



MONITORAMENTO DE FERRAMENTAIS NA INDÚSTRIA 4.0: Uma Pesquisa-ação

Tiago Roberto Terossi Junior (FIEL) terossi1997@gmail.com

Júlio Scherres (FIEL) jscherrer263@gmail.com

Ricardo Scavariello Franciscato (FIEL) ricardo.franciscato@yahoo.com.br

Resumo

Moldes de injeção de alumínio possuem alto valor agregado, devido ao seu custo de construção. Para que o investimento faça jus, o molde deve produzir o máximo possível de peças com qualidade dentro de sua vida útil, que raramente é aproveitada ao máximo. Esse artigo detalha o desenvolvimento de um dispositivo para monitoramento de ferramentais de alumínio fundido através da metodologia de pesquisa-ação. Com potencial de evitar a produção de lotes defeituosos, e rastrear a produção, com previsão de lançamento comercial em setembro de 2021.

Palavras-Chaves: (Fundição Sob Pressão, I.O.T., Indústria 4.0, Gestão de Qualidade.)

O seguinte desenvolvimento tem como o objetivo aprimorar a vida útil de ferramentais de alumínio fundido, através de um sistema de monitoramento de ferramentais, uma solução que até então era inexistente no mercado, e com um grande potencial de redução de custo para as empresas envolvidas.

O desenvolvimento foi realizado pela SIQ Systems. Uma empresa de sistemas de gestão de qualidade, situada na cidade de Jundiaí, no interior do estado de São Paulo. Com a justificativa de solucionar diversos problemas enfrentados por seus clientes no gerenciamento de ferramentais em comodato.

Durante o desenvolvimento de um ferramental de Alumínio Injetado, são realizados estudos para sua validação onde é estimada a vida útil, para a maior parte das aplicações, a vida útil da ferramenta é de aproximadamente 150 mil ciclos.

Feito o desenvolvimento e a validação, a empresa compra o molde, e o disponibiliza para seu fornecedor em sistema de comodato, de forma que as peças produzidas por esse molde serão

fornecidas exclusivamente a ela. Ficando ao encargo do fornecedor coletar os dados da produção, e informá-los a empresa por meio das notas fiscais. O processo para substituir esse molde começa quando ele está próximo do fim de sua vida útil planejada.

Porém, em muitas ocasiões o fornecedor sinaliza o fim da vida útil do molde, meses antes do planejado, reduzindo o tempo disponível para o desenvolvimento, validação e compra do molde novo, gerando mais custos e uma carga de trabalho adicional. Para resolver esse problema recorrente, foi desenvolvido um dispositivo para monitorar os moldes. De forma que as empresas não dependam mais de seus fornecedores para receber as informações sobre o ferramental.

Essa hipótese era inexistente no mercado, e teve que ser desenvolvida desde o início. O dispositivo fica acoplado no molde, e contabiliza sua produção juntamente com seus parâmetros produtivos. Seu sistema embarcado contabiliza todos esses dados, e envia em tempo real, através de redes moveis ao servidor da SIQ System, onde seus clientes podem acompanhar o desempenho de seus ferramentais através de seu sistema de gestão de qualidade integrada.

1.1. Metodologia

A metodologia utilizada no desenvolvimento desse artigo foi a de pesquisa-ação. A pesquisa-ação pode ser definida como um método investigativo baseado em uma autorreflexão conjunta, feita pelos participantes de um grupo, de modo a aprimorar a lógica de suas próprias práticas (THIOLLENT, 1994).

Devido ao fato que os autores foram os principais responsáveis pela identificação do problema, juntamente com sua solução e criação do protótipo e o desenvolvimento de seu conceito, pode definir que a metodologia usada foi de pesquisa-ação.

