

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

LUÍS FERNANDO VENDRAMETTO

**MONITORAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS DE FUNDIÇÃO
SOB PRESSÃO ATRAVÉS DE EQUIPAMENTO ELETRÔNICO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2019

LUÍS FERNANDO VENDRAMETTO

MONITORAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS DE FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO ATRAVÉS DE EQUIPAMENTO ELETRÔNICO

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

CURITIBA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

MONITORAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS DE FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO ATRAVÉS DE EQUIPAMENTO ELETRÔNICO

por

LUÍS FERNANDO VENDRAMETTO

Esta monografia foi apresentada em 07 de Março de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Valmir de Oliveira
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

VENDRAMETTO, Luís Fernando. **Monitoramento e controle de parâmetros de fundição sob pressão através de equipamento eletrônico**. 2019. 47 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Este trabalho refere-se a uma pesquisa e levantamento de dados para a compressão do comportamento de máquina de fundição sob pressão através do monitoramento do equipamento eletrônico. A pesquisa buscou o entendimento através da literatura disponível, levantou dados dos processos e correlacionou com os defeitos de processo. Assim foi possível propor ações para a redução e controle dos defeitos apresentados e entender que os equipamentos de fundição sob pressão necessitam de tecnologia avançada para controlar e otimizar processos.

Palavras-chave: Fundição sob pressão. Automação. Parâmetros. Processos.

ABSTRACT

VENDRAMETTO, Luís Fernando. **Monitoring and control of parameters of casting under pressure through electronic equipment.** 2019. 47 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

This work refers to a research and data collection for the compression of the behavior of die casting machine through the monitoring of electronic equipment. The research sought the understanding through available literature, raised data of the processes and correlated with the process defects. Thus, it was possible to propose actions for the reduction and control of the defects presented and to understand that pressure die-casting equipment requires advanced technology to control and optimize processes.

Keywords: Die casting. Automation. Parameters. Processes.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Diagrama de processo do refino da alumina..... | 15 |
| Figura 2 - Transformação da alumina em alumínio metálico..... | 16 |
| Figura 3 - Processo de fundição sob pressão câmara quente | 17 |
| Figura 4 - Processo de fundição sob pressão câmara fria | 18 |
| Figura 5 - Diagrama fundição sob pressão..... | 19 |
| Figura 6 - Porosidade por ar preso "A" e porosidade por contração "B" | 21 |
| Figura 7 - Defeito de solda fria | 22 |
| Figura 8 - Porosidade por contração | 23 |
| Figura 9 - Redução da porosidade por contração | 23 |
| Figura 10 - Etapas do enchimento da bucha de injeção | 24 |
| Figura 11 - Diagrama de injeção | 25 |
| Figura 12 - Diagrama de compactação | 26 |
| Figura 13 - Célula produtiva atual fundição sob pressão | 28 |
| Figura 14 - Sistema de sensoriamento Electronics | 29 |
| Figura 15 - Transdutor de pressão | 29 |
| Figura 16 - Máquina Agrati CF 500 | 30 |
| Figura 17 - Fases de fundição sob pressão, gráfico da curva de injeção..... | 31 |
| Figura 18 - Interface para coleta de dados..... | 33 |
| Figura 19 - Simulação de molde 4 cavidades..... | 33 |
| Figura 20 - Produto 4 cavidades processo B-001 | 37 |
| Figura 21 - Curva do Electronics processo B-001 | 40 |
| Figura 22 - Manômetro de pressão multiplicada processo B-001 | 40 |
| Figura 23 - CLP Omron Sysmac CP1H..... | 41 |
| Figura 24 - IHM Omron | 42 |
| Figura 25 - Diagrama descarte automático de peças não conforme | 42 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Crescimento do alumínio na indústria automotiva europeia | 12 |
| Gráfico 2 - Velocidade segunda fase processo A-001 | 34 |
| Gráfico 3 - Ponto de comutação processo A-001 | 35 |
| Gráfico 4 - Espessura do biscoito processo A-001..... | 35 |
| Gráfico 5 - Pressão multiplicada processo A-001..... | 36 |
| Gráfico 6 - Temperatura do Al no forno de espera processo A-001 | 37 |
| Gráfico 7 - Velocidade segunda fase processo B-001 | 38 |
| Gráfico 8 - Ponto de comutação processo B-001 | 39 |
| Gráfico 9 - Pressão multiplicada: pico de pressão, processo B-001 | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Peças fundidas em alumínio países europeus | 13 |
| Tabela 2 - Defeitos de fundição..... | 20 |
| Tabela 3 - Velocidade primeira fase..... | 24 |
| Tabela 4 - Características transdutor de pressão..... | 30 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------|--|
| ABAL | Associação Brasileira do Alumínio |
| AIAG | <i>Automotive Industry Action Group</i> (Grupo de Ação da Indústria Automotiva) |
| BUHLER | Fabricante de Máquinas para Fundição sob Pressão |
| CLP | Controlador Lógico Programável |
| CQI | <i>Continuous Quality Improvement</i> (Melhoria Contínua da Qualidade) |
| DEMEC | Departamento de Engenharia Mecânica |
| ELECTRONICS | Sistema de sensores para fundição sob pressão |
| GMBH | Sociedade com Responsabilidade Limitada |
| HPDC | <i>High Pressure Die Casting</i> (Fundição em Alta Pressão) |
| IATF | <i>International Automotive Task Force</i> (Força-Tarefa Automotiva Internacional) |
| IHM | Interface Homem Máquina |
| LABATS | Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais |
| NADCA | <i>North American Die Casting Association</i> (Associação Norte-Americana de Fundição) |
| UFPR | Universidade Federal do Paraná |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 10 |
| 1.2 PROBLEMA | 11 |
| 1.3 OBJETIVOS | 11 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 11 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 11 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 12 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 A HISTÓRIA DO ALUMÍNIO | 14 |
| 2.2 O ALUMÍNIO | 15 |
| 2.3 FUNDIÇÃO..... | 16 |
| 2.3.1 Fundição sob Pressão..... | 16 |
| 2.3.1.1 Fundição sob pressão - câmara quente | 17 |
| 2.3.1.2 Fundição sob pressão - câmara fria | 18 |
| 2.3.2 Defeitos em Peças Fundidas sob Pressão..... | 20 |
| 2.3.2.1 Porosidade | 21 |
| 2.3.2.2 Solda fria | 21 |
| 2.3.2.3 Rechupe ou porosidade por contração..... | 22 |
| 2.4 PARÂMETROS DO PROCESSO..... | 23 |
| 2.4.1 Primeira Fase de Fundição sob Pressão..... | 24 |
| 2.4.2 Segunda Fase de Fundição sob Pressão..... | 25 |
| 2.4.3 Terceira Fase de Fundição sob Pressão..... | 25 |
| 2.5 CONTROLE DE PROCESSOS | 26 |
| 2.5.1 Controle Lógico Programável | 27 |
| 3 DESENVOLVIMENTO | 28 |
| 3.1 O ESTUDO DE CASO..... | 28 |
| 3.2 MÁQUINA DE FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO | 30 |
| 3.2.1 Monitoramento Eletrônico do Ciclo de Injeção | 31 |
| 3.3 COLETA DE DADOS | 32 |
| 3.4 MONITORAMENTO DO PROCESSO A | 33 |
| 3.4.1 Velocidade Segunda Fase | 34 |
| 3.4.2 Ponto de Comutação..... | 34 |
| 3.4.3 Espessura do Biscoito | 35 |
| 3.4.4 Pressão de Compactação | 36 |
| 3.4.5 Temperatura do Forno de Espera | 36 |
| 3.5 MONITORAMENTO DO PROCESSO B | 37 |
| 3.5.1 Velocidade Segunda Fase de Injeção..... | 38 |
| 3.5.2 Ponto de Comutação..... | 38 |
| 3.5.3 Pressão de Compactação | 39 |
| 3.6 CONTROLE - PROCESSOS CRÍTICOS..... | 41 |
| 4 RESULTADOS | 43 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 44 |
| REFERÊNCIAS | 45 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A elevada competição no setor automotivo, que se estende desde as grandes montadoras até vários níveis da cadeia de suprimentos e gera pressão por melhores produtos e serviços, impulsionam as empresas para uma gestão de excelência. A cada dia os clientes se tornam mais exigentes, demandando novas formas de gerenciamento. Neste contexto, as empresas que se destacam trabalham na eliminação de desperdício e na estabilidade dos processos, reduzindo a variabilidade do produto através da análise de dados confiáveis (BRITO; DACOL, 2008, p. 2).

Existem vários aspectos relevantes dentro de um processo de fabricação, sendo necessário obter adequados índices em custos, segurança operacional, velocidade de processamento entre outros. Tendo como premissas estes fatores a produção de veículos automotores busca materiais com menor impacto ambiental, maior tecnologia e menores custos.

Segundo a Buhler (2018), o alumínio permanece como um material que não se pode prescindir devido a vários fatores como a oferta de bauxita sua matéria prima, ao fato de o alumínio ser reciclável não gerando passivo ao meio ambiente e a sua relativa facilidade de fusão.

O processo de fundição sob pressão está entre os principais processos de fabricação de materiais não ferrosos. Este trabalho pretende apresentar a importância do processo de fundição sob pressão no cenário automotivo e a relevância de automatizar tais processos, além do controle eficiente dos parâmetros do processo.

Neste trabalho foi realizado uma revisão bibliográfica buscando o entendimento do processo de fundição e da importância dos principais parâmetros evitando potenciais falhas através da análise de dados coletados do processo de forma automática.

1.2 PROBLEMA

O modelo industrial estudado, produz autopeças, através dos processos de fundição sob pressão. Para um fornecedor direto de montadoras de veículos, seus produtos devem ter qualidade assegurada conforme as normas de fornecimento para montadoras de veículos IATF 16949, e ainda normas específicas de processos especiais conforme a AIAG CQI 27 que define a avaliação do sistema de fundição.

Para atingir estes padrões de qualidade é preciso um forte controle nos processos de manufatura, sendo necessário a aquisição de dados e a automação de processos para reduzir ou eliminar a interferência operacional.

O sistema de controle apresentado neste trabalho tem o objetivo de realizar a separação, automaticamente, das peças não conformes com bases nos parâmetros de pressão e de deslocamento do atuador hidráulico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho consiste em instalar um sistema para monitoramento de pressão, velocidade e posição para uma planta de injeção de alumínio. Este sistema monitora os principais parâmetros do processo de fundição sob pressão. O sistema levantará os dados que serão base para as decisões operacionais e técnicas.

Criar um sistema de controle que forneça os sinais de saída do controlador de parâmetros eletrônico em um robô manipulador. Além de monitorar pressão, temperatura e deslocamento de atuador hidráulico descartando peças fora dos parâmetros de forma automática.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Instalar equipamento de monitoramento de velocidade, pressão e deslocamento do atuador hidráulico de injeção.
- Levantar dados de deslocamento do atuador hidráulico.

- Levantar dados de pressão de solidificação do alumínio.
- Levantar dados de velocidade do atuador hidráulico.
- Ligar sinal de saída do monitoramento eletrônico com robô manipulador.
- Programar o robô manipulador.
- Testar e validar o sistema.

