



## SISTEMA DE MONITORAMENTO PRODUTIVO PARA LINHA DE TREFILA CONTÍNUA, UTILIZANDO RECURSOS DE INTERNET DAS COISAS.

## SYSTEM PRODUCTIVE MONITORING FOR MACHINE TREFILA CONTINUOUS, USING RESOURCES INTERNET OF THINGS

Daniel Otávio Tambasco Bruno <sup>1, i</sup>  
Daniel Camusso<sup>2, ii</sup>  
Anderson Marrubia<sup>3, iii</sup>

### RESUMO

Nos últimos anos a tecnologia Internet da Coisas (IoT) tem fornecido soluções em vários setores da sociedade e está crescendo rapidamente, devido ao baixo custo e a facilidade de implantação. Este trabalho tem por objetivo monitorar e indicar alguns índices de produtividade da máquina de Trefila Contínua, instalada na empresa CECIL. Este processo consiste na aquisição em tempo real da quantidade de barras fabricadas, comunicação com a plataforma microcontrolada e gerenciamento das informações por meio de software dedicado. A ideia é baseada em uma arquitetura simples, de baixo custo e facilidade de instalação, prevendo ampliar esta solução para outras linhas de produção da empresa.

### ABSTRACT

In recent years, Internet of Things (IoT) technology has provided solutions in various sectors of society and is growing rapidly due to its low cost and ease of deployment. This work aims to monitor and indicate some capture indexes of the Continuous Drawing machine installed at the company CECIL. This process consists of capturing the number of bars manufactured in real time, communicating with the microcontrolled platform and managing information through dedicated software. The idea is based on a simple architecture, low cost and ease of installation, foreseeing to extend this solution to other production lines of the company.

### 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade os efeitos da globalização e alta competitividade, exercem uma grande pressão sobre as empresas de manufatura. Produzir cada vez mais, com menos recursos e mais rapidamente tornou um desafio. E a empresa CECIL não foge à regra, porém a novidade que as tecnologias que estão sendo desenvolvidas e aplicadas na nova revolução industrial, chamada de Indústria 4.0, podem ser utilizadas em várias áreas da empresa. A escolha deste

<sup>1</sup> Prof. Orientador. Mestre em Engenharia da Informação pela UFABC. E-mail: daniel.bruno@sp.senai.br

<sup>2</sup> Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: daniel.camusso@sp.senai.br

<sup>3</sup> Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: an.marrubia@gmail.com



desafio surgiu após a aula sobre um tema similar do curso de pós-graduação. E entre os princípios da Indústria 4.0, destaco três que tem impacto na escolha:

- A aquisição de dados em tempo real, permitindo a tomada de decisões mais assertivas;
- Orientações a serviços utilizando arquitetura de softwares baseado na Internet das Coisas (IoT);
- Modularidade, onde a produção é ajustada de acordo com a demanda.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Ao contrário da Internet normal utilizada pelos humanos, IoT (Internet das Coisas) pode ser definida como a comunicação máquina a máquina (M2M), composta apenas por sensores, softwares e outros dispositivos inteligentes. Atualmente uma variedade de máquinas industriais ou bens de consumo estão conectados por meio desta tecnologia. A Internet das Coisas oferece novas maneiras para as pessoas e organizações gerenciar e monitorar operações remotas. O valor dos sensores e a simplificação de instalação certamente é um dos fatores do forte crescimento desta tecnologia.

### 2.1 Objetivo

No panorama atual de competitividade, qualquer empresa precisa acompanhar de perto seus processos, para garantir a eficiência e principalmente alcançar os resultados esperados. Ela precisa contar com mecanismos de avaliação que possam encontrar gargalos e possíveis falhas. A literatura para calcular estes indicadores de produtividade está bem estabelecida, onde em qualquer curso de administração ou engenharia, este tema é estudado intensamente. Mas como implantar esta avaliação?

Este artigo pretende apresentar um sistema de monitoramento de produção da máquina do setor Trefila Contínua OR10 utilizando a tecnologia de Internet das Coisas. O processo de monitoramento consiste em duas etapas: aquisição de dados por sensor indutivo e avaliação do índice de produtividade por meio de software dedicado.

### 2.2 Máquina de trefila contínua

A empresa CECIL – GIOVANNI CERVETTO, sediada em Itapevi no Estado de São Paulo, atua no setor de laminação de metais não ferrosos (cobre e ligas) posicionando entre as maiores do país. A máquina que foi objeto de estudo (figura 1) realiza a trefila de perfis cilíndricos.

