

# INFLUÊNCIA DO MECANISMO DE SOLIDIFICAÇÃO DE LIGAS DE BRONZE AO CHUMBO NA DURABILIDADE DE MANCAIS DE DESLIZAMENTO DE MOTORES DE LOCOMOTIVAS<sup>1</sup>

*Guilherme Marconi Silva<sup>2</sup>*

## **Resumo**

Este artigo apresenta uma análise comparativa entre mancais de deslizamento (casquilhos) utilizados em motores de locomotivas, aplicados sob as mesmas condições, que apresentaram desempenhos bastante diferenciados, equivalente a 53% de diferença de vida útil. Este estudo serviu para evidenciar que materiais com a mesma composição e aparentemente mesmo processo fabril podem ter o desempenho comprometido caso haja alguma alteração em uma ou mais das variáveis de processo. No caso apresentado, os casquilhos são de diferentes procedências. Esta análise permitiu que se pudesse entender e adequar o processo produtivo, da amostra com baixo rendimento, de modo a evitar tais ocorrências e também que se esclarecesse qual foi o fator preponderante no aparecimento da falha.

**Palavras-chave:** Solidificação; Segregação dendrítica; Bronzes e mancais.

*1 - 60º Congresso Annual da ABM, 25 a 28 de Julho de 2005, Belo Horizonte MG.*

*2 - Engenheiro Mecânico - Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET MG. Av Amazonas 7675 CEP 30 510-000 – Belo Horizonte MG – Brasil e-mail [guilherme.marconi@terra.com.br](mailto:guilherme.marconi@terra.com.br) telefax 55 31 34221217*

## **1 INTRODUÇÃO**

A crescente demanda pela alta performance tem norteado o trabalho das empresas e pessoas envolvidas com a manutenção de equipamentos. Muitas vezes boas idéias são abandonadas por não terem sido avaliadas com a devida profundidade ou método de análise.

O conhecimento dos processos e dos materiais para construção mecânica, devido a grande diversidade e à constante evolução da tecnologia, na maioria das vezes, não está disponível aos profissionais envolvidos com a manutenção ou aplicação de equipamentos.

Características de processo, como por exemplo, tempo e temperatura de solidificação, e que foram fundamentais na análise em questão, não poderiam ter sido observadas pelo usuário do casquilho. O estudo deste caso, que aqui apresentamos, tem por objetivo alertar e divulgar a todos os envolvidos com processos e equipamentos, que estudos de caracterização ou mesmo nacionalização de materiais e processos podem e devem ser considerados e realizados sempre que se fizer algum tipo de comparação entre materiais e componentes.

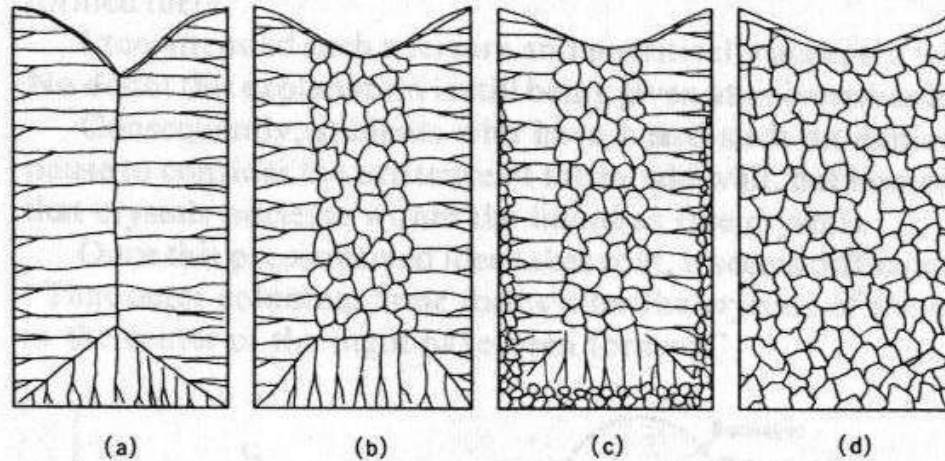
## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Solidificação dos Metais**

A questão de como o metal líquido se solidifica é de grande interesse, particularmente, devido a opacidade dos mesmos. Não somente é de grande interesse como também é fundamental o conhecimento dos mecanismos de solidificação dos materiais metálicos na obtenção de propriedades adequadas.

Sabe-se que defeitos de fundição ocorridos durante os processos iniciais de solidificação permanecem no produto final, desta forma, os mecanismos de solidificação devem ser conhecidos antes de tudo.

