

# APLICAÇÃO DA REGRA DE AÇÃO NA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO: ESTUDO DO CASO

**Roberto Daniel Pereira**

Universidade Federal de Santa Maria – CT – DEM

Campus Universitário Camobi 97105-900

[robertodanielpereira@yahoo.com.br](mailto:robertodanielpereira@yahoo.com.br)

**Fabício Machado Rocha**

Universidade Federal de Santa Maria – CT – DEM

Campus Universitário Camobi 97105-900

**Aleir Antonio Fontana De Paris**

Universidade Federal de Santa Maria – CT – DEM

Campus Universitário Camobi 97105-900

[aparis@ct.ufsm.br](mailto:aparis@ct.ufsm.br)

**Resumo.** A regra da zona de ação de massalotes aplicada na fundição de ferro fundido e aço, foi desenvolvida muitos anos atrás e mostrou resultados satisfatórios para os metais ferrosos. Como sua utilização é simples e prática, foi generalizada para todo tipo de metal e liga, incluindo os não ferrosos. O estudo prático aplicado em uma liga de alumínio, mostrou diferença entre o que cita a literatura e o modo empírico. Empregando-se massalotes “abertos” e “cegos” projetado a partir de formulação teórica foi fundida uma peça e aplicado a regra da zona de ação. Dependendo do tipo da localização do massalote em relação à peça, os defeitos tais como rechupe e porosidades são aumentados tornando a peça defeituosa. Mostrou ser importante também o sistema de alimentação e as dimensões do canal de ataque na formação de defeitos.

**Palavras-chave:** fundição, zona de ação, massalotes, alumínio.

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas técnicos encontrados na manufatura de peças fundidas é a determinação do número de massalotes e sua localização na peça. A utilização de massalote é para fornecer metal líquido para compensar a contração do metal da peça e a formação de rechupes.

Algumas metodologias foram desenvolvidas para posicionar o massalote na região da peça que poderá eventualmente estar sujeita a contração. O método mais simples, dos círculos inscritos Jeancolas et al (1964), consiste na divisão teórica do desenho da peça em diversas seções com volumes diferenciados, Fig. (1). A solidificação se processaria da região do círculo menor para a região de círculo maior. Esta técnica é também conhecida como solidificação direcionada.

Conforme a Fig. (1b), a contração ocorre principalmente no centro da peça interrompendo o fluxo de metal líquido, enquanto a contração das extremidades deveria ser suprimida individualmente, sendo necessário o emprego de dois massalotes.

No aspecto prático o sistema funcionaria, mas visto pelo lado econômico quanto menor o número de massalotes menor o custo final do produto, Guleypoglu e Hill (1995).

Após a seleção dos pontos críticos da peça, é preciso determinar o número de massalotes necessários para alimentar a seção escolhida.

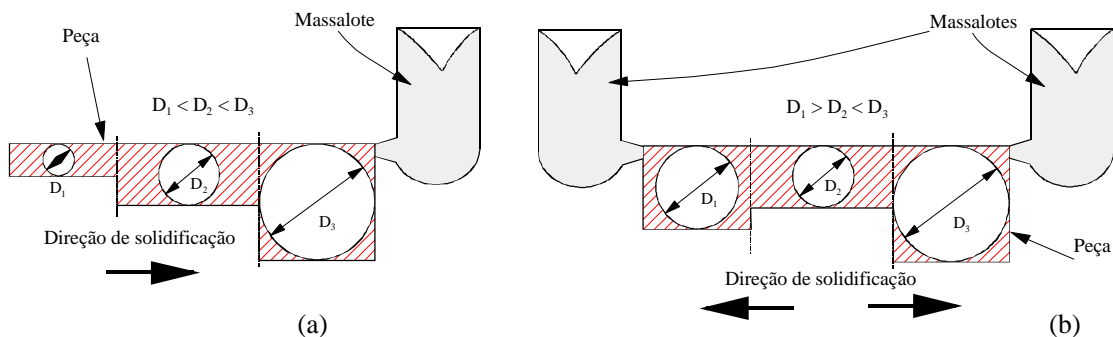


Figura 1. Sistema de alimentação de duas peças com seções diferentes. Em (a) um massalote seria suficiente para alimentar a peça, em (b) seriam necessários 2 massalotes.