**Figura 1 – Trefiladora Contínua OR10**



Fonte: CECIL, [ 2019]

### 2.3 Indicadores de produtividade

Os cálculos dos indicadores de produtividade foram baseados em três índices: MTBF, MTTR e OEE.

Tempo médio entre falhas (MTBF Mean Time Between Failures): É a metodologia para medir o tempo transcorrido entre falhas. Quanto maior for o resultado, maior a confiabilidade da máquina. Pode ser escrito como:

$$MTBF = (TD - TM) / P \quad (1)$$

TD = Tempo Total de Disponibilidade, é o tempo que o equipamento deveria estar funcionando caso não houvesse nenhuma parada ou intervenção.

TM = Tempo Total de Manutenção, é o tempo que o equipamento ficou parado devido as paradas de manutenção.

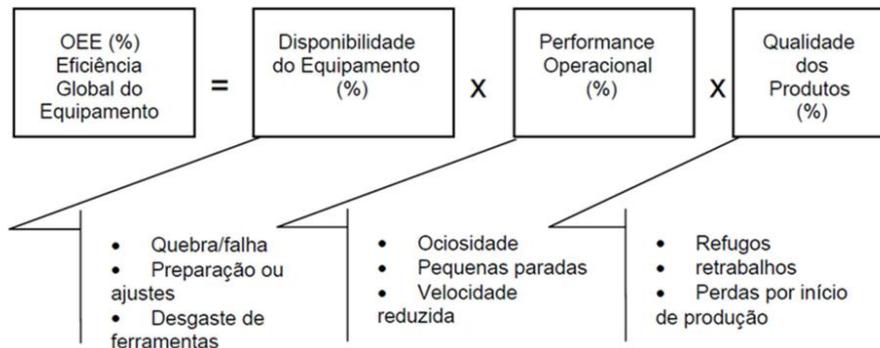
P = Número de Paradas, é a quantidade de vezes que o seu equipamento parou e necessitou de reparos.

Tempo médio para reparo (MTTR - Mean Time To Repair): É a metodologia para medir o tempo dispendido para a manutenção do equipamento. Pode ser escrito como:

$$MTTR = TM / P \quad (2)$$

Indicador de Efetividade Global de um Equipamento (OEE Overall Equipment Effectiveness): Este índice indica de forma simples e direta, quanto tempo o equipamento produziu em relação ao tempo disponível (figura 2). Do tempo que produziu, e quanto rápido ele produziu os itens. E dos itens produzidos quantos atenderam as especificações.

**Figura 2 – Representação do OEE**

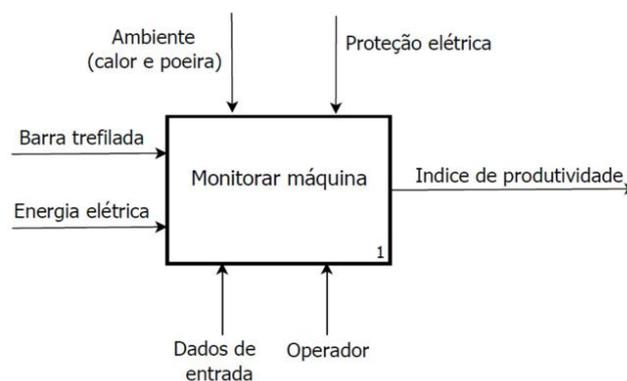


Fonte: ZATTAR *et al.* (2010)

## 2.4 Modelamento funcional

A solução de um problema requer a análise da situação atual e a busca de novas ideias. Segundo (ROZENFELD *et al.*, 2006 apud GUIMARÃES; TORRES, 2010, p. 4) “tratar o problema de forma generalizada com a sua formulação em um plano abstrato é uma forma de abrir caminho para a obtenção de soluções melhores”. E Santos (2003 apud GUIMARÃES; TORRES, 2010, p.4), propõe que “no início do projeto conceitual, o problema do projeto complexo é decomposto sucessivamente em subproblemas de menor complexidade, até que se torne possível associar sub-soluções a tais subproblemas”. “Partindo-se dessa afirmação, pode-se dizer que a modelagem funcional permite que um produto seja representado, inicialmente, por meio de funções decompostas a partir de uma função global.” (GUIMARÃES; TORRES, 2010, p.4) Neste projeto, o modelo funcional foi construído em dois níveis, o primeiro básico (figura 3) representa o fluxo de entrada sendo a barra trefilada e a energia elétrica para alimentar o sistema. O mecanismo de controle é acionado pelo operador e as restrições são o ambiente e a proteção contra surto de corrente.

