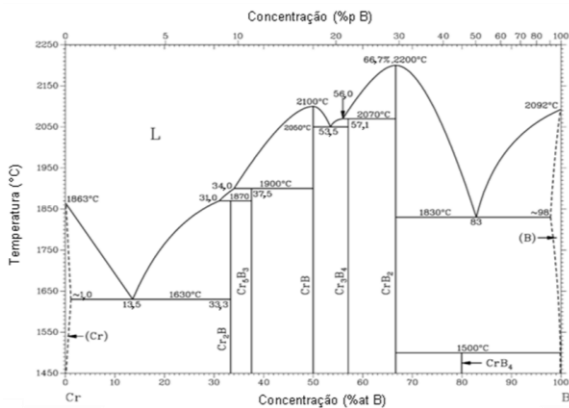


Figura 5 – Diagrama de fases do sistema binário Cr – B segundo [4].

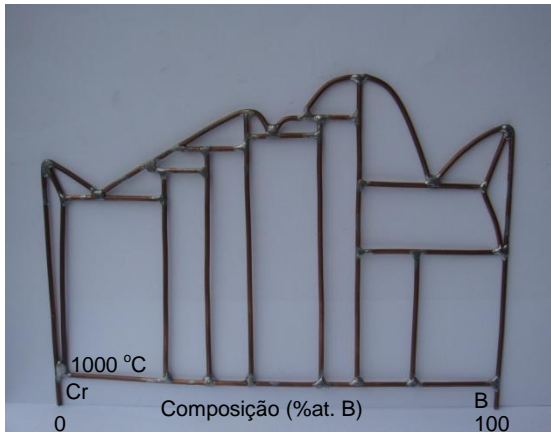


Figura 6 – Reprodução em arame do diagrama de fases do sistema binário Cr – B segundo [4].

Tabela 3 – Dados das transformações invariantes do sistema Cr-B [4].

Transformação	Composição do líquido (%at B)	Temperatura (°C)	Tipo de transformação
L ↔ (Cr)	0,0	1863	Ponto de fusão
L ↔ (Cr) + Cr ₂ B	13,5	1630	Eutética
L + Cr ₃ B ₃ ↔ Cr ₂ B	31,0	1870	Peritética
L + CrB ↔ Cr ₃ B ₃	34,0	1900	Peritética
L ↔ CrB	50,0	2100	Congruente
L ↔ CrB + Cr ₃ B ₄	53,5	2050	Eutética
L + CrB ₂ ↔ Cr ₃ B ₄	56,0	2070	Peritética
L ↔ CrB ₂	66,7	2200	Congruente
L ↔ CrB ₂ + (B)	83,0	1830	Eutética
CrB ₂ + (B) ↔ CrB ₄	80,0	1500	Peritétóide
L ↔ (B)	100,0	2092	Ponto de fusão

A Figura 7 apresenta a base para fixação dos diagramas binários confeccionada em chapa de acrílico

incolor de 7 mm de espessura, na forma de um triângulo equilátero de lado igual a 240 mm. Essa estrutura foi montada com dois triângulos superpostos para que o diagrama em papel representando o triângulo de Gibbs fique fixo entre as duas chapas de acrílico.

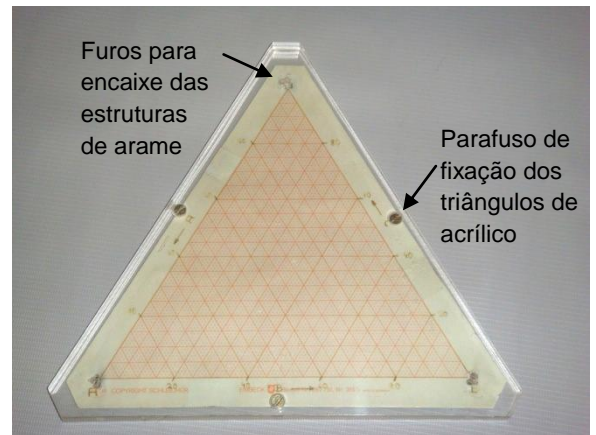


Figura 7 – base de acrílico para fixação dos diagramas binários.