O volume de abrangência, alimentado pelo massalote, é chamado de zona de ação, distância de alimentação ou eficiência, e caracteriza-se pela região circular em torno do massalote com uma determinada distância em que a peça estaria isenta de defeitos, Fig. (2).

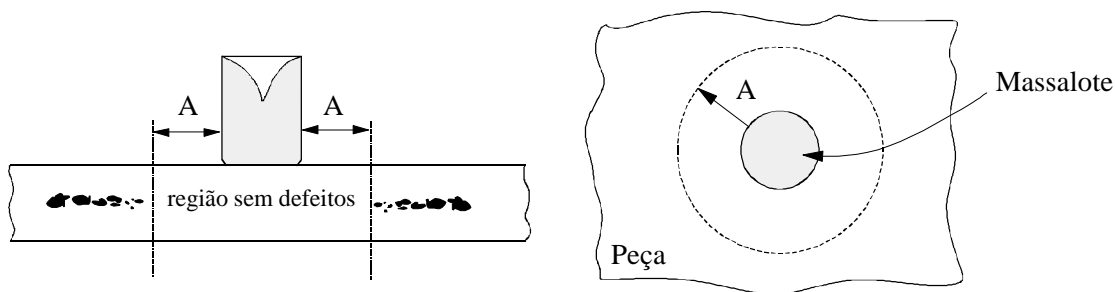


Figura 2. Regra da zona de ação. O massalote atua na região tracejada ao seu redor.

Os trabalhos pioneiros na determinação da zona de ação foram desenvolvidos para a fundição de peças de aço, Bishop e Pellini (1950), Pellini (1953), Bishop et al (1955), baseados na regra dos módulos, Chvorinov (1940). A distância de atuação A foi calculada levando-se em conta o diâmetro do massalote e espessura da peça onde está localizado. Na sequência, outros pesquisadores estudaram a técnica desenvolvida anteriormente na produção de peças em ferro fundido cinzento e aço, Jeancolas et al (1964), ferro fundido nodular, Heine (1968, 1982), peças fundidas em aço, Jonhs (1980), Willms (1985), Carlson et al (2002), Ou et al (2002). A quantidade de “papers” é muito extensa para serem todas referenciadas.

De um modo geral, quase todos os trabalhos acrescentaram pequenas modificações nos trabalhos pioneiros.

Para as ligas de alumínio, outras metodologias empíricas foram testadas, baseadas no mesmo princípio teórico, conduzindo a resultados satisfatórios, Jacob e Drouz (1970), Kuo et al (1989), Pan et al (1990), Lee et al (1990).

Guleyupoglu (1997) em um levantamento teórico considera a zona de ação de um massalote como sendo de  $8T$  a  $3T$  para uma espessura da peça  $T$  variando entre 1,27 a 5,1 cm.

O objetivo este trabalho é relacionar a zona de ação em peças fundidas em alumínio, levando em consideração o massalote e espessura peça.

## 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Como liga metálica foi utilizado Al puro, 99%, classificação AA 1.XXX, fundido em forno basculante com cadinho de grafite e aquecimento resistivo. A temperatura de vazamento ficou em 750°C para todas as peças e não houve desgasificação do metal. O processo de fundição escolhido para o trabalho foi em areia verde, devido sua grande utilização.

As peças foram fundidas na forma de placa de espessura 1,5 cm, largura 7,0 cm e comprimento 20 cm, com três sistemas de alimentação. Inicialmente foi utilizado um sistema de alimentação com massalote lateral cego e canal de descida, Fig. (3a), massalote lateral aberto com vazamento no próprio massalote, Fig. (3b) e massalote direto aberto e vazamento no massalote, Fig. (3c). O canal de ataque escolhido foi de seção retangular, com altura 6 mm e largura 10 mm, afastado 10 mm da peça.

