

REDIMENSIONAMENTO DE UM CANAL DE DISTRIBUIÇÃO E ALIMENTAÇÃO EM FUNDIÇÃO

Guilherme Andrade Queiroz, guilherme_ubatan@hotmail.com¹

Raphael Silva Lins, rslins@facthus.edu.br¹

Luciano Antônio Fernandes, luciano.fernandes@uftm.edu.br²

Vitor Tomaz Guimarães Naves, vitor.naves@uftm.edu.br²

¹Faculdade de Talentos Humanos – FACTHUS, Rua Edmundo Borges de Araújo, 539, Uberaba – MG

²Universidade Federal do Triângulo Mineiros – UFTM, Av. Dr. Raulofo Borges Júnior, 1250, Uberaba - MG

Resumo: Em processos de fundição comumente utiliza-se um padrão de dimensionamento de canal onde sua área de seção seja piramidal retangular. Com o intuito de eliminar o problema de rechupe, diminuir o retorno e aumentar a produção, foi realizado, através de testes e cálculos, investigou-se uma proposta para melhoria do processo de fundição com uma nova área de seção piramidal triangular, onde essa mudança de área de seção fez com que a troca de calor com o molde fosse reduzida, resultando em uma manutenção do canal com uma certa temperatura por um maior tempo. A proposta do presente trabalho foi identificar os aspectos que comprovam a viabilidade do redimensionamento do canal de distribuição e alimentação.

Palavras-chave: canal de distribuição, molde em areia, rechupe, troca de calor por convecção

1. INTRODUÇÃO

Fundição é um processo de fabricação mais antigo e tecnicamente o mais importante dentre outros processos de fabricação, onde o aço fundido é aquele que é vazado em moldes metálicos ou areia, onde solidifica assumindo o formato do molde com formato praticamente definitivo, sem precisar utilizar qualquer transformação mecânica posterior (Chiaverini, 2004; Volsky, 1971 e Torre, 2004).

Este processo de fabricação de peças milenar que vem evoluindo junto com a humanidade tornando um método muito versátil. Permitindo a fabricação de peças de vários formatos, tamanhos, formas e complexidades, podendo ser peças em série ou peça única. Com isso tornando um processo viável tendo uma vasta gama de componentes metálicos. (Soares, 2000). As indústrias de fundição para obter maior competitividade e eficiência necessitam de mudanças em seu perfil, deixando de ser mero fornecedor de peça fundida para o cliente, passando a ser protagonista no fornecimento de produtos e serviços com alta tecnologia.

A relação com clientes deve se manter atualizada para melhor desenvolvimento de produtos. No mercado de fundidos a exigência requer serviços com excelência, agilidade na confecção e manufatura, logística de entrega e, sobretudo padrão de qualidade. De uma forma geral, é possível apontar alguns importantes parâmetros afetados pelo processo fundição, dentre eles destacam-se: a velocidade de transferência de calor durante a solidificação, a fluidez do metal, os perfis térmicos no metal e no molde, os tempos de solidificação do ferro fundido.

Para reduzir ciclos de desenvolvimento e reduzir custos, aprimorando a previsão de resultados no processo, se faz necessário conhecer os mecanismo de transferência de calor entre metal e molde de areia verde e a influência da Fe-C-Si, em relação a área e sua respectiva troca de calor. Pretende-se neste trabalho, avaliar a eficiência de vazamento na fundição em areia verde, com o intuito de eliminação de rechupe nas peças, mantendo o canal de alimentação aquecido devido ainda que sua área de troca de calor seja menor. Com isso consegue-se manter a temperatura do canal por um maior tempo, onde o material consegue manter uma fluidez desejada para o enchimento da cavidade das peças.

Com o redimensionamento do canal de distribuição e alimentação notou-se uma diminuição do rechupe nas peças, otimização do tempo de enchimento devido à nova configuração dimensional do canal, o que provocou uma redução do retorno de material (canal com peso menor), resultando no aumento da produtividade de peças e baixo índice de perda de peças por motivo de rechupe.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No vazamento de peças de ferro fundido em areia verde com canal central de distribuição e alimentação com base retangular foi detectado a presença em alguns lotes de rechupe, onde a solidificação de um metal se inicia pelas partes que estão em contato com as paredes do molde ou na parte superior, onde o metal está exposto ao ar. O metal ao passar do estado líquido para o sólido diminui seu volume, portanto aparecerá uma região central no lingote ou peça que se chama rechupe.

