



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Bauru**

HEVERTON BACCA SANCHES

**Monitoramento da Produção e da Eficiência de Processos
de Manufatura usando RFID e Internet das Coisas**

Bauru

2018

HEVERTON BACCA SANCHES

Monitoramento da Produção e da Eficiência de Processos de Manufatura usando RFID e
Internet das Coisas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” para Qualificação no Mestrado em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Automação

Linha de Pesquisa: Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Paciência Godoy

Bauru – SP

2018

Sanches, Heverton Bacca.

Monitoramento da Produção e da Eficiência de
Processos de Manufatura usando RFID e Internet das
Coisas / Heverton Bacca Sanches, 2018
90 f. : il.

Orientadora: Eduardo Paciência Godoy

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2018

1. RFID. 2. Internet das Coisas. 3. Indústria 4.0.
4. FMS. I. Universidade Estadual Paulista.
Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE HEVERTON BACCA SANCHES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 31 dias do mês de agosto do ano de 2018, às 09:30 horas, no(a) Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba-UNESP, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. EDUARDO PACIÊNCIA GODOY - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia de Controle e Automação / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba, Prof. Dr. GALDENORO BOTURA JUNIOR do(a) Departamento Engenharia de Controle e Automação / Campus Experimental da Unesp/Sorocaba, Prof. Dr. ANDERSON MARCOS HENRIQUES do(a) Departamento de Engenharia Mecatrônica / FACENS/Sorocaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de HEVERTON BACCA SANCHES, intitulada **MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO E DA EFICIÊNCIA DE PROCESSOS DE MANUFATURA USANDO RFID E INTERNET DAS COISAS**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. EDUARDO PACIÊNCIA GODOY


Prof. Dr. GALDENORO BOTURA JUNIOR


Prof. Dr. ANDERSON MARCOS HENRIQUES

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UNESP pela oportunidade de desenvolver esse trabalho pela utilização da sua estrutura, direção, docentes, administrativo, corpo técnico e colegas que não medem esforços para apoiar nas mais diversas atividades necessárias para a evolução da Engenharia.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Paciência Godoy pelo suporte, incentivo e correções de rumo do trabalho.

Ao amigo Guilherme Barbeta Eleutério pelo auxílio nas atividades desenvolvidas no laboratório.

Ao FIT - Instituto de Tecnologia e Eng. Márcio Luiz Félix Filho pela parceria.

A minha família que suportou a minha ausência durante o tempo de desenvolvimento desse trabalho e incentivou pela continuidade dando apoio incondicional.

“O mero desejo de ser livre nunca libertará um homem que está dentro de uma prisão se não houver força suficiente para lhe dar o direito à liberdade”

Napoleon Hill

RESUMO

O conceito da Indústria 4.0 está relacionado à evolução dos sistemas produtivos através da interconexão e integração total entre tecnologias de automação industrial e tecnologia da informação visando a obtenção de maior eficiência, qualidade e produtividade. Nesse contexto, uma tendência recente no ambiente industrial tem sido a utilização conjunta da Identificação por Rádio Frequência (RFID) e a da Internet das Coisas (IoT) na busca da melhoria dos seus processos de manufatura. O principal desafio é promover a integração entre essas tecnologias, de forma que os dados estejam disponíveis sob demanda e em tempo hábil para que as melhores decisões de produção sejam alcançadas. Este trabalho utilizou o RFID e a IoT para o desenvolvimento de uma solução para o monitoramento da produção e da eficiência de um sistema de manufatura flexível (FMS). O desenvolvimento do projeto consistiu em três etapas: aquisição dos dados RFID, processamento para obtenção dos parâmetros de produção e eficiência requeridos e disponibilização em nuvem para a IoT. Etiquetas RFID alocadas nas peças e nos pallets de movimentação permitiram o monitoramento da produção por meio da medição dos tempos de produção e transporte de cada peça produzida no FMS. O cálculo do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), através dos índices de Performance, Qualidade e Disponibilidade, permitiu o monitoramento da eficiência das estações de trabalho e do FMS. A disponibilização dos dados da aplicação em nuvem de forma padronizada e acessível a outros sistemas foi realizada através da IoT, com a utilização do ScadaBR usando comunicação via serviço web SOAP. Experimentos foram realizados com a produção de peças diferentes (branca, vermelha e preta) e com quantidade de pallets diferentes. Análises estatísticas dos resultados de tempos de produção e de transporte permitiram quantificar erros ou anormalidades na operação do FMS. Resultados relativos ao indicador OEE permitiram o monitoramento e melhoria da eficiência do processo de manufatura.

Palavras-chave: RFID, Internet das Coisas, Indústria 4.0, FMS, Manufatura.

ABSTRACT

The Industry 4.0 concept is related to the evolution of production systems through the interconnection and integration between industrial automation and information technology in order to obtain greater efficiency, quality and productivity. In this context, a recent trend in the industrial environment has been the joint use of Radio Frequency Identification (RFID) and Internet of Things (IoT) seeking for improvement in their manufacturing processes. The main challenge is to promote the integration between these technologies, so that the data is available on demand and in real time so that the best production decisions are achieved. This work used the RFID and IoT for the development of a solution for the monitoring of the production and the efficiency of a Flexible Manufacturing System (FMS). The development of the project consisted of three steps: acquisition of RFID data, processing to obtain the required production and efficiency parameters and availability of this data in the Cloud for the IoT. RFID tags allocated in the parts and conveyor pallets allowed production monitoring by measuring the production and transport times of each produced part in the FMS. The calculation of the OEE (Overall Equipment Effectiveness) indicator, through Performance, Quality and Availability indexes, enabled the monitoring of the efficiency of workstations and the FMS. The real-time availability of application data in the cloud in a standardized and accessible form to other systems was performed by IoT with the use of ScadaBR via web service SOAP communication. Experiments were carried out with the production of different parts (white, red and black) and number of pallets. Statistical analysis of the production and transport times allowed to quantify errors or anomalies in the operation of the FMS. Results for the OEE allowed monitoring and improving the efficiency of the manufacturing process.

Keywords: RFID, Internet of Things, Industry 4.0, Manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das Revoluções Industriais.....	11
Figura 2 - Arquitetura do Projeto: Integração de RFID e IoT.....	21
Figura 3 - Peças diferentes propostas a serem processadas no FMS.....	22
Figura 4 - Sistema Didático FMS do Laboratório de Automação da UNESP Sorocaba	23
Figura 5 - Detalhe dos Componentes do Sistema de Transporte do FMS para cada Estação de Trabalho.....	25
Figura 6 - (a) Imagem vista de cima do pallet do FMS, (b) Imagem de baixo do pallet.....	25
Figura 7 - Visão geral de um Sistema de RFID.....	26
Figura 8 - Etiqueta RFID.....	27
Figura 9 - Antena RFID AL-9610 915Mhz.....	28
Figura 10 - Leitor de RFID de 4 Canais 915Mhz.....	28
Figura 11 – Esquemático do ScadaBR.	29
Figura 12 – Arquitetura do ScadaBR	30
Figura 13 – Cálculo do OEE.....	30
Figura 14 - Taxa de Disponibilidade	33
Figura 15 - Taxa de Performance	33
Figura 16 - Taxa de Qualidade	34
Figura 17 - Leitor fixado junto ao FMS	36
Figura 18 - Antena AL-9610 fixa junto ao FMS	37
Figura 19 - Antena Desenvolvida.....	37
Figura 20 - Antena Desenvolvida fixada junto ao FMS.....	38
Figura 21 - Peças utilizadas com Tags Fixadas Internamente.....	39
Figura 22 - Diagrama do FMS.....	40
Figura 23 - Estação 1.....	41
Figura 24 - Estação 2.....	42
Figura 25 - Estação 3.....	43
Figura 26 - Estação 4.....	43
Figura 27 - Interface do Programa desenvolvido no LabVIEW.....	46
Figura 28 - Esquemático da Comunicação Web Service SOAP do ScadaBR.	47
Figura 29 - Procedimento de Comunicação via Web Service do ScadaBR.....	48
Figura 30 - Importação do Arquivo WSDL do ScadaBR.....	49
Figura 31 - SubVIs criados a partir da Importação do Arquivo WSDL do ScadaBR.....	49

Figura 32 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 1 para o Teste 1	55
Figura 33 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 2 para o Teste 1	56
Figura 34 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 3 para o Teste 1	56
Figura 35 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 4 para o Teste 1	57
Figura 36 - Histograma e Histórico dos Tempos de Transporte entre as Estações 1 e 2 para o Teste 1	57
Figura 37 - Histograma e Histórico dos Tempos de Transporte entre as Estações 2 e 3 para o Teste 1.	58
Figura 38 - Histograma e Histórico dos Tempos de Transporte entre as Estações 3 e 4 para o Teste 1.	58
Figura 39 - Histograma e Histórico do Tempo Total de Produção para o Teste 1.....	59
Figura 40 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 2 para o Teste 2.....	61
Figura 41 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 4 para o Teste 2.....	61
Figura 42 - Histograma e Histórico do Tempo Total de Produção para o Teste 2.....	62
Figura 43 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 2 para o Teste 3.....	63
Figura 44 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 1 para o Teste 3.....	64
Figura 45 - Histograma e Histórico do Tempo Total de Produção para o Teste 3.....	64
Figura 46 - Histograma e Histórico do Tempo de Produção de Peças da Estação 1 para o Teste 4.....	66
Figura 47 - Histograma e Histórico do Tempo de Produção de Peças da Estação 4 para o Teste 4.....	66
Figura 48 - Histograma e Histórico do Tempo Total de Produção das Peças para o Teste 4. .	67
Figura 49 – Tela de Informação Geral sobre o Monitoramento dos Tempos (s) de Produção no ScadaBR	73
Figura 50 – Tela de Informação sobre Valores Médios e Desvios Padrão dos Tempos (s) de Produção e de Transporte para as Peças Vermelhas (a), Pretas (b) e Brancas (c).....	74

Figura 51 – Tela de Informações sobre o Tempo de Processo em cada Estação e o Tempo (s) de Transporte entre as Estações do FMS.....75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - As “Seis Grandes Perdas”	32
Tabela 2 – Tempos de Produção e de Transporte de Peças nas Estações do FMS para o Teste 1	54
Tabela 3 – Tempos de Produção e de Transporte de Peças nas Estações do FMS para o Teste 2.	60
Tabela 4 – Tempos de Produção e de Transporte de Peças nas Estações do FMS para o Teste 3.	63
Tabela 5 - Tempos de Produção e de Transporte de Peças nas Estações do FMS para o Teste 4.	65
Tabela 6 - Médias de Tempo (s) das Estações, Entre Estações e de Produção Total para as diferentes Peças e Testes.	69
Tabela 7 - Desvio Padrão dos Tempos (s) de Produção e Transporte de Peças nos Testes	69
Tabela 8 - Índices OEE das Estações do FMS para o Teste 1	70
Tabela 9 - Índices OEE das Estações do FMS para o Teste 2.	71
Tabela 10 - Índices OEE das Estações do FMS para o Teste 3.	71
Tabela 11 - Índices OEE das Estações do FMS para o Teste 4.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
FIT	<i>Instituto de Tecnologia (da empresa Flex em Sorocaba)</i>
IoT	<i>Internet das Coisas (Internet of Things)</i>
I4.0	<i>Indústria 4.0</i>
OEE	<i>Eficiência Global do Equipamento (Overall Equipment Effectiveness)</i>
RFID	<i>Identificação por Rádio Frequência (Radio Frequency Identification)</i>
TA	<i>Tecnologias da Automação Industrial</i>
TI	<i>Tecnologia da Informação</i>
UHF	<i>Frequência Ultra Alta (Ultra High Frequency)</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	JUSTIFICATIVA	10
1.2	OBJETIVO	15
1.3	ESTRUTURA E CONTEÚDO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	17
2.2	APLICAÇÕES DE IOT E RFID NA INDÚSTRIA.....	18
3	DESENVOLVIMENTO.....	21
3.1	SISTEMA DE MANUFATURA FLEXÍVEL FESTO	23
3.1.1	SISTEMA DE TRANSPORTE	24
3.2	SISTEMA RFID	26
3.2.1	ETIQUETAS	27
3.2.2	ANTENA	27
3.2.3	LEITOR	28
3.3	SCADABR	29
3.4	ÍNDICE OEE	30
4	ARQUITETURA	36
4.1	SISTEMA RFID	36
4.2	PROGRAMAÇÃO DO FMS	40
4.3	COMUNICAÇÃO RFID	44
4.4	INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS.....	46
5	RESULTADOS	51
5.1	TEMPOS DE TRANSPORTE E PRODUÇÃO DO FMS	51
5.1.1	TESTE 1 PRODUÇÃO DE PEÇAS VERMELHAS	53
5.1.2	TESTE 2 PRODUÇÃO DE PEÇAS PRETAS.....	59
5.1.3	TESTE 3 PRODUÇÃO DE PEÇAS BRANCAS.....	62
5.1.4	TESTE 4 PRODUÇÃO DOS TRÊS TIPOS DE PEÇAS.....	64
5.2	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS.....	68
5.3	CÁLCULO DO ÍNDICE OEE	70
5.4	INTERFACE DE APRESENTAÇÃO	72
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76

6	CONCLUSÕES.....	78
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Devido a sua alta capacidade em acelerar processos de produção e manufatura, a automação industrial tornou-se essencial para as indústrias que planejam melhorá-los e obter assim uma maior eficiência e qualidade dentro de menores custos e tempos. Dessa forma, a indústria tem evoluído de forma a incorporar novas tecnologias e conseqüentemente obter maior produtividade (SAUTER et al., 2011).

A Indústria 4.0 (I4.0), também chamada de Quarta Revolução Industrial, é um novo conceito que representa uma evolução dos sistemas produtivos atuais a partir da convergência entre novas tecnologias de automação industrial (TA) e tecnologia da informação (TI) (BERGER, 2014). O conceito da I4.0 ou da Manufatura Avançada foi apresentada pela primeira vez em 2011 durante a feira de Hannover, Alemanha, como peça estratégica do governo desse país europeu para desenvolver tecnologia de ponta.

É possível entender melhor a I4.0 ou Manufatura Avançada traçando um paralelo com a evolução das revoluções industriais, como vemos na Figura 1. A primeira revolução industrial foi impulsionada pela descoberta do uso das máquinas a vapor para otimizar o processo produtivo na indústria. Em seguida veio a segunda grande transformação nas empresas, por causa do uso da eletricidade que permitiu a produção de produtos em massa. A terceira revolução industrial aconteceu com o uso da TI, Internet e eletrônicos que automatizaram a produção. Atualmente, a indústria está vivenciando a chegada da quarta revolução industrial. As principais características dessa transformação estão representadas pela junção de novas tecnologias e integração total entre máquinas, sistemas, produtos e pessoas através da comunicação em rede.

Países como Alemanha, Estados Unidos, China e Coreia do Sul criaram recomendações, relatórios e planos para implementação estratégica da I4.0. Um relatório desenvolvido no Fórum Econômico Mundial, realizado em janeiro de 2016 em Davos na Suíça, que debateu a 4ª Revolução Industrial mostra que o Brasil fica somente a frente de Peru e Argentina na implementação desse novo conceito (A VOZ DA INDÚSTRIA, 2017).

Figura 1 – Evolução das Revoluções Industriais



Fonte: (A VOZ DA INDÚSTRIA, 2017).

A maioria das tecnologias necessárias à implementação da Indústria 4.0 já existem atualmente. Entre elas podem-se citar (LU et al., 2006; ZUEHLKE, 2010; STANKOVIC, 2014, HEGAZY & HEFEEDA, 2015):

- ✓ Protocolo IPV6 para ampliação dos pontos de conexão IP a todos os equipamentos;
- ✓ Ampliação do uso de redes sem fio para flexibilização da comunicação e aquisição de dados;
- ✓ Identificação por Rádio Frequência (RFID) para rastreamento e identificação de ativos e suas informações;
- ✓ Uso de virtualização através da disponibilização de sistemas e serviços a partir de softwares;
- ✓ Internet das Coisas (IoT) e Computação em nuvem visando a conexão de todos os equipamentos em redes e o compartilhamento das informações na nuvem;

✓ Big Data onde todas as informações dos processos e sistemas são reunidas e utilizadas para tomada de decisões.

O desafio é promover a integração entre essas tecnologias visando a obtenção de uma nova realidade produtiva, na qual tudo estará conectado para que as melhores decisões de produção, custo e segurança sejam tomadas, tudo sob demanda e em tempo real¹. Um crescente número de empresas tem utilizado a Identificação por Rádio Frequência (*Radio Frequency Identification* – RFID) e Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) na busca da melhoria dos seus processos de manufatura (NGAI et al., 2012).

RFID é uma tecnologia de identificação consolidada e muito eficiente (WANT, 2006). Mesmo sendo baseado num sistema simples composto por leitor e etiquetas, esta tecnologia tem aplicações diversas com destaque para as soluções de gerenciamento de estoques e logística (LU et al., 2006). A flexibilidade e potencial da tecnologia de RFID tem atraído também o interesse de outras áreas de aplicação como automação de manufatura e melhoria de processos em linhas de produção (NGAI et al., 2012 e AKBARI et al., 2015). Nesse sentido, RFID pode ajudar as empresas de manufatura a definir objetivos e monitorar informações importantes em tempo hábil (LOEBBECKE et al., 2006), observando seus processos mais importantes.

O termo IoT foi inventado por Kevin Asthon em 1999 no contexto de *Supply Chain* da indústria. Na década passada, a definição se expandiu para outras aplicações, como na área de saúde, transporte, comunicação, dentre outras (SUNDMAEKER et al., 2010). Atualmente, as pesquisas em torno da IoT têm atraído muito interesse e focado em diferentes aplicações (STANKOVIC, 2014). A IoT é a definição de uma rede ou infraestrutura de comunicação, como a Internet, que conecta dispositivos, sistemas e pessoas capazes de trocar informações entre si e onde essas informações são armazenadas em nuvem e podem ser processadas, utilizadas e acessadas por qualquer dispositivo/sistema ou pessoa que tenha acesso a rede, independentemente de sua localização geográfica. Há três elementos essenciais para a IoT. O hardware (sensores, atuadores e hardware de comunicação), a interface de apresentação dos dados e o middleware, que faz a mediação entre os outros dois elementos. O middleware na IoT consiste em uma interface de armazenagem por demanda e ferramentas computacionais, para a análise dos dados (GUBBI et al., 2013).

¹ Apesar de tratar de sistemas não determinísticos, nesse trabalho, tempo real está relacionado com requisito temporal, ou seja, execução de tarefas dentro de um tempo adequado, suficiente para identificação e tomada de decisão, não necessariamente significando uma ação muito rápida.

O uso da Computação em Nuvem pode mudar o panorama da automação através da melhoria da percepção, do planejamento mais rápido, do aumento da capacidade de modelagem e simulação de sistemas e de novas formas de interagir com humanos, entre outros (JORDÁN et al., 2013). A Computação em Nuvem se refere, essencialmente, à noção de utilizar-se, em qualquer lugar e independente de plataforma, as mais variadas aplicações por meio da Internet, ou uma infraestrutura de rede, com a mesma facilidade de tê-las instaladas em computadores locais (DIVYA & JEYALATHA, 2012). Kushida & Pingali (2014) apresentam uma revisão sobre os requisitos para a aplicação da Computação em Nuvem na indústria, descrevendo potenciais vantagens dessa tecnologia e discutindo casos de estudo com resultados reais desse tipo de implementação.

A Internet das Coisas, atrelada à automação, é uma maneira eficaz de monitorar e controlar a produção num sistema de manufatura em tempo real. Em um sistema de manufatura flexível (*Flexible Manufacturing System* - FMS), os requisitos de produção podem mudar rapidamente. Sendo assim, informações disponibilizadas rapidamente podem otimizar o gerenciamento das operações e resolver os problemas operacionais de forma antecipada, minimizando a ocorrência de erros ou desvios no objeto da manufatura (NGAI et al., 2012). Lu et al. (2006) usam um sistema de RFID para identificar os insumos do sistema de manufatura, e assim planejar a produção, operação e qualidade do produto final. Ngai et al. (2012) mensuram a produtividade dos empregados de uma empresa têxtil com a implementação de um processo de manufatura baseado em RFID.

Contando com os atuais níveis de automação em um sistema de manufatura e juntamente com a IoT, a extração de informações de processo é possível e uma prática comum na indústria. Podemos usar essa informação para análise de desempenho do sistema de manufatura. Dada a variabilidade num FMS associada com a fabricação de peças diferentes em vários processos, a gestão do cronograma de produção e da capacidade de produção e eficiência (*Overall Equipment Effectiveness* - OEE) das máquinas podem ser desafiadoras. Dependendo da configuração do FMS, as peças podem ter caminhos de produção diferentes. Recentemente, através do uso do RFID, informações sobre a peça e os processos de produção necessários puderam ser incorporados em uma etiqueta que se movimenta com a peça. A incorporação de informações de peças e processos na etiqueta de RFID permite um novo nível de interação que é combinado com as informações do processo (SAEZ et al., 2015).

É possível monitorar o status de máquinas, dinâmica e consumo de energia através da Coleta de sinais do chão de fábrica. Além disso, a localização da peça e o tempo de

processamento podem ser usados para diagnosticar o processo e identificar as ações de controle necessárias (SAEZ et al., 2015). Saez et al. (2015) realizam a comparação entre um sistema de manufatura real com um sistema simulado, por meio de aquisição de dados dos eventos discretos do sistema de automação e assim utiliza o modelo simulado para propor um desempenho esperado para o sistema de manufatura real.

A proposta deste trabalho surgiu a partir de um projeto de cooperação entre a UNESP Sorocaba e o FIT - Instituto de Tecnologia vinculado à empresa Flex de Sorocaba. O FIT possui o Centro de Excelência em RFID (RFID CoE, 2015) que desenvolve tecnologias e soluções ligadas à RFID. A Flex é uma empresa multinacional do setor de manufatura de produtos eletrônicos. Na planta de Sorocaba, a empresa é responsável no Brasil pela manufatura e montagem de produtos como computadores, notebooks e impressoras de uma companhia multinacional de tecnologia da informação. O processo de manufatura e montagem dos produtos é realizado numa linha de produção composta por diversas estações de trabalho. Estas estações de trabalho possuem leitores de RFID, responsáveis por adicionar informações do processo produtivo nas etiquetas RFID existentes nos produtos. A solução existente usava o sistema RFID para controlar e garantir que os produtos passassem por todas as estações de trabalho requeridas e que as atividades realizadas naquelas estações de trabalho tivessem sido realizadas corretamente (estas informações eram gravadas nas etiquetas).

Além disso, havia o interesse da empresa para estudar a viabilidade de uso desse sistema de RFID atrelado à alguma solução de IoT para obtenção de informações adicionais sobre o processo de manufatura dos produtos como estatísticas e tempos de produção, gargalos e eficiência e produtividade das estações de trabalho. Diante disso e a partir do projeto de cooperação citado, este trabalho focou no estudo e desenvolvimento de uma solução para o monitoramento da produção e da eficiência de um sistema de manufatura flexível (FMS) através da integração entre RFID e IoT. O FMS da UNESP Sorocaba é composto por seis estações de trabalho e possui a capacidade de produzir diferentes peças (ou peças que podem passar por diferentes processos de produção nas diferentes estações de trabalho do FMS), simulando uma linha de produção da empresa.

Usando etiquetas RFID fixadas nos pallets que circulam nas estações de trabalho e nas peças produzidas no FMS foi possível o monitoramento da produção através a medição dos tempos de produção e transporte de cada peça produzida no FMS. Para o monitoramento da eficiência das estações de trabalho do FMS foi utilizado o cálculo do indicador OEE (BUSSO et al., 2012), que é composto por três índices, sendo, disponibilidade, performance e qualidade. A

IoT ficou responsável por disponibilizar os dados de manufatura adquiridos do FMS num banco de dados na nuvem, permitindo assim o acesso aos mesmos por pessoas e/ou sistemas para supervisão e análise. Além disso, a integração dessas duas tecnologias permitiu a melhoria da eficiência do processo, a partir da análise dos dados e posterior tomada de decisões com base nos dados disponíveis em nuvem.

1.2 OBJETIVO

Neste projeto integram-se as tecnologias de RFID e IoT numa infraestrutura de monitoramento da produção e da eficiência e melhoria de processos de um sistema de manufatura flexível. As informações monitoradas foram os tempos de produção e transporte de peças no FMS e o indicador de eficiência OEE das estações de trabalho. O sistema proposto habilitou a aplicação da IoT ao disponibilizar online, de forma padronizada e interoperável, as informações coletadas com o uso do RFID, para qualquer tipo de plataforma, como smartphones, tablets ou computadores, tornando os dados de monitoramento acessíveis em tempo real, para qualquer ponto conectado à rede e/ou Internet.

1.3 ESTRUTURA E CONTEÚDO

A estrutura deste trabalho ficou dividida em 7 capítulos considerando esta introdução e desconsiderando as referências bibliográficas e os anexos.

O capítulo 2 trata da revisão dos conceitos importantes para o entendimento do trabalho, como a definição e história da Indústria 4.0, princípios para seu desenvolvimento e aplicação, e a relação da aplicação de RFID e IoT para monitorar sistemas de manufatura, bem como seus conceitos.

O capítulo 3 traz a proposta do trabalho que visa desenvolver um sistema que integre as tecnologias de RFID e IoT para monitoramento de um sistema de manufatura flexível, explicando as características dos sistemas em que essa proposta será testada.