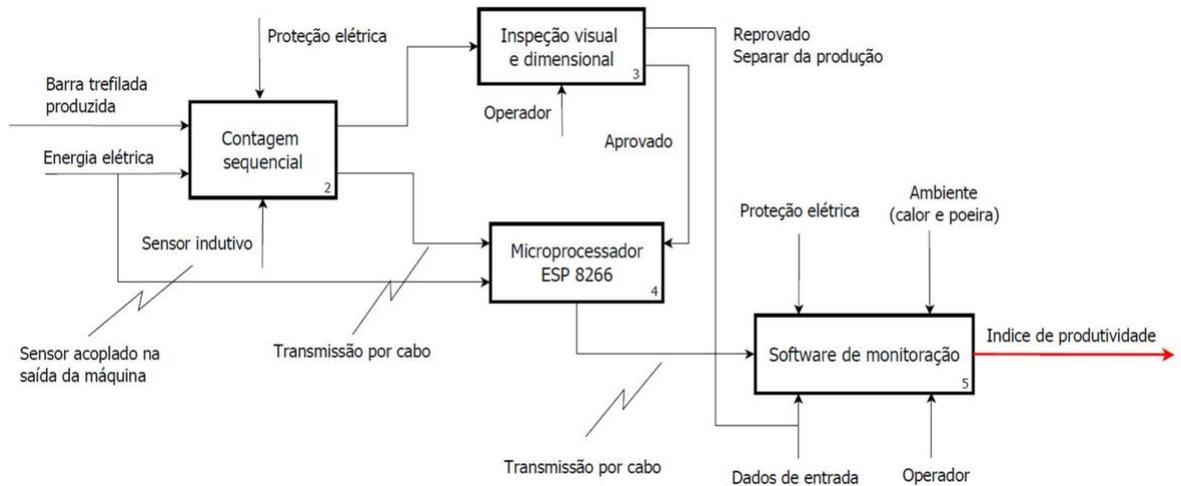
**Figura 3 – Modelamento funcional**



Fonte: próprio autor

O detalhamento pode ser observado na figura 4, onde são identificadas as etapas do processo de monitoramento. Neste momento é estabelecido o desenho de funcionamento do sistema de monitoramento e quais recursos serão empregados nesta tarefa.

Figura 4 – Modelamento funcional

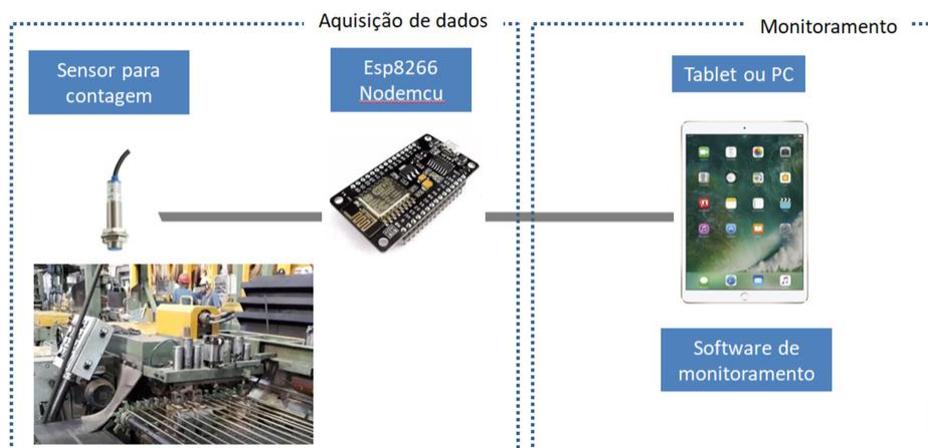


Fonte: próprio autor

## 2.5 Arquitetura do projeto

A arquitetura do projeto é separada em duas áreas distintas (figura 5), aquisição de dados e monitoramento. A contagem da barra produzida é capturada na saída da máquina por meio do sensor indutivo e transmite via cabo para a plataforma microcontrolada Esp8266 Nodemcu. A segunda parte, o monitoramento, recebe o dado via Wifi ou cabo físico e processa as informações no software e realiza o cálculo do índice de produtividade on-line.