Sabe-se que a solidificação de um metal se inicia pelas partes que estão em contato com as paredes do molde ou na parte superior, onde o metal está exposto ao ar. O metal ao passar do estado líquido para o sólido diminui seu volume, portanto aparecerá uma região central no lingote ou peça que se chama rechupe. Considerado o volume perdido quando contraído, o rechupe é o diferencial entre os volumes líquido e sólido (respectivamente, inicial e final).

As marcas de chupagem ou rechupe geralmente aparecem sob pontos de acúmulo de material (pontos de variação da superfície da peça, próximo à nervuras e castelos de fixação), como uma depressão na superfície da peça moldada se a contração do material não for compensada. Espessuras de parede diferentes numa mesma peça podem ocasionar qualquer tipo de rechupe, tanto devido ao alívio de tensões, como à concentração de tensões no moldado (Chiaverini, 2004; Torre, 2004).

Rechupe de cratera é a falta de metal resultante da contração da zona fundida, localizada na cratera do cordão de solda. Outro importante tipo de rechupe é aquele ocasionado por um projeto deficiente para nervuras e saliências no produto. A localização indiscriminada de nervuras e a seleção imprópria das espessuras das mesmas podem provocar uma contração no molde capaz de alterar a forma da peça. A melhor maneira de minimizar o rechupe na orientação é fornecer um fluxo longitudinal para peças retangulares ou um fluxo radial para as circulares. Para peças circulares furadas no centro, podem-se utilizar entradas múltiplas.

Assim a peça deve ser projetada de forma a prevenir os indesejáveis rechupes. A solidificação se inicia nas regiões onde há mais troca de calor, paredes e superfície. Quando da solidificação, ocorre a formação de um perímetro sólido envolvendo uma região central líquida.

Com o passar de um estado líquido para sólido, concomitantemente, ocorre uma contração volumétrica devido à queda de temperatura. Visto não haver mais líquido para abastecer a variação de volume, surge então regiões "vazias" no seio da massa metálica. Este defeito se localiza habitualmente no centro da parte superior dos lingotes, região que, em geral, se solidifica por último. O tamanho de tais marcas de chupagem não segue uma ordem pré-estabelecida. Pode ser um só oco ou vários de tamanho variável. Este tipo de descontinuidade é muito grave para a sanidade das peças, afetando diretamente as propriedades mecânicas. A Figura 1 mostra a presença de rechupe em peça fundidas (a) e peças que podem apresentar defeitos de fundição (b).

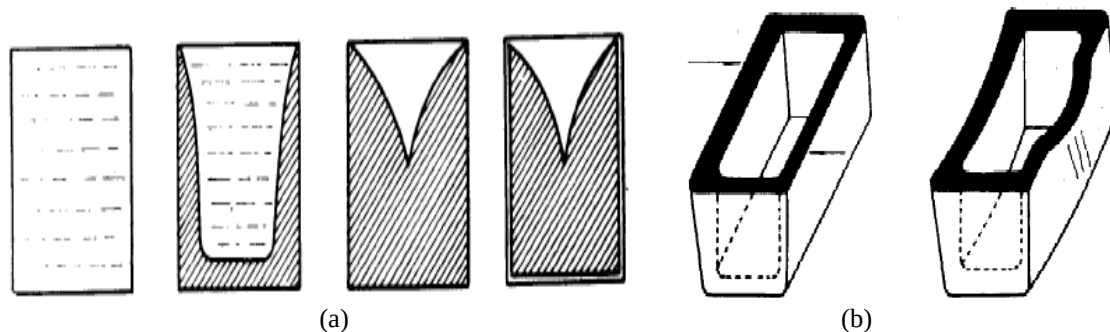


Figura 1: Análise de rechupe ou vazio de chupagem (CIMM, 2018) .

Baseado nesses dados de rechupe foi feito uma análise estatística de processo para analisar a incidência dos defeitos de fundição. Foram realizados cálculos de dimensionamento de canal de distribuição e alimentação e testes de produção, onde foi utilizado canal trapezoidal retangular e trapezoidal triangular. A Figura 2 mostra um esquema com as etapas do processo de fundição adotada na indústria de fundição onde os experimentos foram realizados.

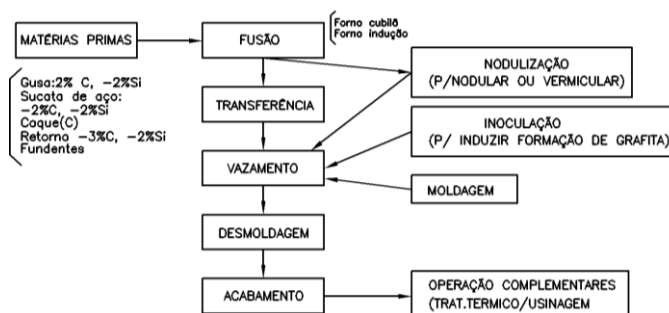


Figura 2: Diagrama de etapas do processo de fundição.