O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do trabalho através da exposição das configurações dos sistemas de RFID, do FMS, da definição do fluxo de processos que será implementado nos testes, e a configuração da comunicação do LabVIEW com o ScadaBR.

O capítulo 5 trata dos resultados que esperamos alcançar com o trabalho proposto, como o cálculo dos tempos de produção das estações do FMS, os testes realizados para testar a operação

da solução desenvolvida, aplicabilidade dos dados aqisitados para o cálculo do Índice OEE e a visualização do dados e gráficos do processo na plataforma Web com a ajuda do ScadaBR.

No capítulo 6 é feita a discussão dos resultados, a relação e representatividade dos mesmos com o sistema FMS.

Por fim, o capítulo 7 apresenta as considerações finais e as conclusões obtidas com a elaboração do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 (I4.0) se originou a partir de um projeto do governo alemão de estratégias voltadas à tecnologia. A iniciativa, fortemente patrocinada e incentivada pelo governo alemão em associação com empresas de tecnologia, universidades e centros de pesquisa do país, propõe uma importante mudança de paradigma em relação à maneira como as fábricas operam atualmente. O termo foi usado pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011 e lançado oficialmente em abril de 2013 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; MACDOUGALL, 2014).

O fundamento básico da I4.0 implica que conectando máquinas, sistemas e ativos, as empresas poderão criar redes inteligentes ao longo de toda a cadeia de valor que podem controlar os módulos da produção de forma autônoma. Ou seja, as fábricas inteligentes terão a capacidade e autonomia para agendar manutenções, prever falhas nos processos e se adaptar aos requisitos e mudanças não planejadas na produção (KANG et al., 2016).

Tornar a I4.0 uma realidade implicará na adoção gradual de um conjunto de tecnologias emergentes de TI e automação industrial (TA), na formação de um sistema de produção com intensa digitalização de informações e comunicação direta entre sistemas, máquinas, produtos e pessoas; ou seja, totalmente integrado à Internet das Coisas (IoT). No contexto da I4.0, os sistemas de controle rígidos e centralizados das fábricas cedem seu lugar para inteligência descentralizada, num ambiente onde todos os equipamentos e máquinas estão conectadas em redes e disponibilizando informações de forma única, como na arquitetura apresentada na Figura 2 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Existem alguns princípios para o desenvolvimento e implantação da I4.0:

- ✓ Capacidade de operação em tempo real: consiste na aquisição e tratamento de dados de forma praticamente instantânea, permitindo a tomada de decisões dentro de um tempo adequado.
- ✓ Virtualização: simulação de modelos virtuais das linhas de produção das fábricas, permitindo a detecção de falhas, rastreabilidade e monitoramento remoto de todos os processos por meio dos inúmeros sensores espalhados ao longo da planta.
- ✓ Descentralização: tomada de decisões de acordo com as necessidades da produção em um tempo suficiente para identificação de erros ou anomalias e utilizando da troca de informações entre os sistemas de gerenciamento e controle e máquinas/processos.

- ✓ Orientação a serviços: utilização de arquiteturas de software orientadas a serviços alocados em nuvem;
- ✓ Modularidade: produção de acordo com a demanda, acoplamento e desacoplamento de módulos na produção, oferecendo maior flexibilidade para alterar as tarefas das máquinas.

A comunicação sem fio atualmente é de fundamental importância para que a implementação do conceito de I4.0 se torne viável. Uma das tecnologias base para este conceito é a Internet das Coisas (IoT) e o Máquina para Máquina (*Machine to Machine – M2M*) (STANKOVIC, 2014). A IoT contempla a conexão lógica de todos os dispositivos e meios relacionados ao ambiente produtivo em questão como os sensores, controladores, computadores, células de produção, sistema de planejamento produtivo, sendo todas as informações compartilhadas através de bancos de dados. A M2M representa a interconexão entre células de produção, onde tais sistemas podem trocar informações entre si, de forma autônoma, e tomar decisões de produção e segurança relacionadas ao processo através de um modelo de inteligência gerenciado pela IoT.

A essência da IoT é o princípio básico da I4.0 para proporcionar autonomia e colaboração para os sistemas de manufatura por meio da comunicação entre máquinas e sistemas. Desta forma, uma fábrica inteligente pode criar redes colaborativas que se comunicam e controlam umas às outras de forma descentralizada (ZUEHLKE, 2010). Neste cenário as máquinas e produtos se comunicam para identificar as operações a serem executados durante o processo de manufatura, principalmente com o uso do RFID.

Na I4.0 as máquinas são conectadas de forma colaborativa, demandando a utilização de novas tecnologias que possam analisar dados sistematicamente e transformá-los em informações. Portanto, a I4.0 necessita utilizar os recursos e serviços baseados na IoT suportados por uma infraestrutura de Computação em Nuvem para atender os requisitos e demandas relacionados a este novo conceito de fábrica inteligente (KANG et al., 2016).

2.2 APLICAÇÕES DE IOT E RFID NA INDÚSTRIA

A Internet das Coisas (IoT) e a Identificação por Rádio Frequência (RFID) oferecem soluções para transformar a operação e o papel de muitos sistemas industriais atuais. Essas duas tecnologias, quando utilizadas em conjunto, têm sido largamente utilizadas para o monitoramento de dados e gerenciamento em tempo real de sistemas de manufatura (JIA et al., 2012). RFID viabiliza o rastreamento de objetos pelas linhas de produção e posteriormente o rastreamento do

seu ciclo de vida. Essas informações agregadas com outros dados provenientes da IoT permitem a tomada de decisão em diferentes níveis hierárquicos da indústria, proporcionando benefícios operacionais e estratégicos.

Considerando os trabalhos de Jia et al. (2012) e Yang et al. (2015), verifica-se que as aplicações de RFID e IoT em sistemas de manufatura geralmente focam em três diferentes aspectos: monitoramento e supervisão de processos, rastreamento de objetos, e controle operacional de processos. Outras aplicações específicas também podem ser encontradas como sistemas de gerenciamento de estoques e sistemas de localização de objetos (EVDOKIMOV et al., 2010; KUBO, 2014).

Sistemas de monitoramento e supervisão usando RFID e IoT geralmente objetivam monitorar o estado de um processo, observando repetitivamente condições particulares de interesse (ou comportamentos) para detectá-las e informá-las a outro sistema ou pessoa. Sistemas de rastreamento e/ou rastreabilidade de objetos objetivam observar objetos em movimento ou durante um intervalo de tempo de interesse, armazenando um conjunto de informações sobre eventos ou acontecimentos com sua respectiva data e localização para uma base de dados. Sistemas de controle operacional e execução de tarefas utilizam da comunicação RFID entre equipamentos de controle (CLPs) e produtos na linha de produção para tomadas de decisão e execução de tarefas de acordo com o produto em produção.

Nos sistemas de manufatura discreta, um sistema RFID pode ser aplicado no controle da produção na busca da melhoria da qualidade e do gerenciamento do nível de eficiência da produção. O RFID detecta os objetos durante os estágios do processo de produção e a informação pode ser atualizada imediatamente num banco de dados. Portanto, o sistema de gerenciamento pode checar o status dos produtos ou da produção em tempo real. (AKBARI et al., 2015). Lu & Sheng (2015) apresentam um framework baseado em três camadas (percepção, rede e aplicação) para o monitoramento e gerenciamento de sistemas de manufatura discreta usando RFID e IoT. Zulkifli et al. (2016) desenvolvem uma solução para monitoramento via Web de sistemas de produção usando RFID e redes de sensores sem fio. Kamigaki (2017) propõe uma aplicação conceitual que combina IoT e RFID numa orientação em objetos, onde a tecnologia IoT é usada para coletar, analisar e gerenciar a informação, e o sistema RFID é usado para controlar o processo do sistema de manufatura.

Lu et al. (2006) usam um sistema de RFID para identificar os insumos de um sistema de manufatura e assim planejar a produção, controlar a operação e qualidade do produto e por fim sua produtividade. Para isso é proposto a inserção de leitores RFID em cada etapa do sistema de

manufatura como confecção, montagem e embalagem do produto. A proposta é testada por um software de simulação para aplicações de RFID em processo de manufatura.

Ngai et al. (2012) medem a produtividade dos empregados de uma confecção de roupas com a implementação de um processo de manufatura baseado em RFID. Neste trabalho, etiquetas RFID passiva de baixa frequência (13,56 MHz) foram alocadas em materiais e insumos pré-cortados para a confecção das roupas e leitores RFID foram instalados nas estações de trabalho de corte e costura. Estas estações de trabalho monitoram as tarefas realizadas em cada peça de roupa e em caso de verificação de algum defeito, uma informação é adicionada à etiqueta RFID para gerenciamento. Os autores mostram que o uso do RFID no sistema de manufatura permitiu obter informações sobre o fluxo de trabalho e eficiência da linha de produção, identificando estações com maior incidência de problemas e permitindo melhorar a organização da linha.

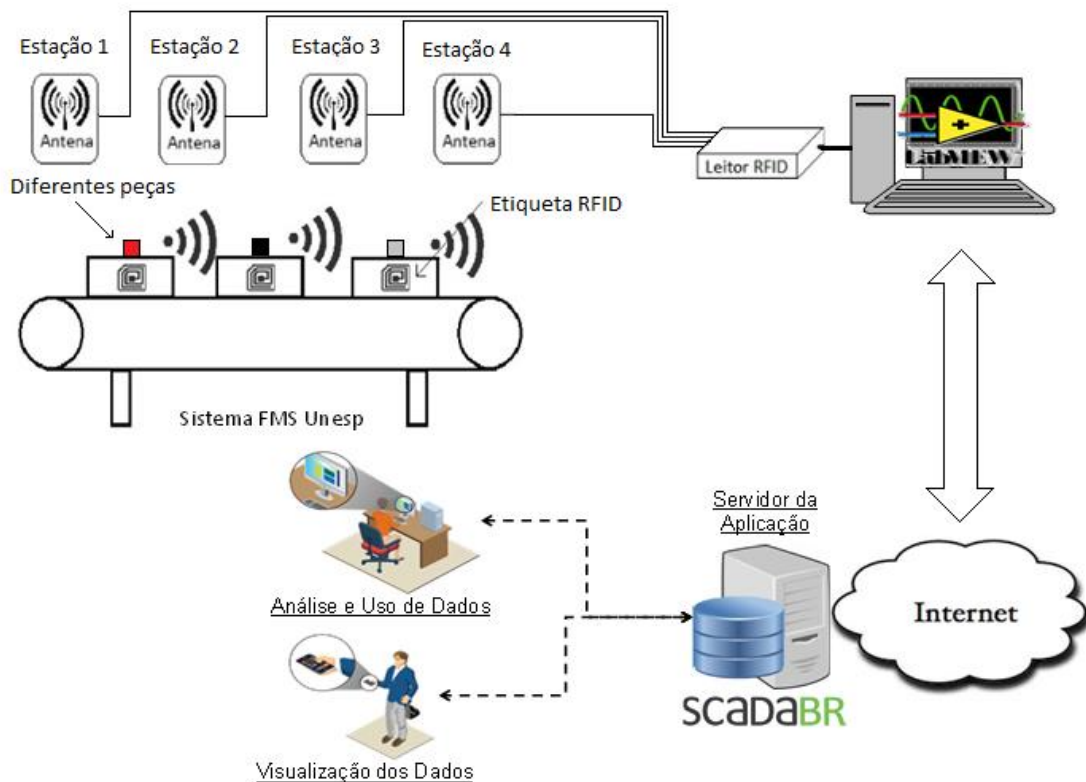
Na maioria dos casos onde se deseja controlar a produção de um sistema de manufatura, é necessário ter uma referência do desempenho requerido. Considerando um modelo do sistema de produção, os dados históricos podem ser usados para se determinar a média e o desvio padrão dos principais indicadores de desempenho. Espera-se que o tempo de processamento em um ambiente de produção estável tenha uma distribuição normal com uma média (μ) e desvio padrão (σ). Da mesma forma, as taxas de falha e o tempo de manutenção podem ser modelados usando dados históricos, e a melhor distribuição pode ser encontrada para diferentes modos de falha (SAEZ et al., 2015).

Saez et al. (2015) comparam um sistema de manufatura real com um sistema simulado, por meio de medição dos eventos discretos do sistema de automação. Os parâmetros obtidos dos CLPs, dos sensores e do sistema RFID são usados para comparar o tempo de processamento de cada peça no sistema real e no sistema simulado. Ding & Jiang (2018) apresentam um sistema para análise e controle da produção de sistemas de manufatura usando RFID e IoT. Neste trabalho, um modelo matemático do sistema de produção é criado através do mapeamento fluxo de produção dos produtos usando RFID. Este modelo do sistema juntamente com outras informações do processo coletadas através de uma infraestrutura de IoT são integradas e processadas para obtenção de informações da linha como estimativa e progresso (%) da produção, carga de trabalho das estações da linha e uso da capacidade de produção da linha.

3 DESENVOLVIMENTO

Este projeto desenvolveu um sistema que integrou as tecnologias de RFID e IoT para monitoramento da produção e da eficiência de um sistema de manufatura flexível. A proposta de desenvolvimento do projeto pode ser resumida em três etapas: aquisição dos dados RFID, processamento desses dados para obtenção dos parâmetros de produção e eficiência requeridos do processo de manufatura e disponibilização dos dados em nuvem para a IoT. A arquitetura de integração é mostrada na Figura 2.

Figura 2 - Arquitetura do Projeto: Integração de RFID e IoT



Fonte: Autoria Própria.

A etapa da aquisição dos dados é realizada por meio das etiquetas de RFID fixadas nos pallets e peças que se movimentam na esteira de movimentação do FMS carregando as peças. Através do conjunto leitor e antena de RFID é possível a identificação das etiquetas fixadas nos pallets e peças quando estes encontravam-se no alcance das ondas de rádio frequência emitidas, o que ocorre quando os pallets estiverem na posição de carga/descarga de peças em cada estação

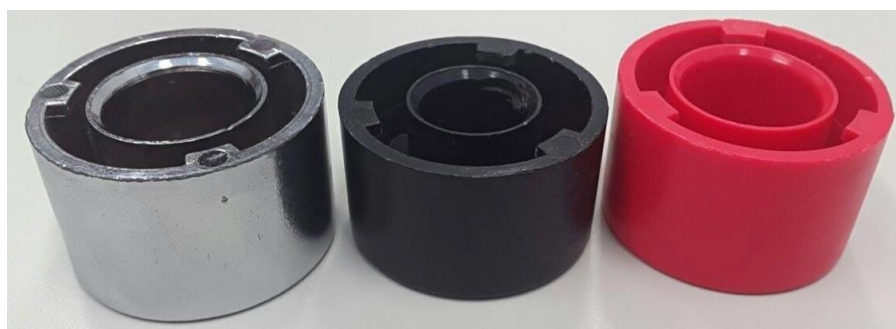
do FMS. A leitura dos dados obtidos pelo leitor RFID é realizada via software LabVIEW, através da implementação da API de comunicação Ethernet TCP/IP do leitor.

Uma vez que o leitor RFID é capaz de identificar a presença dos pallets, é possível saber quando estes se encontram em determinadas estações do FMS. Dessa forma, os dados (identificação RFID) sobre os pallets são processados pelo programa desenvolvido (LabVIEW), que é responsável por calcular o tempo que estes pallets ficam parados nas estações do FMS, gerando assim informações sobre os tempos de produção em cada estação de trabalho e de transporte entre as estações de cada peça produzida no FMS. Para o monitoramento da eficiência das estações de trabalho do FMS foi usado o cálculo do indicador OEE (BUSSO et al., 2012).

O computador que recebe os dados oriundos da etiqueta de RFID e os processa também é o responsável pela comunicação e transmissão dos dados obtidos, via serviço web (*Web Service*), para o servidor da aplicação da IoT. Para este servidor foi utilizado o software *open-source* ScadaBR (ScadaBR, 2015), o qual realiza as tarefas de middleware e interface de apresentação de dados. Uma vez em nuvem, os dados podem ser acessados por qualquer dispositivo com acesso à rede, podendo então serem utilizados para supervisão, tomada de decisão e melhorias de processo. O ScadaBR também oferecerá funcionalidade de supervisório através da criação de telas de análise de dados para as estações e para o FMS.

Além do monitoramento do sistema de manufatura flexível, é realizado também a identificação das peças a serem processadas na manufatura, tornando possível o monitoramento da produção de três diferentes peças apresentadas na Figura 3, sendo que cada peça tem um diferente processo de produção resultando em diferentes tempos de processo em cada etapa. A identificação das diferentes peças permite que o sistema possa analisar estes diferentes tempos de processo de cada produto em cada estação, o tempo de trânsito entre estações, bem como o tempo total de produção para cada produto.

Figura 3 - Peças diferentes propostas a serem processadas no FMS



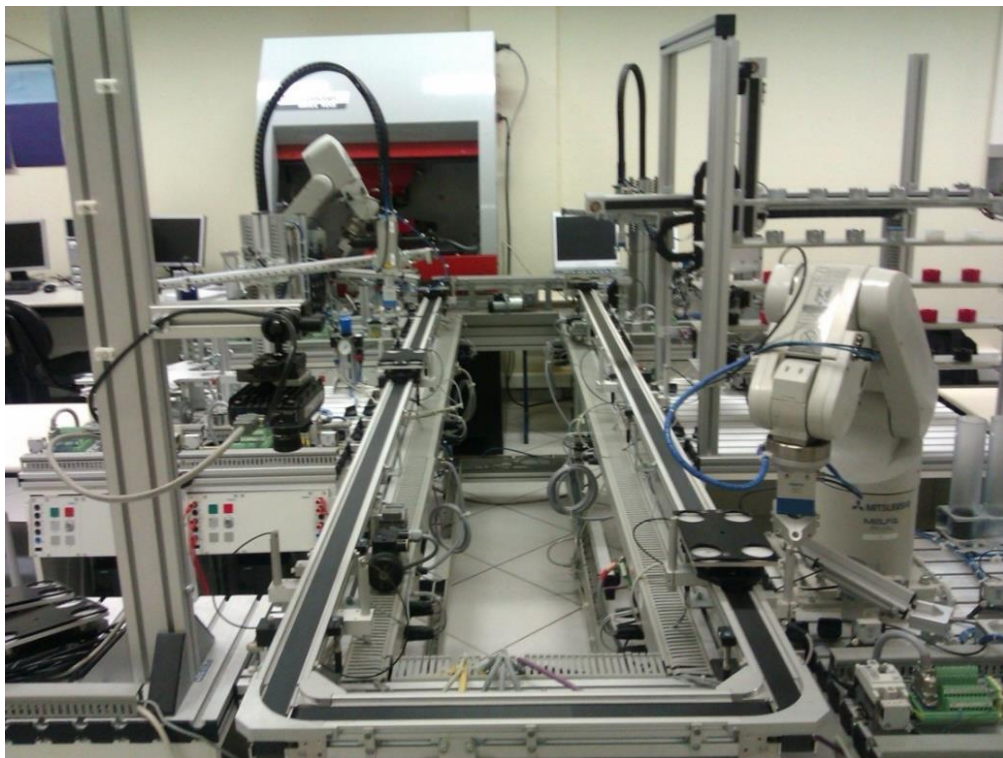
Fonte: Autorial Própria.

O sistema de monitoramento proposto usando RFID e IoT permite também a realização de análises mais específicas e técnicas, como indicação de qual estação está tomando mais tempo no processo de produção, análise de qual produto leva mais tempo para ser processado, bem como a implementação de indicadores de existência de problemas ou falhas em alguma estação baseado em grande variação no tempo de processo esperado, e, por fim a estimação do tempo de produção total dado uma quantidade de peças de cada tipo.

3.1 SISTEMA DE MANUFATURA FLEXÍVEL FESTO

Sistema Flexível de Manufatura (*FMS*) representa um grupo de estações de trabalho semi-independentes controladas por computador (CLPs) e manuseadas por sistemas automáticos (Robôs) que podem produzir diferentes produtos de forma automática. O FMS que foi utilizado neste projeto para representar a manufatura encontra-se no Laboratório de Automação da UNESP Sorocaba. Este consiste de uma linha de produção flexível de pequeno porte para manufatura de peças diferentes que pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Sistema Didático FMS do Laboratório de Automação da UNESP Sorocaba



Fonte: Autoria Própria.

O conjunto de equipamentos é composto por Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) Siemens (linha Step7-300) alojados em estações didáticas da Festo. Cada estação do FMS possui sensores, motores e atuadores eletropneumáticos, sendo possível a produção de diferentes peças, através da realização de diferentes etapas de manufatura. Além disso, é possível utilizar cada estação individualmente. A operação das estações é feita através da programação dos CLPs, buscando a automatização dos processos de manufatura.

O FMS é composto por uma esteira central que interliga estações de processamento, contendo atuadores cilíndricos pneumáticos que param os pallets (ou carros de transporte) em cada estação. As principais estações dos sistemas são listadas a seguir e são classificadas pela sua principal função:

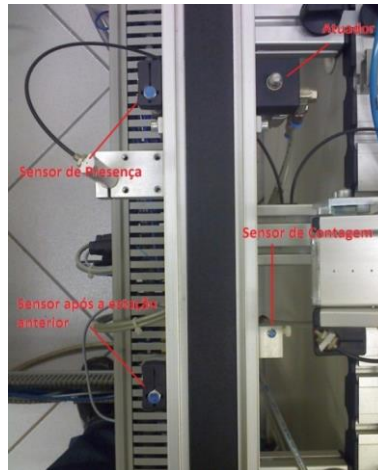
- Sistema de Transporte (*Conveyor*).
- Estação de Distribuição (*Distributing*).
- Estação de Testes (*Testing*).
- Estação de Manipulação (*Handling*).
- Estação de Processamento (*Processing*).
- Estação de Montagem – Braço Robótico (*Assembly*).
- Estação de Separação (*Sorting*).

3.1.1 SISTEMA DE TRANSPORTE

O sistema de transporte do FMS da Festo apresenta 6 estações de trabalho com sensores de presença e atuadores pneumáticos, identificação de pallets, rede de comunicação ASI, gabinete de controle com CLP da Siemens e motores de acionamento da esteira com inversor de frequência. Uma esteira de movimentação é responsável pelo transporte dos pallets que carregam as peças entre as estações de trabalho para realização das tarefas requeridas.

Cada estação apresenta sensores e atuadores, mostrados na Figura 5, como por exemplo um sensor indutivo de presença, um sensor indutivo “após a estação anterior” que indica a posição, um sensor indutivo para decodificação de cada pallet (ou carro de transporte), e ainda um sensor óptico para detecção de peça no pallet. Ademais um cilindro pneumático para parar os pallets também está presente nesse sistema.

Figura 5 - Detalhe dos Componentes do Sistema de Transporte do FMS para cada Estação de Trabalho



Fonte: Autoria Própria.

Os pallets do sistema de transporte são sensíveis aos sensores e atuadores de cada estação. Esses pallets, apresentados na Figura 6, possuem espaço para 4 peças, fita metálica para detecção de presença e pontos metálicos para identificação pelo sensor de contagem.

Figura 6 - (a) Imagem vista de cima do pallet do FMS, (b) Imagem de baixo do pallet



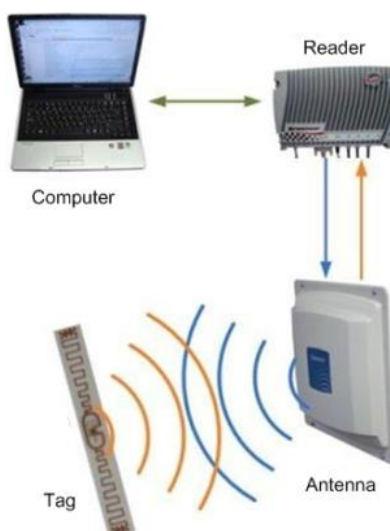
Fonte: Autoria Própria.

No gabinete de controle do módulo de transporte encontra-se o CLP mestre do sistema, que conversa com os dispositivos inteligentes de célula de trabalho via rede Profibus-DP. Cada um desses dispositivos escravos da rede Profibus-DP controla os dispositivos de baixo nível (sensores atuadores) via I/O. O CLP da esteira central por sua vez o faz via rede ASI. As duas redes se comunicam, de forma que o CLP mestre tem controle sobre todos os I/Os do sistema.

3.2 SISTEMA RFID

Um sistema RFID típico consiste de etiquetas (transmissoras/responsivas), e leitores (transmissores/receptores) e antenas. O leitor normalmente está conectado a um computador central ou outro equipamento que possua a inteligência necessária para processar os dados da etiqueta. O leitor de RFID se comunica com a etiqueta de RFID usando onda de rádio, cuja a frequência de operação é determinada pelas exigências da aplicação, tais como velocidade, distância de identificação e condições ambientais, sendo atualmente usadas as frequências de 125KHz, 13,56Mhz e 915Mhz. A Figura 7 apresenta os componentes básicos do sistema RFID.

Figura 7 - Visão geral de um Sistema de RFID.



Fonte: Autoria Própria.

O sistema RFID possui o seguinte funcionamento: um aparelho com função de leitura envia, por meio de uma antena, sinais de radiofrequência em busca de objetos a serem identificados. No momento em que um dos objetos é atingido pela radiação, ocorre um acoplamento entre ele e a antena, o que possibilita que os dados armazenados no objeto sejam recebidos pelo leitor. Este trata a informação recebida (identificação) e a envia ao computador. O elemento que permite a comunicação entre a etiqueta e o leitor é a antena. A etiqueta e o leitor possuem uma antena cada um.

