

UTILIZAÇÃO SIMULTÂNEA DAS REGRAS DE CHVORINOV E WLODAWER PARA DISPENSA DA RELAÇÃO EMPÍRICA ENTRE A ALTURA E DIÂMETRO DO MASSALOTE NOS CÁLCULOS PARA SEU DIMENSIONAMENTO – SOLUÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DE CARDANO

Vinícius Alves Martins¹

Resumo: Este trabalho visa realizar um estudo comparativo entre o dimensionamento de massalotes, utilizando-se dos Métodos de Chvorinov e Wlodawer isoladamente e comparando-os com uma metodologia proposta neste estudo que é a utilização simultânea dos dois requisitos. Desta forma, o objetivo foi propor uma metodologia analítica de dimensionamento de massalotes de fundição no qual fosse desnecessária a utilização do parâmetro empírico “p”. O método empregado para resolução da equação problema foi a teoria de Cardano-Tartaglia para solução de equações polinomiais imperfeitas de grau 3. Os resultados indicam que ao se utilizar o presente método, obtêm-se valores bem próximos dos calculados com as metodologias clássicas normalmente empregadas. Conclui-se com isso que os resultados indicam a dispensa do parâmetro “p” no dimensionamento dos alimentadores de fundição, todavia, são necessários ensaios práticos para validação da metodologia proposta neste estudo.

Palavras-chave: Massalotes, Dimensionamento, Parâmetro “p”, Regras de Chvorinov e Wlodawer, Método de Cardano.

1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade das empresas em obter peças cada vez mais complexas e numa velocidade cada vez maior, o processo de fundição se mostra como uma alternativa interessante. Ao mesmo tempo, este processo ainda se reveste de muitos parâmetros e considerações empíricas de ordem prática que são adotadas no “chão de fábrica” do nosso parque industrial. Fundidores tem que adotar a relação entre altura e diâmetro do massalote de maneira arbitrária para solucionar seus problemas. Neste intuito, este trabalho visa contribuir para a prática de fundição, reduzindo um dos parâmetros empíricos adotados no dimensionamento dos massalotes, dispensando assim a relação numérica entre a altura e o diâmetro adotada no seu dimensionamento.

2 FUNDIÇÃO

Muitos processos são utilizados na fabricação de peças e estruturas metálicas, podendo-se citar: a usinagem, a conformação mecânica, a metalurgia do pó, a soldagem e a fundição. Neste trabalho será abordada a fundição, dando-se ênfase a uma de suas etapas que é o sistema de alimentação da peça a ser fundida.

A fundição, segundo Goodway (1996), é uma tecnologia muito antiga, que data de períodos pré-históricos, onde o processo consiste na obtenção de uma peça por solidificação de um metal líquido após ter sido acomodado em um molde. Este molde possui o formato e características geométricas da peça acabada. Sendo assim, após o término da solidificação através do resfriamento, a peça fundida

¹ Centro Universitário SOCIEESC – UNISOCIEESC - E-mail: viniciusalvesmartins@gmail.com

apresenta quase a totalidade de suas propriedades, forma e dimensões finais.

Como todo processo de fabricação, a fundição deve ser controlada para que não haja problemas no produto final, mas eventualmente eles ocorrem, e um dos defeitos mais comuns são os Rechupes, os quais por sua vez estão atrelados ao tipo de nucleação da liga metálica utilizada.

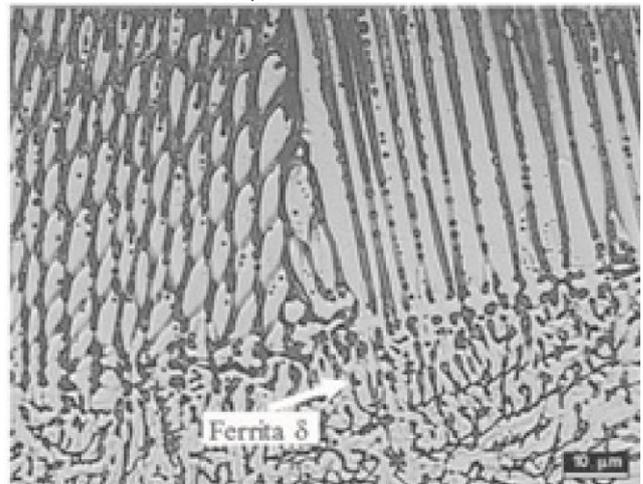
2.1 NUCLEAÇÃO E INTERFACES DE SOLIDIFICAÇÃO