2.1. Estruturas de Solidificação e Propriedades

A estrutura que se forma imediatamente após a solidificação determina as propriedades do produto final, não somente no caso de peças de fundição que já apresentam essencialmente a forma definitiva, mas também naqueles produtos que serão trabalhados para produção de chapas, fios ou forjados. Embora acredite-se que eventuais defeitos da estrutura bruta de solidificação sejam eliminados durante a etapa de conformação plástica de lingotes, não ocorre exatamente isso na prática. Mesmo que determinados defeitos desapareçam macroscopicamente com o processo de conformação, geralmente a maioria deles é conduzida até o produto acabado.

De acordo com Garcia (2011) os processos de solidificação tem início com o aparecimento de nova fase sólida. O aparecimento e o crescimento posterior de partículas sólidas caracterizam o modo de formação da microestrutura em metais e ligas metálicas em momentos sucessivos de tal modo que aspectos cinéticos, térmicos, químicos e termodinâmicos estão fortemente relacionados. As características mecânicas desses produtos dependem do tamanho de grão, espaçamentos dendríticos, espaçamentos lamelares ou fibrosos, das heterogeneidades de composição química, do tamanho, forma e distribuição das inclusões, das porosidades formadas etc.

Todos esses aspectos da microestrutura dependem fortemente das condições de solidificação, desde o início do processo com o metal no estado líquido. Uma vez fixada a composição química da liga metálica, a dinâmica do processo de solidificação é que se encarregará de determinar a microestrutura resultante. A temperatura de vazamento do metal líquido surge como primeira variável de influência juntamente com a intensidade das correntes convectivas durante o preenchimento do molde. O molde, por sua vez, além de conferir forma a peça, atuará como absorvedor de calor responsável pela extração de calor do metal, garantindo a transformação do líquido em sólido. Dependendo da capacidade de absorção de calor pelo molde, o processo desenvolver-se-á com maior ou menor rapidez com influência direta nas taxas de resfriamento da peça. A termodinâmica do processo impor uma rejeição de soluto ou de solvente que dependerá da posição relativa da liga no respectivo diagrama de fases e que terá, como consequência um movimento de espécies associado à transferência de calor. Essa conjunção de transferência de massa e calor irá impor condições que determinarão a morfologia de crescimento e consequentemente o arranjo microestrutural (Mariotto, 2000; Torre, 2004 e Soares, 2000).

2.2. Transferência de Calor na Solidificação

A solidificação de materiais pode ser considerada fundamentalmente como um processo de transferência de calor em regime transitório. A transformação líquido/sólido é acompanhada por liberação de energia térmica, com uma fronteira móvel separando as duas fases de propriedades termofísicas distintas.

A análise da transferência de calor na solidificação apresenta essencialmente dois objetivos: a determinação da distribuição de temperaturas no sistema material/substrato (metal/molde no caso da fundição de metais) e a determinação da cinética de solidificação.

A transferência de calor através do fluido acontece por convecção na presença do movimento e por condução na sua ausência. Por isso a condução em fluido pode ser considerada caso-limite da convecção, que corresponde ao caso dos fluidos em repouso.

Envolve movimento do fluido e condução do calor, o movimento aumenta a transferência de calor, colocando mais partes quentes e frias do fluido em contato, iniciando altas taxas de condução com maior numero de pontos no fluido. Por isso a taxa de transferência de calor através de um fluido é bem mais elevada por convecção que por condução. Na verdade, quanto maior a velocidade do fluido, maior a taxa de transferência de calor.

A convecção depende fortemente das propriedades do fluido, com viscosidade dinâmica μ , condutividade térmica K , densidade ρ e calor específico c_p , assim como da velocidade do fluido v . Ela também depende da geometria e da rugosidade da superfície sólida, além do tipo de escoamento do fluido. Por isso acreditamos que as relações da transferência de calor por convecção são bastante complexas em virtudes da dependência da convecção em relação a tantas variáveis. Isso não é surpreendendo, uma vez que a convecção é o mecanismo mais complexo na transferência de calor (Lopes, 2014). A Figura 3 ilustra, de forma esquemática, o efeito de um sistema por convecção.

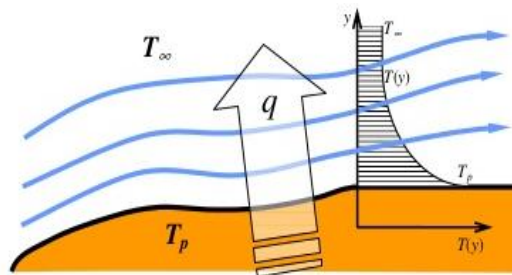


Figura 3: Sistema de Convecção (Lopes, 2014).