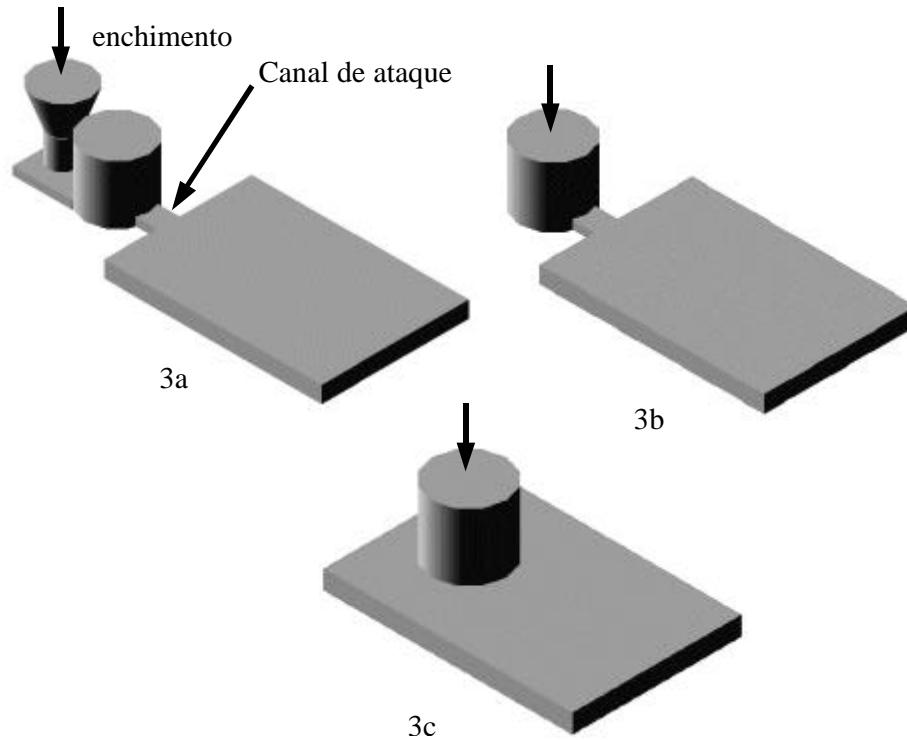


Figura 3. Esquema do sistema de alimentação e massalotes empregados nos experimentos.

O volume do massalote foi determinado a partir da equação de Chvorinov (1940), transformada em regra dos módulos por Wlodawer (1966), e calculado em função das dimensões da placa.

$$t_s = k \left( \frac{V}{A} \right)^2 \quad (1)$$

A equação de Chvorinov (1940) mostra que o tempo de solidificação de uma determinada liga é proporcional a uma constante  $k$  e ao quadrado do volume dividido pela área. Como se trata do mesmo metal no massalote e na peça têm-se:

$$k \left( \frac{V}{A} \right)_m^2 = k \left( \frac{V}{A} \right)_p^2 \quad (2)$$

ou simplesmente:  $M_m > M_p$

Para garantir que o massalote solidifique por último e consiga alimentar a peça, usa-se um coeficiente de segurança que é, para caso geral,  $\mu = 1,2$ , Jeancolas (1964).

Assim a equação fica de uma forma do tipo:

$$M_m > 1,2 M_p \quad (3)$$

Aplicando a regra dos módulos para a peça com as dimensões de 1,5 x 7,0 x 20 cm, calculou-se primeiramente o volume da peça,  $V = 210 \text{ cm}^3$ , e a área de retirada de calor,  $S = 361 \text{ cm}^2$ . Desta forma, o módulo encontrado para o massalote, com o coeficiente de segurança, é 0,7 cm.

Para um massalote genérico cilíndrico, desconsiderando a base do massalote com área de troca de calor, o diâmetro seria dado por:

$$d_m = \frac{4HM_m}{H - M_m} \quad (4)$$

Substituindo o módulo do massalote por 0,7 na equação (4), e considerando o diâmetro do massalote igual a sua altura,  $d_m = H$ , o que proporciona o maior módulo para um mesmo volume, chega-se ao seguinte resultado:

$$d_m = H = 3,5 \text{ cm} \quad (5)$$

A partir destas dimensões para o massalote, foram moldadas e fundidas todas as peças. Após fusão, vazamento e solidificação, as peças foram cortadas ao longo do comprimento maior e lixadas até a lixa 1200.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. (4) mostra os resultados obtidos para as amostras fundidas com as dimensões 1,5 x 7,0 x 20 cm.