2. Referencial teórico

2.1. Fundição sob pressão (injeção)

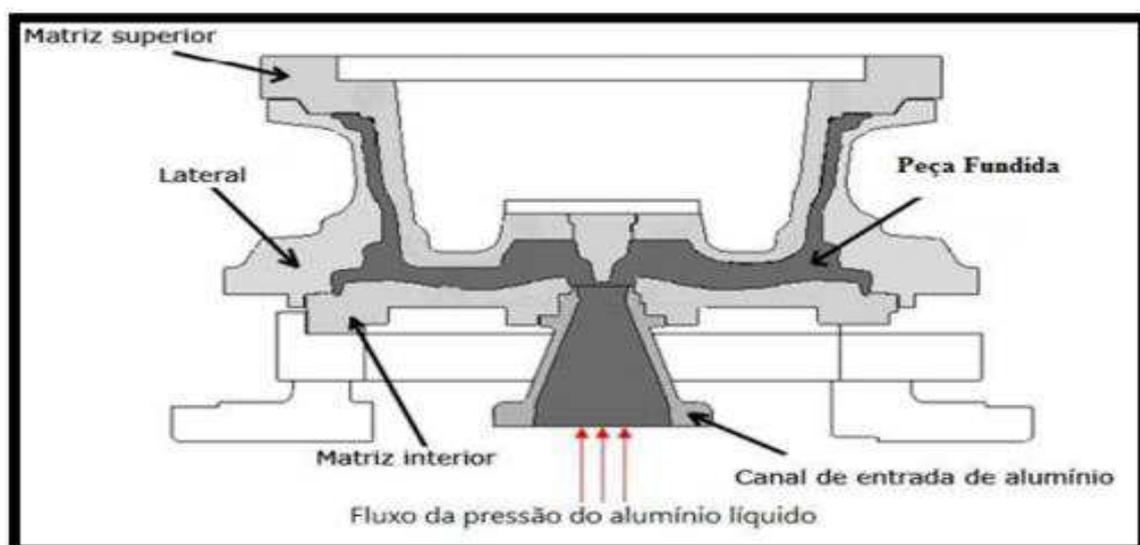
Segundo Dańko e Holtzer (2006) O processo de fundição sob pressão foi patentado em 1849 por Sturgis, com a criação da primeira máquina injetora, criada com o intuito de produzir

peças para uma máquina de impressão. Porém, começou a ser amplamente usada a partir de 1877, quando o processo foi usado para produzir mancais de locomotivas, assim se iniciando o mercado para peças injetadas. Com advento da segunda revolução industrial, o mercado de peças injetadas foi amplamente popularizado, devida a produção em larga escala para a indústria aeronáutica e automotiva.

Segundo Chiaverini (1986) A fundição sob pressão se inicia com a injeção do metal líquido com pressão na cavidade do molde, após a injeção do fluido metálico o molde é resfriado para que a peça se solidifique, e então o molde é aberto para retirar a peça, por fim é aplicado o desmoldante e feita à higienização na cavidade, o molde é fechado novamente, e assim se encerra o ciclo. Em consequência da velocidade de preenchimento da cavidade do molde, é possível fabricar peças de alta complexidade, em alto volume com baixo custo.

O molde é composto de duas matrizes hermeticamente fechadas no momento de injeção do fluido metálico, sendo a matriz inferior fixa e a superior móvel. A quantidade de metal injetado na cavidade deve ser exata, de forma que preencha inteiramente a cavidade e seus canais para evasão de ar. Os canais servem para assegurar o preenchimento completo cavidade, conseqüentemente produzindo rebarbas na peça, que são eliminadas em outros processos. A maioria dos moldes é refrigerada a água, de forma que evita seu superaquecimento, elevando sua vida útil.

Figura 1 – Molde de Injeção de Alumínio Fundido



Fonte: Adptado de Reilly, Duan, Yao, et al. (2013)

2.2. Internet das coisas

Segundo Domingo (2012) o conceito de *I.O.T.* (*Internet Of Things*) consiste em vários dispositivos conectados para um único propósito. Kim e Lee (2014) complementam a definição, com o conceito que o *I.O.T.* implica uma forma de comunicação na qual as máquinas se comunicam entre si sem, sem qualquer forma de interação humana. Fortino (2017) refere o *I.O.T.* como a internet que interconecta objetos com capacidades de nomeação, endereçamento, sensoriamento, comunicação e computação.