Com a diminuição da temperatura, vão existir pontos na massa metálica líquida que atingirão temperaturas de solidificação, isso faz com que os átomos comecem a se posicionar segundo orientações e arranjos cristalinos e, a este processo, dá-se o nome de nucleação. Quando a aglomeração de átomos ocorre por conta do abaixamento da temperatura do sistema, diz-se que a nucleação é Homogênea, e quando esta aglomeração ocorre em torno de um material exógeno ao sistema classifica-se esta nucleação como Heterogênea. Na prática a nucleação Heterogênea ocorre com mais frequência. (BEELEY, 1972) A interface de solidificação ou também conhecida como frente de solidificação é o encontro idealizado entre a massa líquida e massa sólida do metal fundido. Sua morfologia depende basicamente da composição química da liga, pois tal composição determina o intervalo de solidificação da mesma. A frente de solidificação pode ser de duas maneiras: lisa ou difusa, sendo que a primeira se divide em plana ou celular, e a segunda em dendrítica ou nucleação independente. Para metais puros, ou ligas com composições eutéticas, a interface mostra-se lisa. Para grandes intervalos de solidificações essas frentes se apresentam de forma difusa. A formação de rechupes na peça é dada pela interface de solidificação difusa.

O rechupe gerado em peças com ligas metálicas que apresentam intervalo de solidificação apresentam nucleação dendrítica. E neste caso, o rechupe gerado forma-se entre os braços das dendritas, na forma de pequenas cavidades espalhadas ao longo da peça, as quais são conhecidas como microrechupes. Para

melhor ilustração das frentes de solidificação, apresenta-se a Figura 1.

Figura 1 – Interface Dendrítica inferior e Planar superior



Fonte: Adaptado de NEVES et. ali., 2009

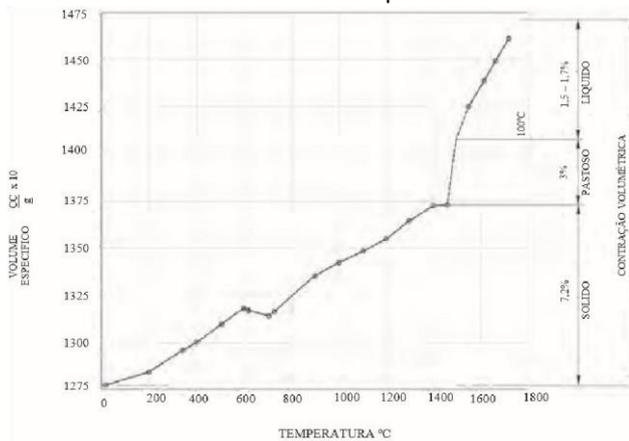
Pode-se observar na figura acima as duas interfaces de solidificação. Na parte superior da figura a liga metálica possui uma interface lisa e na inferior ocorre a formação das dendritas. Estas interfaces estão ligadas aos problemas de ocorrência frequente na fundição que são os rechupes.

2.2 RECHUPES

Rechupes podem ser definidos como cavidades irregulares e esponjosas nas peças, geralmente, vazios formados nos estágios finais da solidificação, e que comumente possuem cristais dendríticos. São normalmente observados nos centros das maiores seções da peça fundida, em transições de seções com espessuras variáveis, mudanças de direções, arestas e cantos “vivos”, e nos chamados “pontos quentes”. (AFS, ANALYSIS OF CASTING DEFECTS, 1994)

Esses rechupes são causados pela contração do metal líquido e sólido no resfriamento. A Figura 2 apresenta o comportamento real da variação de volume com a temperatura na solidificação metálica.

Figura 2 - Representação gráfica da variação volumétrica com a temperatura



Fonte: PLUTSHACK, L.A ; SUSCHIL, L., 1996

Pode-se observar na Figura 1, que há uma redução do volume da massa metálica à medida que a temperatura diminui e que esta diminuição é mais acentuada no estado líquido, no estado pastoso e sólido, ela ocorre de maneira menos intensa.

O rechupe gerado em peças com ligas eutéticas são do tipo concentrado e é gerado no local que resfria por último. Para melhor ilustração de uma solidificação de liga eutética com rechupe final concentrado no local de último resfriamento, é apresentada a Figura 3.