De acordo com Martorano (2003) apesar da complexidade da convecção, observa-se que a taxa de transferência de calor por convecção é proporcional à diferença de temperatura e está muito bem expressada pela lei de Newton do resfriamento como:

$$q_{\text{conv}} = h(T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

Ou

$$Q_{\text{conv}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W}) \quad (2)$$

Onde:

h = coeficiente de transferência de calor por convecção, $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

A_s = área de transferência de calor, m^2

T_s = temperatura da superfície, $^{\circ}\text{C}$

T_{∞} = temperatura do fluido suficiente longe da superfície, $^{\circ}\text{C}$.

Avaliando a partir de suas unidades, o coeficiente de transferência de calor por convecção h pode ser definido como taxa de transferência de calor entre as superfícies sólidas e um fluido por unidade de diferença de temperatura.

Calcula-se a área do canal quadrado pela seguinte formula:

$$L_c = L + \frac{t}{2} \quad (3)$$

A Figura 4 mostra uma representação dos formatos dos dois tipos de canal de distribuição utilizados nesta pesquisa, onde em (a) é apresentado o canal de distribuição piramidal e a nova proposta de alteração de geometria, apresentado em (b) canal de distribuição piramidal.

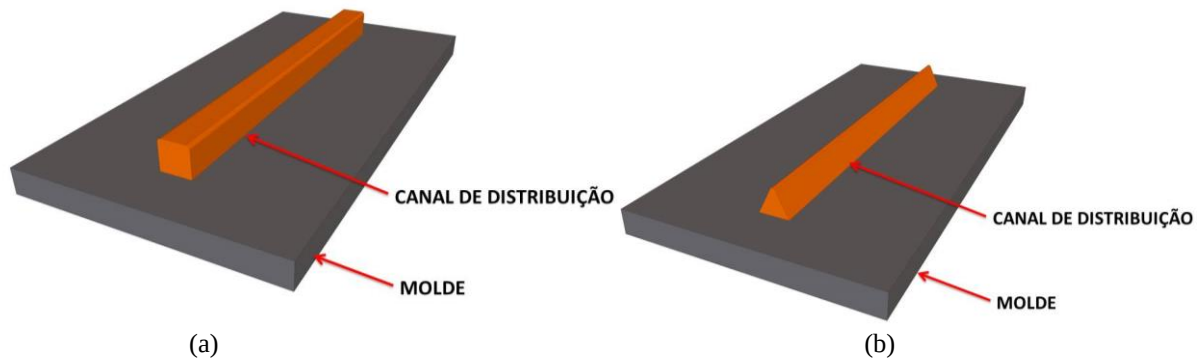


Figura 4: Representação do canal de distribuição piramidal retangular (a) e canal de distribuição piramidal triangular (b).

Calcula-se a área do canal triangular pela seguinte formula:

$$A_2 = 2w \sqrt{L^2 + \left(\frac{t}{2}\right)^2} \quad (4)$$

A primeira ação para o dimensionamento do sistema consiste em determinar cotas referente a seção do canal de distribuição dos canais de ataque. A fórmula básica empregada neste tipo de dimensionamento se baseia na vazão instantânea de um determinado volume de metal em repouso.

A vazão instantânea (Q) de um sistema de enchimento é função da velocidade potencial (V) que o fluxo de metal líquido atinge e da seção (S) do canal de escoamento. Freitas (2011) expõem estas análises e que podem também ser extraídas pelas equações a seguir. A Figura 5 que mostra uma representação do sistema padrão de enchimento

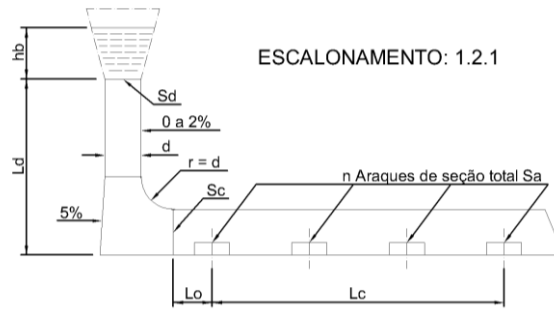


Figura 5: Representação de um sistema padrão de enchimento (Freitas, 2011).

$$Q = (SXV) \quad (5)$$

Como:

$$V = \sqrt{2gH} \quad (6)$$

Onde:

g = aceleração de gravidade

H = altura metalostática

Q = vazão instantânea

Sendo assim teremos:

$$Q = Sx\sqrt{2gH} \quad (7)$$

Considerando S como a área do canal de descida Sd e aplicando o coeficiente de perda de carga B nos canais, teremos:

1ª equação:

$$Q = \frac{Sd}{B} \sqrt{2gH} \quad (8)$$

Por outro lado sabe-se que a vazão média de enchimento do molde é igual a:

2ª equação:

$$Q = \frac{V}{T} \quad (10)$$

Onde:

V = volume de cavidade do molde

T = tempo de enchimento

Determinar coeficiente de carga “B”

$$l = hd + \frac{L0 + 0.3 \cdot lc}{4} \quad (11)$$

Onde:

Hd: altura do funil.

