

Proposição de estratégia com a metodologia FMEA para reduzir porosidade no processo de fundição sob pressão

Paula Malburg Rebelo (Universidade do Vale do Itajaí) paaularebelo@hotmail.com

Anne Caroline de Pieri (Universidade do Vale do Itajaí) anne_pieri@hotmail.com

Fernanda Sanna Gherpelli (Universidade do Vale do Itajaí) fsgherpe@gmail.com

Resumo:

Este artigo apresenta um estudo de caso, que foi realizado com o auxílio da ferramenta de análise da qualidade FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), também chamada de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, sugerindo uma melhoria ao método inicialmente proposto, de Taguchi, para uma segunda avaliação de situação de risco de porosidade na área de fundição sob pressão em uma indústria multinacional metalúrgica. Atualmente o processo de fundição é muito presente em diversos itens, desde artigos domésticos a sofisticados. Deste modo, a realização da presente análise proporcionou um maior entendimento acerca do tema proposto, além de mostrar e explicar mais sobre o que é fundição e sua importância no setor produtivo industrial.

Palavras chave: Fundição, FMEA, Porosidade.

Proposal of strategy with the FMEA methodology to reduce porosity in the casting process under pressure

Abstract

This article presents a case study, which was performed with the aid of the FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) quality analysis tool, suggesting an improvement to the initially proposed method of Taguchi, for a second assessment of the porosity risk situation in the area of pressure casting in a multinational metallurgical industry. Currently the casting process is very present in several items, from household articles to sophisticated ones. Therefore, the accomplishment of the present analysis provided a greater understanding about the proposed theme, besides of showing and explaining more about what is foundry and its importance in the industrial productive sector.

Key-words: Foundry, FMEA, Porosity.

1. Introdução

A fundição sob pressão (FSP) é amplamente utilizada, pois é um processo que permite alta produção de peças com geometrias complexas (VENDRAMIM & ENOKIBARA). As peças produzidas são vistas como componentes de engenharia inovadora, que possibilitam redução de custos e de peso.

Embora possua diversas vantagens, durante o procedimento podem surgir diversas deficiências técnicas e imperfeições no bloco metálico. Segundo Anusavice (1998), as falhas mais frequentes são: distorção, rugosidade, irregularidade de superfície, fundição incompleta e porosidade.

A porosidade pode ocorrer tanto pela contração do metal durante a solidificação quanto por gases, que podem estar dissolvidos no metal fundido ou serem inseridos durante o preenchimento do molde (BREVICK, 2009). Quando ocorre, a porosidade diminui a resistência mecânica, favorece o aparecimento de trincas e o vazamento em peças que contêm fluidos sob pressão (MENDES, 2005).

Porém, a maioria dos defeitos da FSP podem ser evitados e/ou minimizados com a observação dos princípios e regras existentes para os procedimentos de fundição.

Viana & Neto (2013), com o objetivo de melhorar a qualidade de uma peça de alumínio, fundida sob pressão, por meio da redução da porosidade, escreveram o artigo “otimização do processo de fundição sob pressão aplicando o método de Taguchi”. Nele, buscaram determinar a melhor configuração de parâmetros do processo de fundição sob pressão de alumínio para minimizar a porosidade nas peças produzidas.

Aplicaram o método de Taguchi utilizando dados categóricos ordinais (classes de porosidades) como característica de qualidade, por meio da análise da relação sinal-ruído ponderada.

A pesquisa dos autores foi aplicada em uma empresa metalúrgica multinacional fabricante de moto-redutores, esses que possuem uma fundição de alumínio sob pressão como um de seus setores produtivos. Para realizar uma análise de variância definiram os seguintes fatores controláveis no processo:

- Temperatura do metal;
- Velocidade da primeira fase de injeção;
- Velocidade da segunda fase de injeção;
- Pressão específica da terceira fase de injeção;
- Curso da primeira fase de injeção; e
- Temperatura do molde.