Figura 3 - Ilustração de um rechupe concentrado



Fonte: Disponível em: www.ebah.com.br/content/

ABAAAemdGAA/projeto-massalote

Pode ser observado na Figura 3 uma seção transversal de um massalote ou alimentador, e verifica-se também que a contração volumétrica ou rechupe ocorreu de forma concentrada no interior do mesmo. Este tipo de situação está diretamente ligado ao projeto do alimentador.

2.3 ALIMENTADOR

O sistema de alimentação deve ser o primeiro item do projeto desta fase, pois a definição do sistema de enchimento está atrelada ao volume total de carga metálica fundida necessária ao processo de fundição, o que por sua vez está relacionado ao volume final da peça e ao do alimentador.

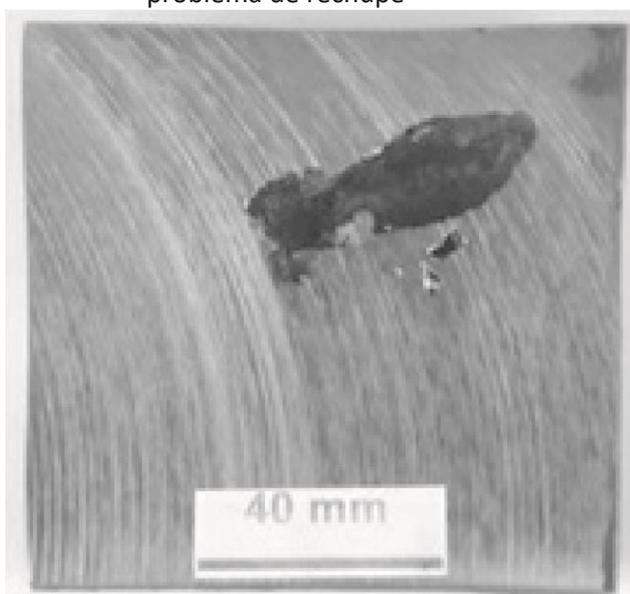
O alimentador é conhecido também como massalote, trata-se de um componente que suprirá a peça nos quesitos temperatura e volume de material, para que não ocorram rechupes. Conforme o trabalho de Plutshack e Suschil (1996), os massalotes são instalados na fundição para garantir que os rechupes provenientes da contração volumétrica do metal não ocorram no interior da peça. Eles funcionam como reservatório que irá suprir a demanda volumétrica e de temperatura da peça fundida.

Por mais que o material utilizado no massalote retorne para o forno no início do processo para ser reaproveitado, percebe-se que houve gasto de energia para sua fundição, e de material para confecção de modelos, bem como de moldes para sua utilização. Fica evidente então que, não basta simplesmente criar o maior massalote possível para se evitar os rechupes, pois os mesmos gerarão custos que não estarão agregados ao valor final do produto, onerando assim todo o processo. Além disso, grandes alimentadores também podem gerar distorções, inclusões e até trincas na peça, e desta forma estar na contramão do seu objetivo. (PLUTSHACK et al, 1996)

O correto dimensionamento e projeto desses massalotes resolvem um dos problemas mais

comuns na fundição (ANSELMET, 2005). A Figura 4 apresenta um problema gerado por rechupe no interior de um cubo metálico.

Figura 4 – Seção de uma peça fundida com um problema de rechupe



Fonte: Adaptado de ALVES, 2010

Pode-se observar na Figura 4 a seção transversal de um cubo no qual ocorreu um rechupe. Este problema é comum quando não é feito um correto dimensionamento dos massalotes.

2.4 DIMENSIONAMENTO DO MASSALOTE

A alimentação de uma peça fundida significa entre outras palavras, vazar carga metálica suficiente para suprir a variação volumétrica existente entre o final do processo de enchimento e o final da solidificação da peça e massalote. (ANSELMET, 2005) Para que isto seja possível, é necessário determinar qual o volume adicional deve ser considerado, bem como, determinar a forma geométrica e dimensões do alimentador (reservatório) e seu correto posicionamento. Tal tarefa não é simples, e atualmente, existem softwares no mercado que auxiliam os projetistas a dimensionarem esses

massalotes e também a posicioná-los na peça, conforme estudos de gradientes térmicos e conceitos de solidificação direcional. Porém, todos eles se utilizam de conceitos básicos da análise científica do sistema de alimentação que se iniciou com Chvorinov e prosseguiu com outros pesquisadores, entre eles, Robert Wlodawer. Antes de Chvorinov a definição do sistema de alimentação era feita de maneira empírica, e que somente após a proposição de seu modelo é que o dimensionamento dos alimentadores foi analisado sobre bases científicas não empíricas, em que a proposta se baseava no tempo de solidificação da peça e do alimentador. A ideia de Chvorinov foi relacionar o tempo de solidificação à forma geométrica da peça, relacionando o volume existente com a área superficial do modelo, definindo-se assim o módulo da peça. Essa relação numérica dava-lhe informações sobre o tempo gasto na solidificação, e pode ser matematicamente entendida através da equação