A peça da Fig. (4b) foi fundida utilizando-se o sistema de alimentação com funil e canal de descida, conforme o esquema apresentado na Fig. (3a). Observa-se que a porosidade ficou dispersa ao longo da peça com aglomeração de poros na direção da saída de gases. Este é o procedimento normalmente adotado para fundir peças industrialmente.

Como o objetivo é estudar a zona de ação e por facilidade operacional foi escolhido o sistema de enchimento direto, via massalote, com isto procurando-se eliminar qualquer possibilidade de interferência na solidificação do canal de distribuição e de descida. Na peça Fig. (4c), a alimentação foi via massalote, e a porosidade apresenta-se distribuída ao longo da peça em quantidades e tamanhos maiores.

Para a Fig. (4a), não houve praticamente porosidades ao longo da peça, concentrado-se na base do massalote, mostrando que a solidificação do metal se processou da extremidade mais afastada para a região do massalote. Desta forma, a zona de ação do massalote se processa com uma distância entre 3T a 8T, de acordo com as observações de Guleyupoglu (1997). É preciso salientar que este sistema de vazamento pelo massalote não é utilizado nas fundições devido ao turbilhonamento do metal, o que pode ocasionar a erosão do molde e arraste de gás para a peça.

A peça alimentada pelo massalote direto, Fig. (4a), mostra que a localização do massalote é um fator importante na alimentação da peça. Como foi empregado o mesmo volume do massalote para as peças, a diferença na formação de defeitos está relacionada também com o canal de distribuição, entre o canal de descida e o massalote.



Figura 4. Localização do massalote com relação a peça. Porosidades na seção transversal para as peças 1,5 x 7,0 x 20,0 cm.

Como foi escolhido um canal de ataque retangular com uma determinada seção, pode ter ocorrido uma pressão do metal líquido dentro do massalote o que impediu a funcionalidade do mesmo, Heine (1982). É preciso que o canal que alimenta o massalote solidifique primeiramente para permitir a alimentação. Caso isto não ocorra, o metal do canal de distribuição não deixa o massalote agir e como consequência haverá a solidificação do canal de ataque e o massalote não atuará.

No caso da alimentação feita pelo massalote direto, o metal mais quente está no massalote obrigando a uma solidificação direcionada. A concentração de defeitos sob o massalote se deve ao turbilhonamento do metal.

#### 4. CONCLUSÕES

Como foi visto na fundição das placas acima, a distância de atuação de um massalote para o caso de alumínio é ainda motivo para estudos mais aprofundados. Apesar de se obter uma zona de ação relativamente próxima das referências bibliográficas, as porosidades são um indício que não houve uma conclusão confiável sobre a aplicação da mesma. Uma das causas prováveis é o tipo de solidificação do alumínio em camadas espessas devido a formação de uma zona pastosa pela formação de grãos equiaxiais no interior da peça.

Outro fator que precisa ser melhor analisado é a área e o formato do canal de ataque, que influenciaria o sistema de alimentação da peça.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Jeancolas, M., Chevriot, R. and Virolle, X., 1964, "Méthode Générale pour la Détermination des Massalotes: Application au Cas de Alliages Ferreux", Fonderie, Vol. 215, No. 3, pp. 1-16.
- Guleypoglu, S. and Hill, J.L., 1995, "Parting Direction and Parting Plane Selection Criteria for Sand Castings", Transactions of AFS, Vol. 103, No. 117, pp. 259-264.
- Bishop, H.F. and Pellini, W.S., 1950, "The Contribution of Riser and Chill-edge Effects to Soundness of Cast Steel Plate", Transactions of AFS, Vol. 58, No. 21, pp. 185-197.
- Pellini, W.S., 1953, "Factors which Determine Riser Adequacy and Feeding Range", Transactions of AFS, Vol. 61, No. 67, pp. 61-80.
- Bishop, H.F., Myskowski, E.T. and Pellini, W.S., 1955, "A Simplified Method for Determining Risers Dimensions", Vol 63, No. 172, pp. 271-281.
- Chvorinov, N., 1940, "Theory of the Solidification of Castings", Giesseri, Vol. 27, No. 10, pp. 177-225. British Iron and Steel Institute Translation, No. 117.

