

CENTRO UNIVERSITÁRIO CATÓLICO DE VITÓRIA

ADEVANIL DOS SANTOS SANTANA

**IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEFEITOS DE FUNDIÇÃO ATRAVÉS DA
APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE: ESTUDO DE CASO EM UMA
FUNDIÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS**

VITÓRIA
2016

ADEVANIL DOS SANTOS SANTANA

**IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEFEITOS DE FUNDIÇÃO ATRAVÉS DA
APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE: ESTUDO DE CASO EM UMA
FUNDIÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Católica Salesiana do Espírito Santo, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. MSc. Flávio Lúcio de Carvalho.

VITÓRIA

2016

ADEVANIL DOS SANTOS SANTANA

**IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEFEITOS DE FUNDIÇÃO ATRAVÉS DA
APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE: ESTUDO DE CASO EM UMA
FUNDIÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Católico de Vitória, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em 16 de dezembro de 2016, por:

Prof. Msc. Flávio Lúcio de Carvalho – Orientador

Prof. Msc. Fernando Oliveira Boechat, UCV.

Prof. Msc. Wesley Lucas Breda, UCV.

Dedico este trabalho aos meus pais Adão e Nilda, autores da minha vida e a minha querida esposa Geane pelo seu apoio e seu amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Deus, autor e consumidor de todas as coisas;

Ao meu orientador Msc. Flávio Lúcio Santos de Carvalho, que partilhou das minhas reflexões e do desenvolvimento deste trabalho;

Em especial aos professores Msc. Fernando Oliveira Boechat, Wesley Lucas Breda e também aos demais professores da graduação, pela socialização dos conhecimentos.

À UCV – Centro Universitário Católico de Vitória;

“[...] o sucesso não se alcança num dia, é uma longa jornada cheia de perigos e fracassos [...]” (Daniel de Oliveira), mas "A persistência é o caminho do êxito."
(Charles Chaplin).

RESUMO

A fabricação de peça pelo processo de fundição consiste em fundir uma liga metálica e preencher uma cavidade de um molde, onde a forma corresponde à peça projetada, depois de sua completa solidificação. O processo de fundição de peças metálicas é versátil, devido à possibilidade de fabricação de peça única ou em série, com diferentes tamanhos de formato simples ou complexos, tornando-se um processo de fabricação bastante utilizado, devido baixo custo comparado quando aos outros processos de obtenção de peças. Desta forma o presente trabalho tratou de identificar os principais defeitos de peças metálicas fundidas, através de um estudo aplicado numa empresa de fundição para reposição de peças para uma usina integrada de siderurgia através do uso de ferramentas da qualidade. Para este estudo realizou-se levantamento bibliográfico sobre o processo de fabricação de peças metálicas por fundição e seus defeitos, realizou-se inspeções visuais nas peças fabricadas no período de dois meses e as ordens de produção que apresentaram defeitos tiveram suas informações registradas numa folha de verificação. Utilizou-se o software MINITAB® para construção do gráfico de Pareto e a sua análise indicou que os defeitos de inclusão de areia, seguido dos defeitos de porosidades, representavam 83,7% do total dos defeitos levantados. Construiu-se o diagrama de causa e efeito para cada um dos defeitos identificados. Determinaram-se os motivos das ocorrências de alguns defeitos de fundição e através da melhoria no processo realizada com auxílio do PDCA, aprimorou o procedimento de fabricação.

Palavras-chave: Defeitos. Fundição. Ferramentas da qualidade. Peças fundidas. PDCA.

ABSTRACT

The manufacture of parts by casting process consists of melting a metal alloy to fill the cavity of a pattern whose shape corresponds to the part designed after its complete solidification. It is a diversified process due to the possibility of making a single part or massively, with different simple or complex sizes and shapes, becoming a widely used manufacturing process because of low cost compared to other processes carried out in order to obtain parts. In this manner, the present paper is aimed to indentify the main flaws in cast metal parts by means of a study applied in a casting company of spare parts for an integrated steel plant through the use of quality tools. In order to do so, a literature review on metal parts manufactured by casting companies and on parts flaws was conducted, as well as a visual inspection of the parts produced in a two-month period. All information of the production orders which presented flaws was registered in a checksheet. MINITAB[®] software was used to develop a Pareto chart, and its analysis indicated that the abnormalities when adding sand, followed by flaws in porosity, represent 83.7% out of the total of all flaws detected. A cause and effect diagram was made for every effect. The reasons for the occurrence of some foundry defects were determined by the, and the manufacture process was improved by applying the PDCA method.