2.1. (WLODAWER, 1967)

$$t = k_c \left(\frac{V_p}{A} \right)^2 \quad (2.1)$$

A solidificação é considerada um processo de transferência de calor no qual existe a liberação de calor latente na transformação do estado líquido para o sólido. Esta liberação de calor é acompanhada de uma frente de solidificação, que é a fronteira móvel existente entre as duas fases termofísicas envolvidas na fundição. O estudo da cinética da solidificação e a distribuição da temperatura no sistema metal/molde é importante para todo o processo. (BONOLLO, et ali, 2001)

E neste âmbito, conforme é apresentado no trabalho de Garcia (2001), a condução, a convecção e a radiação são formas de transferência de calor e todas elas estão presentes no processo de fundição. Na busca pela equalização das temperaturas nas trocas térmicas, ocorre que na interface de solidificação no sistema metal/molde há uma resistência térmica decorrente do complexo mecanismo de transferência de calor Newtoniana.

Nos cálculos que serão apresentados na metodologia deste trabalho, os quais serão utilizados para o dimensionamento do mas salote, valendo-se para isso dos modelos propostos por Chvorinov e Wlodawer, deparar-se-á com equações polinomiais de terceiro grau imperfeitas. Desta forma, julgou-se oportuna uma breve apresentação de um dos modelos matemáticos utilizados para resolução deste tipo de problema, que é o Método de Cardano.

3 MÉTODO DE CARDANO

Este trabalho não tem a pretensão de ser uma base sólida no estudo de equações polinomiais. Trata-se aqui, de maneira breve e resumida, do Método de Cardano apenas como introdução dos conceitos que serão utilizados ao longo do desenvolvimento da metodologia adotada neste estudo.

As equações polinomiais são aquelas em que se possui uma incógnita a ser descoberta através de uma relação algébrica de igualdade entre números e esta variável. Elas podem possuir “n” graus, onde este nada mais é que o número do expoente que é aplicado à incógnita.

3.1 APRESENTAÇÃO ALGÉBRICA DO MÉTODO

Segundo Garbi (1997), a resolução de problemas do tipo “ $ax^3+bx^2+cx+d=0$ ”, onde $a \neq 0$, através da solução deduzida por Cardano-Tartaglia é dada pela divisão de todos os termos da equação por “a” e pela substituição de “x” por “ $y-(a/3)$ ”. A equação 3.1 ilustra a operação.

$$\left(y - \frac{a}{3}\right)^3 + a\left(y - \frac{a}{3}\right)^2 + b\left(y - \frac{a}{3}\right) + c = 0 \quad (3.1)$$

Desenvolvendo-se a equação, tem-se a equação 3.2.

$$y^3 + \left(b - \frac{a^2}{3}\right) \cdot y + \left(\frac{2a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c\right) = 0 \quad (3.2)$$

Adotando-se algumas simplificações, conforme apresentado nas equações 3.3 e 3.4, tem-se a equação 3.5.

$$b - \frac{a^2}{3} = p \quad (3.3)$$

$$\frac{2a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c = q \quad (3.4)$$

$$y^3 + py + q = 0 \quad (3.5)$$

Adotando-se “ $y=u+v$ ” e substituindo na equação 3.5, tem-se a equação 3.6.

$$y^3 - 3uvy - (u^3 + v^3) = 0 \quad (3.6)$$

Quando se compara a equação 3.6 com a equação 3.5, tem-se a equação 3.7.

$$\left\{ \begin{array}{l} u^3 + v^3 = -q \\ u \cdot v = -\frac{p}{3} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} u^3 + v^3 = -q \\ u^3 \cdot v^3 = -\frac{p^3}{27} \end{array} \right\} \quad (3.7)$$

Sendo assim, “ u^3 ” e “ v^3 ” são soluções de uma equação de segundo grau, conforme afirma Garbi (1997). Desta forma, é conhecida a soma e o produto de suas raízes, a qual é apresentada na equação 3.8.