A Figura 8 apresenta o triângulo de Gibbs com os subsistemas binários Nb-B, Nb-Cr e Cr-B rebatidos no plano basal.

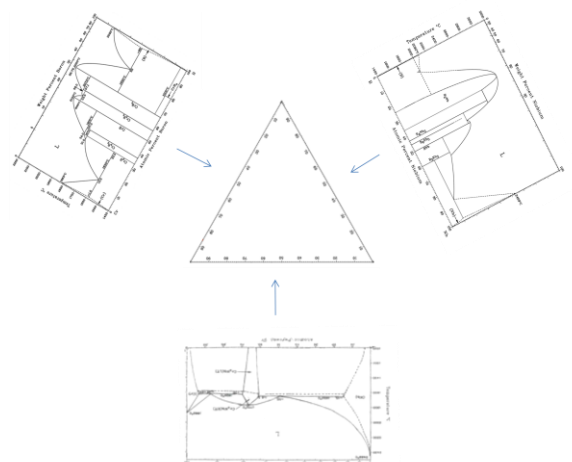


Figura 8 – Composição do triângulo de Gibbs do sistema ternário Nb-Cr-B, com base nos binários Nb-B [2], Nb-Cr [3] e Cr-B [4], rebatidos no plano basal.

A Figura 9 apresenta a maquete montada com as estruturas de arame referentes aos subsistemas binários Nb-B, Nb-Cr e Cr-B e fixadas nos furos feitos próximos aos vértices do triângulo representando o sistema Nb-Cr-B tridimensionalmente.

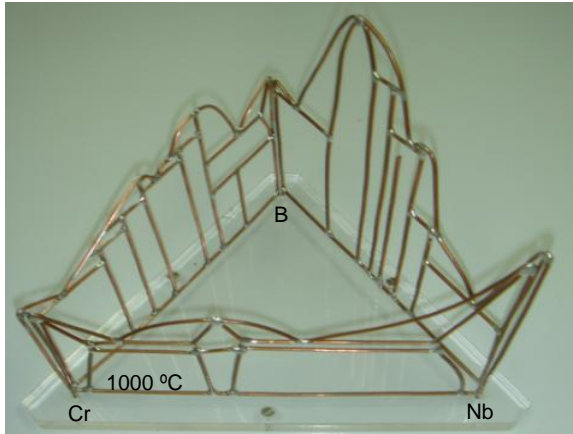


Figura 9 – Maquete do sistema ternário Nb-Cr-B

CONCLUSÕES

A maquete construída facilita a visualização da formação das superfícies *liquidus* e *solidus* do sistema em estudo, das diferentes seções isotérmicas, das projeções de superfícies (projeção *liquidus*), das seções verticais (*isopleths*) e dos triângulos de equilíbrio (*tie-triangles*) facilitando dessa forma o entendimento do sistema e acelerando o processo de aprendizado e fixação do conhecimento de maneira lúdica e motivadora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Y.B. Kuz'ma, V.S. Telegus, D.A. Kovalyk X-ray Diffraction Investigation of the Ternary Systems V-Cr-B, Nb-Cr-B and Mo-Cr-B. **Poroshkovaya Metallurgiya**, 5(77), 79-87, 1969.
- [2] T.B. Massalski. **Binary Alloy Phase Diagrams**. ASM International, Vol. 1, 505-506, 1990.
- [3] M. Venkatraman, J.P. Nuemann. The Cr-Nb (chromium – niobium) System. **Bull. Alloy Phase Diagrams**, 7(5), 462-466, 1986.
- [4] P.K. Liao, K.E. Spear. The B-Cr System, **Bull. Alloy Phase Diagrams**, 7(3), 232-237, 1986.