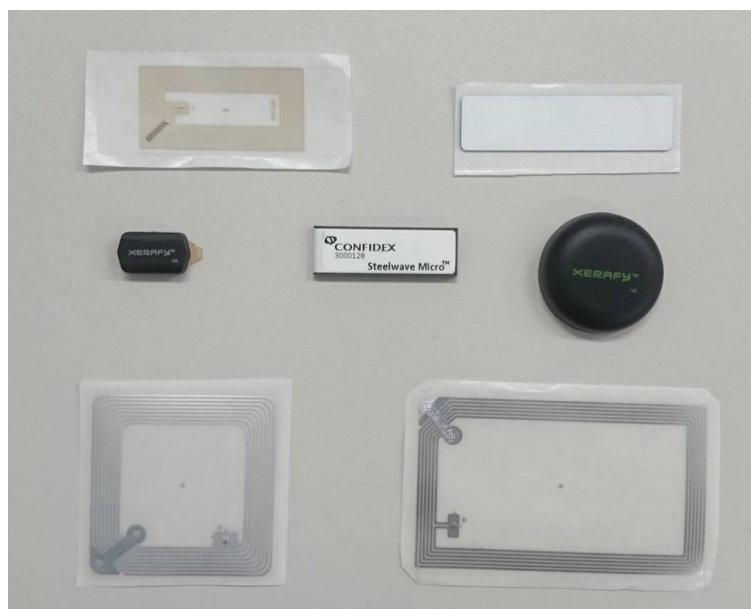
Na maior parte das aplicações industriais, os sistemas de RFID são os escolhidos em relação às outras tecnologias de identificação automática como o código de barras, devido a sua velocidade de escaneamento, acuracidade, informação instantânea e confiabilidade.

O sistema de RFID deste projeto está baseado nos equipamentos providos pelo FIT - Instituto de Tecnologia (FIT – Instituto de Tecnologia, 2018).

3.2.1 ETIQUETAS

As etiquetas são a parte do sistema de RFID responsável por fornecer a identificação aos pallets e peças, tornando possível que o leitor identifique estes. Estas etiquetas são formadas internamente por um circuito eletrônico integrado e uma antena, que quando estimuladas pela rádio frequência emitida pelo leitor devolvem uma informação que as identificam. A Figura 8 apresenta as etiquetas de 915Mhz que foram testadas neste projeto.

Figura 8 - Etiqueta RFID.



Fonte: Autoria Própria.

3.2.2 ANTENA

A antena do leitor é a parte responsável por emitir as ondas de rádio frequência, as quais tornam possível a leitura das etiquetas. A Figura 9 apresenta a antena AL-9610 da Allien Technologies utilizada em 2 estações neste projeto.

Figura 9 - Antena RFID AL-9610 915Mhz.



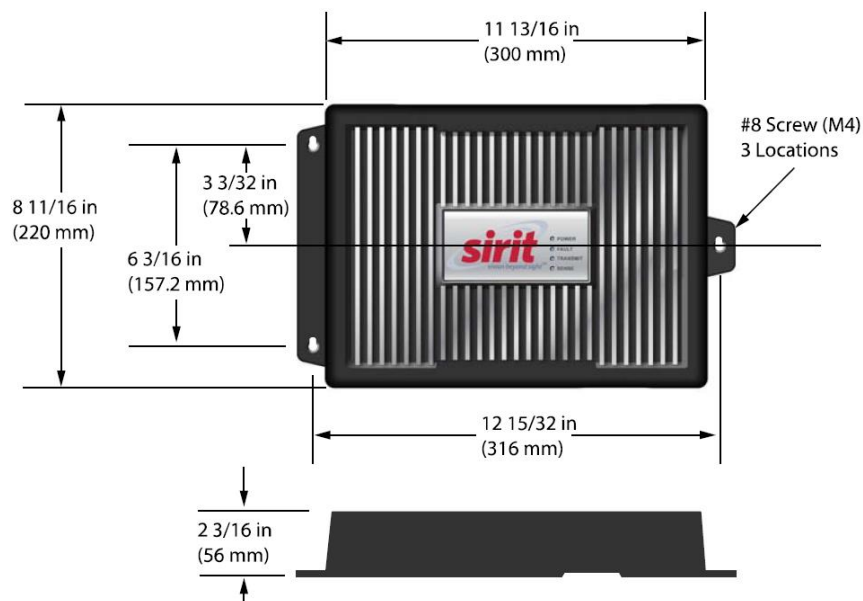
Fonte: Autorial Própria.

3.2.3 LEITOR

O leitor em conjunto com a antena consegue identificar e ler as etiquetas, percebendo a presença destas e podendo ler os dados gravados no circuito eletrônico integrado da etiqueta. É possível conectar mais de uma antena em um mesmo leitor possibilitando assim a leitura de diversas etiquetas ao mesmo tempo, otimizando as aplicações na supervisão de manufatura.

O leitor disponibiliza esses dados obtidos para um computador via um cabo, onde esses dados podem então, ser processados. A Figura 10 apresenta o leitor Sirit Infnit 510 (INFINITY510, 2015a) de RFID de 4 canais em 915Mhz para uso neste trabalho.

Figura 10 - Leitor de RFID de 4 Canais 915Mhz.



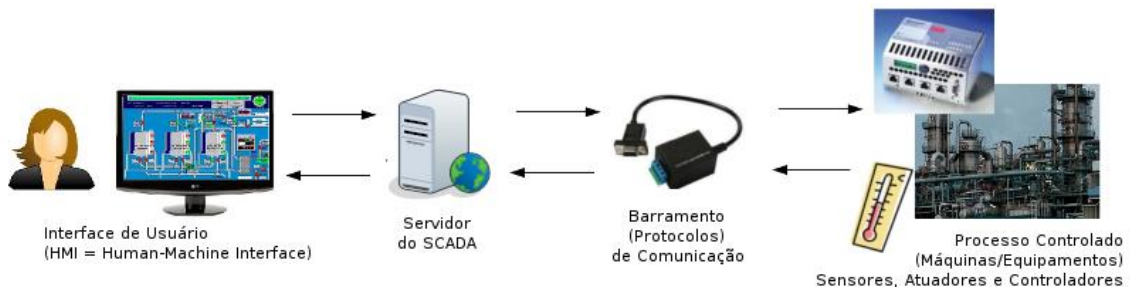
Fonte: Autorial Própria.

3.3 SCADABR

Os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) são amplamente usados para supervisão e aquisição de dados em ambientes industriais. Esses sistemas são uma combinação de telemetria e aquisição de dados, abrangendo a coleta de informações, análise dos dados, execução de ações remotas e exibição dessas informações em várias telas (BAILEY & WRIGHT, 2003).

O ScadaBR é um software de código aberto do tipo SCADA desenvolvido em plataforma Web, usado para automatizar processos de medição e automação (SCADABR, 2015). Através do ScadaBR, é possível acessar e controlar dispositivos físicos como sensores, chaves, motores e outros tipos de máquinas. Entre outras funcionalidades, é possível salvar todos os dados continuamente em uma base de dados, visualizar os históricos, e também receber alarmes, controlar o processo por meio de scripts, etc. O equipamento onde o ScadaBR é instalado é conhecido como o "servidor da aplicação". Tanto as telas "IHM" quanto as configurações do ScadaBR são acessadas através de um navegador de Internet, conforme esquemático da Figura 11.

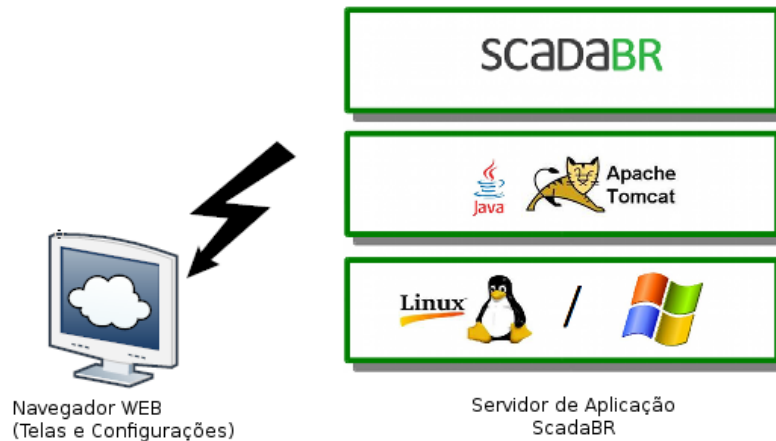
Figura 11 – Esquemático do ScadaBR.



Fonte: Autoria Própria.

O aplicativo do ScadaBR roda sobre um servidor Java, geralmente o Apache Tomcat. Rodando o servidor de aplicação, o aplicativo do ScadaBR pode ser acessado via navegador de Internet (endereço IP ou endereço de Internet). O acesso pode ser feito do mesmo computador onde o servidor da aplicação estiver instalado, ou a partir de outros computadores que estiverem na mesma rede. A Figura 12 apresenta a arquitetura interna do ScadaBR.

Figura 12 – Arquitetura do ScadaBR



Fonte: Autoria Própria.

3.4 ÍNDICE OEE

O índice OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), conforme ilustrado na Figura 13, é uma métrica quantitativa utilizada na indústria para controlar e monitorar a produtividade das máquinas de um sistema de produção, além de ser um indicador para busca da melhoria contínua ou melhoria do desempenho do processo desse sistema (GARZA-HEYES et al., 2010). Esse índice, que trata de uma hierarquia de métricas proposta por Seiichi Nakajima em 1988 para medir o desempenho de equipamentos em uma fábrica (IANNONE & NENNI, 2015), é um dos componentes para aplicação do conceito de TPM (*Total Productive Maintenance*).

Figura 13 – Cálculo do OEE.

		Tempo Total				
OEE = Disponibilidade * Performance * Qualidade	Disponibilidade = B / A	A	Tempo Programado		Horário não planejado	Horário não alocado
		B	Tempo Produzindo	Perdas de Disponibilidade: -Quebra de Máquina -Ociosidade -Setup	Horário de não responsabilidade da equipe de produção	Horário em que fábrica está com as portas fechadas
	Performance = D / C	C	Produção Teórica			
		D	Produção Real	Perdas de Performance: -Velocidade reduzida -Pequenas paradas		
	Qualidade = F / E	E	Boas + Ruins	Perdas Totais		
		F	Boas			

Fonte: www.oe.com.br/formula-oe/ em 19/01/2018.

O conceito de TPM é utilizado para otimizar a eficácia das máquinas de um sistema de produção na busca da melhoria da confiabilidade adquirida pela eliminação das seis grandes perdas na indústria, que são a quebra ou degradação das máquinas, perdas por ajuste (*setup*), tempos ocioso ou pequenas paradas, início da produção (*start up*), rendimento ou velocidade de produção menor do que a nominal, e qualidade insatisfatória que determina em retrabalho (AHUJA & KHAMBA, 2008).

Apesar de ter nascido como importante componente do TPM, o OEE passou a ser empregado, também, em programas de gerenciamento de ativos, manufatura enxuta, Six Sigma, World Class Manufacturing (IANNONE & NENNI, 2015). O OEE pode ser visto como um indicador do desempenho global de equipamentos, e que ao estruturar a análise das perdas de utilização da capacidade, ajuda a direcionar esforços de melhoria contínua dos processos e a avaliar o progresso da implantação da TPM.

O cálculo de OEE tem como objetivo apontar cada aspecto do processo que pode ser classificado para melhoria. Para maximizar a eficácia do equipamento, é necessário levar o equipamento a condições de operação e mantê-lo lá, eliminando ou, pelo menos, minimizando qualquer fator que possa diminuir seu desempenho. Sendo assim, um modelo para o cálculo do OEE deve ser baseado na identificação de quaisquer perdas que impeçam que o equipamento atinja sua máxima eficácia (IANNONE & NENNI, 2015).

Três tipos diferentes de perdas e suas causas podem ser encontradas em um processo produtivo:

1. Mau funcionamento da máquina, ou seja, um equipamento ou uma parte deste não cumpre suas exigências funcionais;
2. Processo, ou seja, a forma como o equipamento é utilizado durante a produção;
3. Externo, ou seja, perdas que não podem ser melhoradas pela equipe de manutenção ou produção.

Para melhorar a eficácia do equipamento, as perdas por causas externas devem ser eliminadas e as perdas causadas pelo mau funcionamento e processo da máquina, devem ser identificadas e tratadas. A aplicação do OEE divide essas perdas em perdas de disponibilidade, velocidade e qualidade, e se ajusta completamente ao modelo “Seis Grandes Perdas” proposto por Seiichi Nakajima em 1988 e que resumimos na Tabela 1 (IANNONE & NENNI, 2015).

Tabela 1 - As “Seis Grandes Perdas”

Categoria	Grandes Perdas
DISPONIBILIDADE	1 - Quebra da Máquina 2 - Setup ou ajustes da máquina
VELOCIDADE	3 - Velocidade reduzida 4 - Pequenas paradas
QUALIDADE	5 - Refugos de Partida 6 - Refugos de Produção

Fonte: Autoria Própria.

O índice de OEE leva em consideração três perguntas importantes: Com a disponibilidade dos equipamentos para produção? O quão rápido esses equipamentos estão produzindo? E qual a qualidade dos produtos produzidos? Dessa forma, o OEE permite uma visão geral abrangente e princípios orientadores ao definir critérios de Disponibilidade, Performance e Qualidade. Desses critérios, os dois primeiros estão totalmente relacionados aos tempos dos processos de produção (BUSSO et al., 2012). O aumento da eficiência dos equipamentos é obtido por meio de atividades quantitativas, aumentando a disponibilidade e melhorando a performance, e de atividades qualitativas, reduzindo o número de refugos na produção.

A identificação das perdas num processo produtivo é o ponto de partida para conhecer a condição de operação dos equipamentos e garantir a eficiência global do processo. Nakajima (1989), conforme mostrado na Tabela 1 definiu as 6 grandes perdas que influenciam diretamente na produtividade dos equipamentos. Essas perdas podem ser descritas como:

1. Quebra de Máquina: perdas que são caracterizadas pelo impedimento da funcionalidade do equipamento, que fica indisponível por um determinado tempo, até que a operação seja reiniciada;
2. Setup e Ajustes: são perdas ocasionadas com mudanças de produtos e ajustes até que o setup seja concluído, e o funcionamento da máquina seja iniciado;
3. Velocidade reduzida: caracterizam-se pela velocidade real do equipamento ser menor que a velocidade teórica ou de engenharia, implicando tempos de ciclo acima do tempo de ciclo padrão;
4. Pequenas Paradas: perdas que se caracterizam por interrupções de pequenas durações nos ciclos dos equipamentos, paradas intermitentes de linhas de produção e paradas constantes;
5. Refugos de partida: perdas relacionadas às restrições técnicas dos equipamentos e oriundas de paradas do equipamento após reparos periódicos ou corretivos, refeições e trocas de turno de operadores;

6. Refugos de produção: perdas relativas à produção de produtos não-conformes, causado pelo mau funcionamento dos equipamentos.

O cálculo do OEE considera uma relação entre a capacidade máxima de produção teórica e a produção real mensurada. Para uma melhor compreensão, é possível dividir o cálculo do OEE em três partes. A primeira parte, chamada Disponibilidade, verifica se a máquina está produzindo enquanto estava disponível para a equipe de produção ou não. A Taxa de Disponibilidade, ilustrada na Figura 14, indica a relação entre o tempo em que a máquina poderia teoricamente estar em operação e a hora em que houve a saída real do produto.

Figura 14 - Taxa de Disponibilidade



Fonte: Autoria Própria.

Por exemplo, se uma máquina gasta 360 minutos para produzir um determinado produto durante um tempo programado de 8 horas, ou seja, 480 minutos, temos:

- Tempo Programado (A) = 480 minutos;
- Tempo Produzindo (B) = 360 minutos.
- Taxa de Disponibilidade = $B/A \Rightarrow 360/480 \Rightarrow 75\%$.

Resumindo, 25% do Tempo Programado foi perdido.

A segunda parte do cálculo consiste em definir o quão rápido a máquina está produzindo. Essa parte chamamos de Performance. Na Taxa de Performance, mostrada na Figura 15, a Produção Teórica é a saída que a máquina poderia ter feito, em teoria, se a máquina tivesse operado na velocidade máxima durante o tempo em que ela realmente operou.

Figura 15 - Taxa de Performance



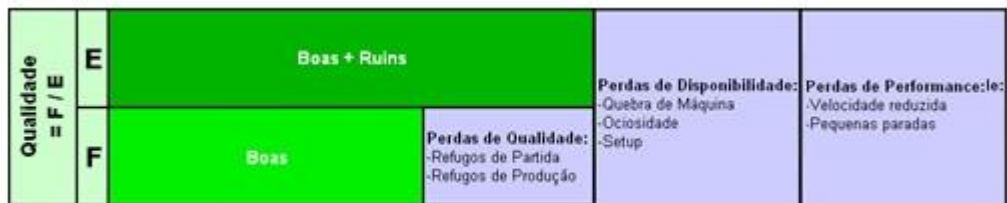
Fonte: Autoria Própria.

Assim, se uma máquina foi projetada para produzir 10 produtos por minuto, caso em que você esperaria ter 3600 produtos após 360 minutos. Isso só seria possível se a máquina opera em 100% da velocidade enquanto estiver em execução. Porém, considerando a Produção Real temos 2880 produtos, portanto:

- Produção Teórica (C) = 3600 produtos;
- Produção Real = 2880 produtos.
- Taxa de Performance = $D / C \Rightarrow 2880 / 3600 \Rightarrow 80\%$.

A terceira parte do cálculo chamamos de Qualidade e determina quantos produtos alcançaram a especificação desejada. Depois de medirmos as perdas de tempo e velocidade, concentramos nossa atenção na qualidade dos produtos que estão sendo produzidos. A relação entre o número de unidades produzidas e o número de unidades produzidas que atendem à especificação é a Taxa de Qualidade, ilustrada na Figura 16.

Figura 16 - Taxa de Qualidade



Fonte: Autoria Própria.

Para 2880 peças produzidas, se tivemos, por exemplo, 144 peças rejeitadas, teremos:

- Peças Boas + Ruins = 2880 peças;
- Peças Boas = $2880 - 144 \Rightarrow$ Peças Boas = 2736 peças.
- Taxa de Qualidade = $F / E \Rightarrow 2736 / 2880 \Rightarrow 95\%$.

O OEE é calculado multiplicando as taxas resultantes da Disponibilidade, Performance e Qualidade, portanto:

$$\text{OEE} = \text{Taxa de Disponibilidade} \times \text{Taxa de Performance} \times \text{Taxa de Qualidade}$$

$$\text{OEE} = (B / A) \times (D / C) \times (F / E) \times 100\%$$

Para os exemplos que calculamos nos parágrafos anteriores, teremos:

$$\text{OEE} = 75\% \times 80\% \times 95\% = 57\%$$

A aquisição de dados para implementação do OEE em um sistema produtivo pode ser feita manualmente ou automatizada. O método manual de coleta de dados consiste em um template de papel, onde os operadores preenchem a causa e a duração das falhas e fornecem

comentários sobre pequenas paradas e perdas de velocidade. Essa é uma abordagem de baixa tecnologia.

Uma abordagem de alta tecnologia é executada através de um sistema de cálculo OEE automático oriundo de dispositivos sensores conectados a controladores, registrando automaticamente o horário de início e duração de uma parada e solicitando ao operador informações sobre a causa do tempo de inatividade. O OEE automatizado oferece à empresa a capacidade de coletar e classificar dados do chão-de-fábrica e transformá-los em informações significativas que podem ajudar os gerentes a entender as causas-raiz da ineficiência na produção. Por isso, dando maior visibilidade para tomar decisões mais acertadas sobre a melhoria de processos. Um sistema OEE automatizado aborda as três funções principais do OEE:

- Aquisição: diz respeito à coleta de dados em que os dados serão completamente automáticos;
- Análise: geralmente fornece algoritmos para calcular OEE e outros itens relacionados ao mesmo, como a classificação de paralisação através de outras análises técnicas;
- Visualização: as métricas de OEE estão disponíveis através de relatórios ou podem ser exibidas até mesmo através de uma interface de software diretamente para o operador.

4 ARQUITETURA

4.1 SISTEMA RFID

A primeira atividade desenvolvida foi implantação do sistema físico, com a fixação das antenas e do leitor UHF de RFID, fixos junto à estação do FMS. O leitor foi fixado em uma posição central do FMS, de forma que ficasse igualmente distante de cada antena. Como o leitor já apresentava um sistema de fixação, não foi necessário a fabricação de um suporte. A Figura 17 apresenta o leitor fixado.

Figura 17 - Leitor fixado junto ao FMS



Fonte: Autoria Própria.

As duas antenas AL-9610 da Allien Technologies disponíveis foram fixadas junto à estrutura mecânica do FMS por meio de um suporte fabricado, conforme Figura 18. É importante citar que apesar de o FMS ter 6 estações de trabalho, o leitor RFID utilizado possui somente 4 saídas para antenas. Dessa forma, a proposta deste projeto contemplou uma configuração de produção do FMS utilizando 4 estações do FMS.

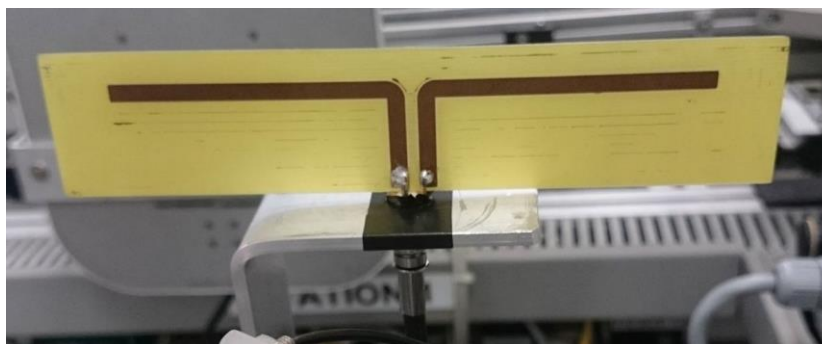
Figura 18 - Antena AL-9610 fixa junto ao FMS



Fonte: Autoria Própria.

Com as duas antenas AL-9610 fixas nas posições definidas, foi necessário a fabricação de mais duas antenas para a aplicação. Com o auxílio do especialista Engenheiro Márcio Luiz Félix Filho, colaborador do FIT, e usando a prototipadora de circuito impresso da marca LPFK modelo S63 disponível no Laboratório de Automação da UNESP Campus Sorocaba, foi possível o desenvolvimento de duas antenas semelhantes à apresentada na Figura 19. Após a fabricação das duas antenas adicionais, mostradas na Figura 19, e fixação destas junto às estações pertinentes foram feitos testes de leitura de etiquetas RFID com o software do leitor Sirit.

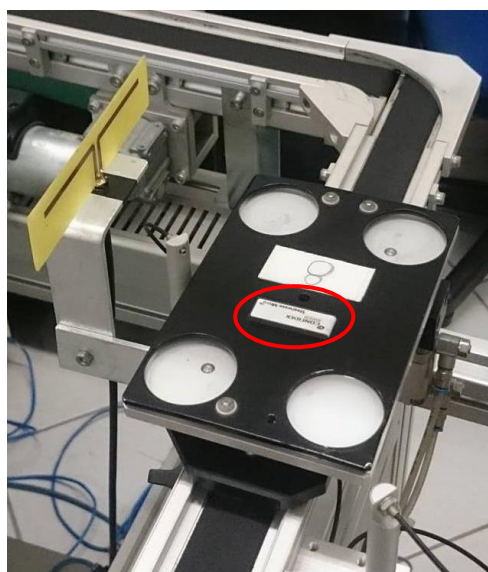
Figura 19 - Antena Desenvolvida.



Fonte: Autoria Própria.

Estes testes de leitura de etiquetas objetivaram definir as etiquetas que seriam usadas nos pallets e o local de fixação das etiquetas nestes. A etiqueta utilizada para identificação dos pallets é própria para fixação em elementos metálicos, pois os pallets são de materiais condutores que não permitem a aplicação de tags comuns (sem invólucro de proteção). A posição definida para fixação da etiqueta no pallet pode ser vista na Figura 20. Nessa figura é possível visualizar destacada em vermelho a tag da marca CONFIDEX escolhida, que obteve melhor desempenho de leitura nas condições de operações desejadas para o FMS.

Figura 20 - Antena Desenvolvida fixada junto ao FMS.



Fonte: Autoria Própria.

Além disso, estes testes também permitiram definir qual a potência de transmissão adequada (ou mínima) a ser aplicada pelo leitor RFID em cada antena afim de proporcionar a leitura das etiquetas somente quando o pallet estivesse parado na estação, possibilitando a aquisição correta do tempo de processo da estação. Para as antenas industriais AL-9610 definiu-se uma potência de 16 dBm e para as duas antenas fabricadas uma potência de 30 dBm, uma vez que estas apresentam maiores perdas por não possuírem todos os atributos de isolamento de uma antena industrial.

Com respeito à localização das tags RFID disponíveis (Figura 8) nas peças, testou-se inicialmente a aplicação das tags flexíveis ao redor da circunferência externa das peças, bem como a aplicação das tags rígidas externa e internamente às peças. O uso de tags flexíveis não se mostrou eficiente, uma vez que a leitura não se mostrou confiável. Acredita-se que isto se deve ao fato de a antena interna da etiqueta se deformar ao se enrolar a tag na peça. O uso de tags

rígidas, por sua vez, apresentou dois principais agravantes. O primeiro relacionado à localização destas na peça. Quando utilizada externamente, a etiqueta comportou-se como um obstáculo para o manuseio das peças pelas garras e elementos do FMS. Restando então a fixação interna, que resultou no segundo agravante que é o tamanho destas etiquetas. Este fato resultou no descarte das tags rígidas que não couberam dentro da peça. Diante disso, somente a tag destacada em amarelo mostrada na Figura 21 cumpriu os requisitos necessários e foi escolhida para a identificação das peças.