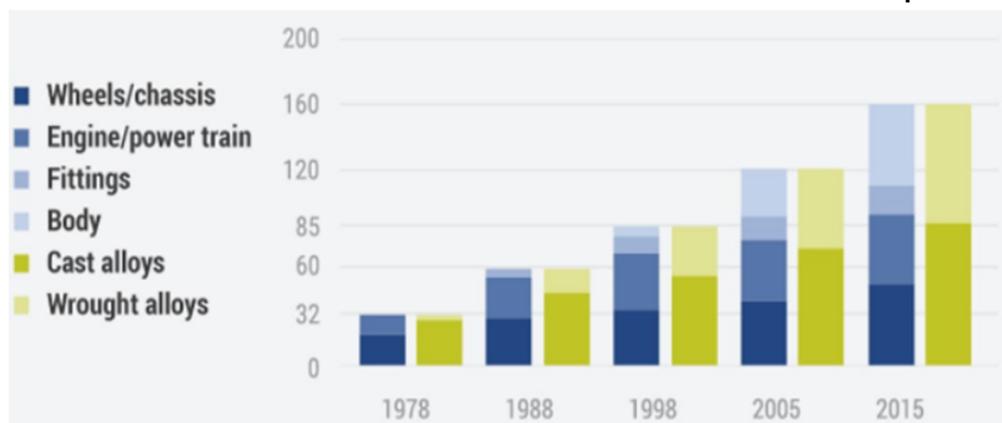
1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), o alumínio é uma *commodity* global com uma taxa de crescimento anual de produção acima de 5% para o alumínio primário. Tal aumento na utilização se deve, em grande parte, a sua aplicação no setor de transportes que busca redução de peso e razoáveis propriedades de resistência e sustentabilidade através da redução de gases de efeito estufa (ABAL, 2017a).

Conforme os dados da ABAL (2017b), o aumento do uso do alumínio no setor automotivo é uma tendência mundial. O alumínio melhora o desempenho, a segurança e o consumo energético dos automóveis. Nos Estados Unidos a previsão é passar de 156 kg (previsão 2012) para 250 kg em 2025 por automóvel.

As informações do site alemão (GDA, 2018), indicam também um crescimento do alumínio como matéria prima na indústria automobilista europeia, estimativas apresentam que entre 1978 e 2015 o teor de alumínio em cada automóvel, passou de 32 kg para 160 kg. O Gráfico 1, apresenta o aumento dessa demanda.

Gráfico 1 - Crescimento do alumínio na indústria automotiva europeia



Fonte: GDA (2018).

Também deve-se citar a importância do processo de fundição sob pressão na cadeia produtiva de veículos uma vez que mais de 60% dos componentes utilizados na produção de veículos automotores são obtidos através da fundição sob pressão (BONOLLO; GRAMEGNA; TIMELLI, 2015). A Tabela 1, mostra o número de peças fundidas em alumínio, em países europeus entre os anos de 2007 e 2012.

Tabela 1 - Peças fundidas em alumínio países europeus

Tabela IV Produção de peças fundidas de ligas de alumínio em países europeus (valores em toneladas)

| Pais | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Italy | 912000 | 820000 | 550000 | 730000 | 833000 | 717000 |
| Germany | 882000 | 802000 | 560000 | 812000 | 859000 | 819000 |
| France | NA | 275000 | 206000 | 287000 | 327000 | 325000 |
| Spain | 125000 | 110000 | 81000 | 100000 | 113000 | 112000 |
| U.K. | NA | 114000 | 80000 | 98000 | 115000 | 105000 |

Cerca de 60% da produção é obtida pelo HPDC.

Fonte: Bonollo, Gramegna e Timelli (2015).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A HISTÓRIA DO ALUMÍNIO

Conforme a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2017c), o alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre e o metal mais jovem. A história econômica do alumínio é relativamente recente, isto porque o alumínio tem uma grande afinidade química com oxigênio e a energia gasta para a separação do metal representava um grande obstáculo. O processo de evolução passou por várias fases desde as civilizações antigas, até os dias atuais, conforme descrito:

- 6000 a.C.: Os Persas fabricavam potes e recipientes de argila que continha óxido de alumínio.
- 3000 a.C.: Argilas com alumina eram utilizadas por povos antigos do Egito e da Babilônia.
- 1809: Humphrey Davy, fundindo ferro na presença de alumina.
- 1821: O francês P. Berthier descobre a bauxita, o minério mais comum do alumínio.
- 1854: Primeira obtenção do alumínio por via química, realizada por Henry Saint-Claire Deville.
- 1886: O francês Paul Louis Toussaint Héroult e o norte-americano Charles Martin Hall descobriram e o patentearam quase simultaneamente o processo de redução eletrolítica da alumina para a obtenção do alumínio.

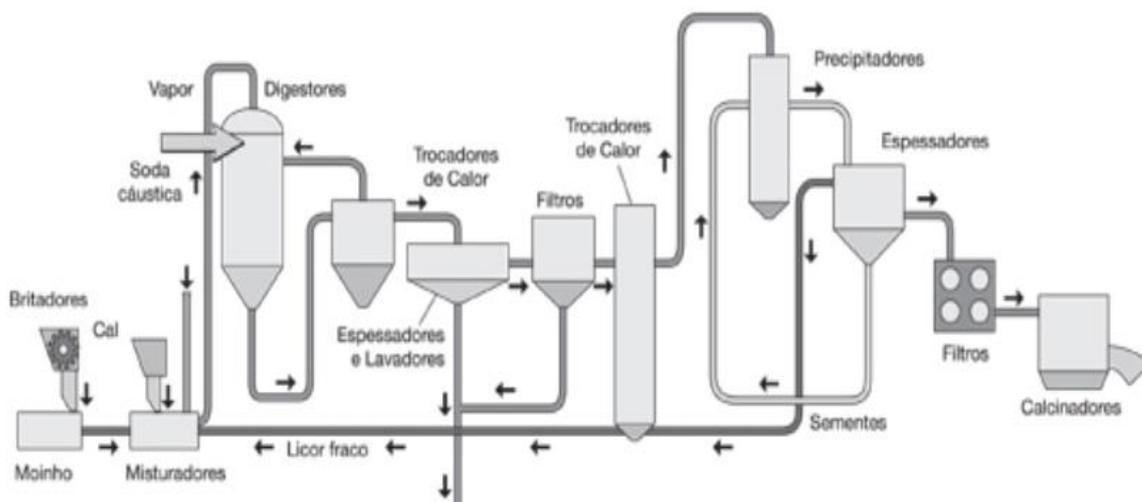
O processo ficou conhecido como Hall-Heróult e permitiu o estabelecimento da indústria global do alumínio. Atualmente os Estados Unidos e o Canadá são os maiores produtores mundiais embora nenhum destes países possui bauxita em seu território, as maiores reservas mundiais estão localizadas na Austrália, Guiné e no Brasil.

2.2 O ALUMÍNIO

Segundo a ABAL (2017c), o alumínio não é encontrado diretamente em estado metálico na crosta terrestre. Ele é obtido a partir da mineração de bauxita que para ser economicamente viável precisa ter acima de 30% de óxido de alumínio, também conhecido como alumina. A partir das invenções de Charles Martin Hall nos EUA e Paul Heroult na França que desenvolveram o processo eletrolítico e do austríaco Carl Joseph Bayer que desenvolveu o processo químico de obtenção da alumina a partir da bauxita, foi possível a produção industrial do metal.

Basicamente o processo de obtenção do alumínio é feito em três etapas: a) mineração de bauxita obtendo a alumina, b) refino da alumina através do processo Bayer, e c) redução eletrolítica. Durante o processo de refino, apresentado na Figura 1, a alumina é moída e dissolvida em soda cáustica e filtrada para a separação dos sólidos e líquidos, após a filtração ocorre a cristalização e calcinação da alumina obtendo o sólido em pó (ABAL, 2017c).

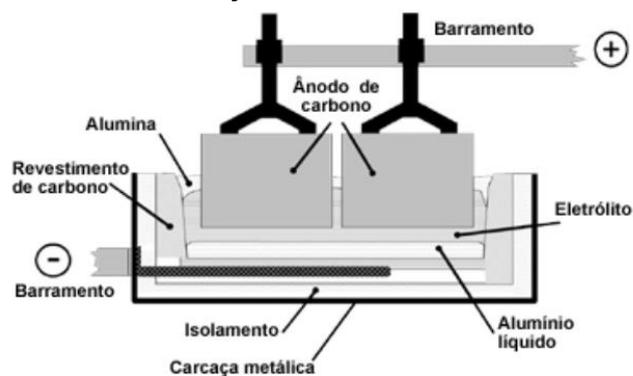
Figura 1 - Diagrama de processo do refino da alumina



Fonte: Abal (2017a).

A redução da alumina calcinada em cubas eletrolíticas, a altas temperaturas conhecido como Hall-Héroult, onde a alumina é dissolvida em criolita e fluoreto de alumínio em baixa tensão decompondo-se em oxigênio que se combina com o anodo de carbono. O alumínio líquido fica no fundo da cuba como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Transformação da alumina em alumínio metálico



Fonte: Abal (2017a).

O alumínio tem um crescimento expressivo devido a uma lista de propriedades intrínsecas: pode ser infinitamente reciclado, leve (baixa densidade), relativa resistência à corrosão, altamente condutor e reflexivo, baixa toxicidade e durável e é adequado a diferentes métodos de processamento.

2.3 FUNDIÇÃO

Segundo a Abal (2017c), a fundição é um dos primeiros processos industriais usado para produzir artigos de metal. As propriedades do alumínio e o desenvolvimento de novas tecnologias oferecem ótimas condições para a produção de grandes quantidades de peças em alumínio com excelente qualidade. Atualmente existem várias ligas de alumínio proporcionando uma variabilidade nas propriedades das peças fundidas, sendo as principais: baixa temperatura de fusão, forte tendência à oxidação, baixa densidade e alta condutividade térmica.

2.3.1 Fundição sob Pressão

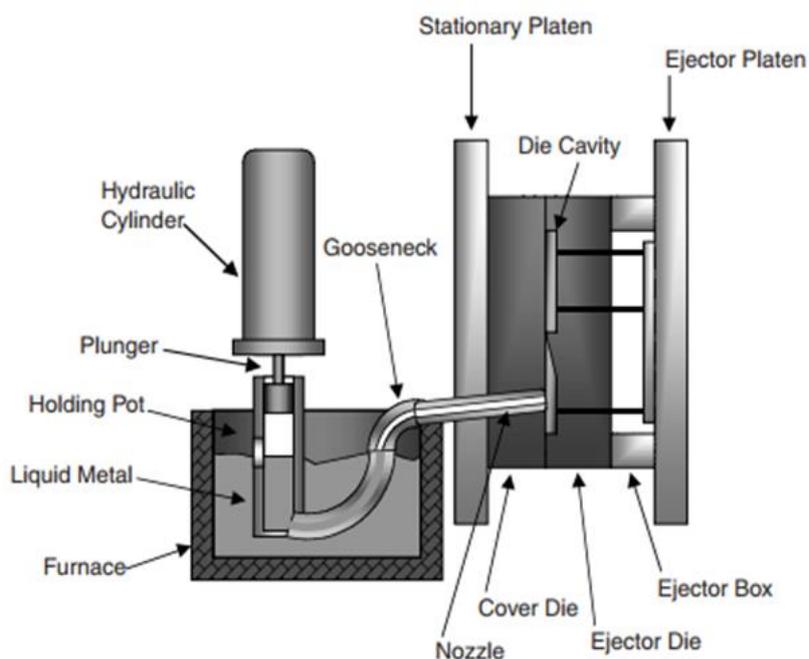
Segundo a *North American Die Casting Association* (NADCA), as primeiras peças fundidas sob pressão ocorreram no início do século XIX. A patente concedida a Sturges em 1849 para a primeira máquina operada manualmente para o tipo de impressão de fundição. As primeira ligas de produção eram estanho e chumbo e posteriormente o zinco e alumínio em 1914. O processo de fundição evoluiu do método de injeção de baixa pressão original para técnicas que incluem fundição de alta pressão (*High Pressure Die Casting* - HPDC).

A descrição base do processo de fundição sob pressão é empurrar um metal fundido para dentro de um molde de aço chamado matriz. A classificação das máquinas esta ligada a força que elas exercem sobre as placas de fechamento e que variam de 400 a 4000 toneladas. As máquinas de fundição sob pressão podem variar ainda quanto ao metodo de injeção, sendo possiveis dois metodos classificados como câmara quente e câmara fria, os ciclo em câmara quente podem ser menor que 1 segundo enquanto para câmara fria 2 a 3 minutos, fazendo da fundição a técnica mais rápida para a produção de peças não ferrosas (VINARCIK, 2018).