- Heine, R.W., 1968, "Feeding Paths for Rising Castings", Transactions of AFS, Vol. 76, No. 19, pp. 463-469.
- Heine, R.W., 1982, "Design Method for Tapered Riser Feeding of Ductile Iron Castings in Green Sand", Transactions of AFS, Vol 90, No. 20, pp. 147-158.
- Johns, R.A., 1980, "Rising Steel Castings Easily and Efficiently", Transactions of AFS, Vol. 88, No. 05, pp. 77-96.
- Willms, R.C., 1985, "Use of Insulating Material to Extend Feeding Distances for Steel Castings" Transactions of AFS, Vol 93, No. 20, pp. 167-170.
- Carlson, K.D., Ou, S., Hardin, R.A. and Beckermann, C., 2002, "Development of New Feeding-Distance Rules Using Casting Simulation: Part I – Methodology", Metallurgical and Materials Transaction B, Vol. 33B, No. 10, pp. 731-740.
- Ou, S., Carlson, K.D., Hardin, R.A. and Beckermann, C., 2002, "Development of New Feeding-Distance Rules Using Casting Simulation: Part II – The New Rules", Metallurgical and Materials Transaction B, Vol. 33B, No. 10, pp. 741-755.
- Jacob, S. and Drouz, M., 1970, "Contribution a l'Étude du Massalotage des Alliages d'Aluminium Coulés en Sable", Fonderie, Vol. 296, No. 12, pp. 395-406
- Kuo, Y-S., Chang, E. And Lin, Y-L. 1989, "The Feeding Effects of Risers on the Mechanical Properties of A201 Al Alloy Plate Casting", Transaction of AFS, Vol. 97, No. 159, pp. 777-782.
- Pan, E.N., Lin, C.S. and Loper Jr., C.R., 1990, "Effects of Solidification Parameters on the Feeding Efficiency of A356 Aluminum Alloy", Transaction of AFS, Vol. 98, No. 117, pp. 735-746.
- Lee, Y.W., Chang, E. and Chieu, C.F., 1990, "The Role of Solidus Velocity in the Feeding Behavior of Al-7Si-O,3Mg Alloy Plate Casting", Materials Science and Engineering, Vol. A124, pp. 735-746.
- Lee, Y.W., Chang, E. and Chieu, C.F., 1990, "Modeling of Feeding Behavior of Solidifying Al-7Si-O,3Mg Alloy Plate Casting", Metallurgical Transaction B, Vol. 21B, No. 8, pp. 715-722.
- Guleypoglu, S., 1997, "Casting Process Design Guidelines", Transaction of AFS, Vol. 105, No. 83, pp. 869-876.
- Wlodawer, R. "Directional Solidification of Steel Castings. Pergamon Press, 1966 (Conforme citado em Heine, 1968).

## **APPLICATION OF FEEDING-DISTANCE RULE IN ALUMINUM FOUNDRY: STUDY OF THE CASE**

### **Roberto Daniel Pereira**

Federal University of Santa Maria – CT – DEM  
Campus Universitário Camobi 97105-900  
[robertodanielpereira@yahoo.com.br](mailto:robertodanielpereira@yahoo.com.br)

### **Fabício Machado Rocha**

Federal University of Santa Maria – CT – DEM  
Campus Universitário Camobi 97105-900

### **Aleir Antonio Fontana De Paris**

Federal University of Santa Maria – CT – DEM  
Campus Universitário Camobi 97105-900  
[aparis@ct.ufsm.br](mailto:aparis@ct.ufsm.br)

**Abstract.** *The riser feeding-distance rule applied in the foundry of cast iron and steel, it was developed many years ago and it showed satisfactory results for the ferrous metals. As its use is simple and practical, it was generalized for every metal type and alloys, including the non ferrous too. The practical study applied in an aluminum alloy, showed difference among what it mentions*

*the literature and the thumb rule. To study the feeding-distance, pieces were melted using open " and blind riser projected from theoretical formulation. Depending on the type of riser location in relation to piece, defects as shrinkage and porosities are increased and the piece damaged. It showed to be also important the feeding system and the dimensions of the gate channel in the formation of defects.*

**Keywords:** *foundry, action zone, riser, aluminum.*