$$w^2 + qw - \frac{p^3}{27} = 0 \quad (3.8)$$

Ainda segundo o autor, aplicando-se a solução de Baskara à equação 3.8 e substituindo as duas raízes na equação 3.5, chega-se à equação 3.9 que é a solução formulada por Cadano-Tartaglia.

$$y = u + v = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} \quad (3.9)$$

4 METODOLOGIA

Com o objetivo de propor uma metodologia alternativa para dimensionamento de alimentadores utilizados no processo de fundição, este trabalho se utilizou do Método de Cardano para que fosse possível a resolução da equação matemática polinomial de terceira ordem imperfeita, a qual surge da utilização simultânea das Regras de Chvorinov e Wlodawer. Este procedimento proposto no presente estudo elimina a utilização de um parâmetro empírico arbitrário adotado nas práticas de fundição, chamado de “p”, o qual é a relação entre a altura e o diâmetro do massalote.

4.1 APLICAÇÃO DA REGRA DE CHVORINOV

Com intuito de explicitar o módulo do massalote em função de seu diâmetro e sua altura, realizou-se o seguinte procedimento matemático. Iniciou-se pela equação 4.1 que apresenta o conceito da Regra de Chvorinov, onde K é um número maior que 1,0, M_m o módulo do massalote e M o módulo da peça a ser fundida.

$$M_m = K \cdot M \quad (4.1)$$

Sabendo-se que o módulo do alimentador pode ser escrito como a relação entre seu volume e a superfície de troca de calor, tem-se a equação 4.2

$$M_m = \frac{V_m}{S_m} \quad (4.2)$$

Para efeito de cálculo, supõe-se um massalote cilíndrico, lateral e aberto, e uma vez definido seu volume e sua área de troca de calor e aplicando-os na equação 4.2, tem-se a equação 4.3 que apresenta o módulo do alimentador em função do seu diâmetro e altura.

$$M_m = \frac{\phi H_m}{(\phi + 4H_m)} \quad (4.3)$$

4.2 APLICAÇÃO DA REGRA DE WLODAWER

Neste estudo, utilizou-se a Regra de Wlodawer com objetivo de explicitar analiticamente a altura do massalote (H_m) em função do seu diâmetro (ϕ), rendimento metalúrgico (η) do processo e do coeficiente de contração (b) da liga metálica a ser fundida. Desta forma obteve-se a equação 4.4.

$$H_m = \frac{4bV}{(\eta - b)\pi\phi^2} \quad (4.4)$$

4.3 UTILIZAÇÃO SIMULTÂNEA DAS REGRAS DE CHVORINOV E WLODAWER

Ao se analisar as equações 4.3 e 4.4, percebe-se que há uma relação entre elas expressa pela altura do massalote H_m . Sendo assim, substituindo-se a equação 4.4 na equação 4.3, tem-se a equação 4.5 que após solucionada pelo Método de Cardano permite a determinação do diâmetro do massalote sem a utilização do parâmetro empírico e arbitrário “p”.

$$M_m (\eta - b)\pi\phi^3 - 4bV\phi + 16bVM_m = 0 \quad (4.5)$$

Observa-se que na equação 4.5 a única incógnita é o diâmetro, tendo em vista que o módulo do massalote, o rendimento metalúrgico, o coeficiente de contração da liga metálica e o volume da peça a ser fundida são conhecidos.

4.4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Neste item será apresentada uma aplicação do método proposto em uma peça exemplo para fins de ilustração. E para efei-

to de comparação, será feita a conta inversa para se determinar um possível novo parâmetro “p” para o método e compará-lo com os valores de “p” e os volumes para os alimentadores, utilizando-se dos Requisitos Térmicos e Volumétricos isoladamente.