Figura 5 – Visão simples da arquitetura do projeto



Fonte: próprio autor

O ESP8266 (figura 6) é um microcontrolador do fabricante chinês Espressif e chegou ao mercado recentemente. Pode se dizer que é uma evolução do Arduino, este muito conhecido para a projetos mais simples e movimento maker. O ESP8266 apresenta três vantagens em relação ao Arduino: possui tamanho reduzido, capacidade de processamento maior e custo em torno de US\$ 10,00 (R\$40,00).

**Figura 6 – ESP8266 Nodemcu**



Fonte: Morais, 2017

Para o universo IoT, a conectividade é uma ferramenta importante e no ESP8266 está incorporado. Ele permite capturar informações próximas ao local de trabalho e transmitir através do Wifi os dados para nuvem ou computador para o processamento destas informações.

## **2.6 Protótipo**

O sensor indutivo (figura 7) apresenta a capacidade de detectar objetos metálicos em pequenas distâncias e um dos principais dispositivos para a automação. Ele é instalado na saída da máquina de trefilação e a cada barra produzida, detecta a sua passagem produzindo um impulso elétrico que será contado pelo ESP8266.

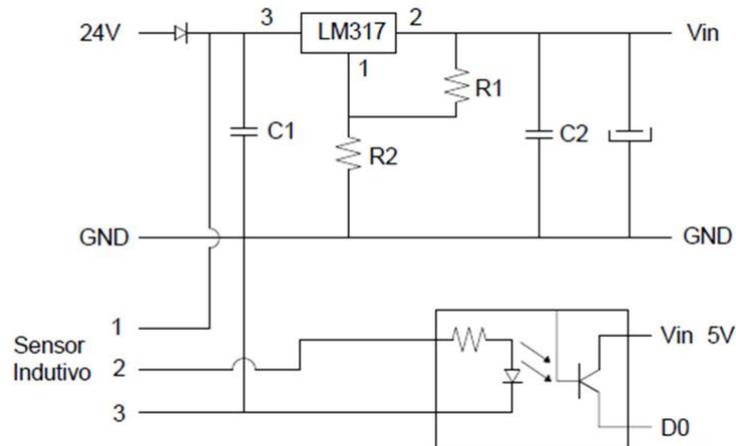
**Figura 7 – Sensor indutivo**



Fonte: próprio autor

Quanto à alimentação do sistema de aquisição de dados, há uma dificuldade. O sensor recebe alimentação de 24 volts e o ESP8266 recebe 5 volts. A solução encontrada foi o uso do opto acoplador, que garantem a isolação galvânica de forma mais eficiente entre os circuitos. A figura 8 representa o esquema elétrico deste sistema.

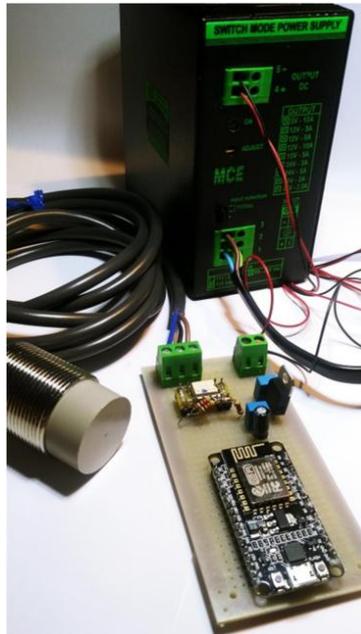
**Figura 8 – Esquema elétrico do sistema de dados**



Fonte: próprio autor

A figura 9 mostra o protótipo do sistema completo de aquisição de dados, com a fonte de alimentação, o sensor indutivo instalado e o microprocessador ESP8266. A fonte recebe 110 volts na entrada e fornece com 24V na saída

**Figura 9 – Sistema de aquisição de dados**



Fonte: próprio autor



## 2.7 Software de monitoramento

O software de monitoramento foi desenvolvido em linguagem C++, por meio da plataforma Embarcadero. Ele foi escrito a partir do estudo do modelo funcional com a finalidade de registrar várias informações do processo, receber a quantidade de peças produzidas e realizar os cálculos de produtividade. A figura 10 apresenta a tela do software com os campos que são preenchidos pelo operador. Exceto o campo quantidade de peças produzidas, que será fornecido pelo ESP8266.