2.3.1.1 Fundição sob pressão - câmara quente

Máquinas de câmara quente são usadas principalmente para zinco, cobre, magnésio, chumbo e ligas de baixo ponto de fusão que provocam corrosão nos metais cilindro e embolo mergulhados no metal liquido. O processo é denominado câmara quente porque o mecanismo de injeção fica mergulhado no metal liquido. O forno é ligado à máquina por um sistema de alimentação de metal chamado pescoço de ganso (*Gooseneck*), conforme mostrado na Figura 3 (VINARCIK, 2018).

Figura 3 - Processo de fundição sob pressão câmara quente

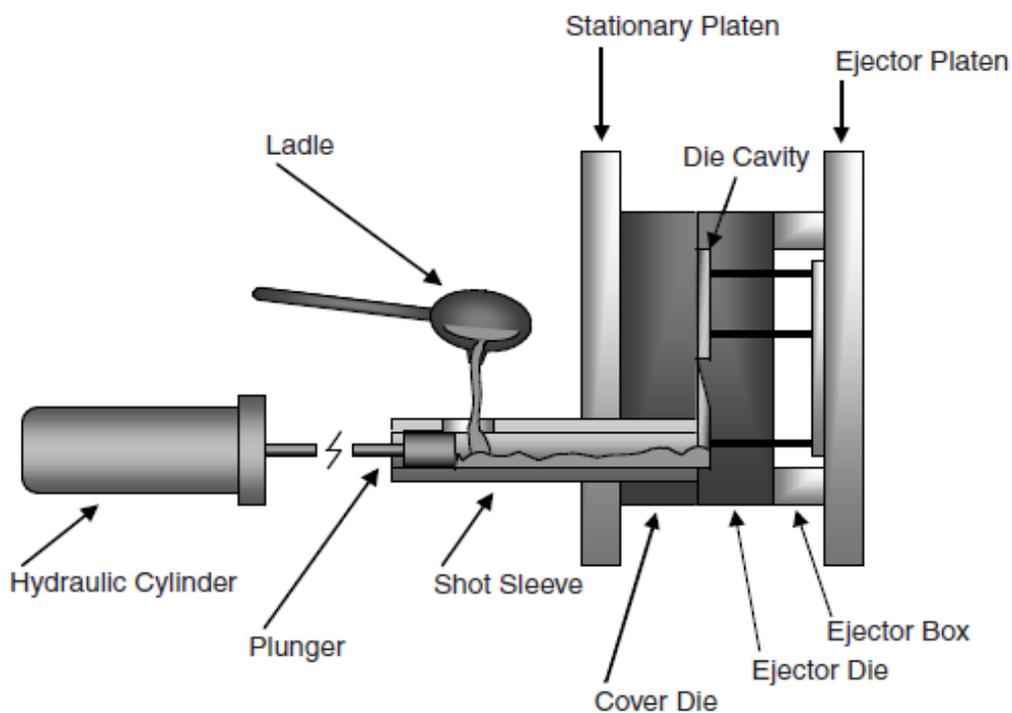


Fonte: Vinarcik (2003).

2.3.1.2 Fundição sob pressão - câmara fria

O processo de câmara fria, apresentado na Figura 4, é aplicado para ligas de alumínio e outras com alto ponto de fusão. O metal fundido é transportado até uma bucha de injeção (câmara fria). Um embolo hidráulico empurra o metal pela bucha e força a entrada na cavidade que deve ser tavada com alta pressão (VINARCIK, 2018).

Figura 4 - Processo de fundição sob pressão câmara fria



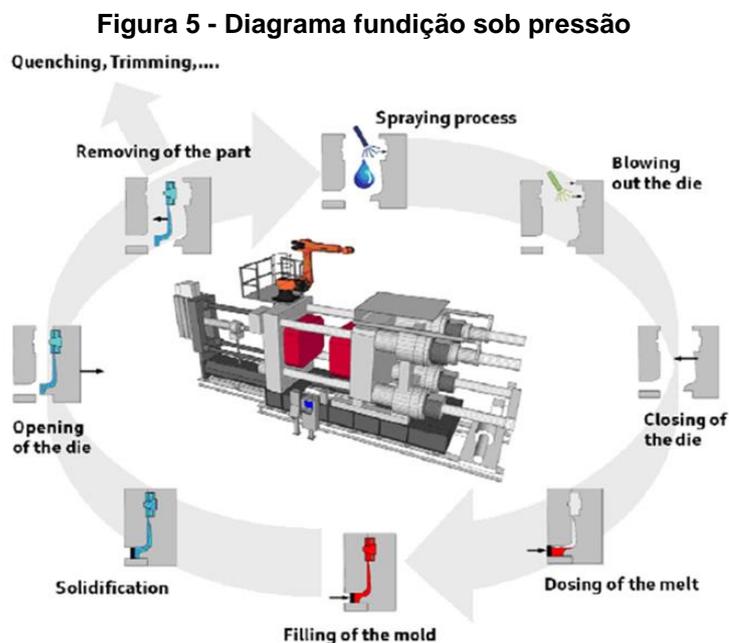
Fonte: Vinarcik (2003).

Para Malavazi (2005), o processo de fundição sob pressão consiste na injeção de um metal líquido, contido na câmara de injeção, por meio de um pistão acionado por pressão hidráulica, para o interior da cavidade de um molde fabricado em aço.

Segundo Mendes (2005), no processo de fundição sob pressão o metal líquido é empurrado para a cavidade através da força de pressão hidráulica. A alta produtividade, grande precisão dimensional e paredes extremamente finas são características deste processo.

Durante a primeira fase ocorre a expulsão do ar da bucha de injeção, na segunda fase, em rápida velocidade a injetora enche a cavidade em tempos baixos entre 50 e 100 milissegundos e a terceira etapa é a compactação para evitar os defeitos de contração do metal (BONOLLO; GRAMEGNA; TIMELLI, 2015).

O diagrama de produção, mostrado na Figura 5, apresenta as várias etapas para a produção de fundido sob pressão.



Fonte: Bonollo, Gramegna e Timelli (2015).

A fundição é um processo eficiente e econômico que oferece grandes vantagens (VINARCIK, 2018; UFPR, 2017):

- Alta produção,
- Alta precisão dimensional,
- Redução do sobre metal para usinagem,
- Rugosidade de 0,5 a 3 μ m,
- Espessura de 1 a 2mm,
- Insertos metálicos,
- Vida útil elevada dos ferramentais,
- Grão muito refinado,
- Automação,
- Menor contaminação do meio ambiente.

Pode-se citar como limitações do processo os seguintes pontos:

- Custo elevado das injetoras,
- Custo elevados dos moldes/matriz,

- Bolhas de gases,
- Poucas ligas,
- Não adequado para soldagem,
- Tamanho de peças restritos,
- Lotes mínimos em torno de 5000 peças,
- Peso das peças entre 0,25 a 25 kg.

2.3.2 Defeitos em Peças Fundidas sob Pressão

O uso do alumínio está em alta em função das suas propriedades mecânicas e baixa densidade. Os requisitos dimensionais, requisitos de sanidade interna e requisitos visuais são os principais pontos a serem avaliados para determinar a qualidade do produto (MENDES, 2005).

Para Vinarcik (2003), o processo convencional de fundição sob pressão pode ser incapaz de atender ao requisito de porosidade. Além disso, a detecção de porosidade é difícil e em alguns casos, um componente produzido a princípio é aceitável e pode ser reprovado em processos posteriores como usinagem que evidência a porosidade oculta dentro do componente, comprometendo a integridade do produto. A Tabela 2, mostra os principais defeitos do processo de fundição.

Tabela 2 - Defeitos de fundição

Table II. Classification of HPDC defects and frequency of occurrence¹⁰

| Defect subclass | Frequency of occurrence (%) | Predictable by simulation? | Experimental validation | Monitoring parameter |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|
| Shrinkage defects | 20 | Only partially | X-Rays, Microscopy | Temperature, pressure, metal front sensors |
| Gas-related defects | 15 | No | X-Rays, Microscopy, blister test | Air pressure, humidity |
| Filling related defects | 35 | Yes | Visual inspection, leakage tests | Air pressure, metal front sensors, temperature |
| Undesired phases | 5 | No | Microscopy | Shot chamber sensing |
| Thermal contraction defects | 5 | Yes | Visual inspection, Microscopy | Temperature |
| Metal-die interaction defects | 5 | Only partially | Microscopy | Temperature, ejection force |
| Out of tolerance | 5 | By advanced simulation | Visual inspection, Metrology | Geometry measures |
| Lack of material | 5 | Yes | Visual inspection, Metrology | Geometry measures |
| Excess of material, flash | 5 | By advanced simulation | Visual inspection, Metrology | Geometry measures |

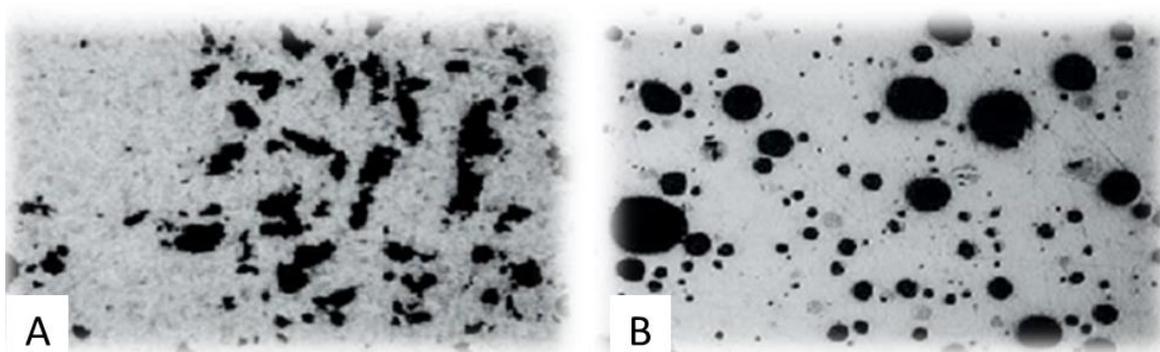
The possibilities of prediction, validation and monitoring of defects are also indicated.

Fonte: Bonollo, Gramegna e Timelli (2015).

2.3.2.1 Porosidade

Conforme relatado por Mendes (2005, p. 8), entre os principais defeitos que ocorrem nas peças produzidas através do processo de fundição sob pressão destacam-se os defeitos internos que atuam na densidade, ou seja, poros e inclusões. Porosidade, apresentada na Figura 6, são vazios internos que provocam a diminuição da resistência mecânica, e ainda pode contribuir para a propagação de trincas e vazamentos. A porosidade pode ocorrer por aprisionamento de gases ou por contração.

Figura 6 - Porosidade por ar preso "A" e porosidade por contração "B"



Fonte: Adaptado de Concer (2016).