Os fatores temperatura do metal, velocidade de primeira fase de injeção e velocidade de segunda fase de injeção foram os mais significativos quanto ao efeito médio da relação sinal-ruído. O método de Taguchi alcançou o resultado esperado, pois mostrou redução significativa de porosidade, por meio da otimização dos parâmetros do processo.

O presente estudo visa adaptar a ferramenta de análise de modos e efeitos de falhas, também conhecido como FMEA, para avaliação de situação de risco na área de fundição sob pressão. Isso porque, de acordo com PALADY (1997), a FMEA é uma das técnicas de baixo risco mais eficiente para prevenção de problemas e identificação de soluções mais eficazes em termos de custos.

2. Fundamentação teórica

2.1 Fundição sob pressão

O processo de fundição é presente em todas as regiões do Brasil e é responsável pela produção de diversos itens, desde peças simples de uso doméstico até as mais sofisticadas, como autopeças de veículos e peças e/ou partes de máquinas e equipamentos de uso industrial (ARAUJO et al, 2004). Segundo o relatório da ABIFA-Associação Brasileira de Fundição (2017), o setor produziu em julho de 2017 uma média de 9.330 toneladas/dia e gera cerca de 52.371 empregos diretos.

Segundo ARAUJO & ARANALES (2003), a maior parte da produção brasileira de fundidos é destinada para a indústria automotiva e a siderúrgica (fundições cativas), e uma pequena parcela é dedicada aos setores da indústria mecânica e da infraestrutura (fundições de mercado).

Dentre os diversos tipos de fundição, o processo de fundição sob pressão (*Die Casting*) consiste na transferência do metal líquido para o interior de um molde metálico sob a ação de um pistão a elevadas pressões (JUVENIL & DEROSI, 2010). Ou seja, é o processo de injetar um metal líquido (como a liga de alumínio, zinco ou magnésio) no interior da cavidade de um molde, submetendo o metal a altas pressões (VIANA & NETO, 2013).

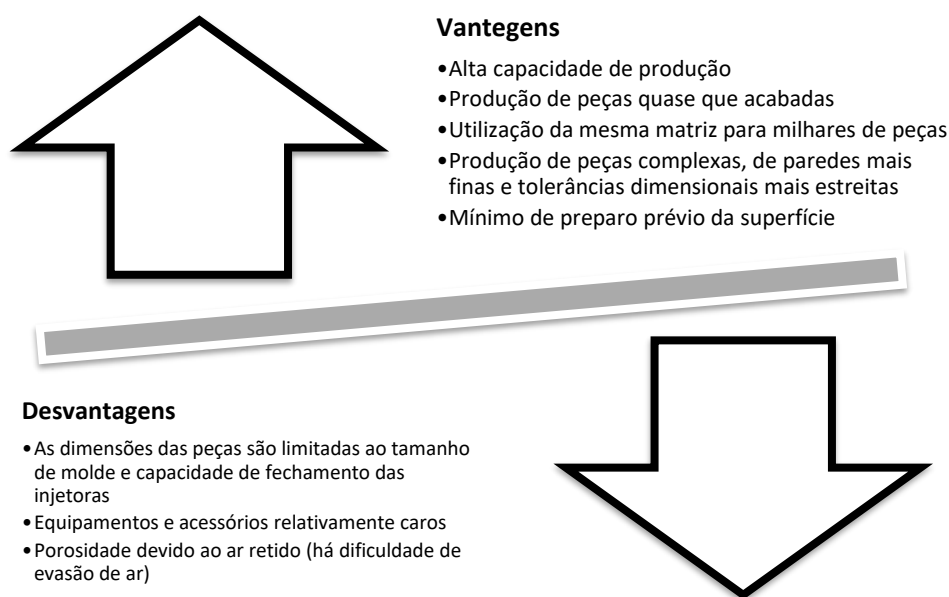
Tem como objetivo fabricar peças de alta característica mecânica e com tolerâncias dimensionais restritas. Através deste processo podem-se obter paredes de espessura de até 1 m, além de uma baixa rugosidade superficial, peças com excelente aparência, e redução das operações complementares de acabamento superficial (JUVENIL&DEROSI, 2010).