Considere uma peça prismática com base quadrada de (350x350)mm² e 550mm de altura que será fundida em molde de areia verde, onde serão adotados como coeficiente de contração da liga metálica o valor de 0,15, considerar-se-á o módulo do massalote sendo 40% maior que o módulo da peça (K) e rendimento metalúrgico do processo de 20%. Calcula-se o volume da peça e sua área de troca de calor, considerando-se todo o seu volume e toda sua área superficial, exceto pela base do prisma.

$$V = 0,35^2 \cdot 0,55 = 0,067375 \text{ m}^3$$

$$S = (4 \cdot 0,35 \cdot 0,25) + 0,35^2 = 0,8925 \text{ m}^2$$

Aplicando-se a equação 4.1 e a equação 4.2 adaptada à peça encontram-se os módulos do massalote e da peça, respectivamente.

$$M = \frac{V}{S} = 0,0754902m$$

$$M_m = K \cdot M = 1,4 \cdot 0,0754902 = 0,106m$$

Nesta etapa encontra-se o diâmetro necessário para o massalote de maneira que ele atenda os Requisitos Térmicos e Volumétricos simultaneamente. Isto é feito utilizando-se a equação 4.5 que resume a intenção do autor neste trabalho, resultando na equação 4.6.

$$0,0167\phi^3 - 0,0404\phi + 0,0171 = 0 \quad (4.6)$$

Aplicando-se a solução matemática proposta por Cardano-Tartaglia, explícita pela equação 3.9, determina-se o diâmetro.

Para achar as raízes basta dividir o polinômio da equação 4.6 por x-(-0,3093). A resolução da equação

de grau 2, após a determinação de “y”, será resumida por entender a não necessidade de se realizar todos os cálculos passo a passo neste trabalho. Como raízes desta equação, tem-se “-1,7355m”, “0,4545m” e “1,2645m”.

O primeiro número da raiz foi descartado, pois não há sentido físico em se ter um diâmetro negativo. E o último número também foi descartado, pois se trata de um diâmetro demasiadamente grande, o que oneraria muito o processo, fugindo assim do objetivo deste trabalho.

Desta forma, adotou-se o diâmetro para efeito de dimensionamento igual a 400mm. Ao se utilizar este diâmetro na equação 4.3, obteve-se uma altura para o massalote negativa, a qual foi desconsiderada. Desta forma, aplicou-se o diâmetro encontrado na equação 4.4.

$$H_m = \frac{4 \cdot 0,15 \cdot 0,067375}{(0,20 - 0,15)\pi 0,4^2} = 1,61m \cong 1.600mm$$

A relação p para metodologia do presente estudo é de 4 e o volume do massalote dimensionado desta forma é de 0,201m³. Utilizando-se do Método de Chvorinov para resolução do mesmo problema, tem-se:

$$\phi = \frac{M_m(1+4p)}{p} = \frac{0,106(1+4p)}{4}$$

$$H_m = p\phi$$

Utilizando-se do valor empírico “p” recomendado pela prática que é um número entre 1 e 3, tem-se que o diâmetro ficará entre 460mm e 530mm, que a altura do alimentador oscilará entre 530mm e 1.380mm e o volume do massalote poderá assumir os valores entre 0,117m³ e 0,229m³.

Já para o Método de Wlodawer aplicado isoladamente, tem-se:

ARTIGOS

$$V_m = \frac{b \cdot V}{(\eta - b)} = \frac{0,15 \cdot 0,067375}{0,05} = 0,202m^3$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_m}{\pi \cdot p}}$$

Utilizando-se do valor empírico “p” recomendado pela prática que é um número entre 1 e 3, tem-se que o diâmetro ficará entre 440mm e 640mm, que a altura do alimentador oscilará entre 640mm e 1.320mm e o volume do massalote será igual a 0,202m³.

5 RESULTADO

Como resultado deste estudo, apresentou-se uma equação que determina o diâmetro do massalote através da utilização simultânea dos Métodos Chvorinov e Wlodawer, e desta forma, podendo-se dispensar a adoção da relação empírica entre a altura do massalote e seu diâmetro, comumente chamada de “p” na prática de fundição. Esta formulação foi apresentada na metodologia e é explícita através da equação 4.5.

Além do mais, com o objetivo de se realizar um estudo de caso para utilização de tal formulação, foi apresentado a aplicação da equação 4.5 a um problema comum de fundição, bem como foi realizado o mesmo problema através dos Métodos de Chvorinov e Wlodawer separadamente, para os quais o resultado é apresentado abaixo na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do dimensionamento do alimentador

MÉTODO	DIÂMETRO (mm)	ALTURA (mm)	VOLUME (m ³)
Chvorinov	460 – 530	530 – 1.380	0,117 – 0,229
Wlodawer	440 – 640	640 – 1.320	0,202
Proposto	400	1.600	0,201

Fonte: Produção do próprio autor

Observa-se através da Tabela 1 que o método proposto chegou a resultados próximos aos obtidos com metodologias clássicas, onde o diâmetro do massalote ficou ligeiramente menor,

sendo compensado pela altura que por sua vez ficou maior que a calculada pelos métodos clássicos. O volume por sua vez é praticamente igual ao obtido com a Método de Wlodawer e está compreendido no intervalo do volume calculado com o Método de Chvorinov.