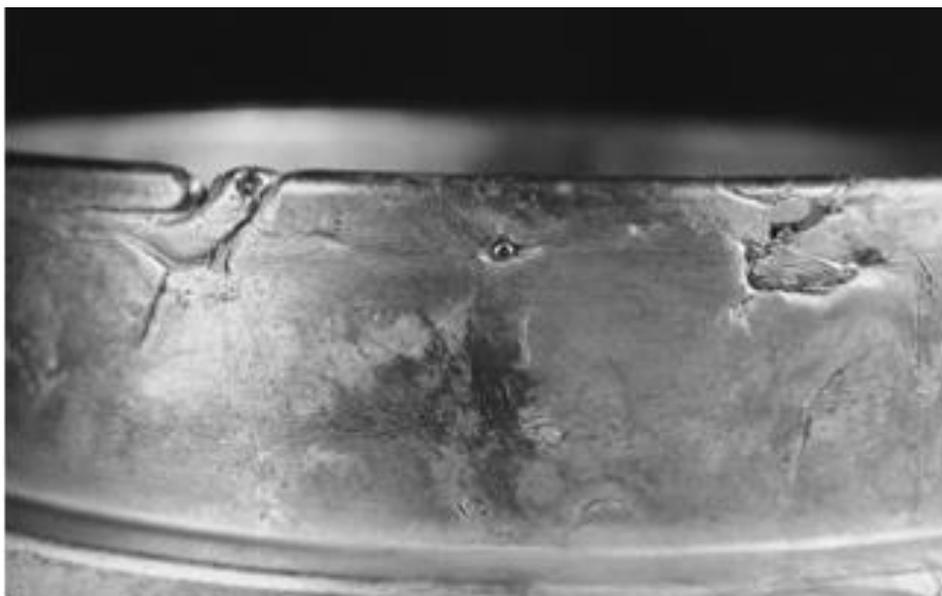
A porosidade é atribuída a duas fontes principais, o encolhimento da solidificação e aprisionamento de gás. A maioria das ligas tem uma maior densidade em seu estado sólido em comparação com a sua densidade no estado líquido, o que resulta em formas de porosidade de contração durante a solidificação.

Segundo Concer (2016), a porosidade pode ser definida como uma falha formada durante o processo de enchimento do molde gerando aprisionamento de gases no processo de fundição.

2.3.2.2 Solda fria

Outro defeito bastante comum ao processo de fundição é a solda fria. Os parâmetros que influenciam de forma direta nos defeitos de solda fria e porosidade são a velocidade de injeção, o ponto de comutação e a pressão de recalque (MENDES 2005, p. 13-14). A Figura 7, mostra o defeito de solda fria devido ao aprisionamento de gás no molde.

Figura 7 - Defeito de solda fria



Fonte: Mendes (2005).

A solda fria tem origem no encontro de frentes de metal que não se fundem devido à baixa temperatura ou a alta pressão de ar na cavidade. A entrada de material na cavidade gera várias frentes com presença de oxido e de difícil junção (AMBO; OLIVEIRA, 2016, p. 43).

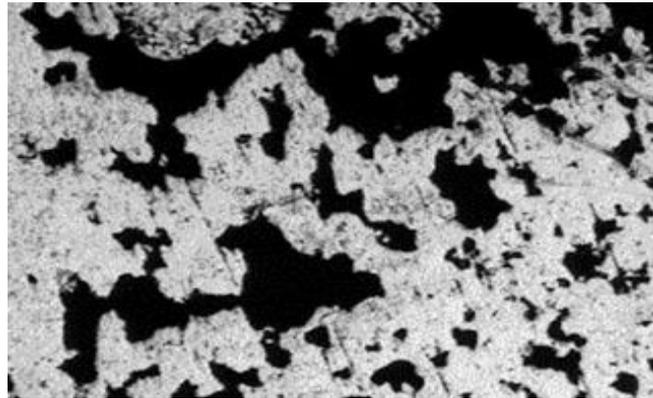
2.3.2.3 Rechupe ou porosidade por contração

O rechupe ocorre devido a contração do material, nas regiões de maior massa que tem um tempo maior de solidificação. Sua ocorrência está associada às transferências de calor no molde e da transmissão de pressão no canal de alimentação que compensa a contração de solidificação (AMBO; OLIVEIRA, 2016).

Porosidade por contração ou rechupe pode ser definido como vazio em peças fundida causado pela mudança de volume ocorrido durante a solidificação a eliminação deste defeito é praticamente impossível, o projeto do produto, dos canais de alimentação e o projeto do molde pode reduzir a tendência deste defeito (VIANA, 2012).

Na Figura 8, mostra-se uma imagem de porosidade por contração.

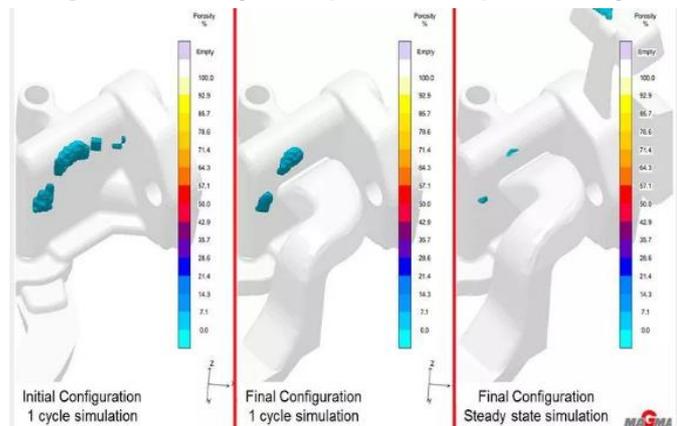
Figura 8 - Porosidade por contração



Fonte: Mendes (2005).

A simulação computacional pode prever a presença de porosidade por contração e assim tornar-se uma ferramenta robusta no desenvolvimento dos processos de fundição. A Figura 9, mostra a redução da tendência de porosidade por contração com a modificação dos canais de alimentação.

Figura 9 - Redução da porosidade por contração



Fonte: Magmasoft (2018).

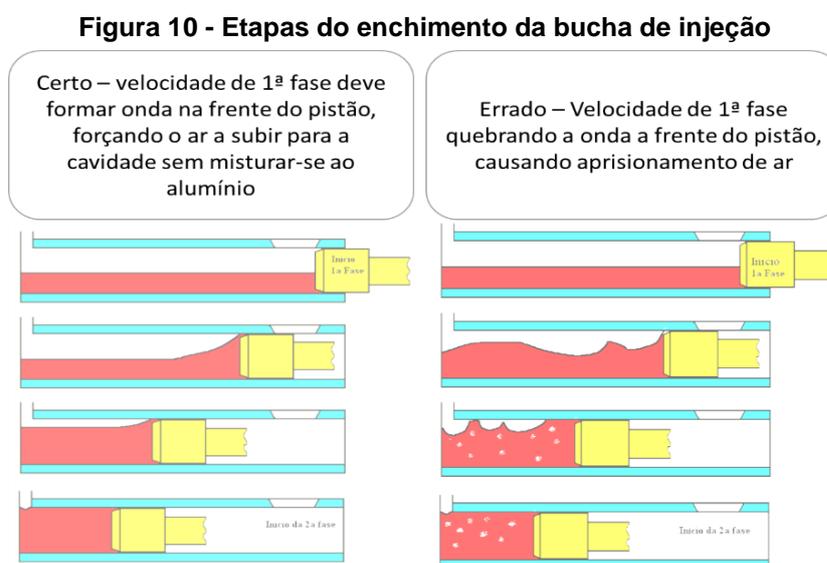
2.4 PARÂMETROS DO PROCESSO

Para Bonollo, Gramegna e Timelli (2015), as altas taxa de produção e o controle de qualidade feito apenas em uma parte da produção é uma questão crítica do processo de fundição sob pressão. Sensores avançados devem ser instalados no processo para a identificação dos desvios do processo.

Conforme Karban (2001), parâmetros adequadamente determinados e ajustados, resultam em uma peça injetada de qualidade.

2.4.1 Primeira Fase de Fundição sob Pressão

O objetivo da primeira fase é o preenchimento da câmara de injeção. Relações dinâmicas foram estudadas para evitar a turbulência, para isso é necessária uma aceleração específica do êmbolo, assim, força a superfície de metal exposta no sistema de canais. Velocidades não controladas nesta fase, geram aprisionamento de ar. Na Figura 10, mostra-se as formas certa e errada de enchimento da câmara de injeção e dessa forma podera ou não aprisionar gás no interior do metal fundido.



Fonte: Adaptado de UFPR (2017).

Mendes (2005), relata alguns autores que relacionam a velocidade de primeira fase com o percentual de enchimento da bucha. A Tabela 3, mostra a correlação entre tais parâmetros.

Tabela 3 - Velocidade primeira fase

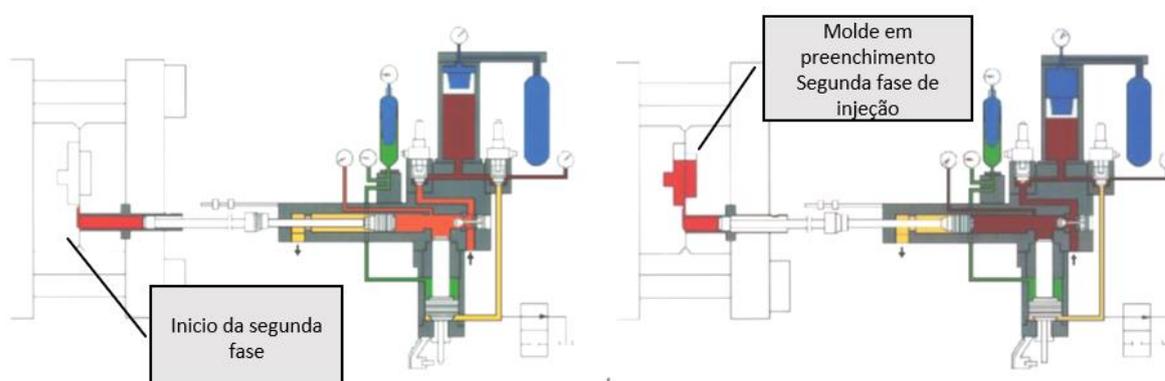
| % de enchimento da câmara de injeção | Garber (m/s) | Karni (m/s) | Tszeng (m/s) |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 20 | 0,7 | 0,98 | 0,78 |
| 30 | 0,59 | 0,73 | 0,64 |
| 40 | 0,5 | 0,56 | 0,54 |
| 50 | 0,41 | 0,43 | 0,41 |
| 60 | 0,32 | 0,33 | 0,32 |
| 70 | 0,24 | 0,23 | 0,23 |

Fonte: Mendes (2005).

2.4.2 Segunda Fase de Fundição sob Pressão

A segunda fase de injeção deve ser calculada para evitar a solidificação prematura do alumínio nos canais de injeção. Os tempos de enchimento baixos resultam em um bom acabamento superficial, porém é um parâmetro que deve ser otimizado pois também determina as velocidades de pistão e o tamanho dos canais de alimentação (KARBAN, 2001). Os principais parâmetros desta fase são velocidade e ponto de comutação determinado pelo curso de velocidade rápida. Na Figura 11, mostra-se o diagrama de injeção dessa segunda fase.

Figura 11 - Diagrama de injeção

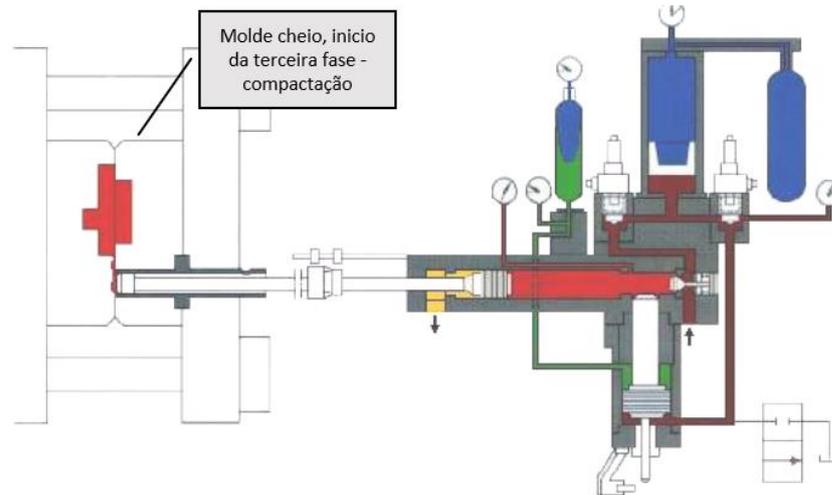


Fonte: Adaptado de Mendes (2005).