Figura 21 - Peças utilizadas com Tags Fixadas Internamente



Fonte: Autoria Própria.

Das peças disponíveis no FMS (vermelha, preta e prateada), a peça prateada apresentou um fator complicador. A tinta metálica aplicada nesta peça conduz corrente elétrica, não permitindo assim a utilização de tags comuns como ocorrido no caso dos pallets. Mesmo utilizando-se uma etiqueta rígida, própria para superfícies metálicas, na posição interna definida como a melhor possível, a tinta metálica não permitiu a leitura das informações da etiqueta. Isto aconteceu, pois, a pintura metálica da peça bloqueia as ondas eletromagnéticas, resultando assim no descarte da peça prateada.

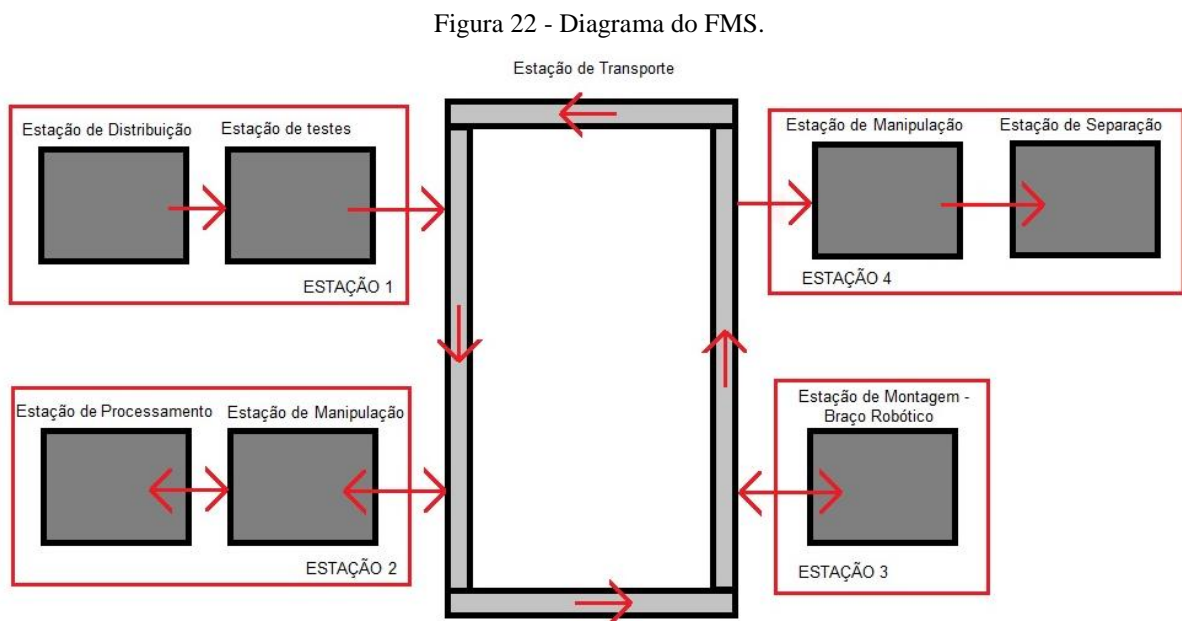
Para manter a proposta de utilização de três tipos distintos de peças, foi utilizada uma peça produzida em Nylon para substituir a com tinta metálica descartada. Desta forma, definiu-se a tag a ser utilizada, bem como a localização desta nas peças. As três peças podem ser observadas, com as tags fixas na região interna destas destacadas em amarelo na Figura 21. Vale ressaltar que a peça fabricada é a branca que pode também ser observada.

4.2 PROGRAMAÇÃO DO FMS

A programação do FMS contemplou o desenvolvimento dos programas dos CLPs das seguintes estações:

- Sistema de Transporte (*Conveyor*).
- Estação de Distribuição (*Distributing*).
- Estação de Testes (*Testing*).
- Estação de Manipulação (*Handling*).
- Estação de Processamento (*Processing*).
- Estação de Montagem – Braço Robótico (*Assembly*).
- Estação de Separação (*Sorting*).

O processo realizado ao longo do FMS se dá em função de qual peça está sendo produzida, para que seja possível obter diferentes tempos de processo para cada peça. E pode ser simplificado pelo diagrama apresentado na Figura 22.



Fonte: Autoria Própria.

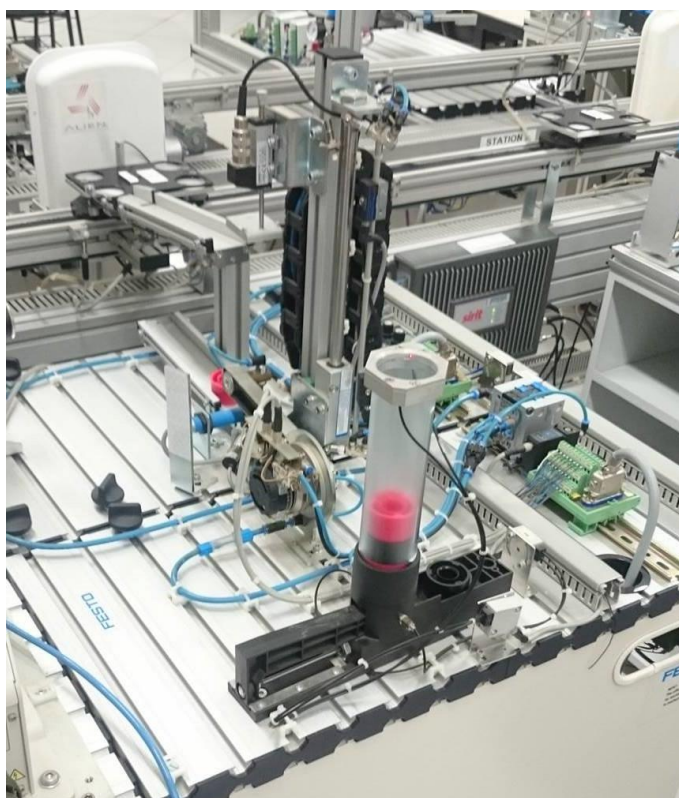
Estação 1:

A denominada estação 1, é a composição das estações de Distribuição e de Testes, sendo a entrada das peças na planta. A entrada das peças será via tubo magazine da estação de distribuição, que pode ser observada na Figura 23. Nesta estação, um atuador de dupla ação empurra a peça de dentro do tubo magazine. Uma vez empurrada para fora do tubo, a peça é

transferida para a estação de testes por meio de um braço pneumático rotativo dotado de uma ventosa.

Na estação de testes, propriedades da peça como a altura e cor são testadas com o auxílio de sensores óptico e indutivo, e em seguida a peça é elevada e liberada em uma corredeira que a encaminha para um pallet que se encontrará na esteira, em frente à estação.

Figura 23 - Estação 1.



Fonte: Autoria Própria.

Seguindo o fluxo das setas vermelhas do diagrama apresentado na Figura 22, o pallet que recebeu a peça proveniente da estação 1 é encaminhado pela estação de transporte (esteira) até a denominada estação 2.

Estação 2:

A estação 2 é composta pelas estações de manipulação e de processamento, e pode ser observada na Figura 24. Após o transporte do pallet da estação 1 para a estação 2, a peça detectada por um sensor óptico difuso é retirada do pallet por uma garra pneumática localizada na estação de Manipulação. Esta garra, que tem dois graus de liberdade, entrega a peça para a estação de Processamento.

Nesta estação, por sua vez, em função do tipo de peça, é realizada um sequenciamento de atividades diferentes numa mesa giratória como o teste de furo da peça e a retífica do furo da peça, como pode ser observado na Figura 24. Após as atividades da estação de Processamento, a peça é novamente posicionada no pallet pela estação de Manipulação e encaminhada pela esteira até a estação 3.

Figura 24 - Estação 2.



Fonte: Autoria Própria.

Estação 3:

Nesta estação, que pode ser observada na Figura 25, uma vez que um pallet para em frente a ela carregando uma peça, o braço robótico Mitsubishi RV2-AJ de cinco graus de liberdade, retira a peça do pallet e em função do seu tipo realiza atividades como inserção de um eixo e de uma mola na peça, com intuito de simular a montagem da mesma.

Após a realização da atividade pertinente na peça, a mesma é devolvida ao pallet pelo braço robótico e encaminhada pela estação de transporte para a última estação.

Figura 25 - Estação 3.

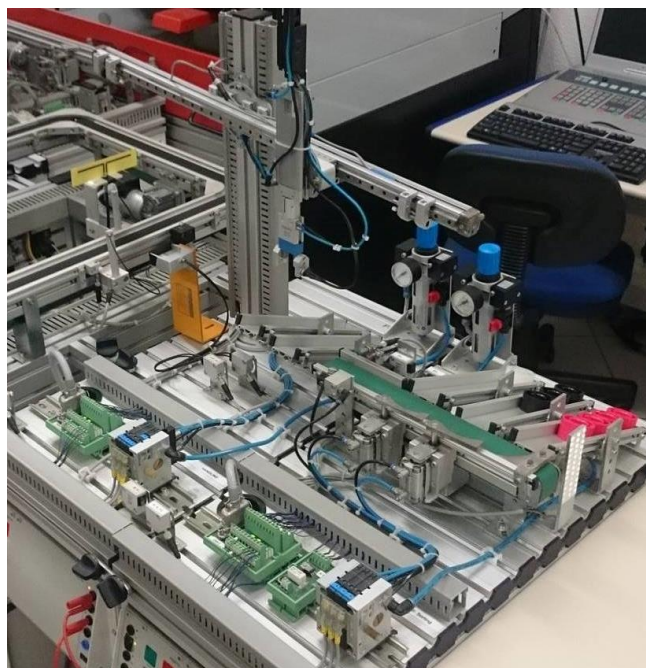


Fonte: Autoria Própria.

Estação 4:

Sendo está a última estação do processo de produção do FMS, uma vez que o pallet se encontra localizado em frente à estação 4, mostrada na Figura 26, carregando uma peça, esta será retirada por uma estação de manipulação semelhante a presente na estação 2 e depositará a peça na estação de separação por meio da garra pneumática.

Figura 26 - Estação 4.



Fonte: Autoria Própria.

Uma vez na estação de separação, as peças serão separadas em três tipos em função de suas características físicas. Cilindros de curso curto garantem que cada tipo de peça seja encaminhado para uma das três corredeiras disponíveis, como é possível se observar na Figura 26. Após a separação, o pallet é liberado da estação 4 e encaminhado novamente para a estação 1, onde receberá uma nova peça para carregar ao longo da planta novamente.

4.3 COMUNICAÇÃO RFID

O programa desenvolvido tem por objetivo enviar os comandos de leitura para o leitor RFID via comunicação Ethernet TCP/IP, seguindo API disponível (INFINITY510, 2015b), e receber e interpretar as respostas deste. Com base nas respostas do leitor, o programa, que também usa temporizadores e a identificação dos pallets na estação através do RFID, calcula os tempos de produção e transporte das peças, ou seja, o tempo que a etiqueta RFID que está fixa no pallet ficou parada na estação dentro do campo leitura da antena e a diferença entre os tempos de saída e chegada em estações diferentes.

A solução de comunicação utiliza o leitor RFID no modo ativo de leitura baseada em eventos assíncronos (INFINITY510, 2015b). Com a configuração do leitor RFID no modo ativo, três eventos relacionados à leitura de tags podem ser registrados, sendo eles:

- event.tag.report: O leitor realiza diversas leituras por segundo nas quatro antenas e para cada uma desta leitura um evento é gerado na porta de eventos do leitor toda vez que uma tag é percebida em frente a uma das antenas.
- event.tag.arrive: Um evento é gerado na porta de eventos do leitor toda vez que uma tag é lida pela primeira vez em uma antena, este evento só ocorre novamente para o mesmo conjunto tag-antena quando um evento de “*depart*” é gerado para este par.
- event.tag.depart: Um evento é gerado quando uma determinada tag para de ser lida por uma determinada antena, indicando que esta saiu do campo de leitura.

O conteúdo apresentado por estes eventos pode conter as seguintes informações:

- *tag_id*: Identificação da tag lida.
- *tid*: Identificação única de uma tag, proveniente do fabricante.
- *user_data*: Espaço de memória que pode ser utilizada para armazenar algum dado pertinente.
- *type*: Tipo de tag.

- *time*: Data e hora em que o evento ocorreu. No caso do evento de “arrive” este campo apresenta a data e hora em que determinada tag foi percebida por uma determinada antena. No caso do evento “depart” este campo apresenta a data e hora em que determinada tag deixou o campo de leitura uma determinada antena.

- *antenna*: Em qual antena o evento ocorreu.
- *rssi*: Indicador de força do sinal recebido.
- *tx_power*: Indicador da potência de transmissão da tag.

Os campos que serão apresentados nos eventos são determinados pelas três seguintes variáveis: “*tag.reporting.report_fields*”, “*tag.reporting.arrive_fields*” e “*tag.reporting.depart_fields*”, sendo que para o evento “*depart*” há ainda uma configuração adicional que define o tempo que uma tag deve ficar sem ser percebida por uma determinada antena para que o evento “*depart*” ocorra, funcionando como uma tolerância para evitar que ruídos de leitura acusam que uma tag saiu do campo de leitura de uma antena erroneamente.

Com base nestes eventos, o programa realiza a configuração e registro dos eventos de “arrive” e “depart” no leitor, de tal forma que, toda vez que uma tag entra no campo de leitura de uma antena um evento *arrive* é gerado indicando a identificação da tag lida, a antena que realizou a leitura e a data/hora em que o evento ocorreu.

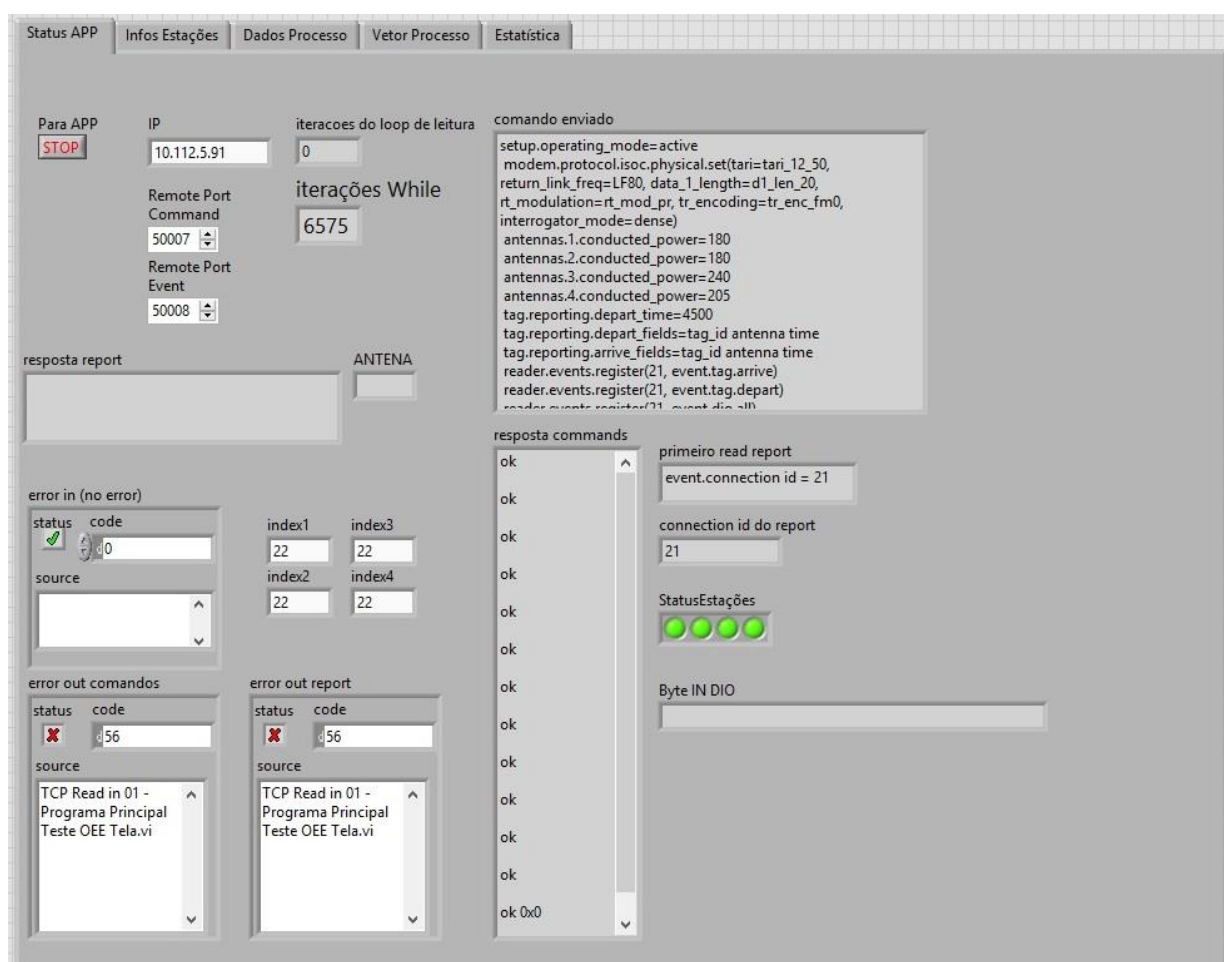
O tempo de tolerância do evento *depart* configurado foi de 1,5 segundos, ou seja, quando uma tag que se encontra em frente a uma antena, sai do campo de leitura desta por 1,5 segundos um evento de *depart*, acusando que a tag não mais está sendo lida é gerado. Vale ressaltar que o campo “*time*” gerado no evento de *depart* não inclui este tempo de tolerância e, portanto, apresenta o momento exato em que a tag saiu do campo de leitura da antena.

Com a aquisição das respostas provenientes da porta TCP/IP de eventos do leitor (50008) e do tratamento destas no LabVIEW, foi possível desenvolver programa capaz de medir o momento que uma tag entra no campo de uma antena e o momento que ela sai do campo de leitura desta antena, juntamente com a identificação da etiqueta e da antena. Assim, usando a diferença da variável “*time*” do evento *depart* e do evento *arrive* de uma dada tag foi possível obter o tempo de permanência da tag em frete à uma determinada antena e por consequência o tempo de processo das estações.

Este método de leitura facilitou também a leitura de mais de uma tag, ou seja, facilitou a implementação da leitura da etiqueta do pallet e da peça. A Figura 27 apresenta a interface do programa do LabVIEW de comunicação com o leitor RFID no modo baseado em eventos. Nessa

interface é possível verificar se a inicialização do leitor RFID foi correta e verificar o recebimento das informações (ID do pallet e peça e tempos de chega e partida) das etiquetas RFID em cada estação (Estação 1, 2, 3 e 4).

Figura 27 - Interface do Programa desenvolvido no LabVIEW.

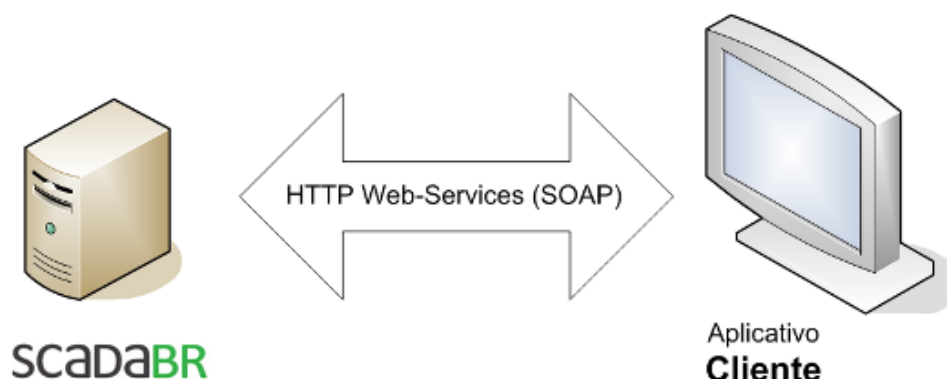


Fonte: Autoria Própria.

4.4 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

Para que os dados do sistema RFID adquiridos pelo programa desenvolvido no LabVIEW pudessem ser enviados para o ScadaBR para armazenamento em banco de dados e disponibilização dos dados na nuvem, fez-se necessário o uso de um serviço de comunicação (*Web Service*) entre estes dois elementos. Essa parte está relacionado com a integração entre o sistema FMS e RFID com a Internet das Coisas (IoT). A comunicação entre o software desenvolvido no LabVIEW e a interface no ScadaBR foi feita via *Web Service* por meio de comunicação HTTP e SOAP, conforme mostrado na Figura 28.

Figura 28 - Esquemático da Comunicação Web Service SOAP do ScadaBR.



Fonte: Fundação Certi (2018)

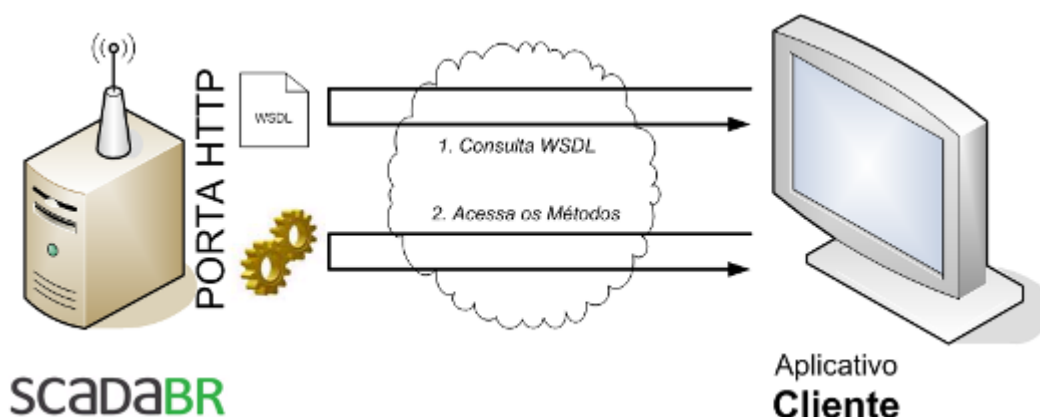
SOAP (*Simple Object Access Protocol*) é um protocolo para troca de informações estruturadas em uma plataforma descentralizada e distribuída. Ele se baseia na Linguagem de Marcação Extensível (XML) para seu formato de mensagem, e normalmente baseia-se em outros protocolos da camada de aplicação, mais notavelmente em chamada de procedimento remoto (RPC) e Protocolo de transferência de hipertexto (HTTP), para negociação e transmissão de mensagens. SOAP pode formar a camada base de uma pilha de protocolos de serviços Web, fornecendo um arcabouço básico de mensagens sob o qual se podem construir os serviços Web. Este protocolo baseado em XML consiste de três partes: um envelope, que define o que está na mensagem e como processá-la, um conjunto de regras codificadas para expressar instâncias dos tipos de dados definidos na aplicação e uma convenção para representar chamadas de procedimentos e respostas.

O serviço web do ScadaBR é padronizado via WSDL (*Web Services Description Language*), que é uma linguagem baseada em XML utilizada para descrever serviços web. Isto permite estender o ScadaBR através da arquitetura cliente-servidor, onde o ScadaBR age como um servidor, e o aplicativo LabVIEW como um cliente, permitindo a integração e troca de dados. O ScadaBR e o Aplicativo Cliente (LabVIEW) podem estar executando na mesma máquina, ou em computadores separados, desde que conectados e acessíveis via rede IP. Na maioria das linguagens, especialmente as que têm suporte automatizado ao SOAP (como Java e .NET), são realizados apenas dois passos, conforme Figura 29:

1) Criação das classes de API necessárias, a partir da importação do arquivo WSDL (*Web Services Description Language*);

2) Acesso aos métodos da API.

Figura 29 - Procedimento de Comunicação via Web Service do ScadaBR.



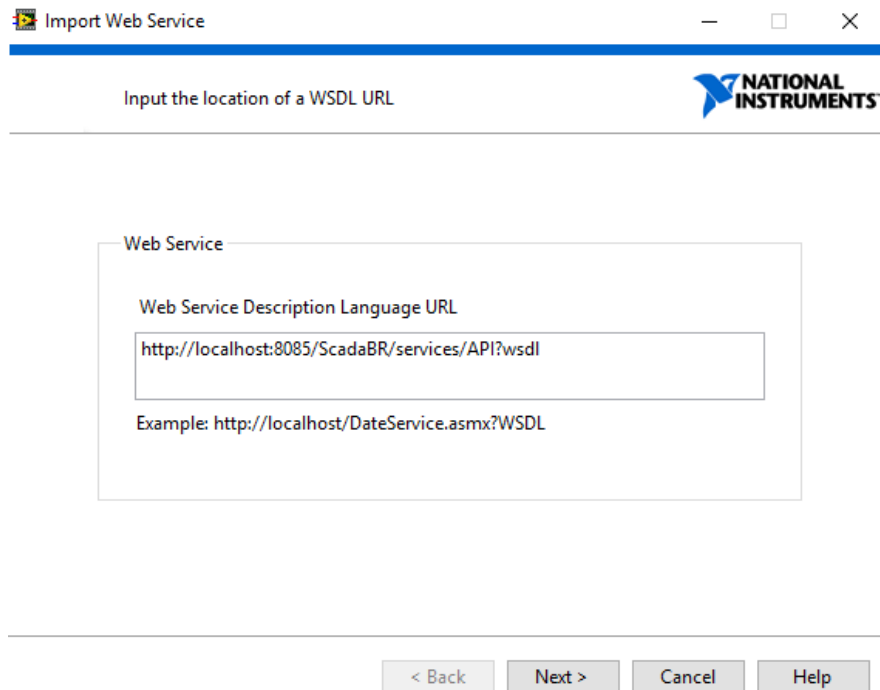
Fonte: Fundação Certi (2018).