Figura 10 – Software para monitoramento

The screenshot shows a web-based monitoring interface. At the top, there are three input fields for 'Identificação', 'Máquina', and 'Processo'. Below these are two more input fields for 'Data' and 'Hora'. The interface is divided into two main sections: 'PRODUÇÃO' and 'MANUTENÇÃO'. The 'PRODUÇÃO' section contains four input fields: 'Turnos', 'Tempo Improdutivo' (with 'Min' label), 'Setup Máquina' (with 'Min' label), 'Produção Planejada' (with 'Peças' label), 'Quantidade Reprovado' (with 'Peças' label), and 'Quantidade Produzida' (with 'Peças' label). The 'MANUTENÇÃO' section contains two input fields: 'Tempo Manutenção' (with 'Min' label) and 'Quantidade Manutenção' (with 'Peças' label).

Fonte: próprio autor

Os cálculos dos índices de produtividade são executados durante o ciclo de produção, mas somente ao final do processo que poderá observar os valores reais. Algumas campos do software são preenchidos de acordo com o andamento do processo, como quantidade de peças produzidas e reprovadas, tempo de setup da máquina, tempo e quantidade de manutenção. A figura 11, mostra os cálculos MTBF (mean time between failures ou tempo médio entre falhas) e MTTR (mean time to repair ou tempo médio para reparo) e ou ainda OEE (Overall Equipment Effectiveness ou Indicador de Eficiência Global), que seguem as fórmulas representadas no capítulo 2.3.

Figura 11 – Software para monitoramento

The screenshot shows a section titled 'INDICADORES DE PRODUTIVIDADE'. It contains four input fields for 'Tempo Programado' (with 'Min' label), 'Tempo Produzindo' (with 'Min' label), 'MTBF' (with 'Min' label), and 'MTTR' (with 'Min' label). Below these are four more input fields for 'Disponibilidade' (with '%' label), 'Performace' (with '%' label), 'Qualidade' (with '%' label), and 'OEE' (with '%' label).

Fonte: próprio autor

A figura 12 representa um exemplo de cálculo com todos os campos preenchidos. E na mesma imagem observa os mesmos resultados realizados no software Microsoft Excel.

**Figura 12 – Exemplo dos cálculos e comparativo no Excel**



CECIL  
SOLUÇÃO EM LIGAS DE COBRE

Identificação: Camusso  
Máquina: Trefila OR2  
Processo: 123  
Data: 07/10/2019  
Hora: 09:54:15

**PRODUÇÃO**

Turnos: 2  
Produção Planejada: 50 Peças  
Tempo Improdutivo: 60 Min  
Quantidade Reprovado: 8 Peças  
Setup Máquina: 20 Min  
Quantidade Produzida: 45 Peças

**MANUTENÇÃO**

Tempo Manutenção: 45 Min  
Quantidade Manutenção: 2 Peças

**INDICADORES DE PRODUTIVIDADE**

Tempo Programado: 840 Min  
Tempo Produzindo: 775 Min  
MTBF: 387,5 Min  
MTTR: 22,5 Min  
Disponibilidade: 92,261%  
Performace: 90%  
Qualidade: 82,222%  
OEE: 68,273%

RESULTADOS			
MTBF		387,5 min	
		6,5 hs	
MTTR		22,5 min	
		0,38 hs	
Disponibilidade	0,92	92%	
Performace	0,90	90%	
Qualidade	0,82	82%	
OEE	0,68	68%	

Fonte: próprio autor



### 3 CONCLUSÃO

As tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0 estão em estágios diferentes de aplicação, algumas já maduras e outras em desenvolvimento ou testes. A Internet das Coisas ainda está restrita em bens de consumo, automação residencial e conexão de aparelhos celulares com outros dispositivos. Recentemente a indústria começou a observar com mais atenção e a desenvolver aplicações de IoT. Este trabalho procurou apresentar um solução de monitoramento de baixo custo para sistema de produção antigo, que poderia acomodar diversas situações parecidas. Outro ponto relevante que deve ser observado é o aprimoramento da divulgação dos índices de produtividade, por meio de nuvem ou em aplicativos do celular.

### REFERÊNCIAS

CECIL. **Laminação de Metais**. Itapevi - SP: CECIL, [2019]. Disponível em: [www.cecil.com.br](http://www.cecil.com.br). Acesso em 14.set.2019.