2.4.3 Terceira Fase de Fundição sob Pressão

A fase de compactação, apresentada na Figura 12, deve começar logo após o enchimento do molde, para compensar a contração de solidificação. A pressão aplicada a cada produto é em função de sua destinação. Peças com requerimento de estanqueidade exigem pressões maiores. Nesta fase os parâmetros mais importantes são o tempo de início de pressão, o valor da pressão e o tempo total de aplicação da pressão (VIANA, 2012).

Figura 12 - Diagrama de compactação



Fonte: Adaptado de Mendes (2005).

2.5 CONTROLE DE PROCESSOS

As máquinas de fundição em alta pressão (HPDC), estão equipadas com sensores e dispositivos que permitem medir dados básicos do processo tais como pressão hidráulica ou velocidade do pistão. Porém existem parâmetros como o tempo de enchimento que ao variar apenas no intervalo de milisegundos pode ter impacto na qualidade do produto. Com o tempo de enchimento na magnitude de milisegundos a velocidade do pistão também deveria ser controlada com tal grandeza, o que não acontece em equipamentos atuais.

Alguns pontos de sensoriamento e controle que elevam a qualidade do produto:

- Sensores que controlam posição aceleração e velocidade do pistão de injeção correlacionados com a qualidade final do produto com base em critérios empíricos.
- Sensores de temperatura, pressão, umidade de ar que controlam níveis de refrigeração no molde e válvulas de ventilação.
- Controle de lubrificação por níveis de temperatura.
- Termorreguladores com controle de direção de fluxo para equilíbrio térmico do processo.

2.5.1 Controle Lógico Programável

Várias tecnologias desenvolvidas desde o início do século XVIII com o objetivo de aprimoramento das máquinas que transformam energia em trabalho útil. Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP), são uma dessas. Uma das vantagens do CLP introduzido nas indústrias no século XX é sua diversidade de aplicação e reconfiguração em software.

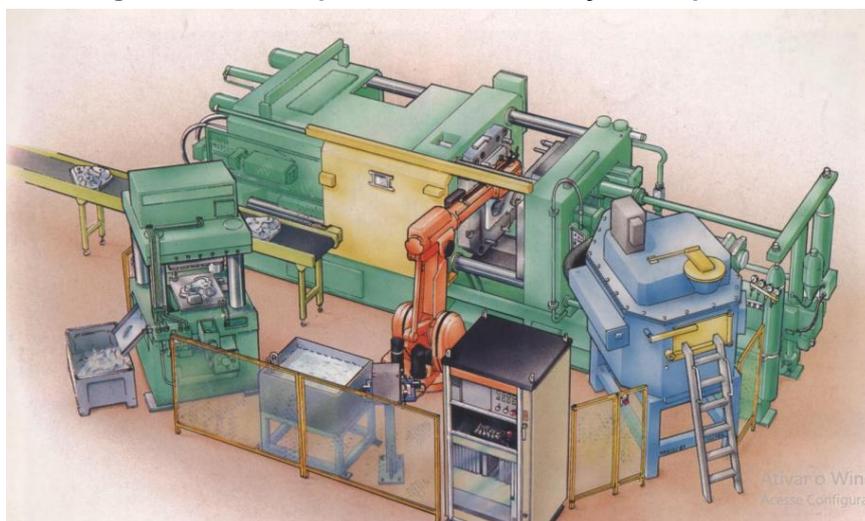
Em plantas industriais as máquinas seguem os comandos, seja de partida de parada, com a tecnologia do CLP cujo as funcionalidades seguem as demais plataformas computacionais que tem como principal característica ser programável. Outra característica a ser avaliada nos CLP é o sequenciamento que o comando é executado (SANTOS, 2010).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 O ESTUDO DE CASO

O estudo proposto apresenta a coleta e análise de dados para um entendimento dos parâmetros de processo mais importante para cada modelo de produto injetado em alumínio. Esta coleta de dados é de extrema importância para o processo de fundição sob pressão (Figura 13), isto porque devido a particularidades do processo não consegue-se observar as condições de enchimento e solidificação do molde em função da velocidade e da pressão aplicadas.

Figura 13 - Célula produtiva atual fundição sob pressão



Fonte: UFPR (2017).

Tendo em vista o melhoramento contínuo de seus equipamentos a empresa ABC Metal S/A adquiriu um equipamento que monitora o processo de fundição sob pressão, uma vez que suas máquinas não contam com sistemas de monitoramento integrado, fazendo com que técnicos e engenheiros programem parâmetros de fundição com base na experiência e sem resposta dos valores realizados durante o processo.

O equipamento utilizado para monitoramento foi o Electronics, da fabricante alemã Electronics GmbH, este equipamento consiste em um sistema de sensoriamento para processo de fundição sob pressão. Conforme mostra a Figura 14, são mais de 20 pontos de possível sensoriamento na máquina injetora.

Na Tabela 4, mostram-se características de transdutores de pressão.

Tabela 4 - Características transdutor de pressão

| Principais características: | |
|-----------------------------|-----------------------|
| Tensão de alimentação: | 24 VDC |
| Tensão de saída: | 0-10 VDC |
| Precisão: | +/- 0,5% |
| Pressão de ruptura: | 4000 bar |
| Limite de sobrecarga: | 2000 bar |
| Faixa de pressão: | 0...1000 bar relativa |

Fonte: Electronics (2018).

A empresa ABC Metal S/A está equipada em seu parque fabril com: 15 máquinas injetoras, 15 fornos de espera, 12 robôs FANUC, 1 robô KUKA, 16 prensas de estampagem, 3 fornos de fusão tipo Torre e 1 Forno de fusão tipo Barril.

3.2 MÁQUINA DE FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

A injetora utilizada para a fabricação dos produtos estudados é para processo de câmara fria, fabricante Agrati modelo CF 450T. Na Figura 16, mostra-se a CF 500, similar a CF 450T.

Figura 16 - Máquina Agrati CF 500



Fonte: Agrati (2016).

As placas estacionárias e móveis, em aço forjado, são de grande porte, sendo a estacionária equipada com circuito de resfriamento e inclui atualmente duas inserções para as três posições de injeção. A fixação é garantida através de articulação horizontal dupla de aço, com 5 pontos de apoio, acionada hidraulicamente

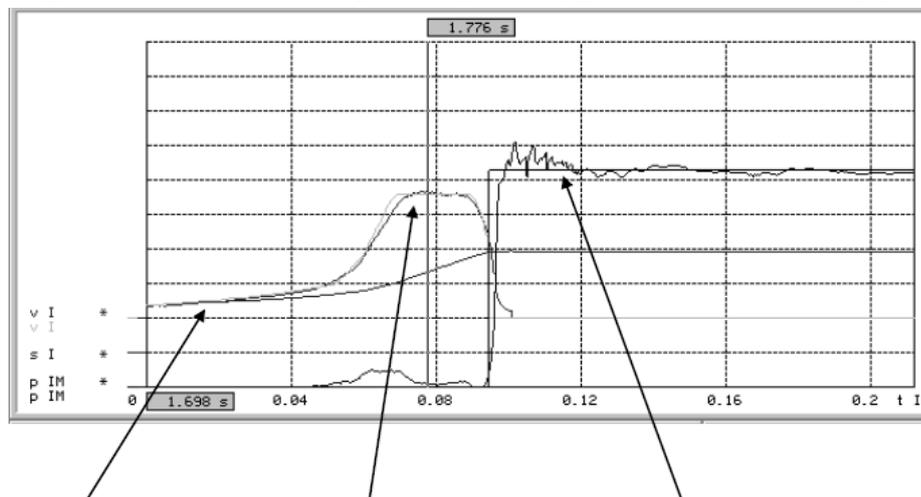
e o sistema de válvulas proporcionais no fechamento aumenta a velocidade de fechamento da máquina para aumentar a produtividade.

O sistema é equipado com unidade de lubrificação BEKA, com controle de nível de óleo. O sistema de injeção com válvulas proporcionais controla os 3 estágios de injeção: 1º estágio, 2º estágio e estágio de intensificação da pressão acumulador de pressão independente que atua se sofrer a influência do 2º estágio de injeção.

3.2.1 Monitoramento Eletrônico do Ciclo de Injeção

Segundo a Electronics GmbH para a aquisição de dados e cálculo preciso dos parâmetros, apenas computadores rápidos não são suficientes. São necessários amplo conhecimento do processo de fundição sob pressão e uma alta frequência de varredura. Tais fatores são determinantes para dar confiabilidade e qualidade à produção de fundidos. A curva de injeção pode ser interpretada e ajustada conforme a análise de técnicos e engenheiros. Para o monitoramento é preciso saber fazer a leitura correta da curva de injeção. A Figura 17, mostra as fases de fundição sob pressão através da curva de injeção.

Figura 17 - Fases de fundição sob pressão, gráfico da curva de injeção



| Fase lenta | Enchimento | Compressão |
|--|--|--|
| O metal é levado até o ataque usando velocidades lentas. | O metal é injetado na cavidade em alta velocidade até o preenchimento total da cavidade. | Compactação do metal para dentro da cavidade do molde em alta pressão. |
| (aprox. 1÷4 s) | (aprox. 0.01÷0.3 s) | (aprox. 400 ÷1200 bar) |

Fonte: Tecointer (2014).

O sistema de medição da Electronics oferece ao mercado as seguintes vantagens indicadas em seu site:

- Melhor qualidade das peças fundidas,
- Reprodutibilidade ideal,
- Alta estabilidade no processo,
- Minimiza rejeições,
- Reduz a tensão na máquina,
- Alta produtividade e, portanto, rentabilidade,
- Alta frequência de varredura e capacidade de cálculo,
- Gravação de avarias hidráulicas,
- Anomalias de gravação no sistema de injeção,
- Representação realista,
- Monitoramento constante dos parâmetros mais importante.

3.3 COLETA DE DADOS

Conforme indica a literatura, os principais parâmetros de fundição sob pressão a serem controlados são as velocidades de fase lenta e rápida os pontos de comutação e a pressão de recalque.

As injetoras utilizadas pela empresa ABC Metal S/A não utilizam a tecnologia de controle de tiro, sensores que controlam em tempo real o ciclo de injeção. Em geral as injetoras consistem em uma mecânica robusta pois são submetidas a altos esforços devido a este fator e aos custos envolvidos na aquisição de novos equipamentos, é comum encontrar equipamento com 20 ou 30 anos em operação. Sabendo que as tecnologias no campo da eletrônica industrial foram bastante significativas nos últimos 10 anos, pode-se concluir que os equipamentos estão bastante defasados com relação a controles eletrônicos.

O trabalho de monitoramento será realizado pelo equipamento Electronics, que vai monitorar as velocidades de 1ª e 2ª fase, as pressões de injeção e recalque durante todo o tiro, os pontos de comutação e a temperatura do alumínio no forno de espera. A Figura 18, mostra a interface de coleta de dados. A injetora utilizada para estudo foi do fabricante Agrati modelo CF 450T com 450 toneladas de força de

fechamento, robô de manipulação Fanuc para a extração do produto e processo de pulverização do molde.

Figura 18 - Interface para coleta de dados

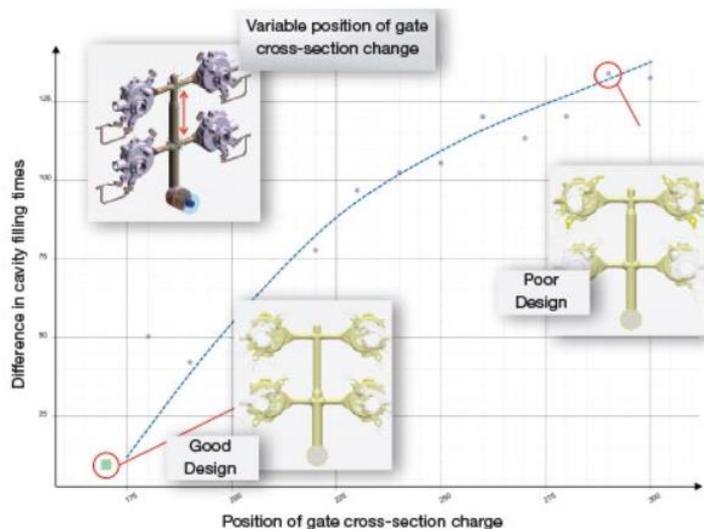


Fonte: Electronics (2018).