A API SOAP do ScadaBR expõe as funcionalidades mais importantes que são leitura e escrita de tags, consulta a dados históricos e acesso a alarmes e eventos, entre outros. A API pode ser estendida conforme necessidades específicas do usuário. Entre os métodos atualmente disponíveis, os mais utilizados são:

- getStatus = retorna estado de operação do ScadaBR;
- browseTags = lista as tags disponíveis;
- readData = retorna leitura de uma ou mais variáveis (Tags);
- writeData = escreve valores em Tags;
- writeStringData = escreve valores em Tags (para clientes sem compatibilidade com o tipo AnyData);
- getDataHistory = resgata histórico de uma tag;
- getActiveEvents = obtém eventos ativos (exemplo, alarmes);
- getEventsHistory= resgata histórico de eventos, mesmo inativos;
- ackEvents = "reconhece" um evento/ alarme;
- browseEventsDefinitions= lê os tipos de eventos definidos;
- annotateEvent = adiciona uma mensagem de usuário em um evento.

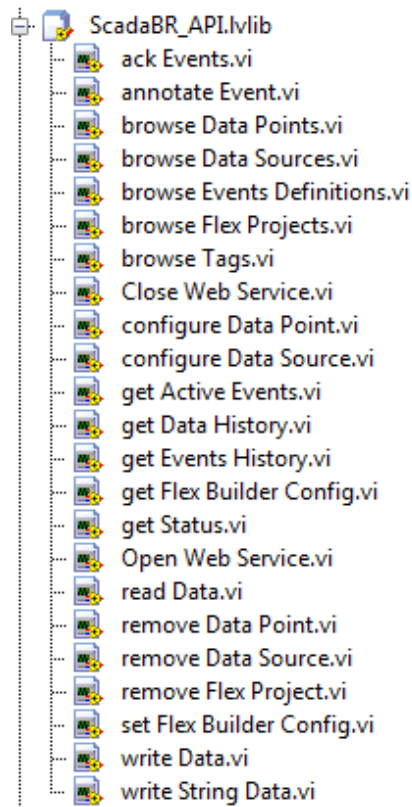
Ao importar o arquivo WSDL do ScadaBR por meio do LabVIEW como apresentado na Figura 30, subVIs são criados, conforme mostrado na Figura 31, para as principais funcionalidades ou métodos para a comunicação entre as partes apresentadas na lista anterior.

Figura 30 - Importação do Arquivo WSDL do ScadaBR.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 31 - SubVIs criados a partir da Importação do Arquivo WSDL do ScadaBR.



Fonte: Autoria Própria.

Como é necessário enviar dados para variáveis (*Data Points*) presentes no ScadaBR a partir do LabVIEW, fez-se necessário a criação de um subVI no LabVIEW para facilitar o fluxo de dados. Isto foi necessário, uma vez que as funções disponíveis na API para envio de dados dependem do conhecimento de uma identificação de cada Data Point do ScadaBR que receberá a informação.

O subVI “*send Element Scada*” foi criado utilizando-se as funções da API “*browse Tags*” e “*Write String Data*”. O SubVI criado tem por objetivo enviar um dado do LabVIEW para uma variável do ScadaBR precisando apenas do nome da variável e não de sua identificação interna (IDX). Com a API desenvolvida foi possível enviar todas informações de tempo de processo e qual *tag* correspondente a este tempo para o ScadaBR.

5 RESULTADOS

O sistema de monitoramento da produção e da eficiência de processos de manufatura usando RFID e Internet das Coisas objetiva a obtenção dos seguintes parâmetros relacionados à operação do FMS:

- ✓ Tempo de produção cada peça/produto em cada estação de trabalho do FMS;
- ✓ Tempo total de produção para cada peça/produto;
- ✓ Tempo de transporte/movimentação da peça (entre estações) no processo de produção do FMS;
- ✓ Valor médio dos tempos de produção total, tempo de produção em cada estação e tempo de transporte para as peças produzidas (vermelhas, brancas e pretas);
- ✓ Desvio padrão dos tempos de produção total, tempo de produção em cada estação e tempo de transporte para as peças produzidas (vermelhas, brancas e pretas);
- ✓ Indicador OEE, composto pelos índices de disponibilidade, performance e qualidade para as estações de trabalho e para o FMS.

Além disso, almeja-se a obtenção de outras informações de operação do FMS como:

- ✓ Indicação de qual estação está tomando mais tempo no processo de produção (gargalo);
- ✓ Análise e otimização dos tempos de produção para cada produto produzido no FMS;
- ✓ Possibilidade de implementação de indicadores de existência de problemas com alguma estação baseado em grande variação (valores maiores que um desvio padrão) no tempo de processo médio esperado.

5.1 TEMPOS DE TRANSPORTE E PRODUÇÃO DO FMS

Contando com os atuais níveis de automação em uma unidade de produção, a extração de informações de processo é possível e uma prática comum na indústria. Dada a variabilidade no sistema associada com a fabricação de peças diferentes em vários processos, a gestão do cronograma de produção e a capacidade da máquina podem ser desafiadoras.

Considerando que em um modelo de sistema estocástico, os dados históricos podem ser usados para determinar a média e o desvio padrão dos principais indicadores de desempenho. Espera-se que o tempo de processamento em um ambiente de produção estável tenha uma distribuição normal com uma média μ e desvio padrão σ , que as taxas de falha e o tempo de manutenção possam ser modelados usando dados históricos (SAEZ et al., 2015).

Os métodos estatísticos são usados para analisar dados de um processo e identificar onde mudanças podem ser feitas para melhorar a qualidade desse processo. Neste trabalho, a média do tempo de transporte e de produção de peças no FMS será a soma dos tempos de transporte e de produção dividida pelo número de peças transportadas/produzidas.

Uma das ferramentas utilizadas para analisar os dados aquisitados no FMS é o histograma de frequência, que é um gráfico de barras que representa a distribuição de frequência de um conjunto de dados. A escolha dessa ferramenta estatística ocorre pela facilidade de identificar padrões de dados e características da média, desvio padrão e tipo de distribuição dos dados a partir desse gráfico.

Outra ferramenta utilizada para analisar os dados do FMS é o histórico de tempos, o qual pode ser comparado a um gráfico de controle uma vez que esse é usado para detectar estados não aleatórios ou fora de controle do processo. A tendência central desses gráficos é determinada pela média, já a variabilidade em torno da média é controlada pela amplitude na amostra, ou seja, pelo desvio-padrão amostral (WALPOLE et. al, 2009).

Para a validação do desenvolvimento do sistema de monitoramento usando RFID e IoT foram propostos quatro experimentos no FMS com a produção de peças diferentes (branca, vermelha e preta) e análise estatística dos resultados obtidos com o cálculo dos tempos de produção nas estações de trabalho e transporte pelo sistema de manufatura. Todas as peças passaram pelas 4 estações de trabalho do FMS, porém as ações realizadas nas estações de trabalho 2 e 3 (Processamento e Robô) foram diferentes visando a obtenção de dados diferentes e verificação da funcionalidade do sistema desenvolvido. Os experimentos consistiram nos seguintes testes:

- ✓ Teste 1 - Produção de peças vermelhas e circulação de um pallet;
- ✓ Teste 2 - Produção de peças pretas e circulação de um pallet;
- ✓ Teste 3 – Produção de peças brancas e circulação de um pallet;
- ✓ Teste 4 - Produção de peças vermelhas, pretas e brancas e circulação de dois pallets.

Para a realização dos experimentos foram alocadas etiquetas RFID nas peças (brancas, pretas e vermelhas) e nos pallets que se movimentam pelo FMS (detalhado na seção 4.1) e foram definidos códigos, através dos campos TAG ID das etiquetas, para diferenciar as peças e os pallets. Dessa forma, o sistema de monitoramento desenvolvido é capaz de saber qual tipo de peça (branca, preta ou vermelha) está sendo produzida no FMS, e calcular e armazenar as informações obtidas para cada tipo de peça. Para isso foram definidos a utilização dos seguintes prefixos de identificação do campo TAG ID por tipo de peça: 0xC111 para todas as etiquetas de

peças pretas, 0xB111 para todas as etiquetas de peças vermelhas e 0xA111 para todas as etiquetas de peças brancas.

A aplicação do LabVIEW desenvolvida na seção 4.3 permitiu calcular os tempos de chegada e partida de cada estação, bem como a identificação das etiquetas dos pallets e das peças e os tempos de produção de cada estação (dado pela diferença entre os tempos de partida e chegada). Adicionalmente, o cálculo do tempo de transporte entre uma estação vizinha e outra, por meio do módulo da diferença entre o tempo de partida (*depart*) de uma estação com o tempo de chegada (*arrive*) da estação subsequente; bem como o tempo total de processo dado pela diferença do tempo de partida da estação 4 (última estação) e o tempo de chegada da estação 1 (primeira estação) também foram calculados.

Nos testes realizados buscou-se detalhar os dados obtidos no sistema de monitoramento do FMS, bem como as eventuais anomalias percebidas durante o processo, caracterizadas pelas diferenças dos valores em relação à média, seja pela observação dos gráficos. Nesse detalhamento, percebe-se nos gráficos de histograma e histórico de tempo anomalias que levam a variações de tempos de produção maiores do que a média verificada no desenvolvimento de todo o experimento. Tais anomalias podem ser caracterizadas por falhas de suprimento de ar comprimido, falhas nas garras das estações e falhas de sensores que podem ocorrer nos processos de FMS.

O sistema desenvolvido permitiu a captação e cálculo dos parâmetros de desempenho definidos para 22 peças em cada teste, o que levou a um tempo de mais do que 50 minutos considerando apenas o processo de produção. Adicionando o tempo de configuração (*setup*) e inicialização dos sistemas envolvidos em cada teste, cada teste teve um tempo maior do que 60 minutos. Por esse motivo definiu-se o número de 22 peças produzidas por teste e a verificação da validade desse número na inferência dos dados colhidos pelo sistema de monitoramento.

5.1.1 TESTE 1 PRODUÇÃO DE PEÇAS VERMELHAS

No experimento realizado no Teste 1 foram produzidas 22 peças vermelhas (0xB111) no FMS e os dados adquiridos são mostrados na Tabela 2. Verifica-se na Tabela 2 que o tempo total de produção das peças vermelhas está em torno de 145s. Os maiores tempos de produção por estação de trabalho do FMS são os das estações de Processamento e de Montagem (Robô), como já era esperado, pois essas estações são as que executam mais atividades na peça, além da própria movimentação pela estação. Da mesma forma, os tempos de transporte entre estações de trabalho obtidos são proporcionais à distância entre as estações, sendo o menor tempo foi obtido

para o menor percurso entre as estações 1 e 2 do FMS. Portanto, constatou-se que os resultados dos tempos calculados estão corretos e condizentes com valores medidos manualmente para fins de comparação.

É importante observar um acréscimo de tempo na produção da primeira peça. Isso ocorreu devido à instabilidade no sistema de ar comprimido que fez com que os acionamentos executassem as suas funções mais lentamente do que o normal. Após essa primeira peça, a décima terceira apresentou uma falha na Estação 4, ficando presa na esteira de seleção por cor, e na décima oitava, que teve o pallet enroscado na esteira entre as estações 1 e 2. Os dados destas peças estão realçados em vermelho e em negrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempos de Produção e de Transporte de Peças nas Estações do FMS para o Teste 1

Pallet - 0x1DDD Tag - Peça	Tempo (s) - Estação				Tempo (s) - Entre Estações			Tempo (s) - Produção
	1	2	3	4	1/2	2/3	3/4	Total
1	17,74	49,94	39,18	9,90	12,17	12,29	16,81	158,03
2	16,29	42,57	36,74	7,19	6,20	16,30	16,23	141,52
3	16,92	42,56	35,19	7,73	6,04	17,12	16,01	141,57
4	16,14	41,77	35,73	7,68	6,88	16,31	16,33	140,84
5	16,95	42,55	36,71	8,22	6,07	16,17	15,84	142,52
6	17,69	42,62	37,03	8,02	6,55	16,60	16,01	144,53
7	17,12	42,04	36,68	7,91	6,61	16,77	16,24	143,37
8	16,09	41,61	36,00	8,25	6,78	16,47	16,56	141,76
9	17,45	42,93	36,33	7,27	5,96	16,77	16,66	143,36
10	16,29	42,24	37,77	7,87	6,60	16,41	16,97	144,16
0xB111	17,27	42,33	34,99	8,29	6,36	16,71	16,77	142,71
Vermelha	16,68	42,60	36,47	7,96	6,03	17,42	16,27	143,42
13	16,19	42,92	35,75	31,20	6,21	16,28	15,99	164,54
14	17,40	42,53	35,55	7,77	6,25	17,81	16,76	144,07
15	17,00	42,68	35,98	7,26	6,40	16,23	16,18	141,74
16	18,23	42,14	35,46	7,63	6,55	16,61	16,63	143,27
17	16,24	41,99	36,21	7,40	6,77	17,80	16,60	143,01
18	17,98	42,37	35,64	7,78	27,79	16,85	16,39	164,79
19	16,58	42,30	35,97	8,09	6,41	16,29	16,22	141,86
20	17,89	42,54	35,73	8,57	6,21	15,94	16,12	143,01
21	16,48	42,47	35,62	7,38	6,29	17,04	16,71	141,99
22	17,17	42,24	34,45	10,55	6,06	16,77	16,85	144,09

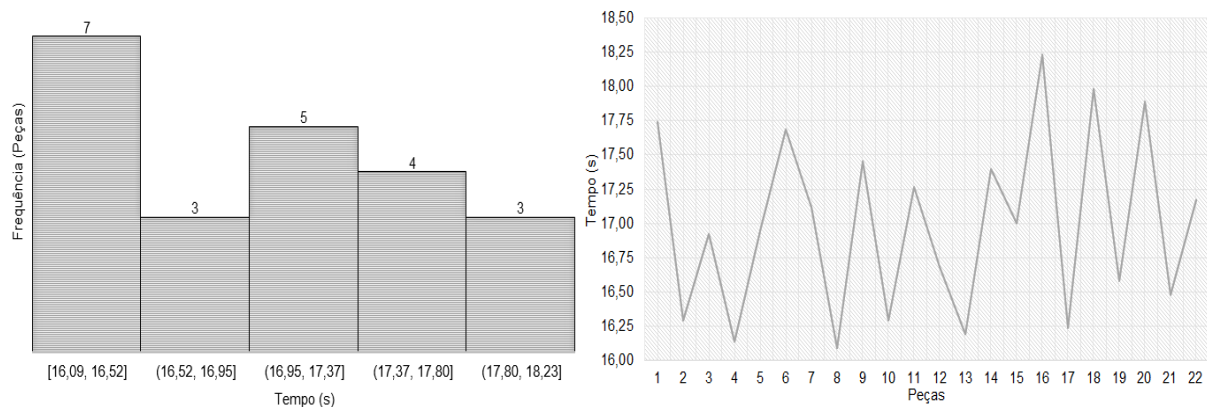
Fonte: Autoria Própria.

A análise da Tabela 2 permite perceber, em tempo real, eventuais anomalias através da observação da variação do tempo. Assim, o operador poderia atuar imediatamente sobre o sistema, por exemplo, soltando a peça presa na esteira principal ou de seleção de cor, como relatado nas anomalias observadas durante o teste.

Usou-se os dados obtidos para geração de gráficos de histograma e históricos dos tempos de produção das estações para o Teste 1. A Figura 32 apresenta os gráficos de histograma e histórico dos tempos de produção de peças na estação de trabalho 1 do FMS.

Na Figura 32 é possível verificar a distribuição dos tempos de processamento da peça na Estação 1 no gráfico de histograma e a distribuição dos tempos de cada peça no gráfico de histórico de produção das peças vermelhas. A variação de tempo de produção das peças na Estação 1 para o Teste 1 foi de 2,14s, portanto, baixa se compararmos com as variações de tempo dos próximos processos.

Figura 32 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 1 para o Teste 1

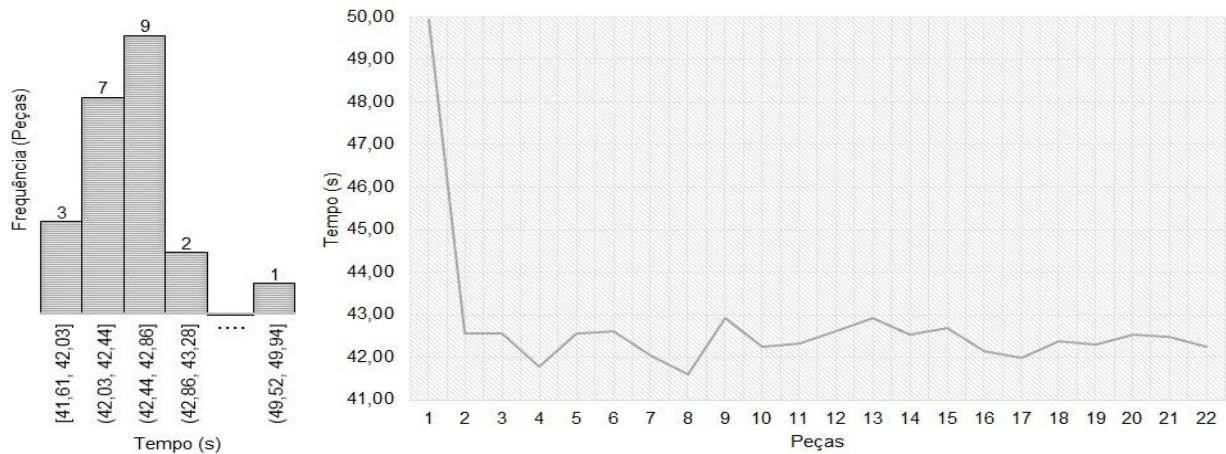


Fonte: Autoria Própria.

A Figura 33 apresenta os gráficos de histograma e histórico dos tempos de produção de peças na estação de trabalho 2 do FMS. Na Figura 33 é possível verificar que uma peça teve o tempo de processamento muito acima das demais peças da Estação 2 devido à instabilidade no sistema de ar comprimido no início da produção. O gráfico de histórico dos tempos de produção das 22 peças mostra uma pequena variação após a produção da primeira peça, o que justifica o histograma com aparente tendência à normalidade.

Se considerarmos a variação do tempo de produção Δt como a diferença do maior tempo de produção menos o menor tempo de produção verifica-se que sem a primeira peça a variação de tempo de produção é de 1,67s. Considerando a primeira peça, 8,33s, o que mostra o comprometimento do tempo pelo problema inicial com o sistema de ar comprimido.

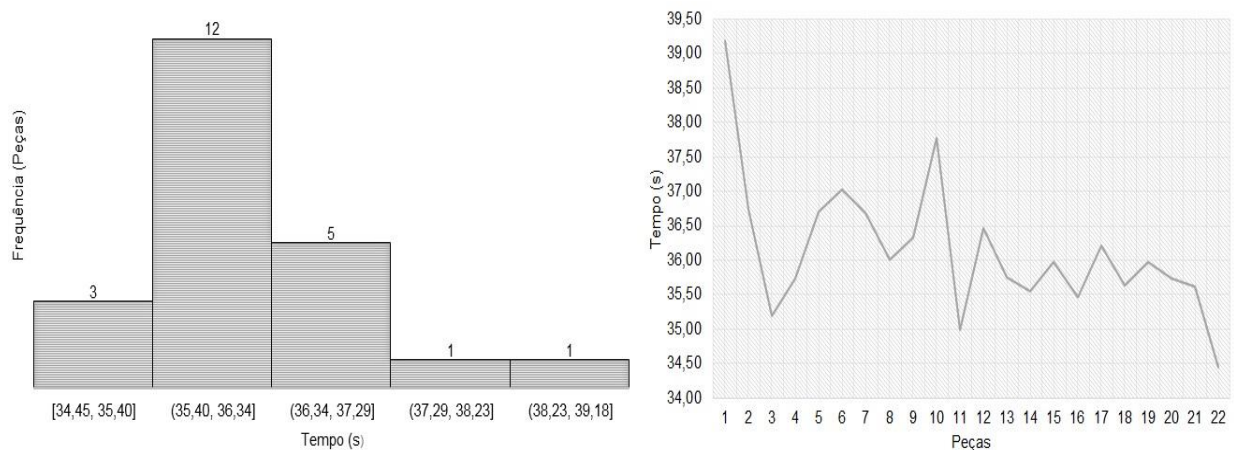
Figura 33 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 2 para o Teste 1



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 34 apresenta os gráficos de histograma e histórico dos tempos de produção de peças na estação de trabalho 3 do FMS. Da mesma forma, é possível verificar que a primeira peça teve o tempo de processamento acima das demais peças da Estação 3. A variação de tempo de produção foi de 4,73s, porém, observamos uma tendência à normalidade.

Figura 34 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 3 para o Teste 1

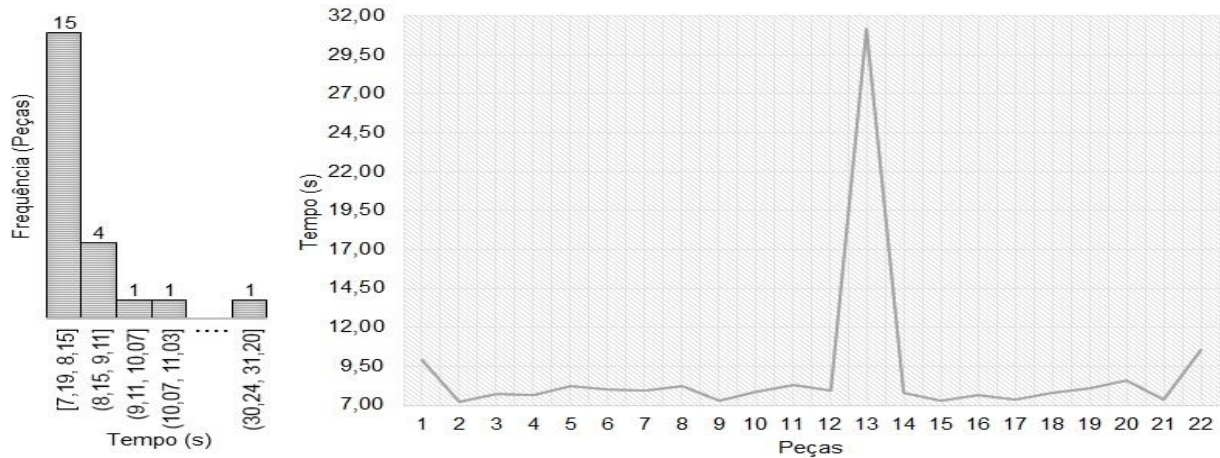


Fonte: Autoria Própria.

A Figura 35 apresenta os gráficos de histograma e histórico dos tempos de produção de peças na Estação 4 do FMS. Nesse teste verifica-se que a décima terceira peça teve o tempo de processamento acima das demais peças, o que é confirmado pelo histórico de tempos das 22 peças nessa Estação. Isso ocorreu devido a peça ficar travada na esteira de seleção por cor dessa estação.

Sem a décima terceira peça, a variação de tempo de produção é de 3,84s. Considerando a décima terceira peça, 24,01s, ou seja, o fato de a peça ficar travada na esteira foi determinante na variação do tempo de produção.

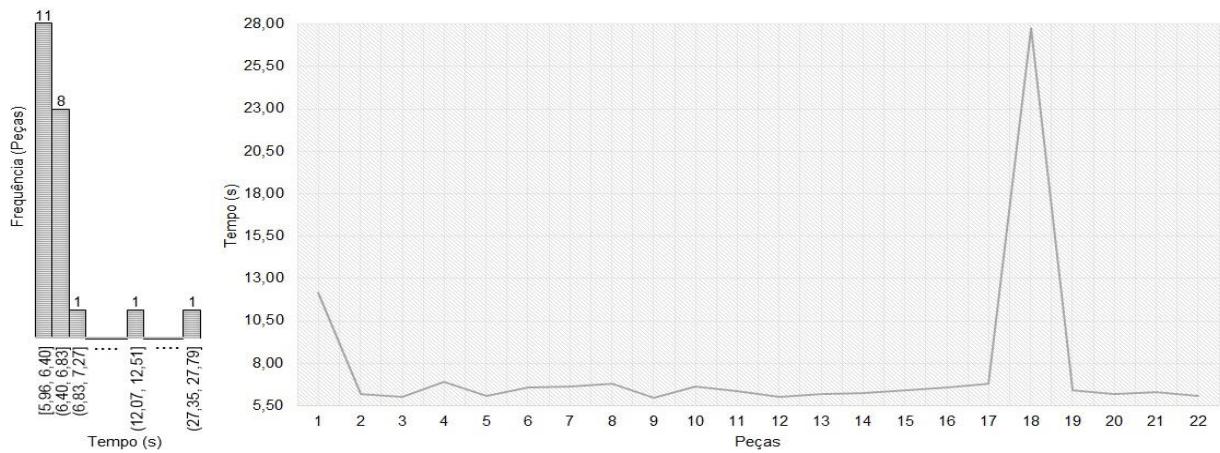
Figura 35 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 4 para o Teste 1



Fonte: Autoria Própria.