L0: distancia entre o inicio do canal de distribuição ate o centro do primeiro ataque.

Lc: distancia de centro do 1º ataque ate o ultimo ataque.

Quadro 2:valores de B para o sistema de escalonamento.

Das equações 1 e 2 obtém-se:

$$\frac{V}{T} = \frac{Sd}{B} \sqrt{2gH}$$

$$Sd = \frac{V}{T} \times \frac{B}{\sqrt{H}} \times \frac{1}{\sqrt{2g}}$$

$$Sd = \frac{V}{T} \times \frac{B}{\sqrt{H}} \times 0,226$$

Como $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Para podemos entrar com as variáveis em centímetro e a unidade de saída ser em milímetro quadrado a fórmula passam a ser:

$$Sd = 0,26 \times \frac{V}{T} \times \frac{B}{\sqrt{H}} \quad (12)$$

Onde:

Sd = área da secção do canal de descida em mm^2

V = volume da cavidade do molde em cm^3

T = tempo de vazamento em segundos

B = coeficiente de perda de carga admissível

H = altura metalostática em cm

Para dimensionar o volume total de cavidade V e igual a:

$$V = V_c + \sum V_m$$

$$V_c = V_p + \frac{ds}{dq} \quad (13)$$

Onde:

V_c = volume da cavidade do molde referente a peça em cm^3

V_p = volume da peça em cm^3

ds = densidade do metal solido

dq = densidade do metal líquido

V_m = volume do massalote em cm^3

De acordo com Freitas (2011) e Baldam (2013) alguns dos valores dos coeficientes ds e dq para as principais ligas empregadas em fundição são apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1: Valores de ds e dq para as principais ligas empregadas em fundição (Freitas, 2011; Baldam, 2013).

Ligas	ds (Kg/dm ³)	dq (Kg/dm ³)	Ds/dq
Aço	7,8	6,8	1,147
Ferro fundido	7,3	6,9	1,058
Bronze	8,9	7,8	1,141
Latão	8,4	7,5	1,12
Cobre	8,9	8,4	1,059
Cupro – Alumínio	7,7	6,7	1,149
Ligas de aço	2,7	2,37	1,139

Para calcular o diâmetro do canal de descida emprega-se a seguinte formula:

$$d = \sqrt{\frac{4Xsd^2}{P}}$$

$$d = \sqrt{1,2732 \times Sd} \quad (14)$$

Onde:

Sd = área da secção do canal de descida

d = diâmetro do canal de descida

Para determinar a cota de secção de ataque Sa emprega-se o deslocamento. A secção de cada ataque é dada pela seguinte formula:

$$pa = \frac{sa}{n} \quad (15)$$

Onde:

Pa = ($\sum$ das áreas das seções dos ataques)

n = numero de ataques

A Figura 6 mostra uma representação da seção transversal da região de ataque do canal de vazamento.

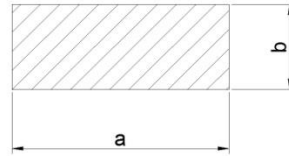


Figura 6: Representação da área seção de ataque do canal de vazamento.

$$a = 2\sqrt{sa} \quad (16)$$

$$b = \frac{a}{4} \quad (17)$$

O Rendimento do sistema é dado pela seguinte formula:

$$rs = \frac{Ps}{Pp} \cdot 100 \quad (18)$$

Onde:

Rs = rendimento do sistema em %

Ps = peso do sistema

Pp = peso da peça

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a realização deste trabalho, alguns problemas de fundição foram citados e também como melhora-lo. Para uma melhoria no processo foram feitos testes para analisar tecnicamente as causas do problema, mais conhecido como rechupe, com isso foi feito um levantamento de causas do mesmo, logo após com os dados em mãos determinou-se que ao redimensionar o canal de distribuição e alimentação mudando sua área.

Para melhor explicar o que realmente aconteceu na pratica foram feito cálculo para exemplificar a melhoria do redimensionamento de canal de distribuição e alimentação.