O *I.O.T.* pode ser resumido como uma rede de um ou mais objetos, com tecnologia embarcada com a capacidade de coletar e transmitir dados. Possibilitando que aparelhos e objetos do nosso cotidiano se conectem a internet. A internet das coisas pode ser aplicada em diversas áreas, tanto no nosso cotidiano, quanto na indústria, comércio, ou até mesmo na agricultura.

2.3. Indústria 4.0

Khang (2016) define a indústria 4.0 como a digitalização das fábricas e cadeias de suprimentos. Schoroeder (2019) afirma que indústria 4.0 envolve a transformação digital de mercados consumidores e industriais. Entretanto Morteza (2018) define a Indústria 4.0 Como as inovações tecnológicas que irão criar uma nova era de tecnologia industrial.

A indústria 4.0 pode ser resumida como um conceito da “fabrica inteligente”, por base de suas estruturas modulares, que monitoram os sistemas físicos e tomam decisões de forma descentralizadas. Com a interação entre diferentes sistemas, utilizando o conceito de *I.O.T.* e *big data* integrados a uma rede que compila todas as informações, a indústria 4.0 traz inúmeras oportunidades para inovação e melhorias de processos e serviços.

2.4. Gestão de qualidade

Garvin (1984) define a gestão de qualidade como uma ferramenta com o propósito de ajudar empresas a atingirem suas metas, aumentando o seu desempenho e melhorando seus processos. Entretanto Flynn (1994) define a gestão de qualidade como qualquer prática ou atividade que busca atingir, ou manter um resultado de alta qualidade com o objetivo final de ultrapassar as expectativas do cliente.

A Gestão de Qualidade se resume em qualquer atividade em uma empresa com o intuito de melhorar a qualidade de seus serviços e produtos. De forma que as necessidades e expectativas de seus clientes sejam satisfeitas.

3. Desenvolvimento

A primeira fase do desenvolvimento foi iniciada através de uma reunião *kick off* entre o departamento de engenharia e o departamento de T.I., foi definido que a engenharia seria responsável pelo desenvolvimento do dispositivo, enquanto o T.I. seria responsável pelo desenvolvimento da interface em nuvem que exibiria os dados captados pelos sensores.

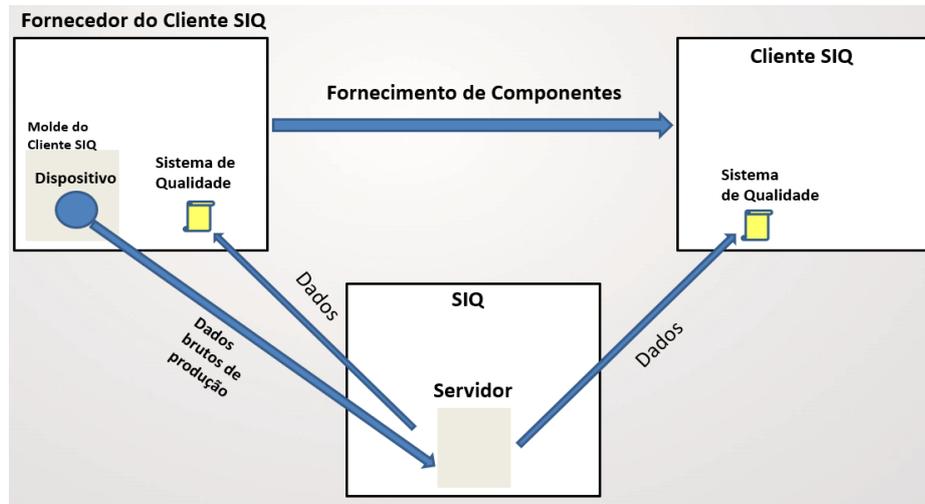
Após a primeira reunião, foi realizado um encontro entre os responsáveis pelo projeto e representantes do cliente escolhido para validação do projeto, onde foram definidos os conceitos chaves para o funcionamento do dispositivo e o molde que seria testado o protótipo. Com o escopo do projeto definido, foi aberta uma licitação entre diversas empresas de automação parceiras, para construção do protótipo