A mesma análise gráfica de histograma e histórico também foi realizada para os tempos de transporte entre as estações do FMS no Teste 1. A Figura 36, a Figura 37 e a Figura 38 apresentam os gráficos relacionados aos tempos de transporte entre as estações 1 e 2, 2 e 3, 3 e 4, respectivamente, para o Teste 1.

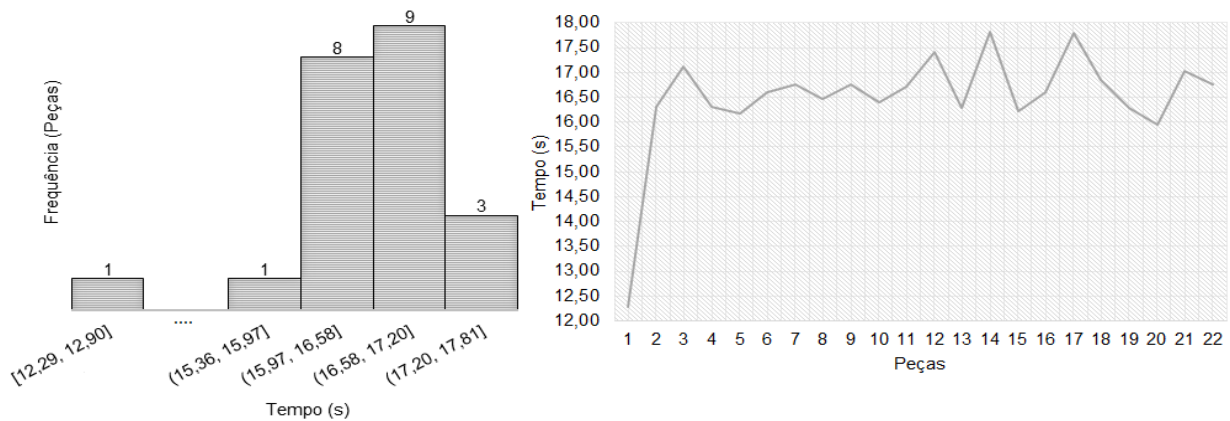
Figura 36 - Histograma e Histórico dos Tempos de Transporte entre as Estações 1 e 2 para o Teste 1



Fonte: Autoria Própria.

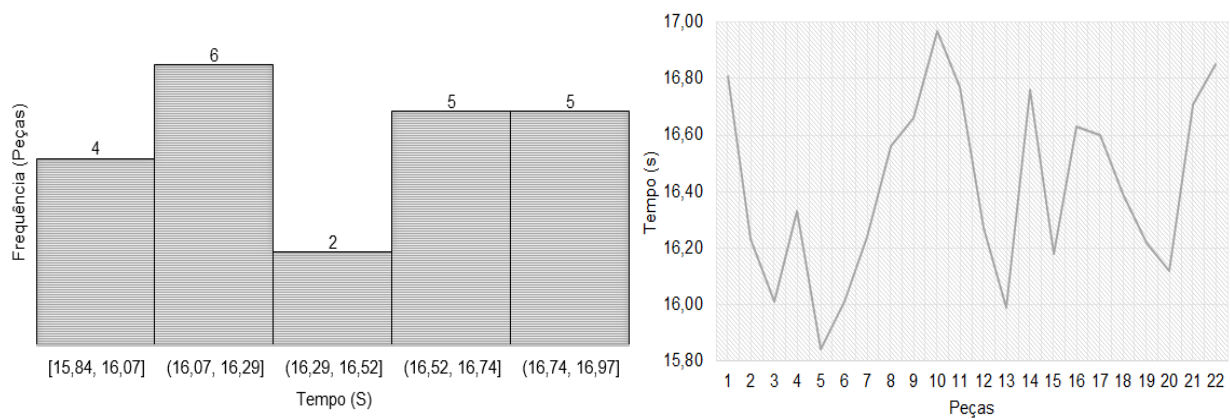
Conforme pode ser visto nos gráficos da Figura 36, tivemos uma importante variação no tempo de transporte da décima oitava peça, pois o pallet ficou preso na esteira. Nos gráficos da Figura 37 observa-se um tempo de transporte menor para a primeira peça, porém, não foi observado nenhum fenômeno que tenha causado esse evento. O tempo de transporte entre as estações 3 e 4 apresentou uma variação de 1,13s, o que mostra que não tivemos ocorrências nesse caminho do pallet.

Figura 37 - Histograma e Histórico dos Tempos de Transporte entre as Estações 2 e 3 para o Teste 1.



Fonte: Autoria Própria.

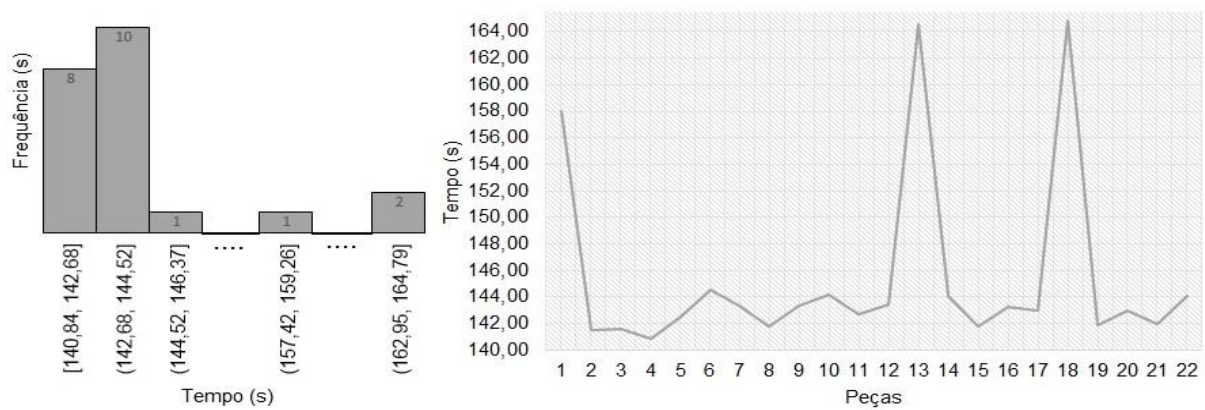
Figura 38 - Histograma e Histórico dos Tempos de Transporte entre as Estações 3 e 4 para o Teste 1.



Fonte: Autoria Própria.

Usando os dados dos tempos de produção em cada estação e tempo de transporte entre as estações de trabalho do FMS, obtém-se o valor do tempo total de produção de cada peça no FMS. A Figura 39 apresenta o histograma e o histórico do tempo total de produção das peças do Teste 1.

Figura 39 - Histograma e Histórico do Tempo Total de Produção para o Teste 1.



Fonte: Autoria Própria.

Analisando os gráficos da Figura 39 verifica-se que as anomalias descritas anteriormente na produção da décima terceira (Figura 35) e décima oitava (Figura 36) peça levam à diferença entre os valores do tempo total de produção dessas peças em relação às demais. Sem contar o problema relacionado ao ar comprimido na produção da primeira peça (Figura 29).

Nesse primeiro teste verificou-se, com os dados das tabelas e gráficos obtidos pelo sistema de RFID, a importância de ter os dados do processo de produção não só para ação do operador no sistema como para usar estratégias automáticas de ação e manutenção no sistema de produção.

Os mesmos tempos de produção de peças por estação, tempos de transporte entre estações e tempo total de produção de peças no FMS calculados no Teste 1 foram calculados também para os Teste 2, Teste 3 e Teste 4. Para evitar a apresentação desnecessária dos mesmos gráficos mostrados e discutidos anteriormente para o Teste 1, somente serão apresentados os gráficos que forneçam alguma constatação relevante sobre a operação do FMS.

5.1.2 TESTE 2 PRODUÇÃO DE PEÇAS PRETAS

No experimento realizado no Teste 2 foram produzidas 22 peças pretas (0xC111) no FMS e os dados aquisitados são mostrados na Tabela 3. Verifica-se na Tabela 3 que o tempo total de produção de peças pretas está em torno de 145s (conforme verificado no Teste 1). Todos os parâmetros foram medidos e calculados corretamente (em relação aos tempos padrão medidos manualmente), demonstrando a robustez da solução desenvolvida.

Tabela 3 – Tempos de Produção e de Transporte de Peças nas Estações do FMS para o Teste 2.

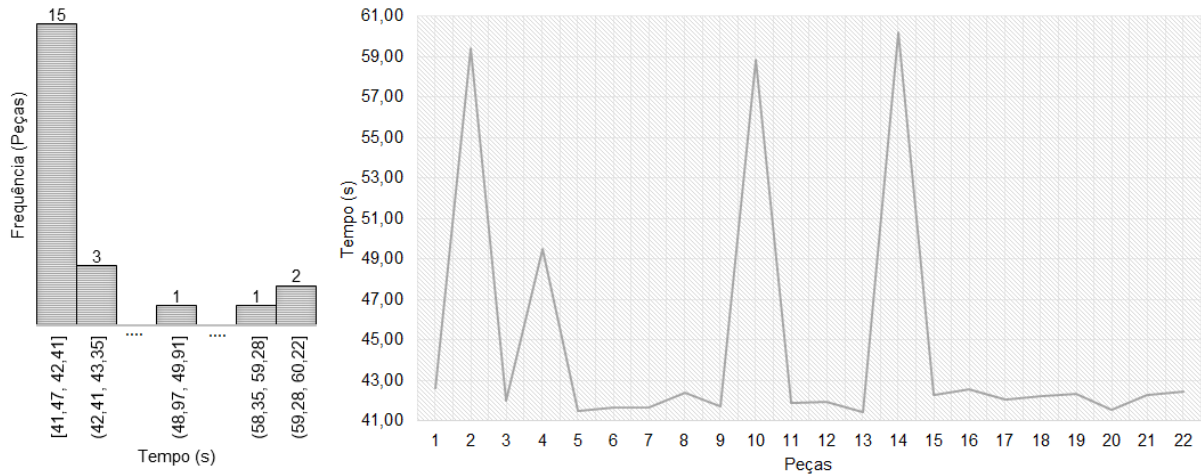
		Teste 2							
Pallet - 0x1DDD Tag - Peça	Tempo (s) - Estação				Tempo (s) - Entre Estações			Tempo (s) - Produção	
	1	2	3	4	1/2	2/3	3/4	Total	
	1	16,33	42,64	35,83	6,60	5,79	16,65	16,25	140,09
	2	15,92	59,41	35,65	8,25	6,29	16,54	16,86	158,92
	3	15,94	42,01	35,49	11,53	6,38	17,35	16,57	145,27
	4	17,19	49,49	36,35	1,69	6,88	16,05	16,02	143,67
	5	18,05	41,53	35,79	1,68	5,10	16,95	16,41	135,52
	6	16,87	41,70	35,42	9,37	6,34	16,76	16,83	143,29
	7	15,74	41,70	35,43	9,55	6,84	16,28	16,19	141,72
	8	16,09	42,38	36,69	9,14	6,08	16,39	15,96	142,73
	9	17,84	41,72	38,28	9,18	6,55	16,64	16,29	146,50
	10	15,68	58,86	35,80	9,22	6,67	16,40	16,34	158,97
0xC111	11	16,24	41,88	35,62	9,52	6,31	17,30	16,43	143,30
Preta	12	16,58	41,95	36,14	8,65	6,56	16,10	16,25	142,22
	13	16,38	41,47	35,81	9,49	6,84	16,27	16,52	142,78
	14	16,69	60,22	35,87	11,30	6,14	16,07	16,30	162,60
	15	16,49	42,28	34,56	9,20	5,74	16,29	16,88	141,44
	16	15,71	42,59	35,21	9,68	6,02	16,49	16,88	142,58
	17	16,18	42,06	36,48	9,36	6,21	16,07	16,38	142,73
	18	16,13	42,25	38,19	11,60	6,50	16,17	16,40	147,24
	19	16,22	42,33	36,11	9,75	6,28	16,66	16,95	144,30
	20	16,70	41,55	35,97	8,73	6,85	16,56	16,96	143,32
	21	16,31	42,31	36,18	9,37	6,00	16,56	16,32	143,05
	22	16,06	42,46	35,92	11,80	6,05	16,42	16,15	144,86

Fonte: Autoria Própria.

Destacado em letras vermelhas em negrito na Tabela 3, verifica-se nos tempos das estações e no tempo total algumas anomalias importantes, como a ocorrida na garra da Estação 2 ou o problema que ocorreu no sensor de cor de peça. Novamente percebe-se a importância de ter os dados visíveis e em tempo real, mesmo que em forma de tabela, para atuação pontual do operador ou para tomada de decisão por ações de manutenção ou ajustes para início de operação.

Em relação a erros relacionados aos tempos de produção e de transporte no FMS, foram verificadas situações que merecem destaque. A primeira trata de quatro anormalidades que podem ser observadas na Figura 40, que mostra que a segunda, quarta, décima e décima quarta peças, tiveram um tempo de processamento acima das demais peças da Estação 2. Essa anormalidade do tempo calculado ocorreu devido ao ajuste da garra de transporte da peça, o que fez com que o sensor da garra demorasse um pouco mais para perceber a presença da peça preta, fisicamente um pouco menor do que a peça vermelha.

Figura 40 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 2 para o Teste 2.

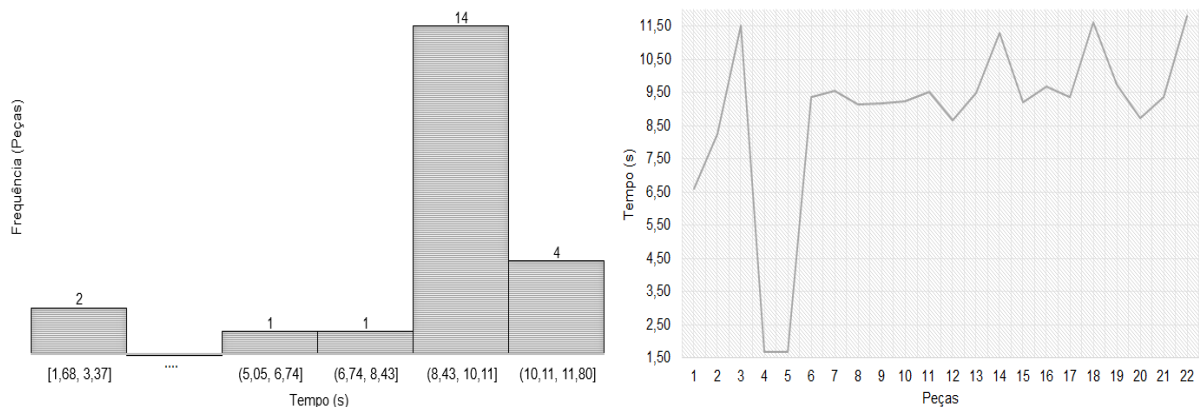


Fonte: Autoria Própria.

As outras situações podem ser visualizadas na Figura 41 em relação ao processamento da quarta e quinta peças na Estação 4. O sensor que percebe a chegada da peça na esteira de seleção por cor manteve o bit de presença ligado, portanto, o CLP teve que ser resetado para o processo voltar ao normal, porém, não foi necessário reiniciar a produção. O valor muito baixo (1,68 e 1,69s) obtido na Estação 4 mostra que o pallet foi liberado antes do tempo de processamento final dessa estação.

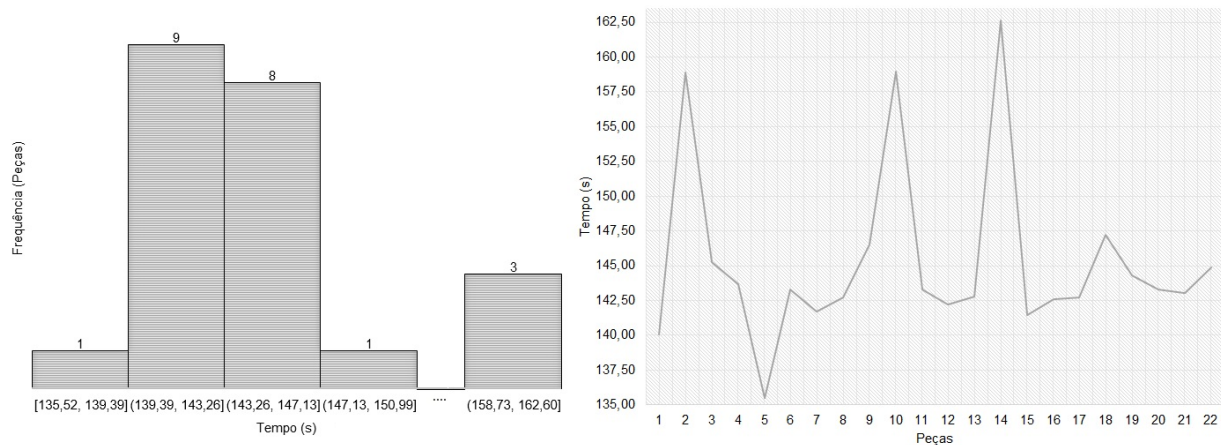
Todas essas situações podem ser observadas no tempo total de produção que fugiu da média de tempo, e, portanto, merece ser observado para tratamento. Os gráficos do tempo total podem ser observados na Figura 42 e nela o comprometimento que as anormalidades nas estações causaram no tempo de processamentos da segunda, quinta, décima e décima quarta peça, principalmente.

Figura 41 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 4 para o Teste 2.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 42 - Histograma e Histórico do Tempo Total de Produção para o Teste 2.



Fonte: Autoria Própria.

Analisando-se os resultados mais significativos do Teste 2, principalmente para a anomalia relatada na Estação 4, pode-se sugerir uma rotina de checagem no CLP para perceber quando o bit de seleção de cor de peça está “travado” em 1, o que evitaria novas ocorrências, o que leva a um comprometimento significativo do tempo total de produção.

Separados no histograma da Figura 42 percebemos três eventos importantes já descritos acima e que comprometeram o tempo total de produção das peças. Com a ajuda da tabela e dos gráficos apresentados podemos sugerir, também, um melhor ajuste mecânico na garra de transporte da peça na Estação 2, ou seja, uma ação de manutenção.

Não diferente do Teste 1 percebemos que as anomalias ocorridas durante o processo comprometem significativamente o tempo total de processo e a sua variação. Portanto, perceber essas variações por meio de alarmes para atuação de um operador ou demonstrá-las em um relatório para posterior tratamento utilizando ferramentas da qualidade pode ser crucial para a melhoria dos tempos de processo.

5.1.3 TESTE 3 PRODUÇÃO DE PEÇAS BRANCAS

No experimento realizado no Teste 3 foram produzidas 22 peças brancas (0xC111) e os dados obtidos são mostrados na Tabela 4. Verifica-se na Tabela 4 que o tempo total de produção das peças brancas está em torno de 141 s. Mais uma vez, para evitar a apresentação desnecessária dos mesmos gráficos mostrados e discutidos anteriormente para o Teste 1, somente serão apresentados os gráficos que forneçam alguma constatação relevante sobre a operação do FMS.

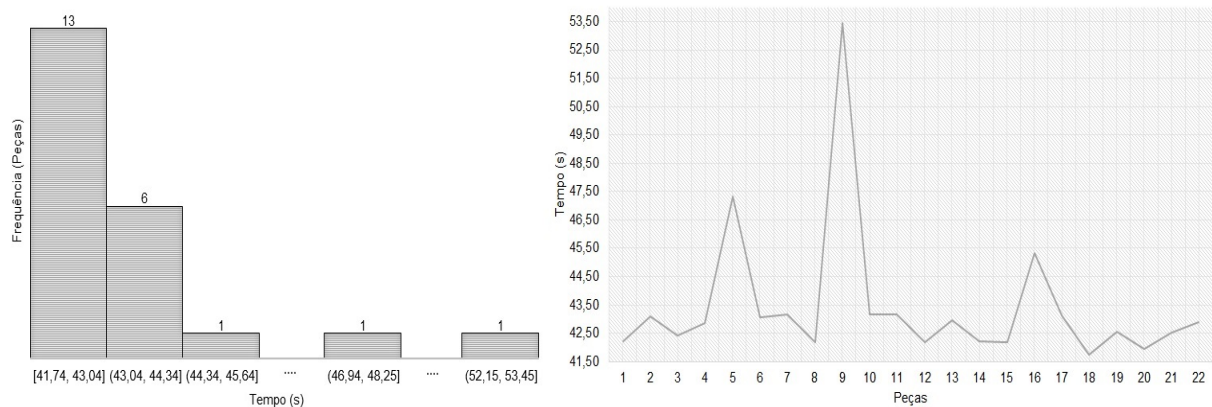
Tabela 4 – Tempos de Produção e de Transporte de Peças nas Estações do FMS para o Teste 3.

		Teste 3							
Pallet - 0x1CCC Tag - Peça		Tempo (s) - Estação				Tempo (s) - Entre Estações			Tempo (s) - Produção
		1	2	3	4	1/2	2/3	3/4	Total
0xA111 Branca	1	15,48	42,23	32,43	7,37	6,54	16,94	15,79	136,78
	2	14,77	43,09	32,85	10,79	5,74	16,86	15,75	139,85
	3	16,20	42,41	32,43	8,29	6,29	16,95	15,98	138,56
	4	16,67	42,85	31,61	8,06	6,50	17,07	16,65	139,41
	5	16,38	47,32	30,85	8,24	6,29	16,51	16,77	142,37
	6	15,67	43,07	31,98	9,02	5,95	16,95	16,02	138,65
	7	17,70	43,18	32,17	8,21	5,82	17,14	16,00	140,23
	8	18,35	42,19	32,53	7,96	6,95	18,74	15,96	142,68
	9	17,37	53,45	30,58	8,03	6,81	16,36	16,87	149,48
	10	15,63	43,18	32,99	8,16	6,31	16,36	16,71	139,34
	11	15,88	43,15	32,64	8,45	6,29	18,25	16,13	140,78
	12	14,30	42,17	30,91	8,20	7,25	16,93	16,60	136,37
	13	15,28	42,95	30,77	8,24	6,44	16,99	16,61	137,27
	14	15,29	42,23	31,06	8,64	7,12	16,85	17,00	138,20
	15	24,69	42,20	34,07	7,87	6,83	16,59	16,04	148,29
	16	15,52	45,34	30,79	9,41	6,59	16,75	16,19	140,59
	17	17,12	43,12	33,88	8,93	6,77	16,69	16,24	142,74
	18	19,25	41,74	33,12	7,51	6,99	18,34	16,14	143,09
	19	14,75	42,55	35,21	8,12	6,27	17,04	16,06	140,00
	20	14,71	41,95	35,13	7,86	6,91	16,77	16,30	139,63
21	15,42	42,52	36,61	8,32	6,52	16,31	16,71	142,42	
22	16,75	42,91	37,15	8,20	6,26	16,89	15,99	144,15	

Fonte: Autoria Própria.

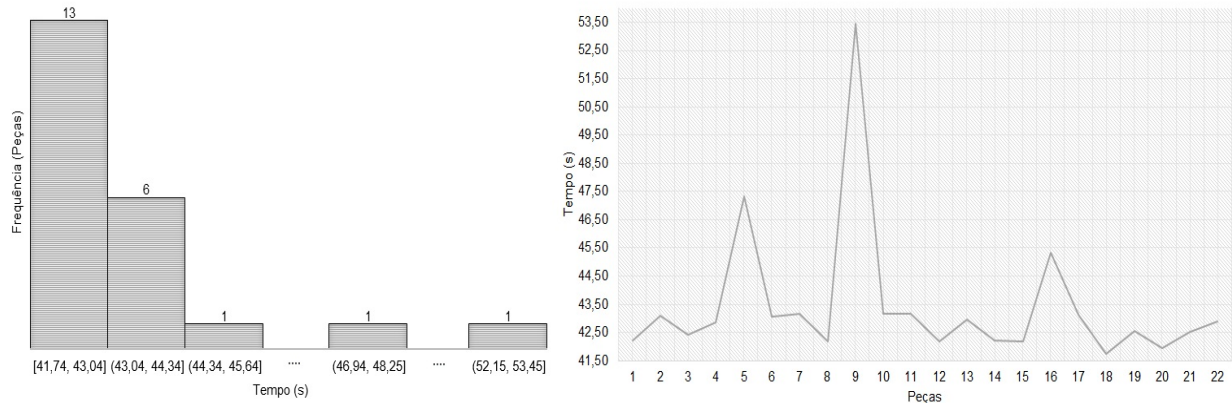
Na Tabela 4 percebe-se destacado em letras vermelhas em negrito um maior tempo total na produção da nona e décima quinta peças. No caso da nona peça, a falha foi devido ao ajuste da garra de transporte da Estação 2, e na décima quinta peça, a falha foi devido à dificuldade de a peça deslizar para o pallet na Estação 1. Nos dois casos a observação da variação do tempo permitiu a atuação pontual do operador. É importante perceber que esses dois problemas relatados podem ser verificados com a análise dos gráficos das Figura 43 e Figura 44.

Figura 43 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 2 para o Teste 3.



Fonte: Autoria Própria.