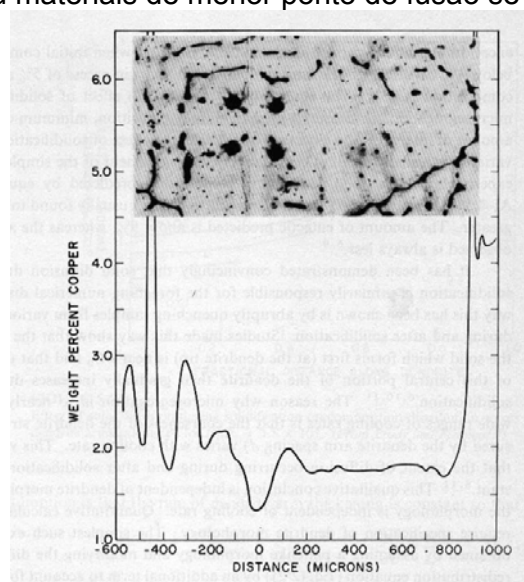
A Figura 1, a seguir, apresenta esquematicamente a textura de lingotes solidificados, contendo basicamente dois tipos de grãos: colunar e equiaxial. Na Figura 1(a) tem-se um lingote com textura completamente colunar, na 1(b) uma região equiaxial central envolvida por uma zona de grão colunar, em 1(c) tem-se uma pequena região superficial com grãos equiaxiais (zona coquilhada ou de resfriamento muito rápido), uma outra zona de grãos colunares e, no centro, grãos equiaxiais, na 1(d) textura completamente equiaxial.



**Figura 1.** Esquema de macroestrutura de lingotes[1]

Em geral, quanto mais impuro é o material e menor for a temperatura de vazamento do mesmo, mais se favorece ao aparecimento de grãos equiaxiais. E quanto maior for a temperatura de vazamento mais se favorece ao aparecimento dos grãos colunares. A capacidade de resfriamento do molde afeta imensamente a estrutura fundida.

A solidificação dos metais ocorre pela formação de dendritas que é uma cristalização em braços primários e a partir destes formam-se braços secundários e assim sucessivamente, assemelhando-se a uma árvore e seus galhos, e que crescem à medida que a interface sólido/líquido se movimentam. Este movimento pode ser por diferença de pressão, temperatura ou solubilidade. Desta forma, os grãos sejam eles colunares ou equiaxiais criarão entre si uma região segregada, Figura 2, denominada região inter-dendrítica, cuja composição química é diferente daquela da dendrita nucleada inicialmente, nestas regiões todas as impurezas, materiais insolúveis ou materiais de menor ponto de fusão se concentrarão.

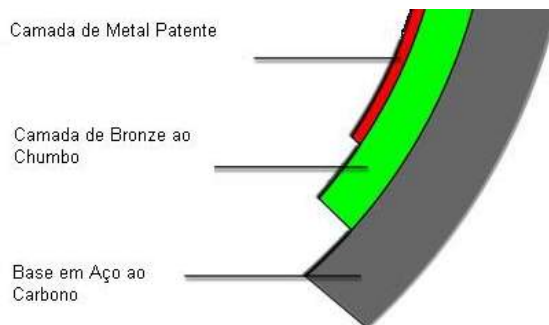


**Figura 2.** Exemplo de confirmação de **segregação**, por análise química e metalografia, em uma liga de Alumínio(Al; 4,5 Cu) determinada por microscopia eletrônica. Nota-se a concentração de Cu(picose) coincidindo com a segregação inter-dendrítica mostrada na micrografia.[3].

## 2.2 Mancais de Deslizamento - Casquilhos

São componentes de máquinas que geralmente têm a função de reduzir o atrito entre as partes em movimento, são também conhecidos como mancais de deslizamento. Podem ser de várias formas geométricas, porém, são sempre constituídos de algum material anti fricção.

O caso em análise constitui-se em um casquilho tri-metálico, composto de três camadas metálicas distintas, conforme demonstrado na figura 3 a seguir: A camada anti-fricção de bronze ao chumbo é a primeira a ser fundida sobre a chapa-base de aço, a de metal patente é fundida sobre a camada de bronze, por ser de mais baixa temperatura de fusão.