4. Dispositivo e sistema

O dispositivo consiste em quatro sensores distintos (inercial, temperatura, indutor e *GPS*) conectados através de fios a um sistema embarcado com conexão 3g/4g, sua fonte de alimentação é a do próprio molde enquanto ele este ativo, quando não este ativo é utilizada a carga de sua bateria recarregável, com autonomia de 20 dias. O embarcado e os sensores ficam encaixados próximos em bases fixadas na matriz fixa do molde, de maneira que o embarcado e os sensores possam ser retirados a qualquer momento e reutilizados em outro molde.

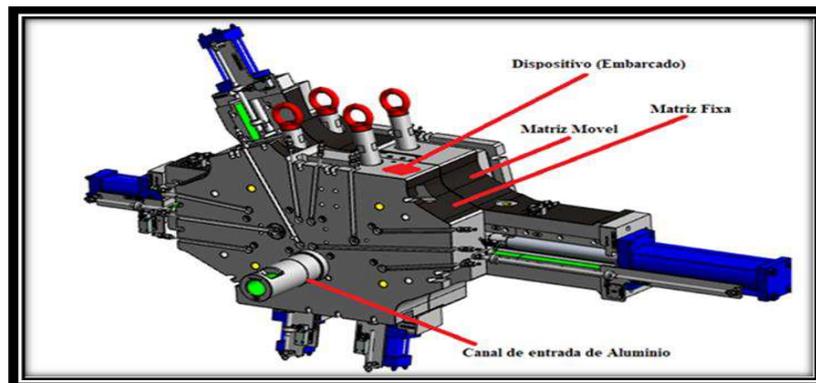
O sistema onde os dados do dispositivo são exibidos, consiste em um modulo integrado ao sistema de gestão de qualidade da SIQ, onde o dono da ferramenta pode acompanhar todos os parâmetros produtivos das ferramentas que possui, seu histórico de manutenções, e a sua vida útil atual. Além de ter total rastreabilidade das peças produzidas pelo molde.

Figura 2 – Fluxograma do Sistema



Fonte: Os Autores

Figura 3 – Posicionamento do dispositivo no molde de alumínio fundido



Fonte: Os Autores

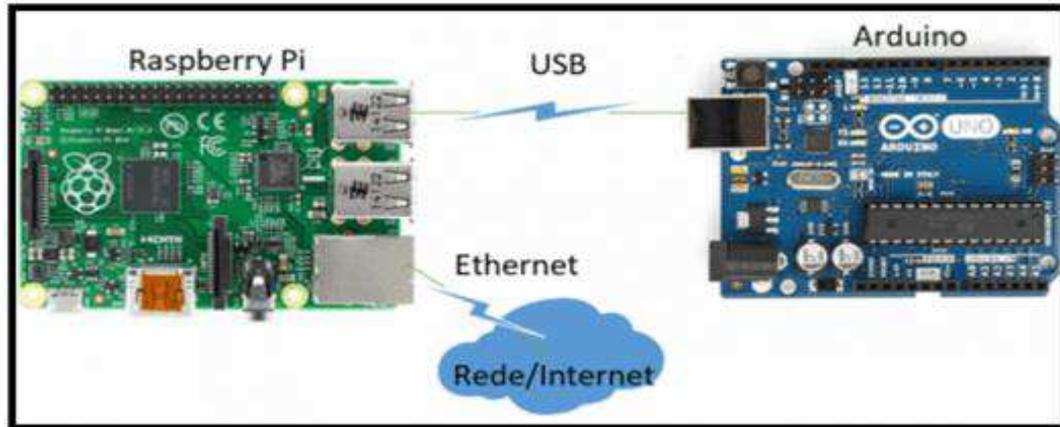
4.1. Embarcado e interface

Garcia (2018) define o sistema embarcado como um computador feito unicamente para o objetivo de sua aplicação. O sistema embarcado do dispositivo consiste em um processador dedicado a receber os dados dos sensores conectados, compilá-los e enviá-los em um certo intervalo ao servidor na nuvem por meio de redes 3g/4g.