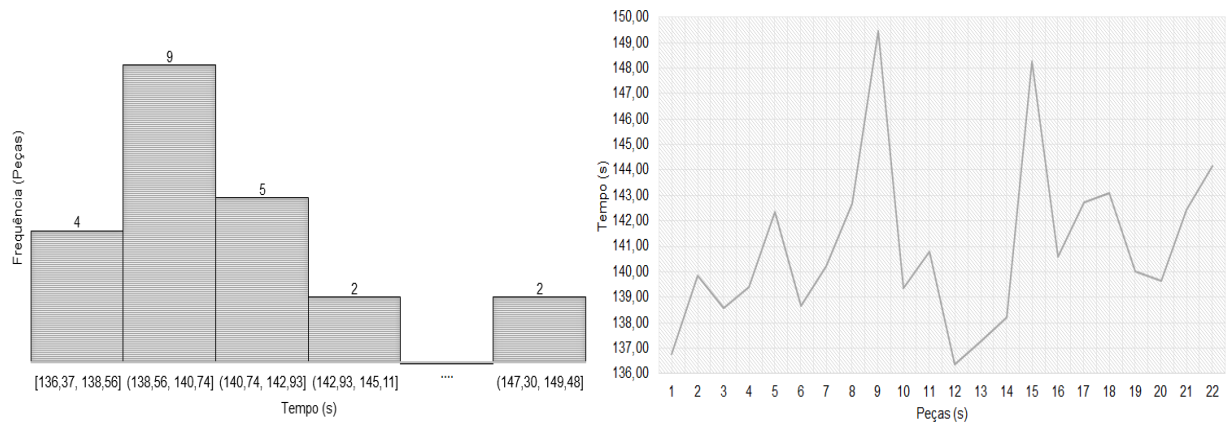
Figura 44 - Histograma e Histórico de Tempos de Produção de Peças da Estação 1 para o Teste 3.



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 45 apresenta o gráfico de histograma e do histórico do tempo total de produção das peças do Teste 3. A não ser pelas anormalidades descritas na Figura 43 e Figura 44, o gráfico apresenta tendência a normalidade.

Figura 45 - Histograma e Histórico do Tempo Total de Produção para o Teste 3.



Fonte: Autoria Própria.

Após os três testes pode-se inferir a necessidade de atuar em um melhor ajuste da garra de transportes da Estação 2, confirmando a recomendação de ação de manutenção nesse item.

5.1.4 TESTE 4 PRODUÇÃO DOS TRÊS TIPOS DE PEÇAS

No experimento realizado no Teste 4 foram produzidas 8 peças vermelhas (0xB111), 7 peças pretas (0xC111) e 7 peças brancas (0xA111), em um total de 22 peças, utilizando para o seu transporte no processo dois pallets diferentes (0x1DDD, 0x1CCC). É importante salientar

que desta vez, diferentes estações produziam peças diferentes ao mesmo tempo, o que não ocorreu nos testes 1, 2 e 3. Os dados obtidos são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Tempos de Produção e de Transporte de Peças nas Estações do FMS para o Teste 4.

Tag - Peça	Pallet	Peça	Teste 4							Tempo (s) - Produção
			Tempo (s) - Estação				Tempo (s) - Entre Estações			
			1	2	3	4	1/2	2/3	3/4	
0xB111	0x1DDD	1	15,57	42,91	39,57	10,06	6,09	16,71	16,30	147,22
0xC111	0x1CCC	2	14,32	42,99	37,66	8,94	6,47	15,90	15,89	142,18
0xA111	0x1DDD	3	14,27	43,20	36,77	8,80	6,34	16,52	16,15	142,05
0xB111	0x1CCC	4	17,49	42,31	49,38	7,99	7,07	17,07	17,14	158,45
0xC111	0x1DDD	5	24,72	42,77	36,16	12,09	6,61	16,34	15,93	154,61
0xA111	0x1CCC	6	15,13	53,74	37,46	8,06	6,06	16,42	16,61	153,48
0xB111	0x1DDD	7	16,64	43,10	35,49	9,08	6,14	17,25	16,91	144,61
0xC111	0x1CCC	8	15,79	42,17	38,76	9,49	6,57	17,22	16,88	146,88
0xA111	0x1DDD	9	16,99	44,00	36,16	9,09	6,43	16,37	16,79	145,83
0xB111	0x1CCC	10	18,74	43,23	36,34	8,34	5,82	16,64	16,65	145,75
0xC111	0x1DDD	11	17,77	42,28	38,61	9,16	6,74	16,47	16,42	147,45
0xA111	0x1CCC	12	15,57	43,28	36,79	9,35	6,59	16,74	16,80	145,12
0xB111	0x1DDD	13	13,49	45,48	35,27	11,55	6,24	16,73	17,04	145,80
0xC111	0x1CCC	14	12,85	42,00	36,09	8,71	6,79	17,33	16,01	139,79
0xA111	0x1DDD	15	14,70	43,82	36,59	9,82	5,66	16,08	16,09	142,77
0xB111	0x1CCC	16	15,25	43,00	44,64	8,47	5,88	16,49	16,71	150,43
0xC111	0x1DDD	17	14,64	50,33	35,47	8,76	6,12	16,42	16,68	148,42
0xA111	0x1CCC	18	15,59	42,32	36,43	9,13	6,56	16,78	16,10	142,91
0xB111	0x1DDD	19	14,49	45,40	42,36	1,40	6,20	16,60	17,03	143,49
0xC111	0x1CCC	20	14,26	42,02	46,69	2,29	6,34	17,15	16,08	144,82
0xA111	0x1DDD	21	14,74	42,97	36,23	1,47	6,63	16,82	16,59	135,45
0xB111	0x1CCC	22	14,60	43,16	36,32	3,32	6,45	16,52	15,70	136,06

Fonte: Autoria Própria.

Neste experimento também testou-se o uso de três pallets para movimentação das peças. No entanto verificou-se o acúmulo de pallets nas primeira e segunda estações, gerando inconsistências nos dados de tempo captados pelo sistema de RFID, uma vez que as etiquetas não podiam ser identificadas corretamente. Dessa forma foi mantida a configuração inicial com movimentação de dois pallets.

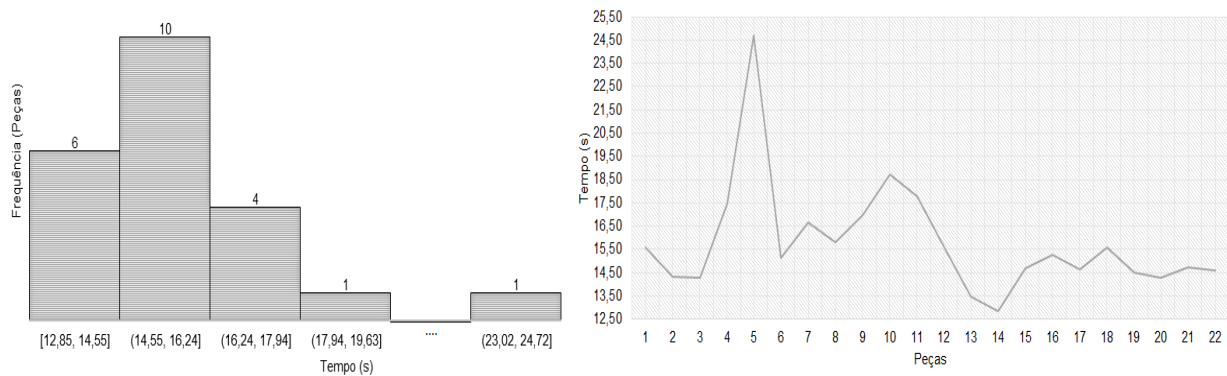
Na Tabela 5 pode-se perceber nos dados de tempo, detalhados com letras vermelhas em negrito, os eventos ou anormalidades que ocorreram no último experimento observados pela variação dos processos de manufatura das estações, executados com peças que tem cor, dimensões e materiais diferentes. Os pontos de anormalidade no Teste 4 são melhor explicados na Figura 46, Figura 47 e

Figura 48, que ajudam a esclarecer o que de fato ocorreu durante a produção das peças.

Na Figura 46 percebe-se um tempo acima da média na produção das quarta e quinta peças, vermelha e preta, que tem médias de 16,990s e 16,424s, respectivamente, na estação 1. Eventos que ocorreram devido a um tempo de percurso maior do que o normal para entrega da peça no pallet. O travamento parcial das peças no trilho que entrega a peça no pallet explica esses eventos.

Nos dois casos observa-se a interferência desses eventos no tempo total, que ficou maior do que a média de produção das peças vermelhas e pretas, 143,945 e 146,945s, respectivamente. Ambos os casos tiveram outros eventos que interferiram no tempo total de produção, na estação 3, devido a um maior tempo de manipulação do robô para a peça vermelha, e na estação 4, devido ao travamento da peça na esteira de seleção por cor para a peça preta. Cabe ressaltar ainda os eventos ocorridos na produção da décima e décima primeira peças, também, na estação 1, porém, com um impacto menor na média de tempo total de produção.

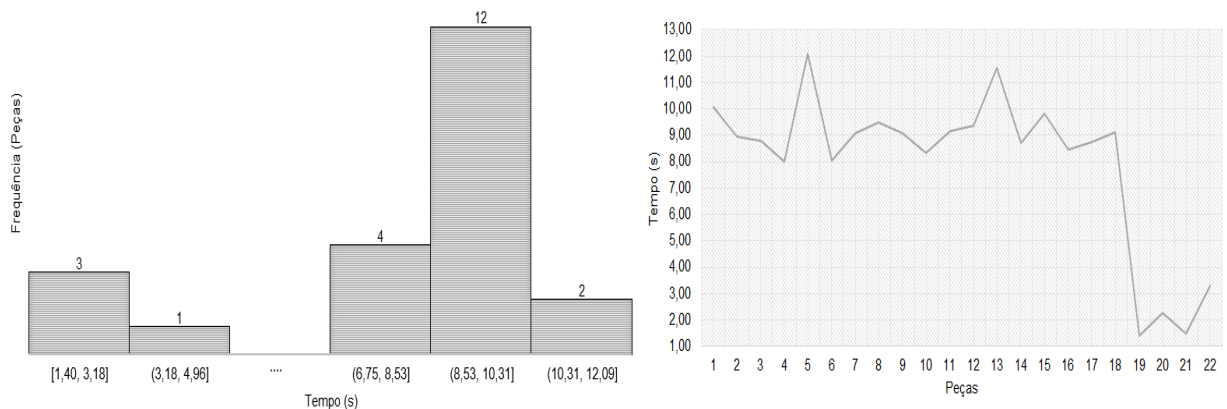
Figura 46 - Histograma e Histórico do Tempo de Produção de Peças da Estação 1 para o Teste 4.



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 47 observa-se um tempo abaixo da média na produção das quatro últimas peças. Isso ocorreu devido o bit do sensor de presença da peça na esteira de escolha por cor ficar acionado mesmo sem a presença efetiva da peça.

Figura 47 - Histograma e Histórico do Tempo de Produção de Peças da Estação 4 para o Teste 4.



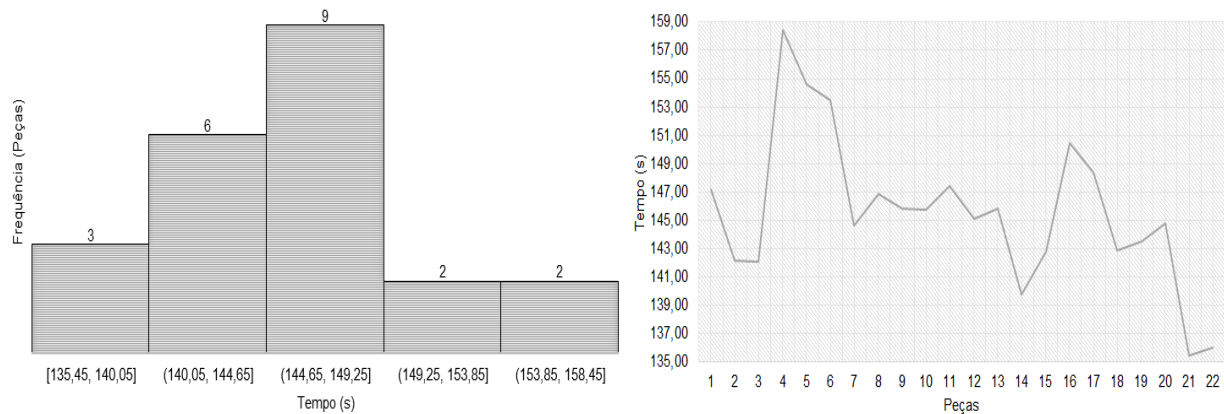
Fonte: Autoria Própria.

Para corrigir essa anomalia teríamos que “resetar” o CLP, porém, como o teste estava em andamento optou-se pela continuação do processo dessa forma. Apesar dos eventos ocorrerem para as quatro últimas peças, observa-se um impacto maior para o tempo produção das duas últimas peças, branca e vermelha, em relação à média de tempo total dessa estação, 8,492s e 7,961, e também, para a média do tempo total de produção, 146,306s e 143,945s, respectivamente.

Na

Figura 48 observa-se um tempo de processo total com uma tendência à normalidade, com pontos que podem ser tratados na busca da melhora do tempo de produção. No entanto, observa-se uma distribuição dos eventos ou problemas do processo, aparentemente devido a variação dos processos de produção e adaptação do sistema para a produção de diferentes tipos de peças.

Figura 48 - Histograma e Histórico do Tempo Total de Produção das Peças para o Teste 4.



Fonte: Autoria Própria.

Destacam-se na

Figura 48 os tempos totais de produção das quarta (vermelha), quinta (preta), sexta (branca) e décima sexta (vermelha) peças, maiores do que a média do tempo total de produção para cada tipo de peça, assim como das duas últimas peças, dessa vez menores do que a média do tempo total de produção, agora, para peças branca e vermelha.

Conforme observou-se na Tabela 5, alguns eventos destacados não foram objeto de análise. A sexta peça teve um tempo maior do que a média de produção da estação 2 (de 43,446s, para peças brancas), devido a um problema de manipulação da garra de transporte da peça nessa estação. A décima terceira peça teve um tempo maior do que a média da estação 4 (de 7,961s, para peças vermelhas), devido ao travamento da peça na esteira de escolha por cor. Esses eventos tiveram um impacto menor do que os descritos no tempo médio total de produção, porém, sua

observação individual pode trazer informações importantes para o desenvolvimento de ações de manutenção ou melhoria contínua da qualidade.

Vale destacar a impossibilidade de comparar os tempos totais de produção das diferentes peças, uma vez que cada peça possui processo de produção com tempos diferentes nas estações 2, 3 e 4, relacionados as suas características físicas. Assim, observou-se cada anomalia em relação à média de tempo de produção de cada estação, ou mesmo, a média de tempo total de produção de cada tipo de peça.

Observou-se no Teste 4 que os eventos ou anomalias que ocorreram nos testes individuais relatados anteriormente aparecem distribuídos nesse experimento, comprovando as sugestões de intervenção de manutenção anteriores. Ou seja, as mesmas características observadas nos dados de tempo dos testes anteriores podem ser observadas nesse teste 4, realizado com todas as peças sendo produzidas ao mesmo tempo.

Os testes executados com seus eventos, anomalias e característica especiais mostraram que os dados coletados são fiéis ao estado atual, funcionamento, ou mesmo, às anomalias do sistema de produção, validando o desenvolvimento da solução de monitoramento.

5.2 CÁLCULOS ESTATÍSTICOS

Utilizando-se todos os dados obtidos nos experimentos dos Testes 1, 2, 3 e 4 foram feitos cálculos estatísticos dos valores de Média dos tempos de produção de cada estação, dos tempos de transporte entre estações e do tempo de produção total de peças, os quais são apresentados na Tabela 6. A Tabela 7 apresenta os cálculos estatísticos do Desvio Padrão dos tempos de produção de cada estação, dos tempos de transporte entre estações e do tempo de produção total de peças. No Teste 1 observa-se uma média de tempo maior que as demais devido a anomalia mostrada na Figura 32, ocorrida devido a peça ficar travada na esteira de seleção por cor dessa estação. No Teste 3 observa-se uma diferença de tempo médio de processamento na Estação 3, pois para as peças brancas foram configurados menos ações ou processos.

As médias calculadas apresentam uma tendência central a ser considerada para a tomada de decisão quanto aos eventos ou anomalias visualizadas nos testes apresentados anteriormente, uma vez que pelos testes apresentados os valores obtidos na Tabela 6 são coerentes e representam a entrada típica do conjunto de dados dos experimentos. Assim, valores muito distantes da média sugerem intervenções pontuais na operação e ações de manutenção nos dispositivos do FMS. Como visto nos testes anteriores os valores mostraram as características de funcionamento do sistema de produção, incluindo os seus problemas pontuais.

Tabela 6 - Médias de Tempo (s) das Estações, Entre Estações e de Produção Total para as diferentes Peças e Testes.

Teste	Peça	Estação (s)				Total	Entre Estações (s)		
		1	2	3	4		1/2	2/3	3/4
1	vermelha	16,990	42,725	36,145	9,087	145,462	7,600	16,498	16,416
2	preta	16,424	44,763	36,035	8,849	145,322	6,292	16,498	16,462
3	branca	16,508	43,446	32,808	8,358	140,950	6,52	17,014	16,296
4	vermelha	15,284	44,763	36,631	7,961	143,945	6,324	16,534	16,447
	preta	15,785	43,571	39,922	7,526	146,476	6,237	16,752	16,684
	branca	16,337	43,508	38,489	8,492	146,306	6,523	16,689	16,269

Fonte: Autoria Própria.

Observa-se na Tabela 7 valores de Desvio Padrão bastante baixos relacionados aos tempos de transporte entre as estações, o que é justificado pela baixa variabilidade desse processo. Sendo assim, os valores de tempo adquiridos ficam muito próximos do valor médio, a não ser pelas anomalias ocorridas no Teste 1 entre a Estação 1 e 2 onde o pallet ficou preso na esteira.

Nas estações em que ocorreram mais anomalias e que consequentemente levaram a tempos mais distantes da média de tempo do processo, observam-se Desvio Padrão maiores. Pode-se sugerir que todos os testes que tiveram Desvio Padrão maior que um sejam tratados na busca de sanar as anomalias, pois comprometem consideravelmente o tempo de produção total.

Tabela 7 - Desvio Padrão dos Tempos (s) de Produção e Transporte de Peças nos Testes

Teste	Peça	Estação (s)				Total	Entre Estações (s)		
		1	2	3	4		1/2	2/3	3/4
1	vermelha	0,659	1,645	0,995	5,004	7,080	4,684	1,063	0,328
2	preta	0,624	6,21	0,842	2,597	6,489	0,429	0,36	0,305
3	branca	2,213	2,543	1,877	0,711	3,323	0,407	0,632	0,374
4	vermelha	0,891	3,998	0,44	2,911	5,387	0,351	0,269	0,321
	preta	1,732	1,186	5,137	3,423	6,34	0,393	0,271	0,483
	branca	4,001	3,029	3,837	2,976	4,775	0,234	0,543	0,393

Fonte: Autoria Própria.

Os valores de desvio padrão da Tabela 7, também, demonstram a coerência dos dados adquiridos pelo sistema de monitoramento do FMS. Mesmo nos testes que apresentaram anomalias percebemos as características reais do sistema de produção. Percebe-se que o desvio padrão dos tempos de transporte entre as estações tende a ter a menor variabilidade em relação à média. Em contrapartida para os tempos entre as Estações 1 e 2 percebe-se um alto valor, o qual

já foi demonstrado na Figura 36 quando foi explicado que o pallet ficou preso na esteira de transporte, apresentando grande variabilidade nesse tempo de transporte

Observa-se nos cálculos dos valores estatísticos de média e desvio padrão dos tempos que os dados adquiridos pela solução de monitoramento usando RFID e IoT podem servir de referência para quantificar erros ou anormalidades na operação do FMS. Dessa forma, seria possível considerar os valores distantes da média e com desvios padrão maiores que 1 como possíveis eventos de anomalia para a geração de alarmes para atuação do operador do sistema. Adicionalmente o mesmo poderia ser usado num sistema de melhoria contínua, considerando a relevância e representatividade das informações coletadas pelo sistema de monitoramento do FMS.

5.3 CÁLCULO DO ÍNDICE OEE

De forma a complementar o sistema de monitoramento do FMS, e para exemplificar a sua aplicabilidade, o índice OEE foi calculado para cada teste. Assim, o índice OEE foi calculado em relação à operação de cada estação e em relação à produção de peças para todo o FMS. Para o cálculo do Índice de Qualidade impôs-se, aleatoriamente, um bit de qualidade ou não qualidade da peça nas Estações 2 e 3, que efetivamente as processam.

No Teste 1, cujos índices são mostrados na Tabela 8, percebemos que a Estação 4 tem um índice de Disponibilidade muito baixo uma vez que é a última estação do FMS, e, portanto, fica muito tempo aguardando para poder executar sua função, separar as peças por cor.

Tabela 8 - Índices OEE das Estações do FMS para o Teste 1

Índices	Estações				FMS
	1	2	3	4	
Performance	93,39	96,21	88,31	87,37	83,17
Qualidade	100,00	86,67	86,67	100,00	73,33
Disponibilidade	23,33	32,34	28,40	5,77	96,66
OEE	21,79	26,97	21,74	5,04	58,95

Fonte: Autoria Própria.

O Teste 2, cujos Índices OEE são apresentados na Tabela 9, e o Teste 3, que tem os índices OEE apresentados na Tabela 10, apresentam características muito próximas das verificadas no Teste 1, a não ser pelas diferenças impostas pelas anomalias apresentadas em cada

estação nos diferentes testes. Percebe-se ainda um baixo índice de disponibilidade da Estação 4, por ser a última estação do FMS.

Tabela 9 - Índices OEE das Estações do FMS para o Teste 2.

Índice OEE - Teste 2					
Índices	Estações				FMS
	1	2	3	4	
Performance	89,54	96,25	96,70	89,54	92,73
Qualidade	100,00	86,36	81,82	100,00	72,73
Disponibilidade	14,01	31,91	24,84	6,19	99,29
OEE	12,55	26,52	19,65	5,54	66,96

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 10 - Índices OEE das Estações do FMS para o Teste 3.

Índice OEE - Teste 3					
Índices	Estações				FMS
	1	2	3	4	
Performance	93,06	96,67	92,40	92,58	99,19
Qualidade	100,00	81,82	81,82	100,00	68,18
Disponibilidade	13,09	31,78	22,46	5,96	94,68
OEE	12,18	25,13	16,98	5,52	64,03

Fonte: Autoria Própria.

Os resultados do índice OEE para o Teste 4 são apresentados na Tabela 11. Nesse teste, os três tipos de peças (vermelhas, pretas e brancas) foram produzidas com dois pallets para movimentação das peças e produção em diferentes estações ao mesmo tempo.

Tabela 11 - Índices OEE das Estações do FMS para o Teste 4.

Índice OEE - Teste 4					
Índices	Estações				FMS
	1	2	3	4	
Performance	90,83	91,83	87,31	83,41	91,08
Qualidade	100,00	91,30	82,61	100,00	73,91
Disponibilidade	28,97	59,16	46,22	18,69	99,81
OEE	26,31	49,60	33,34	15,59	67,20

Fonte: Autoria Própria.

Verifica-se na Tabela 11 que o Teste 4 apresentou melhores índices do OEE, principalmente em cada estação, uma vez que cada estação fica menos tempo parada. Observa-se também uma melhora significativa no Índice de Disponibilidade da Estação 4, pois esta passa a receber mais peças em tempos cada vez menores.

Analisando-se os resultados do índice de Performance, verifica-se os valores do Teste 1 e 4 são menores em relação ao Teste 2 e 3, o que é justificado pela maior quantidade de anomalias ocorridas e descritas nesses testes. Portanto, observa-se que, entre as estações de trabalho do FMS, a comparação do índice de Performance ajuda a demonstrar qual estação esteve mais sujeita às anormalidades.

Observou-se uma maior representatividade do índice de Disponibilidade quando verificamos os seus valores no Teste 4. Em todas as estações e no FMS ocorreu o aumento do seu valor, justificado pela inserção de mais um pallet no processo, o que fez com que as estações se mantivessem ocupadas por mais tempo, ou seja, as estações e o FMS ficaram mais eficientes.

5.4 INTERFACE DE APRESENTAÇÃO

O sistema de monitoramento da produção e da eficiência desenvolvido habilita a aplicação da IoT ao disponibilizar online, as informações obtidas com o uso do RFID, para qualquer tipo de plataforma, como smartphones, tablets ou computadores, tornando os dados de monitoramento acessíveis em tempo real, para qualquer ponto conectado à rede e/ou Internet. Para facilitar a visualização dos dados na Web, o desenvolvimento de representações gráficas foi necessário para que o usuário possa observar as informações e resultados apresentados na seção anterior. Para isto desenvolveu-se, por meio de codificação HTML e JavaScript, uma interface de apresentação, disponibilização dos dados em nuvem e armazenamento dos dados em banco de dados por meio do software ScadaBR. No ScadaBR toda informação está relacionada com sua origem ou como são denominados *Data Sources*, ou seja, fontes de informação. Os *Data Sources* possuem *Data Points*, que são variáveis.

É importante reiterar que o desenvolvimento de telas gráficas (programação Web), como as descritas neste subitem, não foram foco de desenvolvimento desse projeto. Portanto, mesmo que acreditemos que seja possível uma melhoria visual das telas desenvolvidas, informamos que as mesmas foram desenvolvidas de forma simplificada somente com o objetivo de visualização em dispositivos de Internet dos dados disponíveis no ScadaBR e validação do desenvolvimento de uma interface de apresentação dos dados. No entanto, como os dados estão disponíveis no

banco de dados do ScadaBR da solução, uma programação Web avançada estaria disponível para implementação, até externamente ao ScadaBR.

Todos os dados coletados pelo sistema de monitoramento como as informações dos tempos calculados, valores estatísticos e índices que compõe o OEE estão disponíveis no banco de dados do ScadaBR. Esses dados foram estruturados em tabelas e gráficos, da mesma forma que apresentados na seção anterior, e disponibilizados nas telas de visualização criadas no ScadaBR. Dessa forma, essas informações podem ser facilmente acessadas em qualquer dispositivo que permita o carregamento da aplicação do ScadaBR num browser de Internet.