3.1. Cálculo de área do canal piramidal retangular

$$Lc = L = \frac{t}{2} \quad Lc = 20 = \frac{20}{2} \quad Lc = 30mm^2$$

$$A = 2 \cdot w \cdot Lc \quad A = 2272 \cdot 30 \quad A = 16320mm^2$$

A secção triangular seria menor do que a secção quadrada.

3.2. Cálculo de área do canal piramidal triangular

$$A = 2w \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{t}{2}\right)^2\right)} \quad A = 2 \cdot 272 \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{20}{2}\right)^2\right)} \quad A = 12164,2mm^2$$

No caso para este problema quanto menor for à troca de calor com o molde de areia verde melhor fluidez do material, mantendo a sua temperatura de fusão, fazendo com que o canal de distribuição possa continuar com sua temperatura por um maior tempo alimentando as peças e preenchendo toda cavidade do molde e eliminando o rechupe principal causa de perdas de peça.

A diferença de área do quadrado para o triangular é:

$$da = Aq - At$$

$$da = 16320 - 12164,2$$

$$da = 4155,8mm^2$$

Através de cálculos de área de aletas obtivemos um resultado gratificante devido a conseguir diminuir sua área de seção em 25,47%.

A Figura 7 mostra duas fotos com os modelos com capacidade para produção de 10 peças, para um canal de alimentação retangular (a) e outra com capacidade para produção de 20 peças, para o canal de alimentação piramidal triangular. Em ambos os casos o molde será feito em areia, formando o vazio que será preenchido pelo ferro fundido em estado líquido, demonstrando também o seu canal de distribuição e alimentação de seção piramidal triangular.

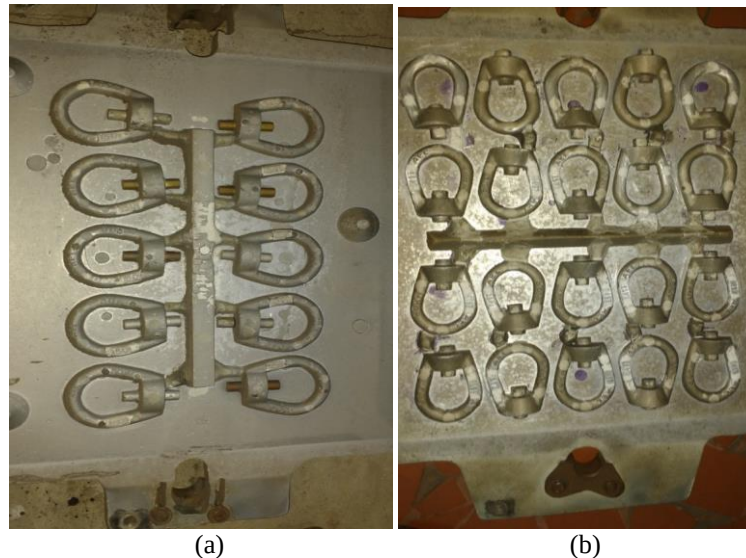


Figura 7: Fotos dos modelos de diferentes tipos de canal de alimentação.

3.3. Cálculo para o canal de área piramidal retangular

Para o cálculo da vazão (Q) instantânea de um sistema de enchimento em função do volume da cavidade, (V) e o tempo de enchimento (T), de acordo com a equação 10, apresentada anteriormente, onde: $V=7,2$; $T=18s$, encontrou-se a vazão $Q=0,4cm^3$.

Já o cálculo de seção de descida, esta foi obtida após determinar a área de seção do canal de descida (S_d) em função do volume da cavidade do molde (V); tempo de vazamento (T); coeficiente de perda de carga (B) e da altura metalostática (H), de acordo com a equação 12, onde: $V=7200$; $T=18s$; $B=2$; $H=5,8$. Obteve-se o $S_d=750,8mm^2$.

O cálculo volume total da cavidade (vc) em função do volume da peça (V); densidade do metal líquido (D_q); densidade do metal sólido (D_s), utilizando a equação 13, onde: $V_p=4,6$; $D_s=7,25$; $D_q=6,88$. Foi obtido o valor de $V_c=4,85cm^3$.

O cálculo de diâmetro do canal de descida (D) é em função da área de seção (s_d), que de acordo com a equação 14, onde: $S_d=750,8$. Encontrou-se $D=30,92mm$.

Para o cálculo de seção de ataques foi utilizado o valor de ($S_d = S_a$) para determinar o comprimento de ataque e posteriormente com o valor de (a) será obtido a altura do ataque (b). Por meio da equação 16, onde: $S_a=750,8$, obtem-se que $A=54,8mm$, logo após com o valor encontrado de A, e por utilizando a equação 17 é encontrado o valor de $B=13,7mm$.