**Figura 3.** Croquis esquemático em corte de um casquilho tri-metálico evidenciando a disposição das camadas.

## 2.3 Materiais Envolvidos

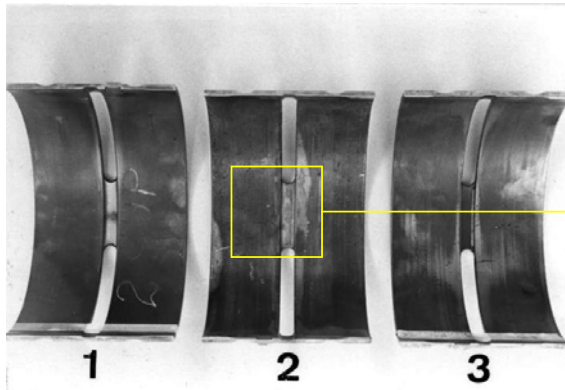
**Metal patente** é uma liga à base de Estanho (Sn), Antimônio (Sb) e Chumbo (Pb) que possui características anti-fricção, isto é, não oferece resistência ao movimento, possuindo baixo coeficiente de atrito, muito utilizada em mancais de deslizamento. Possui baixo ponto de fusão (260°C). Este material não foi motivo de análise.

**Bronze ao Chumbo** (SAE 794 – ISO CuPb24Sn4) é uma liga à base de Cobre (Cu) e Estanho (Sn) com adições de Chumbo (Pb) que podem chegar a teores acima de 20% em peso, também tem características anti fricção, ou seja, baixo coeficiente de atrito, porém, possui maior Limite de resistência (Lr) que o metal patente, possuindo assim maior capacidade suportar esforços mecânicos.

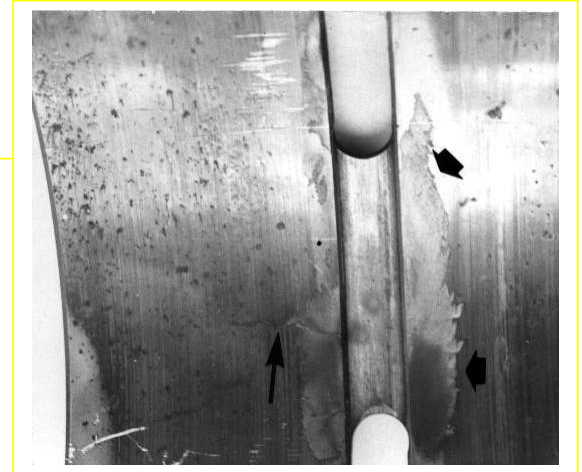
**Aço ao Carbono** é uma liga de Ferro (Fe) e Carbono (C), geralmente com teores de carbono inferiores a 1,0%, que neste caso, tem a função de servir de estrutura de suporte aos materiais anti-fricção. É um material de elevado Limite de Resistência (Lr) em se comparando com o bronze e o metal patente.

## 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram analisadas amostras de casquilhos de duas diferentes procedências. A Figura 4 a seguir evidencia o estado de recebimento das amostras. A amostra de nº 1 refere-se à procedência X e as amostras 2 e 3 à procedência Y.



**Figura 4.** Fotografia apresentando amostras analisadas.



Detalhe do problema evidenciado (limitador da vida do componente), as setas indicam o descascamento da camada de metal patente (setas grossas) e uma trinca presente na amostra (seta fina).

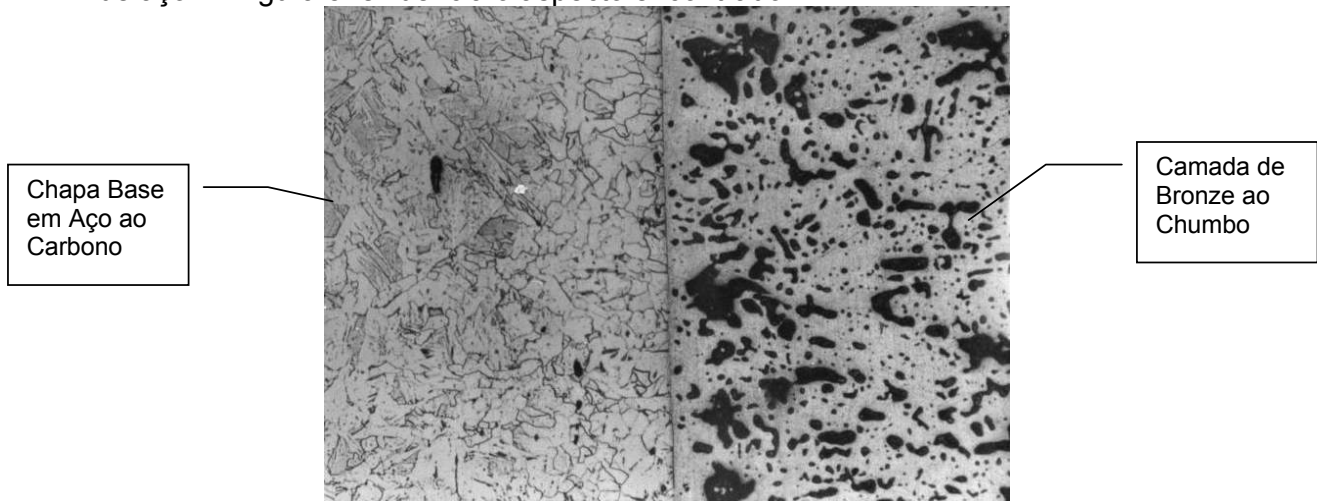
As peças da procedência X apresentaram uma vida útil de 26 meses e as amostras da procedência Y tiveram que ser removidas após 14 meses de trabalho, diferença equivalente a 53% da vida máxima atingida.