Após acumular certa quantidade de dados da produção, a interface na nuvem é capaz de realizar controles estatísticos e estudos de capacidade na produção e nos parâmetros monitorados do molde. Se houver variações no padrão dos dados enviados pelos sensores, a interface irá detectar se houve problemas de qualidade da produção do molde, ou se houve

mau funcionamento dos sensores através de sua lógica de validação de sinais. Na qual os dados são validados apenas se todos os sensores estiverem funcionando em sua faixa correta de tempo e escala.

Figura 4 - Exemplos de Sistemas Embarcados.



Fonte: Curvello (2015)

4.2. Sensor inercial

Segundo Torres (2014) O sensor inercial capta as variações de velocidade, aceleração linear e angular, de forma direta e indireta, por meio da conversão de forças inerciais em vibrações que possam ser detectadas por transdutores correspondentes e traduzidas em sinais elétricos. Os sinais elétricos são submetidos um processo de filtragem linear e a outro não linear com a intenção de estabelecer estimativas do sinal de entrada. A última saída irá representar um valor calibrado da aceleração.

O sensor inercial do dispositivo irá monitorar a força de fechamento do molde através do impacto da matriz móvel com a matriz fixa. Um fechamento irregular das matrizes altera as propriedades dimensionais do produto, impactando diretamente em sua qualidade final, portanto é essencial detectar suas variações, de forma que possíveis problemas sejam detectados previamente.

4.3. Sensor de temperatura (termopar)

Segundo Scervini (2009) Termopares são sensores de temperatura feitos por dois fios unidos em uma extremidade, com polaridades diferentes, chamados termo elementos. Silveira (2018)

afirma que os termos elementos geram tensões termoelétricas distintas em suas pontas indicando assim a diferença de temperatura nos dois pontos.

O termopar conectado ao embarcado irá medir a variação de temperatura na superfície externa da matriz fixa do molde durante o ciclo de produção, possibilitando que tanto a temperatura de injeção quanto a velocidade da refrigeração sejam monitoradas. A temperatura de injeção do alumínio e sua refrigeração são os principais fatores que determinam a dureza e resistência da carcaça solidificada.

4.4. Sensor indutor

Segundo Silveira (2018) os sensores indutores reagem a elementos metálicos que se aproximam de seu campo magnético. O sensor é composto de três elementos, um núcleo de ferrite envolvido em uma bobina, um circuito ativador e um circuito oscilador com um amplificador.

Quando o metal se aproxima do campo magnético gerado pelo sensor a energia do campo é reduzida, o circuito ativador percebe essa redução e altera a tensão de saída do sensor, dessa forma podendo sinalizar ao embarcado que um objeto metálico se encontra próximo.

No contexto do dispositivo, o sensor indutor está posicionado na matriz fixa do molde, e informara ao embarcado se o molde está aberto ou fechado, através da aproximação e distanciamento da matriz móvel, de forma que ele valide as informações vindas dos outros sensores dentro de sua sequência lógica.

4.5. Localização

O *Global Positioning System*, ou GPS é um sistema de satélites que emite informações precisas sobre o posicionamento de receptores em nosso planeta. O aparelho receptor calcula sua posição através do processo de triangulação. (MACHADO, 2012).

O receptor de GPS do dispositivo fica localizado dentro do sistema embarcado, e tem como função monitorar a localização do molde em tempo real, de forma que a empresa seja informada se o molde foi retirado da injetora, ou movido à outra empresa para manutenção. Evitando que a empresa envie um representante para confirmar se o molde está em manutenção.



5. Conclusão

Como a solução será testada comercialmente em setembro de 2021. Conclui-se que após os testes do protótipo, a solução de monitoramento se provava eficaz em rastrear ferramentais, tanto em comodato, quando os próprios. Com a ferramenta de rastreabilidade impedindo que lotes defeituosos sejam produzidos, sua vida útil acompanhada e com um grande potencial para aplicação de Big Data para prever os comportamentos dos moldes em um cenário com vários dispositivos conectado à rede.