A cota de seção de ataque é obtida utilizando o valor de (S_a) para encontrar a somatória das seções dos ataques, de acordo com a equação 15, onde: $N=10$, obteve-se o valor de $P_a=75,08$. O cálculo do rendimento do sistema é determinado através do peso do sistema (P_s) e do peso da peça (P_p), resultado em porcentagem, desta forma conclui-se quanto o sistema terá de retorno, e através com a equação 18, onde: $P_s=7200$; $P_p=4850$, obteve-se como rendimento do sistema o valor de $R_s=1,48\%$.

3.4. Cálculo para o canal de área piramidal triangular

Será apresentado análises semelhantes ao canal piramidal retangular, porém esta seção é destinada ao canal piramidal triangular. Para o cálculo da vazão (Q) instantânea de um sistema de enchimento em função do volume da cavidade, (V) e o tempo de enchimento (T), de acordo com a equação 10, apresentada anteriormente, onde: $V=6,26$; $T=15s$, encontrou-se a vazão $Q=0,41cm^3$.

Já o cálculo de seção de descida, esta foi obtida após determinar a área de secção do canal de descida (S_d) em função do volume da cavidade do molde (V); tempo de vazamento (T); coeficiente de perda de carga (B) e da altura metalostática (H), de acordo com a equação 12, onde $V=6260$; $T=15$ s; $B=2$; $H=5,8$. Obteve-se o $S_d=783,26\text{mm}^2$.

O cálculo volume total da cavidade (V_c) em função do volume da peça (V); densidade do metal líquido (D_q); densidade do metal sólido (D_s), utilizando a equação 13, onde: $V_p=4,6$; $D_s=7,25$; $D_q=6,88$. Foi obtido também o valor de $V_c=4,85\text{cm}^3$.

O cálculo de diâmetro do canal de descida (D) é em função da área de secção (s_d), que de acordo com a equação 14, onde: $S_d=783,26$. Encontrou-se $D=31,58\text{mm}$. Para o cálculo de seção de ataques foi utilizado o valor de ($S_d = S_a$) para determinar o comprimento de ataque e posteriormente com o valor de (a) será obtido a altura do ataque (b). Por meio da equação 16, onde: $S_a=783,26$, obtem-se que $A=55,97\text{mm}$, logo após com o valor encontrado de A , e por utilizando a equação 17 é encontrado o valor de $B=14\text{mm}$.

A cota de seção de ataque é obtida utilizando o valor de (S_a) para encontrar a somatória das secções dos ataques, de acordo com a equação 15, onde: $N=20$, obtive-se o valor de $P_a=75,08$. O cálculo do rendimento do sistema é determinado através do peso do sistema (P_s) e do peso da peça (P_p), resultado em porcentagem, desta forma conclui-se quanto o sistema terá de retorno, e através com a equação 18, onde: $P_s=6260$; $P_p=4850$, obteve-se como rendimento do sistema o valor de $R_s= 1,29\%$.

Além desses cálculos de dimensionamento de canal de distribuição e alimentação do sistema de fundição e preciso mostrar como a troca de calor tem total influencia nesta melhoria, utilizando formulas de convecção para a troca de calor entre o metal (ferro fundido) e o molde de areia, tem-se que a troca de calor por convecção área de secção trapezoidal quadrada, de acordo com a equação 1, onde $A=16,32$; $T_s=28$; $T_f=1420$ obtém-se o valor de $Q_q= 22717,4\text{H}$.

A troca de calor por convecção da área de secção piramidal triangular, de acordo com esta mesma equação e adotando $A=12,16$; $T_s=28$; $T_f=1420$, obtém-se o valor de $Q_t= 16926,7\text{H}$. Desta forma, a diferença de taxa de calor com área quadrada para área triangular foi de $Q_d 5790,7\text{H}$.

Foi feita uma análise mais ampla, com outras variáveis, para comprovar os benefícios provocados pela alteração da geometria do canal de alimentação com formato piramidal retangular para piramidal triangular. Estas variáveis, em síntese, são apresentadas na Tabela 2, onde é mostrado o antes e o depois desta mudança. Portanto, conclui-se que houve um otimização de melhorias após esta modificação, o que consequentemente favoreceu de uma forma geral o processo de fundição da empresa avaliada neste estudo. Estas melhorias, através da otimização da geometria do canal de vazamento, são comumente aplicáveis nas indústrias de fundição e tornam-se fontes de estudos em diversos casos onde o objetivo é aumento da produtividade (Rebelo, 2000; Passini, 2005; Baldam, 2013; Freitas, 2011).