Ambas as amostras foram seccionadas, preparadas e analisadas metalograficamente seguido de ensaio de dureza nas diferentes regiões.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Amostra de Procedência X

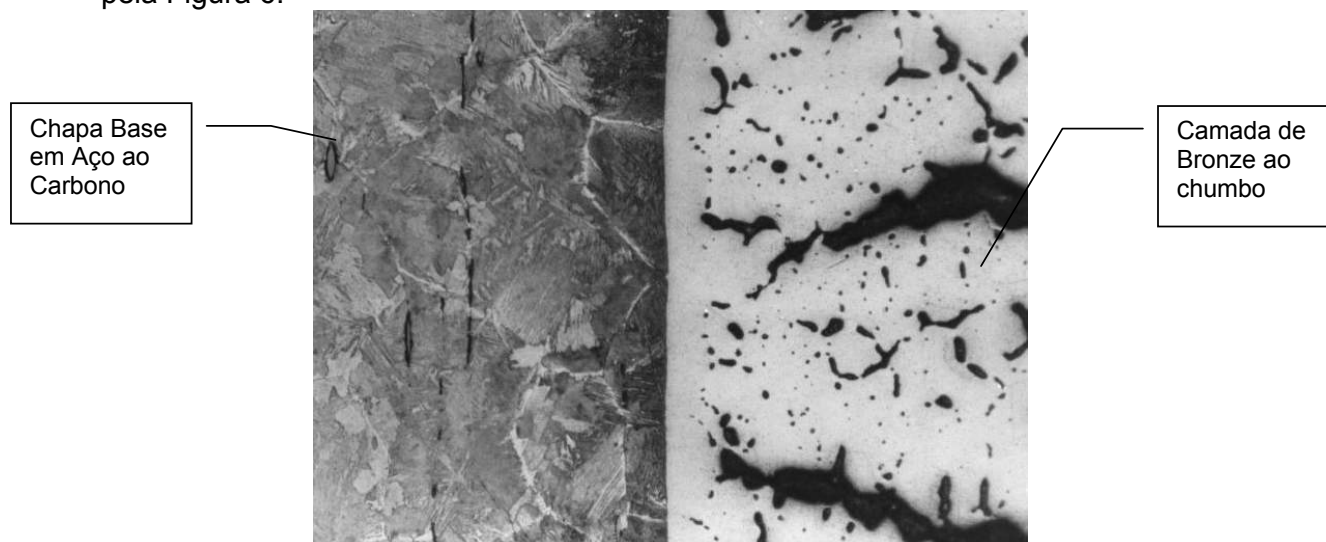
A análise metalográfica focou basicamente a camada de Bronze ao Chumbo e a chapa suporte de aço. Após o ataque foi revelada uma textura de solidificação uniforme na camada de bronze e uma matriz ferrítica homogênea na chapa suporte de aço. A Figura 5 evidencia o aspecto encontrado.



**Figura 5.** Amostra X. Fotografia da região de transição entre a camada de bronze e a chapa em aço ao carbono. Nota-se uma distribuição homogênea das partículas de chumbo na camada de bronze. Ataque Nital 3% Aumento 100X.

## 4.2 Amostra de Procedência Y

Analogamente à amostra anterior foi realizado uma análise metalográfica em uma seção semelhante da peça, sendo o resultado encontrado apresentado à seguir pela Figura 6.



**Figura 6.** Amostra Y. Fotografia da região de transição entre a camada de bronze e a chapa em aço ao carbono. Nota-se uma segregação de chumbo massiva nas regiões inter-dendríticas, nota-se também que a chapa base, em aço, apresenta-se com características de super-aquecimento (grãos grandes com ferrita acicular no contorno) Ataque Nital 3% Aumento 100X.