O processo de fundição sob pressão foi criado em 1849, devido à necessidade de produção de tipos de chumbo para tipografia. Em 1907, patenteou - se a primeira máquina de injeção de câmara quente, que foi largamente utilizada na produção de componentes para máscaras contra gases e de binóculos (SONSIN et al, 2014).

O processo de fundição sob pressão destaca-se na produção de metais leves, sendo particularmente apropriado para produção de peças em alumínio e magnésio. Esses metais leves são muito utilizados na indústria automobilística para diminuir o peso dos veículos e aumentar a segurança e conforto dos usuários (JUVENIL & DEROSI, 2010).

Outros setores que utilizam a FSP são: equipamentos eletrônicos, material bélico, brinquedos, eletrodomésticos, agricultura, transporte, máquinas industriais, equipamentos de escritório/esportivos, joalheria, máquinas fotográficas e equipamentos de construção (AFS, 1993).

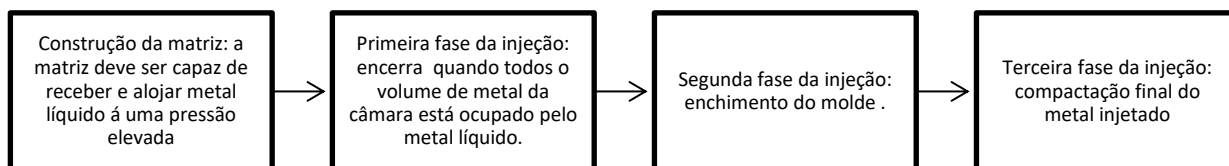
As principais vantagens e desvantagens da FSP (SORS, 1975) estão listadas na Figura 1.



Fonte: Os autores (2018)

Figura 1 – Vantagens e desvantagens da FSP

Segundo o CETEF (Centro tecnológico de fundição Marcelino Corradi), consiste nas etapas demonstradas na Figura 2.



Fonte: Os autores (2018)

Figura 2 – Fluxo de FSP

2.2 Porosidade

Ammar et al (2008) concluíram que o defeito de porosidade é responsável pela diminuição da vida das peças fundidas sob pressão, sendo que 90% das amostras tiveram fraturas originadas deste defeito. Segundo Viana & Neto (2013), os poros consistem em vazios preenchidos com gases, onde deveria existir metal. As principais razões para o surgimento da porosidade são a contração devido à solidificação e a presença de gases no metal fundido (BREVICK, 2009).

Está presente na superfície e/ou na parte internada peça metálica fundida, podendo ser observada por métodos como microscopia (ELARBI et al., 1985; LEWIS, 1975), densitometria e radiografia (ELARBI et al., 1985, DHARMAR et al., 1993; WANG & BOYLE, 1993). Pode estar presente na parte interna ou externa da peça:

- Presente na parte interna: dependendo da localização e concentração, pode enfraquecer a estrutura da peça fundida (MACKER, 1988). A Figura 3 apresenta um espaçador de ventilador com porosidade externa.

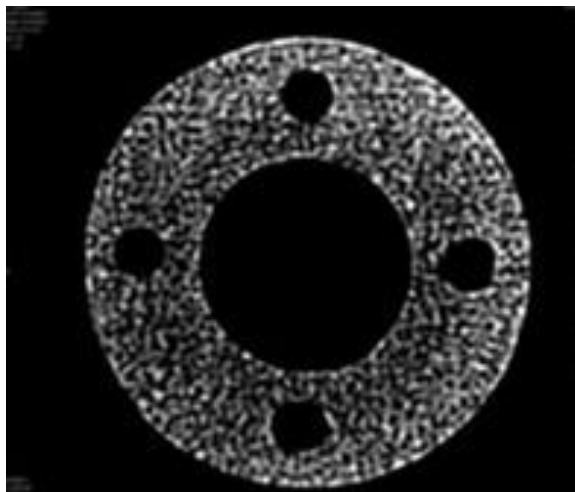


Fonte: PERRI, 2011 – Adaptado

Figura 3 – Componente poroso externo (espaçador de ventilador)

- Presente na parte externa: pode resultar no aumento da rugosidade, além de favorecer a corrosão (NIELSEN & OLLERMANN, 1976), que gera perda de brilho superficial, característica inerente dos metais quando devidamente polidos. A Figura 4 apresenta uma peça

com porosidade interna.