Keywords: Flaws. Casting. Quality Tools. Cast Parts. PDCA.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Fotografia de defeito de rebarba metálica	49
Imagem 2 – Fotografia de defeito de veimento	50
Imagem 3 – Fotografia de defeito de rebarba metálica em ângulo	51
Imagem 4 – Fotografia de defeito de levantamento do molde.....	52
Imagem 5 – Fotografia de defeito de macho quebrado.....	53
Imagem 6 – Fotografia de porosidade em peça de Bronze.....	55
Imagem 7 – Fotografia de porosidade em peças de Aço	56
Imagem 8 – Fotografia de porosidade em peça de Cobre	56
Imagem 9 – Fotografia de defeitos de rechupes em peças metálicas.....	57
Imagem 10 – Fotografia de defeito de trinca à frio	58
Imagem 11 – Fotografia de defeito de esmagamento	60
Imagem 12 – Fotografia de defeito de peça incompleta.....	61
Imagem 13 – Fotografia da posição dos defeitos de inclusão de areia.....	87
Imagem 14 – Fotografia de defeitos encontrados de inclusões de areia	87
Imagem 15 – Forma anterior de preparação e pintura dos moldes.....	89
Imagem 16 – Forma atual de preparação do molde de barra de grelha	90
Imagem 17 – Fotografia das peças que apresentaram defeitos porosidade	92
Imagem 18 – Fotografia de pote de escória com defeitos porosidades	92
Imagem 19 – Fotografia de defeitos porosidades encontrado no pote de escória	93
Imagem 20 – Fotografia de roda com defeitos porosidades	93
Imagem 21 – Fotografia de chapa de desgaste com porosidade.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de fabricação.....	33
Figura 2 – Fases de confecção do molde em casca	40
Figura 3 – Fluxograma de produção de peça metálica fundida.....	42
Figura 4 – Ilustração de defeito de rebarbar metálica	48
Figura 5 – Ilustração de defeito de veiamento.....	49
Figura 6 – Ilustração de defeito de rebarba metálica em ângulo.....	50
Figura 7 – Ilustração de defeito de levantamento do molde	51
Figura 8 – Ilustração de defeito de erosão de areia	52
Figura 9 – Ilustração de defeito de macho quebrado	53
Figura 10 – Ilustrações de defeitos de porosidades dispersos.....	55
Figura 11– Ilustrações de defeitos de porosidades concentrada	55
Figura 12 – Ilustrações de defeitos de rechupes.....	57
Figura 13 – Ilustração de defeito de trica à frio	58
Figura 14 – Ilustração de trica a quente em peça	59
Figura 15 – Ilustrações de condição defeitos esmagamento	59
Figura 16 – Ilustrações de defeitos expansões da areia	60
Figura 17 – Ilustrações de defeitos de peças incompletas.....	61
Figura 18 – Ilustrações de defeitos devido à falta de metal no vazamento	62
Figura 19 – Ilustração de falta de metal devido a vazamento do molde.....	63
Figura 20 – Ilustração de defeito devido à contração.....	63
Figura 21 – Ilustração de inclusão em peças fundida	64
Figura 22 – Exemplo de Gráfico de Pareto	71
Figura 23 – Fluxograma das etapas de fabricação das peças de barras de grelhas	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas de controle de qualidade em fundição de peças metálicas	46
Tabela 2 – Produção mundial de fundidos	66
Tabela 3 – Projeção da demanda de material fundido	67
Tabela 4 – Folha de verificação desenvolvida para coleta de dados	80
Tabela 5 – Totais defeitos de fundição levantados na coleta de dados	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção brasileira de materiais fundidos últimos dez anos	66
Gráfico 2 – Destinação da produção brasileira de materiais fundidos.....	67
Gráfico 3 – Gráfico de Pareto dos defeitos de fundição	82

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 – Causa e efeito inclusão de areia em peças metálicas fundidas.....	84
Diagrama 2 – Identificação das causas de inclusão de areia.....	88
Diagrama 3 – Causa e efeito da porosidade nas peças metálicas fundidas	91