3.4 MONITORAMENTO DO PROCESSO A

Na primeira coleta de dados a amostragem utilizada foi de 600 ciclos. O molde utilizado nesta coleta foi de 4 cavidades. Os parâmetros analisados foram a pressão de compactação, velocidade alta e ponto de comutação da velocidade baixa para a velocidade alta. Outro parâmetro analisado foi a temperatura da liga no forno de espera. A Figura 19, mostra um gráfico de simulação para um molde de 4 cavidades.

Figura 19 - Simulação de molde 4 cavidades

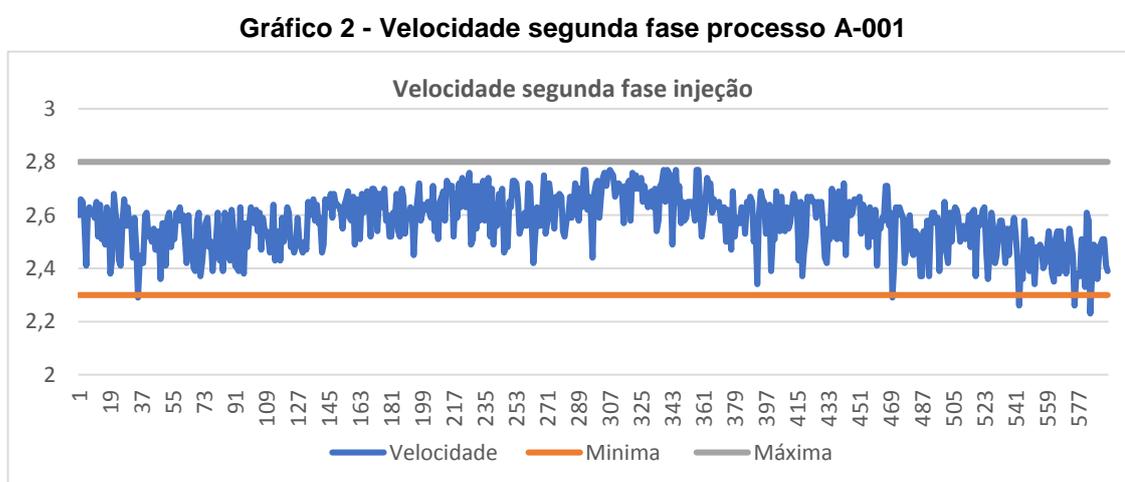


Fonte: Magmasoft (2018).

3.4.1 Velocidade Segunda Fase

A velocidade de segunda fase é um dos principais parâmetros do processo de fundição sob pressão, esta fase é responsável pelo preenchimento da cavidade.

Este parâmetro deve ser calculado de forma a realizar o enchimento dentro de um tempo capaz de evitar defeitos de enchimento como solda fria e peças incompletas que podem ocorrer devido à baixa velocidade de enchimento. No Gráfico 2, é mostrado o comportamento da velocidade na segunda fase em função do número de ciclos.

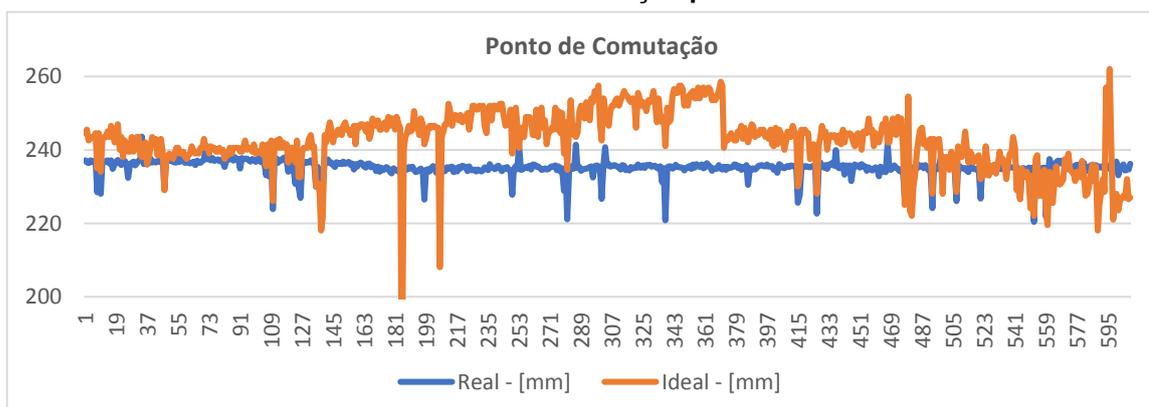


A velocidade de 2ª fase mostra uma oscilação que pode ser considerada baixa, porém passando por algumas tendências para cima por volta do ciclo 300 e de queda por volta do ciclo 550. A coleta nos mostrou baixa oscilação com cerca de 96% dos pontos dentro dos limites de controles (2,3 a 2,8 m/s).

3.4.2 Ponto de Comutação

O ponto de comutação é a posição em que se dispara a 2ª fase de injeção. Este parâmetro é de fundamental importância porque o disparo da velocidade alta antes do ponto ideal, pode causar porosidade por inclusões de ar e no caso de disparo após a entrada da cavidade, o metal líquido entra na cavidade em baixa velocidade podendo causar falhas de enchimento como solda fria. No Gráfico 3, estão mostrados os pontos de comutação ideal e real do processo.

Gráfico 3 - Ponto de comutação processo A-001



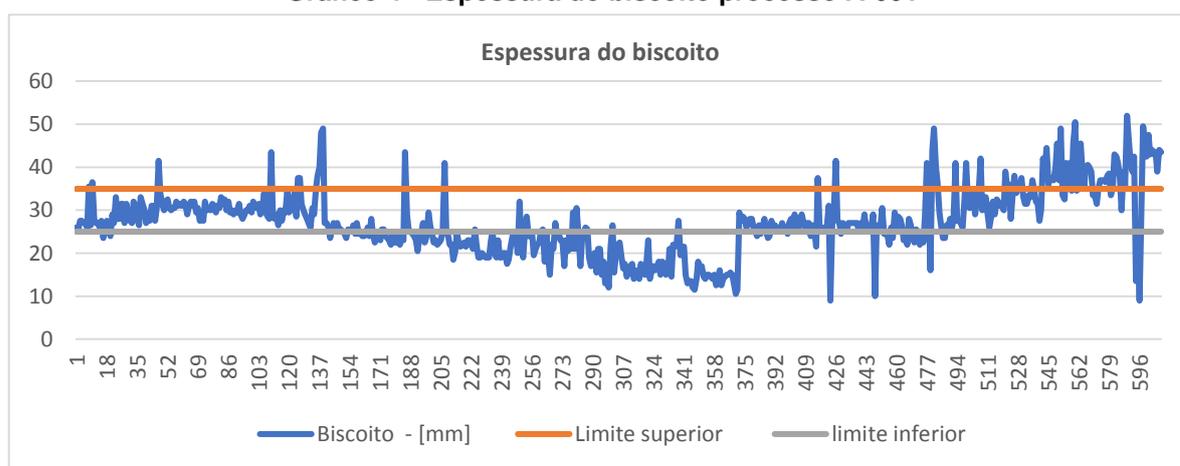
Fonte: Autoria própria.

3.4.3 Espessura do Biscoito

O controle da espessura do biscoito é importante para as várias fases de injeção, isto porque é necessária uma espessura mínima que seja suficiente para a compactação durante a 3ª fase de injeção. O descontrole desta espessura tem impacto direto no ponto de comutação de 1ª para 2ª fase de injeção.

A coleta de dados mostrou, como apresentado no Gráfico 4, uma grande variação no biscoito e alterando o ponto ideal de comutação produzindo peças com um maior nível de ar preso entre os ciclos 230 e 380. Entre os ciclos 540 e 600 teve-se peças com maior tendência a solda fria.

Gráfico 4 - Espessura do biscoito processo A-001



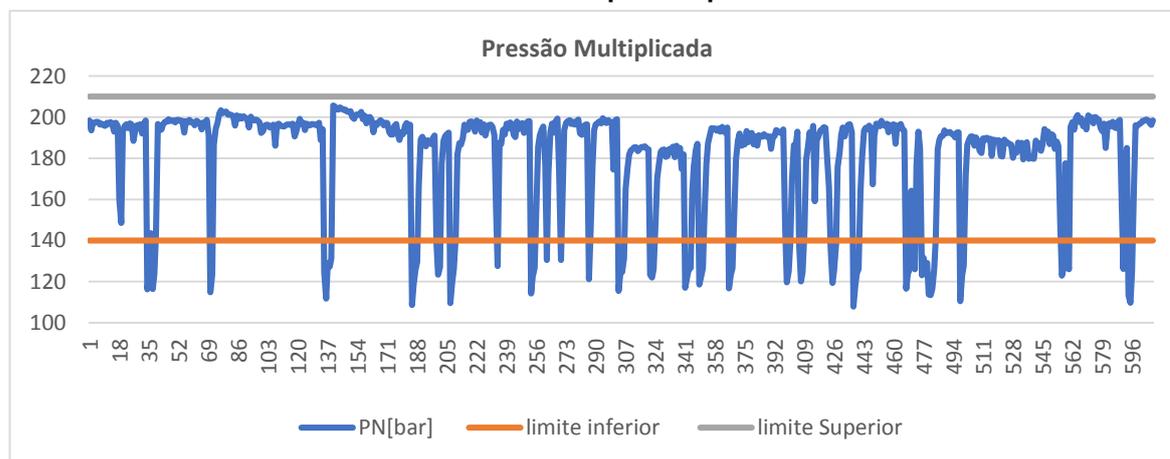
Fonte: Autoria própria.

3.4.4 Pressão de Compactação

A fase de compactação também conhecida por terceira fase de injeção é responsável por transmitir a pressão do multiplicador do cilindro de injeção para todo o produto através dos canais de alimentação durante a solidificação do metal. O objetivo principal evitar falhas de sanidade interna ocorridas devido a contração de solidificação do metal.

Os dados coletados (Gráfico 5), mostram a oscilação da pressão de recalque em vários ciclos, como no processo de fundição sob pressão a fase de compactação é responsável por transmitir pressão para o fundido, evitando defeitos de sanidade interna durante a solidificação do fundido.

Gráfico 5 - Pressão multiplicada processo A-001



Fonte: Autoria própria.

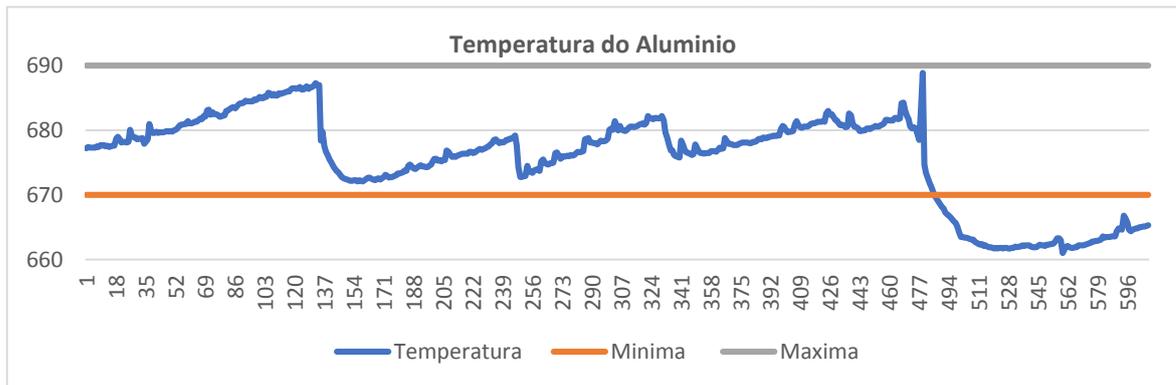
O problema de oscilação de pressão de recalque pode ser considerado um grave, uma vez que o defeito não será detectado de maneira visual e as peças defeituosas só poderão ser detectadas por ensaio de raios-x ou ensaios microscópicos. Pontos abaixo de 140 bar (pressão de linha) indicam a falha na entrada do multiplicador de pressão.