Fonte: PERRI, 2011 – Adaptado

Figura 4 – Tomografia de componente poroso interno

Segundo Anusavice (1998), a porosidade pode ser classificada em porosidade por contração de solidificação (microporosidade e porosidade por contração localizada); porosidade causada por gases; e porosidade causada pela oclusão de ar no molde.

Esse efeito é inerente ao processo de fundição (JUVENIL & DEROSI, 2010), porém devem ser adotados certos procedimentos para evitar que ocorra. As principais soluções encontradas por Juvenil & Derossi (2010) são a aplicação de vácuo e a fundição por compressão (*squeezecasting*).

2.3 FMEA

A análise dos modos de falhas e seus efeitos (*failure mode and effects Analysis* - FMEA) é uma técnica aplicada em para sistemas de elevado risco potencial no decorrer de um processo (SILVA et al, 2008). Permite que os principais problemas e possíveis defeitos de um componente ou sistema sejam analisados e identificados antes que os mesmos cheguem ao seu destino, ou seja, ao cliente final (GONÇALVES, 2010). Além disso, descreve as consequências das falhas, sejam estas para o meio ambiente, para o sistema ou para o próprio componente.

Oferece três funções distintas: é uma ferramenta para prognóstico de problemas, é um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados e é o diário de um projeto, processo ou serviço (PALADY, 1997). Pode proporcionar para a empresa:

- Uma forma sistemática de catalogar as informações sobre as falhas dos produtos/processos;
- Mais conhecimento dos problemas nos produtos/processos;
- Ações de melhoria no projeto do produto/processo, baseado em informações e devidamente monitoradas (melhoria contínua);
- Diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas;
- Incorporação de uma atitude de prevenção de falhas, de cooperação e trabalho em

equipe, além da preocupação com a satisfação dos clientes.

Permite analisar o modo de falha, ou seja, como os componentes de um equipamento ou sistema podem falhar, estimar as taxas de falhas, determinar os efeitos que poderão ocorrer e estabelecer plano de ação para aumentar a probabilidade do sistema ou do equipamento em análise, para que funcione realmente de maneira satisfatória e segura (GSI/NUTAU/USP, 2008).

Segundo Fantazzine & Serpa (2002), o FMEA objetiva uma revisão sistemática dos modos de falha de um componente (para garantir danos mínimos ao sistema), determinação dos efeitos que as falhas causarão em outros componentes do sistema, determinação dos componentes cujas falhas teriam efeito crítico na operação do sistema (falhas de efeito crítico), cálculo de probabilidades de falhas de montagens, subsistemas e sistemas e determinação de como podem ser reduzidas as probabilidades de falha de componentes.

Pode-se aplicar a análise FMEA nas seguintes situações (CLAUSING, 1994; ROZENFELD et al, 2008):

- Redução da probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos ou processos;
- Redução da probabilidade de falhas potenciais (ainda não aconteceram) em produtos/processos já em operação;
- Aumento da confiabilidade de produtos ou processos já em operação por meio da análise das falhas que já ocorreram;
- Redução dos riscos de erros; e
- Aumento da qualidade em procedimentos.

Surgiu em meados da década de 60 e pode ser FMEA de projetos ou processos (PALADY, 1997; MOURA, 1997), conforme Quadro 1.