6 CONCLUSÃO

O autor, através do presente trabalho, propôs uma metodologia algébrica para o dimensionamento dos alimentadores para sistemas de fundição lançando mão de uma formulação matemática para resolver problemas de equações polinomiais imperfeitas de grau 3. E desta forma, não utilizando a relação empírica entre a altura e o diâmetro do massalote comumente utilizada na prática de fundição.

Os resultados apresentados neste artigo mostram que os valores encontrados pelo método proposto se aproximam dos valores calculados através da utilização dos Requisitos Térmicos e Volumétricos aplicados isoladamente. Este fato pode indicar que o parâmetro “p” adotado normalmente nas fundições pode ser dispensado.

Conclui-se desta forma, que a metodologia proposta neste trabalho é um indicativo para que seja descartada a relação empírica entre a altura e o diâmetro do massalote nos cálculos utilizados para seu dimensionamento. Todavia, o autor alerta para a necessidade de se realizar ensaios práticos para verificar na realidade física este fato. Pois somente após exaustivos ensaios para verificar que os novos valores propostos também garantem a sanidade da peça fundida, deixando-a livre de rechupes, é que o método pode ser validado por completo.

REFERÊNCIAS

AFS. AMERICAN FOUNDRY SOCIETY. **Analysis of Casting Defects. American Foundrymen's Society Publishing.** Des Plaines. (1994), 3th Edition.

ALVES, L. H. D. **Utilização do método de Taguchi na modelagem e otimização de vazios relacionados à solidificação em processo de fundição de aço ABNT 1030.** Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, 2010, Guaratinguetá – SP.

ANSELMANT, R. E. **Estudo do critério de Nyama na formação de porosidade em fundidos de aço com distintos intervalos de solidificação.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2005, São Carlos – SP.

BEELEY, P. R. **Foundry Technology.** London: Butterworths, 1st Edition, 1972.

BONOLLO, F.; ODORIZZI, S. **Numerical Simulation of Foundry Process.** Servizi Graficali Editoriali, 2001, Itália.

GARBI, G. G. **O Romance das Equações Algébricas.** São Paulo – SP. Makron Books, 1997.

GARCIA, A. **Fundamentos de Solidificação.** Ed. UNICAMP, 2001, Campinas - SP.

GOODWAY, M. **History of Casting.** ASM Handbook, (1996), vol. 15, 10th Edition

NEVES, M. D. M.; LOTTO, A.; BARRETTA, J. R.; ROSSI, W.; JÚNIOR, N. D. V. **Solidificação da zona de fusão na soldagem do AISI 304 com inonel 600 por laser de Nd:YAG.** III COBEF – Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2005, Joinville, Anais do III COBEF – 2005. ISSN 0104-9224.

PLUTSHACK, L. A; SUSCHIL, L. Riser Design. **ASMMetals Handbook.** (1996). 10th Edition. Vol. 15.

WLODAWER, R. **Gelenkte Erstarrung von Stahlguss.** 2nd Edition, 1967, Alemanha.

SIMULTANEOUS USE OF THE RULES CHVORINOV AND WLODAWER FOR SUPPLY OF EMPIRICAL RELATIONSHIP BETWEEN THE HEIGHT AND DIAMETER MASSALOTE THE CALCULATIONS FOR YOUR SIZING - SOLUTION THROUGH THE METHOD CARDANO

Abstract: *This paper aims to conduct a comparative study between the sizing massalotes, using the Chvorinov methods and Wlodawer alone and comparing them with a methodology proposed in this study is the simultaneous use of two requirements. Thus, the goal was to offer an analytical methodology casting massalotes sizing in which it was unnecessary to use the empirical parameter "p". The method used to solve the problem equation was the Cardano-Tartaglia theory for solving polynomial equations degree of imperfect 3. The results indicate that when using this method, you get very close to the calculated values with the classical methods usually employed. It follows from this that the results indicate a waiver of the parameter "p" in the design of the casting feeders, however, are needed practical tests for validation methodology proposed in this study.*

Keywords: *Massalotes, Sizing, parameter "p" Chvorinov Rules and Wlodawer, Cardano method.*