3.4.5 Temperatura do Forno de Espera

A temperatura do alumínio deve ser mantida entre 670 a 690 para este processo.

As amostras indicam um ciclo de subida dentro do forno de espera e uma queda a cada abastecimento, sendo que entre as amostras 480 e 600 a temperatura ficou abaixo do especificado potencializando os defeitos relacionados a este parâmetro, conforme mostrado no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Temperatura do Al no forno de espera processo A-001

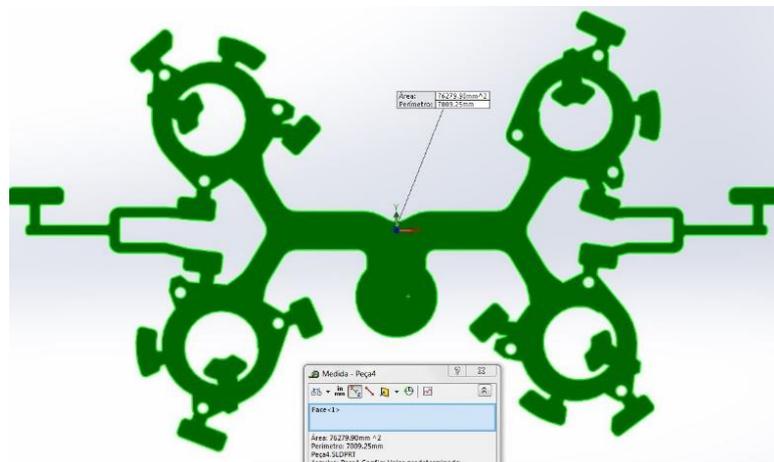


Fonte: Autoria própria.

3.5 MONITORAMENTO DO PROCESSO B

O segundo processo monitorado foi realizado em um molde com 4 cavidades e qualidade criteriosa quanto a presença de porosidade pós usinagem, os parâmetros analisados foram velocidade de 2ª fase, pressão ponto de comutação e temperatura do forno. Foram coletados 600 ciclos de produção. Na Figura 20, está mostrado um produto de 4 cavidades, como descrito no processo B.

Figura 20 - Produto 4 cavidades processo B-001

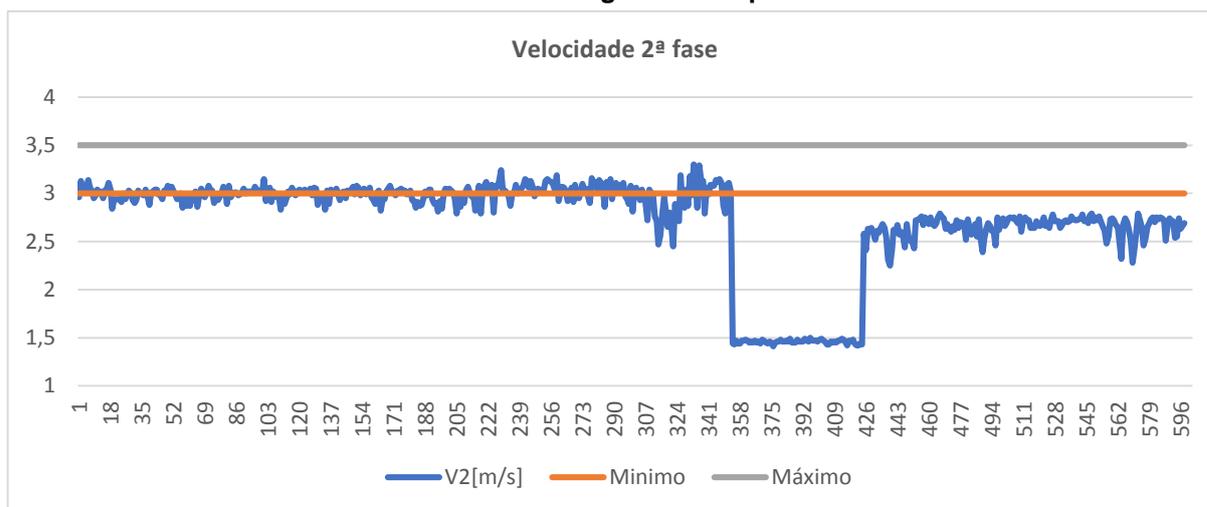


Fonte: Autoria própria.

3.5.1 Velocidade Segunda Fase de Injeção

A velocidade ficou estável durante parte do processo com tendência ao valor mínimo de 3 m/s que é um valor calculado e simulado no programa Magmasoft e depois ajustado na prática. No Gráfico 7, mostra-se o comportamento da velocidade na segunda fase.

Gráfico 7 - Velocidade segunda fase processo B-001



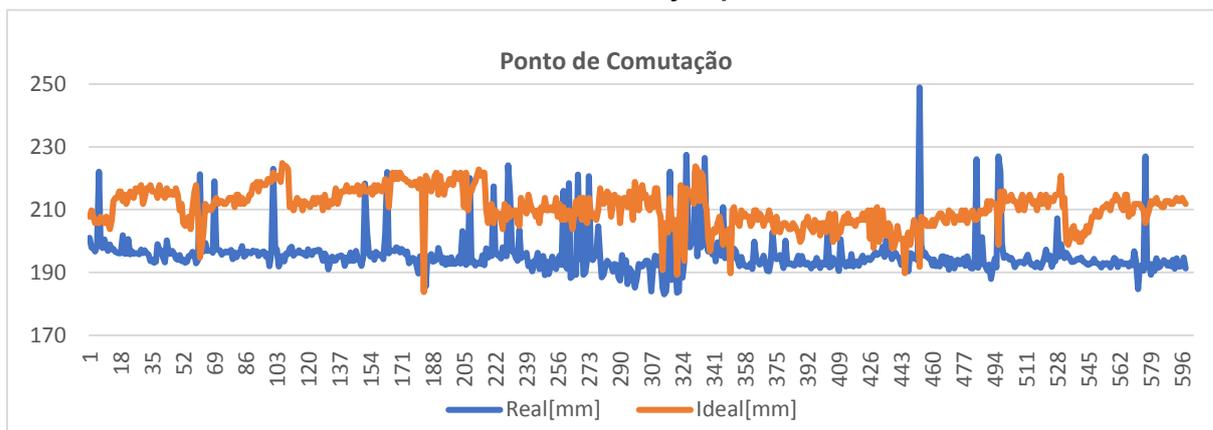
Fonte: Autoria própria.

Para lotes anteriores os melhores resultados na qualidade do produto foram evidenciados com velocidade de 3,3 a 3,5m/s. Entre os pontos 350 e 430 a velocidade ficou com 1,5m/s e até o ponto 600 ficou próxima de 2,5m/s. Após esta coleta foram realizados testes com variação na abertura da válvula proporcional de velocidade para verificar sua estabilidade. Neste processo ficou evidenciada a intervenção operacional.

3.5.2 Ponto de Comutação

Para o processo B-001 o Gráfico 8, indica alta variação no ponto de comutação, este fato potencializa defeitos de solda fria e porosidade.

Gráfico 8 - Ponto de comutação processo B-001

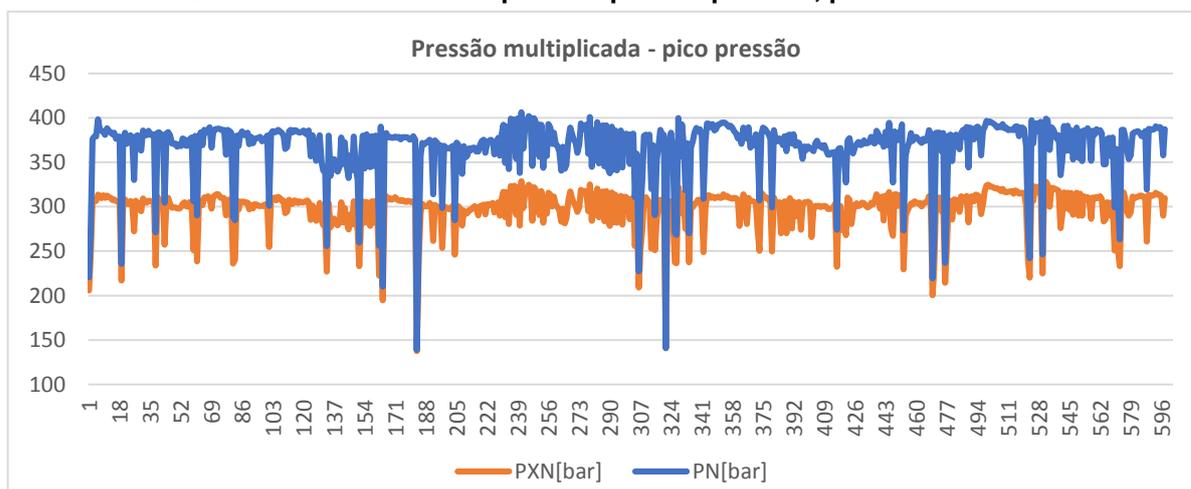


Fonte: Autoria própria.

3.5.3 Pressão de Compactação

Os dados de pressão do processo evidenciaram um pico de pressão no equipamento de até 100 kgf/cm². O pico de pressão é altamente prejudicial ao processo pois gera esforços acima do permitido suportado pelo equipamento. No Gráfico 9, mostra-se a variação do pico de pressão ao longo do processo B.

Gráfico 9 - Pressão multiplicada: pico de pressão, processo B-001



Fonte: Autoria própria.

O resultado pode ser evidenciado na prática, porque ocorre o vazamento de alumínio através das áreas de fechamento do molde.

A curva coletada neste processo indica uma falha na válvula que inicia a multiplicação, gerando um pico de pressão, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Curva do Electronics processo B-001



Fonte: Autoria própria.

A falha não é possível ser detectado porque o pico é muito rápido para ter a leitura detectada visualmente no manômetro da injetora, mostrados na Figura 22.

Figura 22 - Manômetro de pressão multiplicada processo B-001



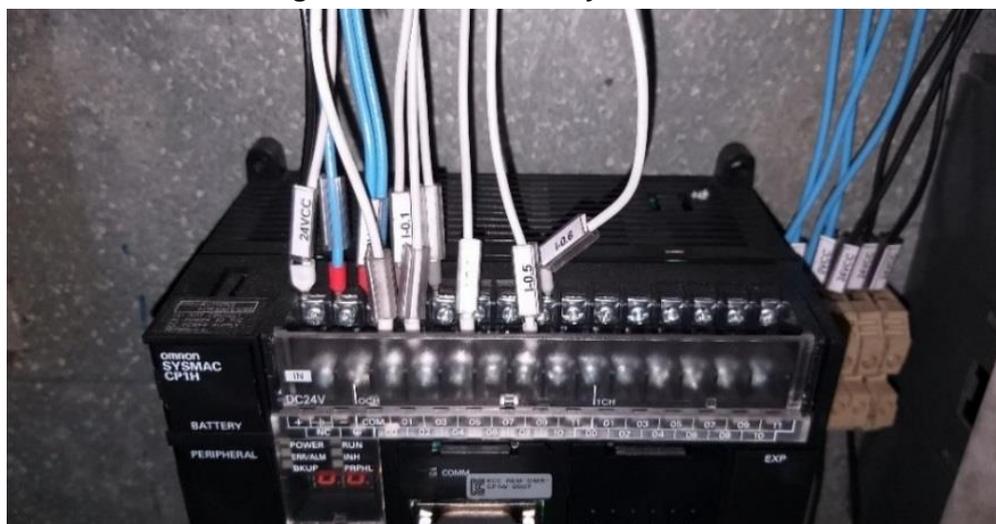
Fonte: Autoria própria.