FMEA de projeto (DFMEA – design failure modes and effects analysis)	FMEA de processo (PFMEA – process failure modes and effects analysis)
São consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto.	São consideradas as falhas no planejamento e execução do processo.
Objetivo: evitar falhas no produto ou nos processos decorrentes do projeto.	Objetivo: evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto.
- Auxilia na avaliação objetiva dos requisitos do projeto e das soluções alternativas; – Considera os requisitos de manufatura e montagem no projeto inicial; – Aumenta a probabilidade de que os modos de falhas potenciais e seus efeitos nos sistemas e na operação tenham sido	- Identifica os modos de falhas potenciais do processo relacionadas ao produto; - Avalia os efeitos potenciais da falha no cliente; - Identifica as causas potenciais de falhas do processo de manufatura ou montagem e as variáveis que deverão ser controladas para redução da ocorrência ou melhoria da eficácia da detecção das falhas;

considerados no processo de desenvolvimento/projeto; – Proporciona informações adicionais para ajudar no planejamento de programas de desenvolvimento e de ensaios de projeto eficientes e completos; – Desenvolve uma lista de modos de falhas potenciais classificadas de acordo com os seus efeitos no cliente, estabelecendo assim um sistema de priorização para melhorias do projeto e ensaios de desenvolvimento; – Proporciona uma forma de documentação aberta para recomendar e rastrear ações de redução de risco; e – Proporciona referências para no futuro ajudar na análise de problemas de campo, na avaliação de alterações de projeto e no desenvolvimento de projetos avançados.	- Classifica modos de falhas potenciais, estabelecendo assim um sistema de priorização para a tomada das ações corretivas; e - Documenta os resultados do processo de manufatura ou montagem.
--	---

Fonte: Os autores (2018)

Quadro 1 – FMEA de projeto e de processo

O FMEA de produção e/ou de projetos segue 5 etapas, segundo descrito por SILVA et al (2008):

- Seleção de um sistema e divisão do mesmo em componentes;
- Descrição das funções dos componentes;
- Aplicação da lista de modos de falha aos componentes, verificando falhas possíveis;
- Verificação dos efeitos das falhas para o sistema, o ambiente e o próprio componente, observando as possibilidades de ocorrência; e
- Estabelecimento de medidas de controle de risco e de controle de emergência.

3. Metodologia

O sistema que será analisado será o processo de fundição sob pressão, com foco na redução de falhas que ocasionam o efeito de porosidade nas peças.

Conforme comprovado por Viana & Neto (2013), as etapas críticas para o surgimento de porosidade na peça são: temperatura do metal, velocidade de primeira fase de injeção e velocidade de segunda fase de injeção.

Foram selecionados seis parâmetros controláveis no processo que não exijam da alteração no projeto do molde, sendo eles temperatura do metal, velocidade da primeira fase da injeção, velocidade da segunda fase da injeção, pressão específica da terceira fase de injeção, temperatura do molde e curso da primeira fase da injeção.

Com os parâmetros que ocasionam a falha de porosidade definidos, realizou-se uma análise da frequência com que cada parâmetro oscila qual a severidade com que ele impacta na porosidade e sua detecção para a elaboração do FMEA (Tabela 1).

Processo ou ação	Modo de falha	Efeito da falha	(O)	(S)	(D)	Risco (O*S*D)	Meio de detecção
Fundição sob pressão (FSP)	Temperatura do metal	Porosidade (Diminuição da resistência mecânica, o favorecimento de trincas e o vazamento em peças que contêm fluidos sob pressão)	9	8	2	144	Máquina injetora
	Velocidade da segunda fase da injeção		9	9	2	162	Máquina injetora
	Velocidade da primeira fase da injeção		8	8	2	128	Máquina injetora
	Pressão Específica da terceira fase da injeção		8	9	2	144	Máquina injetora
	Temperatura do molde		7	6	2	84	Máquina injetora
	Curso da primeira fase de injeção		7	8	2	112	Máquina injetora

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 1 – Análise FMEA

4. Resultados

Para a obtenção de resultados na pesquisa foi elaborado um plano de ação para cada parâmetro que ocasionam a falha de porosidade, conforme mostra o quadro 1, com intuito de diminuir a ocorrência das mesmas.