REFERÊNCIAS.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Volume 2: Processos de Fabricação e Tratamento**. São Paulo: McGraw-Hill, 1995. p. 20-334.

CURVELO, André. **Sistema Web com Raspberry Pi, Arduino, USB, Lighttpd e PHP**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sistema-web-com-raspberry-pi-e-arduino/>> Acesso em: 20 abr. 2020.

DAŃKO, Joseph, HOLTZER, Mariusz. The State of Art and Foresight of World's Casting Production. **Metalurgija**, Zagreb, v. 45, n. 4, p. 333-340, jun. 2006.

DOMINGO, Mari Carmen. An overview of the Internet of Things for people with disabilities. **Journal of Network and Computer Applications**, Guelph, v. 35, n.2 p. 584-596, mar. 2012.

FORTINO, Giancarlo, RUSSO, Wilma, SAVAGLIO, Carlo, et al. Agent-oriented cooperative smart objects: From IoT system design to implementation, **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, Hanover, v.48, n.11 p. 1-18, dez. 2017.

FLYNN, Barbara, SCHOROEDER, Roger, SAKAKIBARA, Sadao. A framework for quality management research and an associated measurement instrument, **Journal of Operations Management**, Tokyo, v.11, n.4 p. 339-366, mar. 1994.

GARCIA, Fernando Deluno. **Introdução aos sistemas embarcados e microcontroladores**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sistemas-embarcados-e-microcontroladores/>> Acesso em: 20 abr. 2020.



GARVIN, David. 1984. What does product quality really mean? **MIT Sloan Management Review**, Cambridge, v.26, n.1 p. 25–43, out. 1984.

KANG, Hyoung Seok, LEE, Ju. Yeon, Choi, SangSu, et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, Berlim, v.3, n.1 p. 111-128, jan. 2016.

KIM, Jaewoo, LEE, Jaiyong, KIM, Jaeho, et al. M2M Service Platforms: Survey, Issues, and Enabling Technologies. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, Hsinchu, v.16, n.1 p. 61-76, mar. 2014.

MACHADO, Jonathan. **O que é GPS?** Disponível em: < <https://www.tecmundo.com.br/conexao/215-o-que-e-gps-.htm> > Acesso em: 20 abr. 2020.

MORTEZA, Ghobakhloo. The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Bandar Abbas, v.29, n.6 p. 910-936, mai. 2018.

REILLY, Carl, DUAN, Jianglan, YAO, Lu, et al. Process Modeling of Low-Pressure Die Casting of Aluminum Alloy Automotive Wheels. **JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society**, Pittsburgh, v.65, n.9 p. 1111–1121, set. 2013.

SCERVINI, Michele. **Thermoelectric Materials for Thermocouples**. Disponível em: <<https://www.msm.cam.ac.uk/utc/thermocouple/pages/ThermocouplesOperatingPrinciples.html>. > Acesso em: 20 abr. 2020.

SCHOROEDER, Andreas, BIGDELI, Ali Ziaee, ZARCO, Carlos Galera., Galera Zarcos, et al. Capturing the benefits of industry 4.0: a business network perspective. **Production Planning & Control The Management of Operations**, Abingdon-on-Thames, v.30, n.16 p. 1-17, abr. 2019.

SILVEIRA, Cristiano Bertelucci. **Sensor de Temperatura: Encontre o Tipo Ideal para sua Aplicação**. Disponível em: < <https://www.citisystems.com.br/sensor-de-temperatura/> > Acesso em: 20 abr. 2020.



SILVEIRA, Cristiano Bertelucci. **Sensor Indutivo: O que é e como funciona.** Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensor-indutivo/>> Acesso em: 20 abr. 2020.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, 1994. p 108-109.

TORRES, Henrique. **Sensores Inerciais - Parte 1.** Disponível em: < <https://www.embarcados.com.br/sensores-inerciais-parte-1/>> Acesso em: 20 abr. 2020.