3.6 CONTROLE - PROCESSOS CRÍTICOS

Com os dados levantados pelo Electronics, conseguiu-se avaliar quais processos estão mais críticos quanto a qualidade e propor soluções.

A ação proposta foi o desenvolvimento de um controlador de menor custo ligado direto a injetora que controla pressão e ponto de comutação. Para o desenvolvimento do controlador foi contratado uma empresa do setor de automação. O controle será ligado ao robô de extração do produto, que em caso de peça não conforme ocorrerá o descarte automático. Na Figura 23, mostra-se o Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado nesse processo.

Figura 23 - CLP Omron Sysmac CP1H



Fonte: Autoria própria.

O CLP foi instalado com o objetivo de classificar automaticamente as peças não conformes quanto aos parâmetros de pressão e ponto de comutação.

A Interface Homem Máquina (IHM), apresentada na Figura 24, mostra a os resultados do último tiro. O controlador está ligado o robô de extração para o descarte automático, descarta peças com espessura de biscoito fora dos valores especificados e peças com pressão fora dos valores especificados.

Figura 24 - IHM Omron

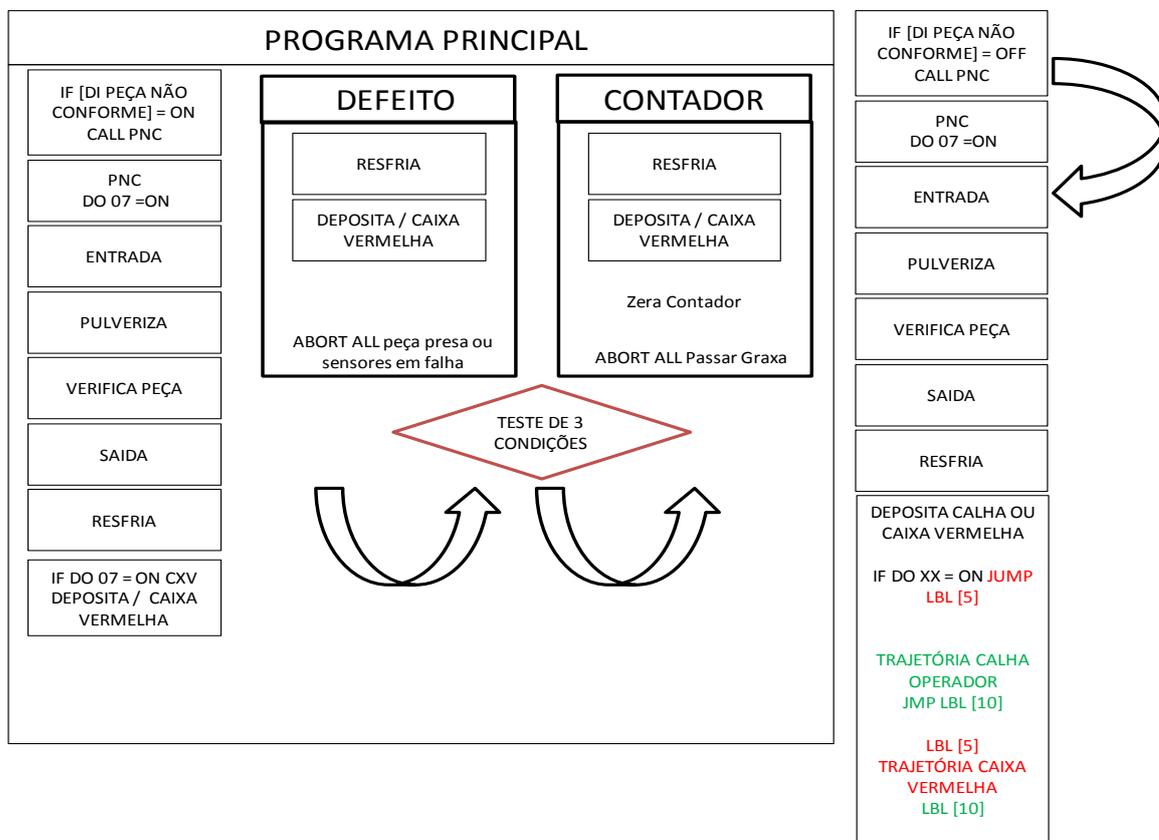


Fonte: Autoria própria.

Para evidenciar processos com alto índice de refugo, a especificação de parada do robô extrator a cada 5 ciclos fora das especificações.

Conforme os sinais digitais do controlador para o robô de extração, a programação segue fluxo desejado, conforme mostrado na Figura 25.

Figura 25 - Diagrama descarte automático de peças não conforme



Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS

Os resultados analisados indicam processos sem garantia de qualidade, como é característica do processo de fundição ser um processo especial segundo a AIAG, através de seu caderno normativo CQI-27 que contempla a avaliação do sistema de fundição. Para atendimento desta norma algumas ações são necessárias.

Com o objetivo de melhoria e atendimento, foi realizado o levantamento de custos para o aparelhamento de todas as injetoras com sensores de monitoramento de pressão, velocidade e temperatura para levantamento e ajuste de processo em todas as injetoras, uma vez que a princípio apenas 3 injetoras foram aparelhadas com o equipamento de aquisição de dados. Com isso será possível monitorar todos os processos fazendo o levantamento e ajuste periodicamente.

A ação proposta de desenvolvimento de um controlador eletrônico de menor porte para monitorar a pressão de multiplicação e altura do biscoito que nos serve de parâmetro de regulação dos pontos de comutação, nos processos mais críticos, nos apresentou um bom resultado, porém com suas limitações de não monitorar a velocidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema eletrônico de monitoramento nos mostrou uma curva de injeção antes não imaginada e defeitos de processo antes não monitorados. Estes fatores evidenciam nossos altos índices de refugos e retrabalhos.

Este trabalho nos permite melhores avaliações do ponto de vista da qualidade do processo evidenciando melhores faixas de parâmetros como velocidade de segunda fase de enchimento, temperatura ideal de injeção, ponto de comutação e pressão de recalque aplicada a cada produto. Cria também um olhar mais crítico do ponto de vista da manutenção dos equipamentos podendo gerar dados para a manutenção de válvulas proporcionais, qualidade do óleo hidráulico utilizado, desempenho das bombas de óleo entre outros.

A princípio pode-se evidenciar que o trabalho de monitoramento eletrônico atingiu seu objetivo inicial que era o levanto de como nossas injetoras produziam nossas peças , dados como velocidade ponto de comutação eram apenas programados e não controlados e desta forma pode-se continuar a medir apenas os produtos finais por inspeção de raios X e ou inspeção visual após processo de usinagem.

Ainda tem-se um longo caminho para que os processos de fundição sob pressão atinjam os controles ideais de processo.

REFERÊNCIAS

ABAL. **Alumínio brasileiro: Cadeia primária do Alumínio**. Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), São Paulo: Abal, 2017a. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/>>. Acesso 13 fev.2019

ABAL. **Aplicações do alumínio: Automotivo e transportes**. Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), São Paulo: Abal, 2017b. Disponível em: <<http://abal.org.br/aplicacoes/automotivo-e-transportes/automoveis/>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

ABAL. **Alumínio brasileiro: Soluções para uma vida sustentável**. Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), São Paulo: Abal, 2017c. Disponível em: <<http://abal.org.br/publicacao/aluminio-brasileiro-solucoes-para-uma-vida-sustentavel/>>. Acesso em: 17 out. 2018.

AGRATI. **Máquina para fundição sob pressão**. Copyright© ©2016 AGRATI - AEE srl Die Casting Machines. Disponível em: <<http://www.agrati.it/po/prod-cf500.asp>>. Acesso: 10 out. 2018.

AMBO, Helton Kenji Arçari; OLIVEIRA, Thiago Meriguete de. **Estudo dos parâmetros no processo de fabricação de tampas de motores elétricos por injeção de alumínio**. Projeto de Graduação - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Vitória, 2016. Disponível em: <http://www.engenhariamecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2016-1_helton_kenji_arçari_ambo_e_thiago_meriguete_de_oliveira.pdf>. Acesso em: 30 out. 2018.

BONOLLO, Franco; GRAMEGNA, Nicola; TIMELLI, Giulio. **High-pressure die-casting: Contradictions and challenges**. JOM: The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, v. 67, n. 5, abr. 2015.

BRITO, Francisco de Oliveira; DACOL, Silvana. **A manufatura enxuta e a metodologia seis sigmas em uma indústria de alimentos**. 2008. Artigo apresentado no XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP - 2018. Rio de Janeiro, out. 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_490_11749.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

BUHLER. **Fundição sob pressão tradicional de alumínio**. Copyright© 2018 Buhler AG. Disponível em: <<https://www.buhlergroup.com/southamerica/pt/tecnologias-de-processo/fundicao-sob-pressao/fundicao-sob-pressao-tradicional-de-aluminio.htm>>. Acesso: 09 out. 2018.

CONCER, Dionei. **Estudo do comportamento da porosidade via simulação numérica para produtos injetados em alumínio sob pressão**. Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Curitiba, 2016. Disponível em: <http://www.prppg.ufpr.br/pgmec/wp-content/uploads/2016/05/tese_041_dionei_concer.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

ELECTRONICS. **Equipamento para monitoramento de fundição sob pressão**. Copyright© ELECTRONICS GmbH, 2018. Disponível em: <www.electronics-gmbh.de/electronics/english/messtechnik.htm>. Acesso: 09 out. 2018.

GDA. **Alumínio no transporte**. Copyright© 2018 GDA: Gesamtverband Der Aluminiumindustrie e.V. Disponível em: <<http://www.aluinfo.de/mobility.html>>. Acesso em: 11 out. 2018.

KARBAN, Robert. **The effects of intensification pressure, gate velocity & intermediate shot velocity on the internal quality of aluminum die castings**. Purdue University, 2001. Disponível em: <<https://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI3033108/>>. Acesso em: 25 out. 2018.

MAGMASOFT. **Fundição sob pressão: Qualidade otimizada, ferramental robusto e custos eficazes**. Copyright© 2018 Magma. Disponível em: <<https://www.magma-soft.com.br/pt/solucoes/fundicao-sob-pressao/>>. Acesso em: 20 out. 2018.

MALAVAZI, J. **Área de fundição: Processo de fundição sob pressão**. Osasco: SENAI, 2005.

MENDES, Rui Patrick Konrad. **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, UESC, Joinville, 2005. Disponível em: <<http://tede.udesc.br/handle/tede/1568>>. Acesso em: 10 out. 2018.

SANTOS, Winderson Eugenio dos. **Controladores lógicos programáveis (CLPs)**. Curitiba, PR: Base Editorial Ltda, 2010.

TECNOINTER. **Treinamento de Processo de Fundição**. Treinamento ministrado pela Tecnointer Ltda em fev. 2014.

UFPR. **Fundição sob pressão: Tecnologia e processos**. Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Engenharia Mecânica - DEMEC, Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais - LABATS, 2017. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/35041334-Fundicao-sob-pessao-tecnologia-do-processo-rscp-labats-demec-ufpr.html>>. Acesso: 10 out. 2018.

VIANA, Denilson José. **Aplicação do método de Taguchi para a redução de porosidade de peças fundidas sob pressão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. Taubaté, SP, 2012. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/ITAU_e16c6df24f9e5249db937761fb04dfa6>. Acesso em: 30 out. 2018.

VINARCIK, Edward J. **High integrity die casting processes**, 1. ed. New York: Wiley, 2003.