Modo de Falha	Plano de Ação
Temperatura do metal	Realizar o controle de temperatura do metal em três temperaturas específicas, após analisar as peças em cada temperatura a fim de encontrar a temperatura que ocasiona menor índice de porosidade na peça.
Velocidade da segunda fase da injeção	Determinar três velocidades específicas e cada fundição manter uma velocidade constante na segunda fase da injeção, no fim analisar as três peças e encontrar a velocidade que ocasiona o menor índice de porosidade.
Velocidade da primeira fase da injeção	Determinar três velocidades específicas e cada fundição manter uma velocidade constante na primeira fase da injeção, no fim analisar as três peças e encontrar a

	velocidade que ocasione o menor índice de porosidade.
Pressão Específica da terceira fase da injeção	Realizar o controle da pressão na terceira fase da injeção em três pressões diferentes, após analisar a peça em cada pressão específica a fim de encontrar a pressão que ocasione o menor índice de porosidade na peça.
Temperatura do molde	Realizar o controle de temperatura no molde em três temperaturas específicas, após analisar as peças em cada temperatura a fim de encontrar a temperatura que ocasione menor índice de porosidade na peça.
Curso da primeira fase	

Com a aplicação do plano de ação encontrou-se uma temperatura/pressão específica para cada parâmetro que ocasionam a menor quantidade de porosidade da peça, elaborando assim um mix considerado o “ideal” na diminuição desse tipo de falha na fundição sob pressão.

5. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo a redução da porosidade nas peças de alumínio realizadas no processo de fusão sob pressão. Para tal, utilizou-se a ferramenta FMEA para um levantamento de como os parâmetros influenciam no processo de fundição na quantidade de porosidade nas peças.

Analisando o FMEA, com a ocorrência da causa de cada parâmetro, a severidade que ele ocasiona nas peças e a possível detecção das falhas, chegou-se a conclusão que o parâmetro que mais influência na porosidade da peça é a velocidade da segunda fase de injeção, sendo seguido pela velocidade da primeira fase de injeção e a temperatura do metal. Sendo estes parâmetros a ser analisados mais profundamente.

A velocidade da 1ª injeção está diretamente ligada ao aprisionamento de gases na câmara de injeção, e a velocidade 2ª injeção e a temperatura do metal à turbulência do metal durante o preenchimento do molde, o que levou a conclusão que a porosidade mais presente nas peças são devidos ao aprisionamento de gases nas mesmas.

O FMEA de certa forma se mostrou uma metodologia capaz de indicar o parâmetro que mais ocasiona a porosidade, com os parâmetros definidos a elaboração do plano de ação para cada um deles e a aplicação dos mesmos definiu um mix de velocidade da segunda fase de injeção, velocidade da primeira fase de injeção e a temperatura do metal “ideias” que ocasionam o menor índice de porosidade na peça.

Referências

ABIFA. *Desempenho do setor de fundição julho/2017, 2017.* Disponível em: <http://www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2017/08/07-JULHO2017.pdf>. Acessado em: 29/09/2017.