LISTA DE SIGLAS

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição

ABM – Associação Brasileira de Metalurgia

AFS – Sociedade Americana de Fundição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	31
2 REFERENCIAL TEÓRICO	33
2.1 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.	33
2.2 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO	34
2.2.1 Tipos de processos de fundição	34
2.2.1.1 Fundição em areia.....	35
2.2.1.2 <i>Fundição em moldes permanentes</i>	40
2.2.1.3 Fundição em coquilha Sob Pressão.....	40
2.2.1.4 Fundição com cera perdida	41
2.2.2 Etapas do processo de fundição	41
2.2.2.1 Desenho da peça	42
2.2.2.2 Projeto / Confeção do modelo	42
2.2.2.3 Confeção do molde.....	43
2.2.2.4 Confeção do macho.....	43
2.2.2.5 Fusão	43
2.2.2.6 Vazamento	44
2.2.2.7 Desmoldagem	44
2.2.2.8 Rebarbação e limpeza.....	45
2.2.2.9 Controle de qualidade numa fundição de peças	45
2.2.3 Defeitos de fundição.	46
2.2.3.1 Saliências metálicas	48
2.2.3.1.1 Rebarbas metálicas.....	48
2.2.3.1.2 Veimento	49
2.2.3.1.3 Rebarba de ângulo.....	50
2.2.3.1.4 Levantamento do Molde	51
2.2.3.1.5 Erosão de areia	52
2.2.3.1.6 Macho quebrado	53
2.2.3.2 Cavidades	54
2.2.3.2.1 Porosidades	54
2.2.3.1.2 Rechupes	56
2.2.3.3 Descontinuidades	57
2.2.3.3.1 Trincas à frio.....	57
2.2.3.3.2 Trincas à quente.....	58

2.2.3.4 Superfície defeituosa	59
2.2.3.4.1 Esmagamento.....	59
2.2.3.4.2 Expansão da areia	60
2.2.3.5 Peças Incompletas.....	61
2.2.3.5.1 Falta de enchimento	61
2.2.3.5.2 Falta de metal	62
2.2.3.5.3 Molde vazando.....	62
2.2.3.6 Dimensões ou forma incorretas	63
2.2.3.6.1 Defeito devido à contração	63
2.2.3.7 Inclusões.....	64
2.2.3.7.1 Inclusões endógenas	64
2.2.3.7.2 Inclusões exógenas	64
2.3 FUNDIÇÕES NO BRASIL.....	65
2.3.1 Histórico das fundições brasileiras	65
2.3.2 Características gerais das fundições brasileiras	65
2.3.2.1 Produção mercado interno.....	65
2.3.2.2 Produção brasileira de materiais fundidos	66
2.3.2.3 Mercado interno	67
2.3.2.4 Projeção da demanda.....	67
2.4 QUALIDADE	68
2.4.1 Conceito de qualidade.....	68
2.4.2 Ferramentas da qualidade	69
2.4.2.1 Diagrama de dispersão.....	69
2.4.2.2 Gráfico de Pareto.....	70
2.4.2.3 Histograma	71
2.4.2.4 Diagrama de causa e efeito	71
2.4.2.5 Fluxograma.....	73
2.4.2.6 Folha de verificação.....	73
2.4.2.7 Gráficos de controle.....	74
2.5 MELHORIA CONTÍNUA	75
2.5.1 Filosofia Kaizen.....	75
2.5.2 Método de melhoria PDCA.....	76
3 METODOLOGIA.....	79
3.1 CONSTRUÇÃO DA FOLHA DE VERIFICAÇÃO	80

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
4.1 CONSTRUÇÃO DO GRÁFICO DE PARETO.....	84
4.2.UTILIZAÇÃO DA FILOSOFIA PDCA NO PROBLEMA DE INCLUSÕES	85
4.2.1 Plano de ação para eliminação dos defeitos de inclusão de areia	90
4.2.1.1 Propostas para eliminação das inclusões de areia nas barras de grelhas	90
4.2.1.2 Mudanças realizada na preparação dos moldes de barras de grelhas	90
4.2.1.3 Segurança e ergonomia da melhoria no processo	92
4.2.2 Utilização da filosofia PDCA no problema de cavidade	93
4.2.2.1 Plano de ação para eliminação dos defeitos de porosidades.....	96
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
APÊNDICE A – Defeitos encontrados.....	107
APÊNDICE B – Defeitos encontrados.....	109