GOMES, Pedro César Tabaldi. **Infraestrutura de TI: MTTR e MTBF, o que são e quais suas diferenças?**. Porto Alegre: OPSEVICES, 18 ago. 2015. Disponível em: [https://www.opservices.com.br/mttr-e-mtbf/#:~:text=MTBF%20\(mean%20time%20between%20failures,%20disponibilidade%20de%20uma%20aplicação.&text=O%20MTBF%20é%20a%20métrica,irregularidade%20e%20o%20próximo%20lapso](https://www.opservices.com.br/mttr-e-mtbf/#:~:text=MTBF%20(mean%20time%20between%20failures,%20disponibilidade%20de%20uma%20aplicação.&text=O%20MTBF%20é%20a%20métrica,irregularidade%20e%20o%20próximo%20lapso). Acesso em: 10.ago.2019.

GUIMARÃES, Manoel Francisco dos Santos; TORRES, José Belo. Modelagem funcional voltada ao desenvolvimento de uma infra-estrutura utilizada como suporte à simulação de processos produtivos. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO*, 30., 2010, São Carlos –SP. **[Anais]**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia da Produção, 2010. Tema: Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente, p. 1-12. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_tn\\_sto\\_117\\_767\\_17041.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_117_767_17041.pdf). Acesso em: 14 set. 2019.

MORAIS, José. O que é ESP8266-A família ESP e o Nodemcu. **Portal vida de silício**: [S. l.: s.n.], 9 jun. 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-esp8266-nodemcu/>. Acesso em: 7.set.2019.

PRODWIN TECNOLOGIAS. **O que é OEE? E como calcular o OEE?** [S. l.: s.n.], 4 jul. 2018. Disponível em: [www.prodwin.com.br/pt/blog/como-calcular-o-oe](http://www.prodwin.com.br/pt/blog/como-calcular-o-oe). Acesso em 10.ago.2019.

SANTOS, E.A.P. Contribuições ao projeto conceitual de sistemas de manipulação e montagem automatizados. Florianópolis, 2003. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Porto Alegre, 2003. Disponível em: [http://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2003/07/Tese\\_Santos\\_2003.pdf](http://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2003/07/Tese_Santos_2003.pdf). Acesso em: 14 set. 2019.

VINCE SOLUÇÕES E TECNOLOGIA. **Tutorial para cálculo do OEE.** [S. l.: s.n.], 2018. Disponível em: [www.oee.com.br/ferramenta/tutorial-para-calculo-do-oe](http://www.oee.com.br/ferramenta/tutorial-para-calculo-do-oe). Acesso em: 10.ago.2019.

ZATTAR, Izabel Cristina; RUDEK, Samuel; TURQUINO, Geizy Siélly. O uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica: um caso prático.

**Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis – SC, v. 2, n. 4, p. 113-132, Dez. 2010. Disponível em:

[http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/623/pdf\\_94](http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/623/pdf_94). Acesso em: Ago. 2019.

## AGRADECIMENTOS

Agrademos pelo empenho para a realização deste evento e ao incentivo, ao coordenador da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, Prof. Claudio Fernandes.

E principalmente ao professor Daniel Bruno, que nos momentos de dificuldade soube orientar e ajudar a encontramos o melhor caminho para a concretização deste trabalho.

### Sobre os autores:

#### <sup>i</sup> DANIEL OTAVIO TAMBASCO BRUNO



Doutorando e Mestre em Engenharia da Informação pela Universidade Federal do ABC (2013). Especialista em Análise, desenvolvimento de Sistemas e Banco de Dados pela Universidade de Ribeirão Preto (2007), Especialista em Educação a Distância pela Universidade Paulista (2012). Bacharel em Análise de Sistemas pela Universidade Paulista (2003). Atualmente é Técnico em Manufatura Digital e Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica Industrial. Tem experiência na área de Inteligência Artificial, Internet das coisas, Gestão de Tecnologia da Informação e Desenvolvimento de Sistemas de Informação.

#### <sup>ii</sup> DANIEL CAMUSSO



Pós-graduando em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Mestrando em Engenharia da Automação (UNITAU – 2020). Pós-graduado em Engenharia Mecânica Automobilística (FEI – 2000), Engenheiro Mecânico Pleno formado pela Faculdade de Engenharia Industrial (FEI – 1995) e Técnico Mecânico (SENAI – 1998). Tem experiência na área de desenvolvimento de projetos automotivos utilizando os softwares CATIA e NX. Atualmente é docente nos cursos técnico e superior em Mecatrônica da Escola SENAI “Armando de Arruda Perreira”.

#### <sup>iii</sup> ANDERSON MARRUBIA



Pós-graduando em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Engenheiro de Automação com 27 anos de experiência na indústria automotiva. Atualmente é coordenador de automação na empresa Kostal Eletromecânica Ltda.