- AFS – The American Foundrymen’s Society, Aluminum Casting Technology** – 2nd Edition, Des Plaines, Illinois, 1993.
- AMMAR, H. R. et al.** *Porosity and the fatigue behavior of hypoeutectic and hypereutectic aluminum-silicon casting alloys*. International Journal of Fatigue, p.1024-1035, 2008.
- ANUSAVICE, K. J.** *Procedimentos para fundição das ligas odontológicas*. Phillips Materiais Dentários. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.
- ARAUJO, S. A. & ARENALES, M. N.** *Dimensionamento de lotes e programação do forno numa fundição automatizada de porte médio*. Pesqui. Oper. vol.23 no.3 Rio de Janeiro Sept./Dec. 2003.
- ARAUJO, S. A. et al.** *Dimensionamento de lotes e programação do forno numa fundição de pequeno porte*. v.11, n.2, p.165-176, mai.-ago. 2004.
- BREVICK, J.** *Die casting porosity guidebook*. Wheeling: North American Die Casting Association, 2009.
- CETEF – Centro Tecnológico de Fundição Marcelino Corradi, Teoria Fundamental do Processo de Fundição Sob Pressão**, Itaúna – MG.
- CLAUSING, D.** *Total quality development: a step-by-step guide to worldclass concurrent engineering*. 2.ed., Nova Iorque: The American Society of Mechanical Engineers, 1994.
- DHARMAR, S. et al.** *Radiographic and metallographic evaluation of porosity defects and grain structure of cast chromium cobalt removable partial dentures*. J. Prosth. Dent., v.69, n.4, p.369373, 1993.
- ELARBI, E. A. et al.** *Radiographic detection of porosities in removable partial denture castings*. J. Prosth. Dent., v.54, n.5, p.674-677, 1985.
- FANTAZZINE, M. L. & SERPA, R. R.** *Aspectos gerais de segurança e Elementos de Gerenciamento de Riscos*. Rio de Janeiro – ITSEMAP do Brasil, Serviços Tecnológicos MAPFRE, 2002.
- GONÇALVES, P. R.** *Aplicação da FMEA no desenvolvimento de novos produtos*. Universidade de Aveiro, 2010.
- GSI/NUTAU/USP - Publicação do Grupo de Pesquisa em Segurança Contra Incêndio do Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo da Universidade de São Paulo**. São Paulo: Cooperação do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, 2008.
- JUVENIL, J. E. & DEROSSI, J. R.** *Fundição sob Pressão*, 2010. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA7XEAG/fundicao-sob-pressao>. Acessado em: 28/09/2017.
- LEWIS, A. J.** *Microporosity in casting alloys*. Austr. Dent. J., v. 20, n.3, p.161166, June 1975.
- MACKER Jr. J. R.** *An expert system for analysis of casting failures*. Int. J. Prosthodonti.,v.1, n.3, p.268-172, 1988.
- MENDES, R. P. K.** *Avaliação da influência dos parâmetros do processo de fundição sob pressão sobre a qualidade de uma peça injetada em liga de alumínio*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2005.
- MOURA, C.** *Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)*. Brasil: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 1997.
- NIELSEN, J.P. & OLLERMANN, R.** *Suckbackporosity*. Quint Dent. Technol., v.1, n.1, p.61-65, 1976.
- PALADY, P.** *FMEA: Análises dos Modos de Falhas e Efeitos*. São Paulo, IMAM, 1997.
- PERRI, A.** *Metal poroso reduz peso de veículos e consumo de energia*. Jornal da Unicamp. Disponível em: https://www.cimm.com.br/porta/noticia/exibir_noticia/8389-metal-poroso-reduz-peso-de-veiculos-e-consumo-de-energia. Acessado em: 29/09/2017.
- ROZENFELD, Henrique; GUERRERO, Vander; CAPALDO, Daniel.** *FMEA (FailureModesandEffects Analysis)*. Artigo capturado da internet em http://143.107.238.243/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/FMEAv2.html. Acesso em 05 de maio de 2008
- SILVA, R. L. A. et al.** *Análise de risco utilizando a ferramenta FMEA em um gerador de vapor*. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.
- SONSIN, J. M. P et al.** *Processos de Fabricação Mecânica I*. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAEiiwAD/fundicao-sobre-pressao>. Acessado em: 30/09/2017.
- SORS, L. et al.** *Plásticos Moldes e Matrizes*. São Paulo: Editora Hermes, 490pg, 1975.
- VENDRAMIM, J. C., ENOKIBARA, F.** *Considerações sobre a vida útil de moldes para fundição de alumínio sob pressão*. Disponível em: http://assets.cimm.com.br/uploads/cimm/publicacao/arquivo/374/InTec_014_Fundio.Al.pdf. Acessado em: 28/09/2017.
- VIANA, D. J. & NETO, A. F.** *Otimização do processo de fundição sob pressão aplicando o método de Taguchi*. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.13, n. 4, p. 1435-1465, out./dez. 2013.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

WANG, R. R. & BOYLE, A.M. *A simple method for inspection os porosity in titanium casting.* J. Prosth. dent., v.70, n.3, p.275-276, 1993.