Tabela 2: Valores obtidos para centro de custo de peça.

	Antes	Depois
Insumos	0,81	0,55
Mão de obra direta	0,56	0,39
Mão de obra indireta	0,27	0,18
Serviços	0,03	0,02
Total	1,67	1,14
Peso da peça	0,26kg	0,235kg
Retorno	35%	15%
Peças por caixa	10	20
Peso canais	1,65kg	0,80kg

4. CONCLUSÃO

De acordo com o tema proposto pelo presente trabalho, conclui-se que o canal de distribuição e alimentação com seção triangular mostra ser mais eficaz devido ao seu rendimento, onde a área de contato do canal foi reduzida através da mudança de tipologia da geometria do canal de alimentação de secção quadrada para secção triangular fazendo com que a troca de calor do material com o molde de areia verde seja menor, conseguindo manter por um maior tempo a temperatura do canal de distribuição que é desejada para eficiência do vazamento neste processo. Obtendo um menor tempo de enchimento do molde, com uma capacidade de dobrar o numero de peças no molde, provocando melhor fluidez do material, mantendo o ferro fundido líquido e eliminando o rechupe nas peças, que resultou na eliminação de defeitos na peça, consequentemente aumentando a produção, uma vez que isto reduziu o retorno de material para o forno.

5. REFERÊNCIAS

Torre, J. 2004, “Manual prático de fundição e elementos de prevenção da corrosão”, São Paulo (SP): Hemus, 243 p., il. ISBN 8528905225.

- Chiaverini, V., 2004, “Aços e Ferros Fundidos, Editora ABM, Rio de Janeiro.
- Soares, G.A., 2000 “Fundição: Mercado, Processos e Metalurgia”, Ed. COOPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Volsky, A. 1971 “Theory of Metallurgy Processes, Mir Publishers”.
- Garcia, A., 2011, “Solidificação: fundamentos e aplicações” 2. ed. Campinas (SP); São Paulo (SP): UNICAMP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2011. 399 p.
- Vidal, D. F., 2013 “Análise de estrutura e propriedades mecânicas de um ferro fundido nodular em processo de fundição produzido pela técnica de imersão de sino” Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes.
- Marioto, L. C., 2000 “Regeneração de areias: uma tentativa de discussão sistemática” Revista Fundição & Matérias-Primas, Caderno Técnico, São Paulo nº. 42, v. 33.
- CIMM, 2018 “Fundição” Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3675-fundicao#.Wr1TAtTwZywI>. Acessado em: 29 março de 2018.
- Lopes, J. C. P., 2014 “Transferência de Calor: apontamentos” Disponível em <<https://pt.slideshare.net/jorgevieria397/transferencia-de-calorapontamentosloc2014201>>. Acessado em 29 de março de 2018.
- Passini, A., 2005 “Estudo de caso para o cálculo dos sistemas de alimentação e enchimento em moldes de fundição” Trabalho de Conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Materiais.
- Rebelo, M. A., 2000 “Utilização de recursos computacionais na análise de fundição de peças” Revista do ist, v. 01, p. 23-32.
- Martorano, M. A., 2003 “Modelagem matemática da transferência de calor na interface metal/molde”. Engevista (UFF), Escola de Engenharia - RJ, v. 5, n.8, p. 4-14.
- Freitas, A. W., 2011 “Determinação de sistema de alimentação e enchimento”, SENAI/MG - Centro Tecnológico de Fundição Marcelino Corradi
- Baldam, R. L., 2013 “Fundição - Processos E Tecnologias Correlatas”. 1 ed. São Paulo: Erica.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

REDIMENSIONING OF DISTRIBUTION CHANNEL AND FOUNDATION IN FOUNDRY

Guilherme Andrade Queiroz, guilherme_ubatan@hotmail.com¹

Raphael Silva Lins, rslins@factus.edu.br¹

Luciano Antônio Fernandes, luciano.fernandes@uftm.edu.br²

Vitor Tomaz Guimarães Naves, vitor.naves@uftm.edu.br²

¹Faculty of Talentos Humanos – FACTHUS, Edmundo Borges de Araújo St, 539, Uberaba – MG

²Federal University of Triângulo Mineiros – UFTM, Dr Randolpho Borges Júnior Av, 1250, Uberaba - MG

Abstract. *Currently in the casting area is a channel sizing pattern where its section area is square (trapezoidal). In order to eliminate the rejection problem, decrease the return and increase production, through tests and calculations made to improve the casting process with a new channel section. The purpose of this work is to identify the aspects that prove the viability of the resizing of the distribution channel.*

Keywords: *Distribution and feed channel; Sand mold; Reject, Convection heat exchange.*