Para a visualização dos dados da solução foram criadas quatro telas. As imagens da Figura 49 a Figura 51 correspondem as telas do ScadaBR obtidas com a realização do experimento com as três peças diferentes.

Figura 49 – Tela de Informação Geral sobre o Monitoramento dos Tempos (s) de Produção no ScadaBR



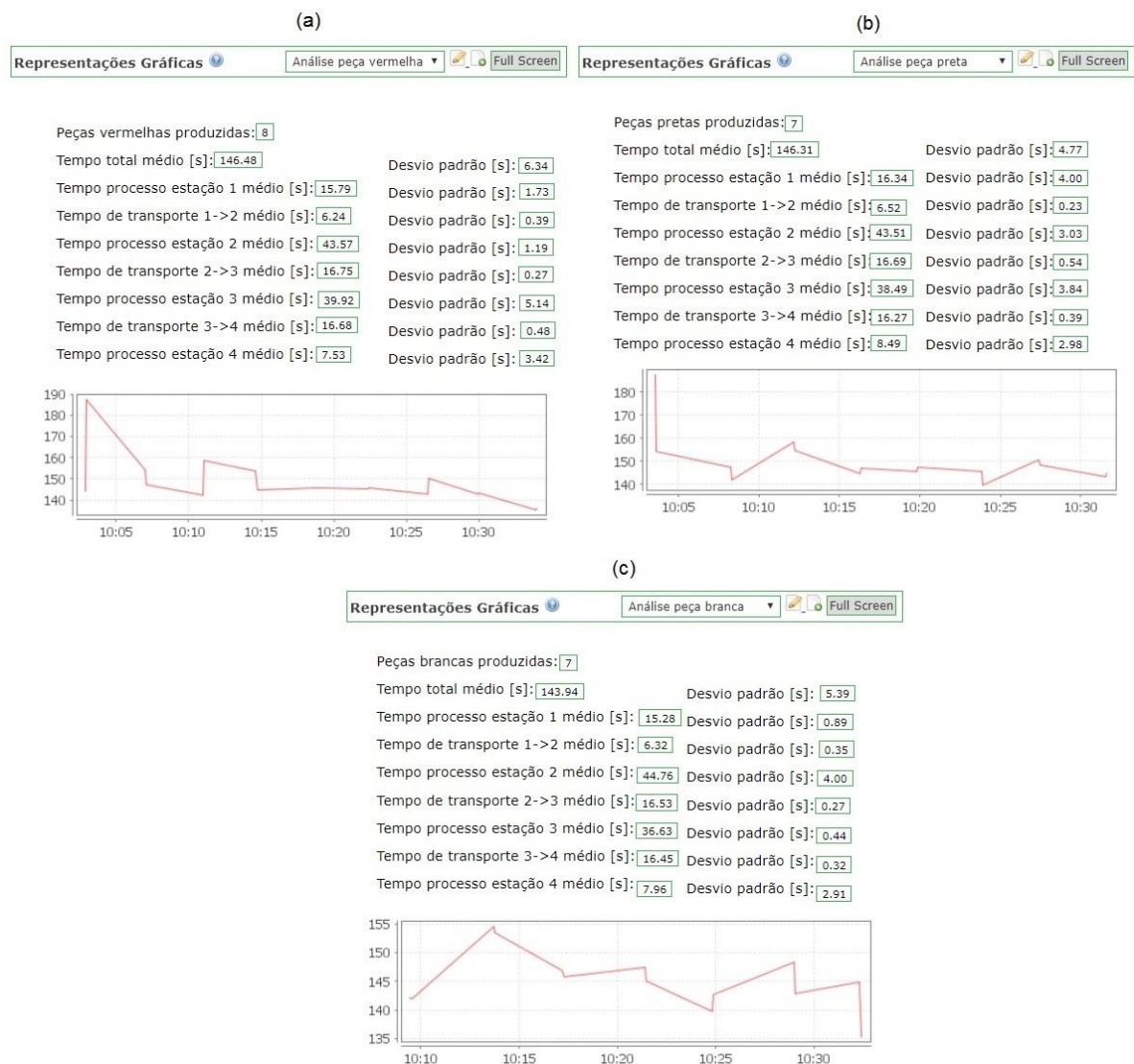
Fonte: Autoria Própria.

A primeira (Tela Inicial) corresponde a uma tela principal de visualização geral da operação do FMS, mostrada na Figura 49. Nessa tela são apresentadas de forma compilada a última ocorrência, ou seja, os dados sobre a última peça produzida no FMS. É possível visualizar

os dados sobre o tipo de peça (preta, vermelha e branca), qual o pallet que carregava a peça e os dados sobre os tempos de produção nas estações, tempos de transporte entre as estações e tempo total de produção da peça no FMS. Adicionalmente, esta tela apresenta um gráfico contendo um histórico no tempo dos valores dos tempos de produção total das peças produzidas, diferenciando por cores as diferentes peças produzidas no FMS.

As telas do ScadaBR com as informações sobre a produção das peças no FMS são mostradas na Figura 50. Nessas telas são apresentadas as informações sobre os valores médios e desvios padrão dos tempos de produção nas estações, tempos de transporte entre as estações e tempo total de produção da peça no FMS. Essas telas são iguais e apresentam os mesmos dados, somente diferenciando por tipo de peça.

Figura 50 – Tela de Informação sobre Valores Médios e Desvios Padrão dos Tempos (s) de Produção e de Transporte para as Peças Vermelhas (a), Pretas (b) e Brancas (c).



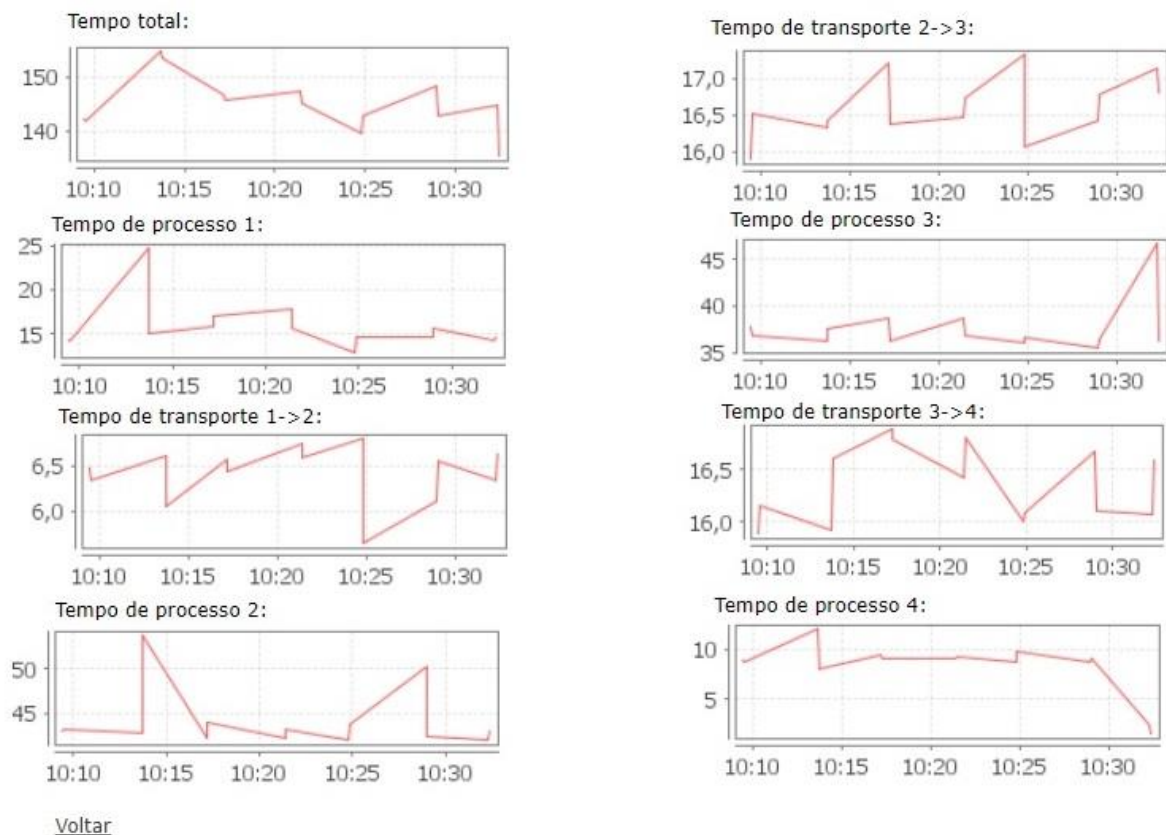
Fonte: Autoria Própria.

Adicionalmente, estas telas da Figura 50 apresentam uma informação sobre a quantidade de peças por tipo específico (preta, vermelha ou branca) produzidas e um gráfico contendo um histórico no tempo dos valores dos tempos de produção total dessas peças produzidas.

Verifica-se que as informações apresentadas nos gráficos de históricos de tempo na descrição dos testes podem ser visualizadas na plataforma gráfica utilizada nesse trabalho, o que possibilita a sua disponibilidade para operadores e gestores de produção em diferentes dispositivos com suporte a um browser de Internet, como tablets ou smartphones.

A Figura 51 apresenta a tela do ScadaBR com as informações gráficas sobre o tempo de processo em cada estação e o tempo de transporte entre as estações do FMS. Contar com todas as informações de tempo de processo em uma única tela pode ajudar o operador em decisões pontuais para ajuste do FMS e ainda formar a base de um relatório gerencial com a comparação dos tempos de processo para diferentes peças, turnos, equipes, etc.

Figura 51 – Tela de Informações sobre o Tempo de Processo em cada Estação e o Tempo (s) de Transporte entre as Estações do FMS



Fonte: Autoria Própria.

A utilização da ferramenta de código aberto ScadaBR como solução relacionada à IoT, facilitou a integração entre hardware e software, proporcionando interoperabilidade à solução de monitoramento de sistemas de manufatura usando RFID e IoT. A comunicação via Web Service padronizada sob a Internet utilizando o protocolo HTTP no padrão SOAP traz a possibilidade de a aplicação “conversar” com diversos outros recursos e aplicativos compatíveis com Web, trazendo interconectividade ao sistema desenvolvido.

A interface gráfica criada no ScadaBR, apesar de simples, permitiu visualizar os dados do FMS de maneira compreensível e útil para uma análise dos tempos de produção da peça obtidos com a solução de monitoramento desenvolvida. Apesar dessas vantagens obtidas com o uso do ScadaBR, constatou-se certa dificuldade de trabalhar/desenvolver uma programação visual mais apurada usando os recursos disponíveis na plataforma ScadaBR, se mostrando um fator limitante da solução.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas tabelas e gráficos apresentados na descrição e análise dos testes é possível observar a relevância e aplicabilidade dos dados aquisitados pelo sistema de monitoramento do FMS. Juntando-se essas informações aos cálculos de média e desvio padrão torna-se possível sugerir melhorias, manutenções, ajustes e ações operacionais pontuais no sistema. Anomalias ou problemas no processo podem ser visualizados nos histogramas pela separação dos dados da tendência central ou pela variação nos gráficos de histórico de tempo de produção. Os testes realizados mostraram resultados semelhantes em termos de funcionamento normal e anomalias, o que sugere que o sistema de monitoramento do FMS consegue captar e apresentar informações importantes sobre a realidade de funcionamento do mesmo.

Adicionalmente, índice de OEE conseguiu demonstrar que o uso de mais um pallet no processo de produção melhora a performance no sistema em cada estação, e também, para todo o FMS. Se não fosse pela utilização do índice OEE, a simples visualização das tabelas e gráficos de tempos de produção não permitiriam perceber a melhoria da performance individual das estações com a inserção de mais um pallet.

Dessa forma, a solução desenvolvida demonstrou potencial na busca da melhoria contínua do processo de produção e mitigação dos eventos ou anomalias verificadas durante os testes. A identificação dessas anomalias mostrou que o monitoramento do sistema FMS foi representativo quanto a demonstração do seu funcionamento nas situações normais de operação, ou mesmo, na observação dos problemas do processo produtivo.

Sendo assim, os experimentos indicam que o operador pode observar os erros ou anomalias do processo atuando antecipadamente e evitando a propagação dos mesmos para outras peças, assim, correções de lentidão da garra pelo ajuste do ar comprimido, ou mesmo, pequenos ajustes mecânicos relacionados às dimensões das peças podem ser executados em tempo hábil o suficiente para evitar grandes variações nos tempos médios de produção.

A interface de apresentação com o ScadaBR mostrou ser capaz de oferecer a visualização em tempo real dos dados do processo e ainda permitir a formulação posterior de relatórios com os dados históricos de toda a produção. No entanto, pensando na evolução desse trabalho e considerando a limitação de desenvolvimento visual Web no ScadaBR, recomenda-se a criação de uma aplicação externa para visualização customizada dos dados com comunicação via API SOAP.

6 CONCLUSÕES

Este projeto descreveu a integração de RFID e IoT para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento do tempo de produção e da eficiência de um sistema de manufatura flexível. É possível concluir por meio dos resultados obtidos de testes de operação que o sistema oferece dados representativos e relevantes quanto ao funcionamento do FMS, tanto na operação normal como nos eventuais problemas e anomalias ocorridas durante o desenvolvimento do processo produtivo.

O uso proposto neste projeto para a tecnologia RFID, para o monitoramento do tempo de produção e de transporte de peças e da eficiência de um sistema flexível de manufatura (FMS), através de etiquetas fixadas em pallets de movimentação da esteira, se diferencia da tradicional aplicação do RFID para identificação e demonstra a flexibilidade de uso e potencial de inovação/aplicação dessa tecnologia em sistemas de manufatura. O uso do RFID se mostrou eficiente e adequado, permitindo a leitura e identificação das etiquetas alocadas nos pallets e peças do FMS, de forma confiável e na velocidade requerida, e viabilizando o cálculo do tempo de produção da peça na estação analisada.

Resultados estatísticos (média, desvio padrão e histogramas) do tempo de produção de cada peça apresentaram uma tendência central, considerada para a tomada de decisão quanto à identificação de eventos ou anomalias visualizadas nos experimentos. Além disso, verificou-se que os resultados dos tempos calculados estão corretos e condizentes com valores medidos manualmente para fins de comparação.

As anomalias ocorridas durante a operação dos processos no FMS comprometem significativamente o tempo total de processo e a sua variação. Estações de trabalho com maior incidência de anomalias, que conseqüentemente levaram a tempos de produção mais distantes da média de tempo do processo, tiveram valores de tempo que se distanciavam da média em valores maiores do que 1 desvio padrão, valor definido para a identificação e quantificação de falhas de operação. Essas falhas identificadas podem ser informadas por meio de alarmes para atuação de um operador ou através de relatório gerenciais para posterior tratamento para a melhoria contínua dos tempos de processo.

Os dados calculados relacionados ao indicador OEE permitiram conhecer a dinâmica de operação do FMS. Através do OEE, foi verificada uma melhora significativa no índice de Disponibilidade da Estação 4 quando esta passa a receber mais peças em menores intervalos de tempo, devido a inserção de mais um pallet de movimentação de peças no FMS. Em relação ao índice de Performance, verificou-se que os valores dos Testes 1 e 4 são menores que os dos

Testes 2 e 3, o que é justificado pela maior quantidade de anomalias ocorridas e descritas nesses testes. Portanto, conclui-se que é possível inferir qual estação de trabalho do FMS esteve mais sujeita às anormalidades de operação através da comparação do índice de Performance.

A implementação de uma biblioteca no LabVIEW relacionadas às funções/comandos da API de comunicação via Ethernet TCP/IP do leitor RFID foi realizada de forma correta e robusta, viabilizando a comunicação entre leitor RFID e o computador que é parte essencial para o projeto proposto. Além disso, essa biblioteca pode ser reutilizada para futuras implementações com o leitor RFID industrial usado no projeto (e auxiliará nas atividades propostas para a continuação do projeto).

A utilização da ferramenta ScadaBR como solução relacionada à IoT, provendo as atividades de middleware e interface de apresentação facilitou a integração entre hardware e software e o desenvolvimento da solução. Essa utilização proporcionou interoperabilidade e interconectividade à solução de monitoramento de processos de manufatura usando RFID, ao conectá-la na Internet e deixando-a totalmente acessível através de um Web Service. A comunicação via Web Service entre o software criado no LabVIEW e o ScadaBR se mostrou flexível e adequada, permitindo o envio dos dados do processo para a interface de apresentação vinculada à IoT. A padronização da comunicação sob a Internet utilizando o protocolo HTTP no padrão SOAP, traz a possibilidade de a aplicação “conversar” com diversos outros recursos e aplicativos compatíveis com Web Service SOAP e HTTP, trazendo interconectividade ao sistema desenvolvido.

A interface gráfica criada no ScadaBR, apesar de simples, permitiu visualizar os dados do processo de maneira compreensível e útil para uma análise dos tempos de produção das peças obtidos com a solução de monitoramento desenvolvida. Apesar disso, verificou-se uma limitação com o uso do ScadaBR relacionado à dificuldade de trabalhar/desenvolver uma programação visual mais apurada usando os recursos disponíveis na ferramenta.

O sistema de monitoramento desenvolvido habilitou a aplicação da IoT ao disponibilizar online, as informações de tempos de produção de peças coletados com o uso do RFID, para qualquer tipo de plataforma, como *smartphones*, *tablets* ou computadores, tornando os dados de monitoramento acessíveis em tempo real, para qualquer ponto conectado à rede e/ou Internet.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A VOZ DA INDÚSTRIA (2017). Canal de conteúdo da FEIMEC (Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos). Acesso em: Julho, 2018.

AHUJA, I.P.S.; KHAMBA, J.S. (2008). "Total productive maintenance: literature review and directions", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25 Iss: 7, 709 – 756.

AKBARI, A.; MIRSHAHI, S.; HASHEMIPOUR, M., (2015). "Application of RFID system for the process control of distributed manufacturing system," in *Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2015 IEEE 28th Canadian Conference on*, vol., no., pp.497-501, 3-6 May.

BAILEY, D.; WRIGHT, E. (2003) *Practical Scada for Industry*. Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford, UK.

BERGER, R. (2014). *Industry 4.0 – The new industrial revolution*, Strategy Consultants, 2014. Disponível em: <https://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Industry_4_0_20140403.pdf>. Acesso em: Novembro, 2015.

BUSSO, C. M.; MIYAKE, D. I., (2012). *Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica*, USP, São Paulo, SP, Brasil.

Ding, K; Jiang, P. (2018). RFID-based production data analysis in an IoT-enabled smart job-shop, *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 5, no. 1, pp. 128-138, Jan. 2018.

DIVYA, K.; JEYALATHA, S., (2012). "Key technologies in cloud computing," in *Cloud Computing Technologies, Applications and Management (ICCCTAM), 2012 International Conference on*, vol., no., pp.196-199, 8-10 Dec.

EVDOKIMOV, S.; FABIAN, B.; GUNTHER, O.; IVANTYSYNOVA, L.; ZIEKOW, H. (2010). "RFID and the Internet of Things: Technology, Applications, and Security Challenges". *Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management* Vol. 4, No. 2 (2010) 105–185.

FIT – Instituto de Tecnologia (2018). Disponível em: <www.fit-tecnologia.org.br>. Acesso em: Julho, 2018.

FUNDAÇÃO CERTI (2018). *Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras*. Disponível em: <http://www.certi.org.br/>. Acesso em: Julho, 2018.

GARZA-REYES; J. A.; BARBER, S. E.; KEVIN D., SORIANO-MEIER, H. (2010). "Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: A relationship analysis", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 27 Iss: 1, 48 – 62.

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANIWAMI, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems* v.29, p.1645-1660, 2013.

IANNONE, R.; NENNI, M. E. (2015). "Managing OEE to Optimize Factory Performance", *IntechOpen*, 2015.

HEGAZY, T.; HEFEEDA, M., (2015). "Industrial Automation as a Cloud Service," in *Parallel and Distributed Systems*, *IEEE Transactions on*, vol.26, no.10, pp.2750-2763, Oct. 1.

INFINITY 510 (2015a). Sirit RFID Reader Model Infinity 510 Users Guide. Disponível em: http://www.finn-id.fi/sites/default/files/infinity_510_users_guide_v3.0.pdf. Acesso em: Outubro, 2015.

___ (2015b). Sirit RFID Reader Model Infinity 510 Protocol Reference Guide. Disponível em: http://www.finn-id.fi/sites/default/files/infinity_510_prot_ref_gd_v3.0.pdf. Acesso em: Outubro, 2015.

JIA; X., FENG, Q. FAN, T; LEI, Q. (2012). "RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT)," in *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, 2012 2nd International Conference on, vol., no., pp.1282-1285, 21-23 April.

JORDÁN, S.; HAIDEGGER, T.; KOVÁCS, L. I.; FELDE, I. RUDAS (2013). 'The rising prospects of cloud robotic applications, in: *Proceedings of IEEE 9th International Conference on Computational Cybernetics (ICCC)*', IEEE, pp.327–332.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Disponível em: <http://www.acatech.de/de/publikationen/stellungnahmen/kooperationen/detail/artikel/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-40-final-report-of-the-industr.html>.

KAMIGAKI, T (2017). Object-Oriented RFID with IoT: A Design Concept of Information Systems in Manufacturing, *Electronics* 2017.

KANG, H.; LE, M.; TAO, S. (2016). Container and Microservice Driven Design for Cloud Infrastructure DevOps. 2016 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E).

KUBO, (2014). "The Research of IoT Based on RFID Technology," in Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2014 7th International Conference on, vol., no., pp.832-835, 25-26 Oct.

KUSHIDA, T.; PINGALI, G.S. (2014). "Industry Cloud - Effective Adoption of Cloud Computing for Industry Solutions," in Cloud Computing (CLOUD), 2014 IEEE 7th International Conference on, vol., no., pp.753-760, June 27-July 2.

LOEBBECKE, C., PALMER, J., HUYSKENS, C., (2006) 'RFID's potential in the fashion industry: a case analysis. In: Proceedings of the 19th', Bled eConference, Slovenia.

LU, B.H., BATEMAN, R.J. AND CHENG, K. (2006) 'RFID enabled manufacturing: fundamentals, methodology and applications', Int. J. Agile Systems and Management, Vol. 1, No. 1, pp.73–92.

LU, Q.; SHENG, B., (2015). "Design and Implementation of Monitoring and Management System for Discrete Manufacturing Process Based on IOT Technology", International Conference on Civil, Materials and Environmental Sciences (CMES 2015). Published by Atlantis Press.

MACDOUGALL, W. (2014). Industrie 4.0 - Smart Manufacturing for the Future Germany Trade & Invest. Disponível em: <<https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Service/Publications/business-information,t=industrie-40--smart-manufacturing-for-the-future,did=917080.html>>.

NAKAJIMA, S. (1989). TPM Development Program – Implementing Total Productive Maintenance. Cambridge: Productivity Press dos EUA, 1989.

NGAI, E.W.T.; CHAU, D.C.K.; POON, J.K.L.; CHAN, A.Y.M.; CHAN, B.C.M.; WU, W.W.S. (2012). Implementing an RFID-based manufacturing process management system: Lessons learned and success factors, Journal of Engineering and Technology Management, Volume 29, Issue 1, January–March 2012, Pages 112-130.

OEE FOUNDATION. Disponível em <http://www.oeefoundation.org/>. Acesso em: Julho, 2018.

RFID CoE (2015). Centro de Excelência em RFID. Disponível em: <http://www.rfid-coe.com.br/>. Acesso em: Outubro, 2015.

SAEZ, M., MATURANA, F., BARTON, K., TILBURY, D. (2015). "Real-Time Hybrid Simulation of Manufacturing Systems for Performance Analysis and Control." 2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), pp.527-531, Aug 24-28.

SAUTER, T.; SOUCEK, S.; KASTNER, W.; DIETRICH, D., (2011). "The Evolution of Factory and Building Automation," in *Industrial Electronics Magazine, IEEE*, vol.5, no.3, pp.35-48, Sept.

SCADABR (2018). Sistema supervisorio Web em licença Open Source. Disponível em: < <http://www.scadabr.com.br/>>. Acesso em: Julho, 2018.

STANKOVIC, J.A., (2014). "Research Directions for the Internet of Things," in *Internet of Things Journal, IEEE*, vol.1, no.1, pp.3-9, Feb.

SUNDMAEKER, H.; GUILLEMIN, P.; FRIESS, P.; WOELFFLÉ, S. (2010). Vision and challenges for realising the Internet of Things, Cluster of European Research Projects on the Internet of Things. CERP IoT.

WANT, R. (2016). "An introduction to RFID technology," in *Pervasive Computing, IEEE*, vol.5, no.1, pp.25-33, Jan.-March.

YANG, Z.; XU, W.; WONG, P.; WANG, X. (2015). "Modeling of RFID-Enabled Real-Time Manufacturing Execution System in Mixed-Model Assembly Lines", Hindawi Publishing Corporation, *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2015, 15 pages.

ZUEHLKE, D. (2010). Smart Factory—Towards a factory-of-things, *Annual Reviews in Control*, Volume 34, Issue 1, April 2010, Pages 129-138.

ZULKIFLI, C. Z.; NOOR, N. M.; ALI, A. Z. M.; SEMUNAB, A. N. (2016). "Utilizing Active RFID On Wireless Sensor Network Platform For Production Monitoring", *Jurnal Teknologi*, 78:2 (2016) 63–72, www.jurnalteknologi.utm.my, eISSN 2180–3722.