## 4.3 Ensaio de Dureza

Foram determinadas as durezas de ambas as amostras tanto na chapa base de aço quanto na camada de bronze. Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores de Dureza das amostras

Região	Amostra X	Amostra Y
Chapa Base de Aço	145/174 HV <sub>300</sub>	241/252 HV <sub>300</sub>
Camada de Bronze	60,0/69,0 HV <sub>300</sub>	43,5/49,5 HV <sub>300</sub>

## Comentários

Deve-se salientar que o chumbo presente na liga de bronze não forma solução sólida com o cobre, ou seja, não se mistura. As partículas de chumbo ficam independentes da matriz de cobre. Por se tratar de um material com baixo ponto de fusão (327°C) o chumbo sempre tenderá a se segregar para regiões inter-dendríticas.

Em função das análises metalográficas realizadas ficou evidenciado que a amostra X apresenta uma textura de solidificação da camada de bronze constituída de grãos equiaxiais, com disposição homogênea das partículas de chumbo. A microestrutura da chapa base, em aço ao carbono, apresenta predominância de ferrita com tamanho de grão relativamente pequeno (ASTM 5 a 7). Conforme descrito anteriormente a formação de grãos equiaxiais está relacionada à temperaturas de vazamento menores e tempos de solidificação também menores.

No caso da amostra Y tem-se claramente o oposto, ou seja, o aspecto de solidificação tem uma textura colunar com uma segregação massiva de partículas de

chumbo alinhadas entre os grãos. A chapa base apresenta uma estrutura perlítica com ferrita acicular no contorno de grão característicos de superaquecimento do aço. O tamanho do grão é grande (ASTM 3 a 4).

No caso das chapas de aço, a temperatura de aquecimento favoreceu ao crescimento do grão na amostra Y e na amostra X ocorreu uma re-cristalização (menor temperatura de aquecimento) com conseqüente refino do grão. Caracterizando desta forma a grande diferença dos ciclos térmicos entre ambas as amostras.

A dureza de ambas as amostras está compatível com as microestruturas. A camada de bronze está mais homogênea na amostra X com a dureza ligeiramente maior que a amostra Y. A maior velocidade de resfriamento provoca uma estrutura mais dura e refinada.

## **5 CONCLUSÕES**

Baseados nos resultados das análises e na pesquisa realizada podemos concluir que:

- a) A camada de bronze de ambas as amostras é de alto teor de Chumbo.
- b) As chapas base foram fabricadas em de aço, porém, não possuem a mesma composição.
- c) É notória a diferença de distribuição das partículas de chumbo em ambas as amostras. Na amostra Y, de menor vida útil, houve uma concentração massiva de chumbo nas regiões inter-dendríticas (segregação). Esta segregação alinhada entre os grãos colunares não foi percebida na amostra X, onde o chumbo se encontra disperso em pequenas ilhas não orientadas.
- d) O fator preponderante no baixo desempenho da amostra Y é o aparecimento de trincas na camada de bronze que se iniciaram e se propagaram ao longo das regiões inter-dendríticas, onde se concentrou o chumbo, fazendo deste um caminho preferencial e de baixa resistência à propagação das mesmas. Estas trincas levaram ao descascamento da camada de metal patente com conseqüente perda da capacidade anti-fricção.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Ohno, Atsumi Solidification – The Separation Theory and its Practical Applications – Tokyo 1987.
- [2] Failure Analysis and Prevention. Metal Handbook – ASM – American Society for Metals \_ USA Vol 11 9ª Edition 1986.
- [3] Flemings, Merton C. – Solidification Processing- McGraw-Hill USA 1974.

# INFLUENCE OF LEADED BRONZE SOLIDIFICATION ON THE DURABILTY OF LOCOMOTIVE ENGINE BEARINGS

*Guilherme Marconi Silva<sup>2</sup>*

## **Abstract**

This paper intent to explain why the performance between of two sleeves bearings that work on locomotive engines, submitted to the same working conditions, showed up an expressive difference of life, with a reduction of 53% on the work life. This evaluation would be used to confirm that materials with the same production process or chemical composition can have an completely different behave in service if one or more process features changes. In this case the sleeves are from two different sources. After that we could understand how the process variation could be handled to avoid the poor performance and what was responsible for failure of the component.

**Key-words:** Solidification, dendritic segregation, bronze and sleeves.