

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ÁTILA MARTINS LUCAS

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DA
PRODUÇÃO DE FITA ADESIVA CONTEMPLANDO OS CONCEITOS DA
INDÚSTRIA 4.0**

Manaus, AM
2020

ÁTILA MARTINS LUCAS

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DA
PRODUÇÃO DE FITA ADESIVA CONTEMPLANDO OS CONCEITOS DA
INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção

Orientador(a): Prof. MSc. Francisco Assis Barros de Oliveira.

Manaus, AM
2020

ÁTILA MARTINS LUCAS

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DA
PRODUÇÃO DE FITA ADESIVA CONTEMPLANDO OS CONCEITOS DA
INDÚSTRIA 4.0**


Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 17 de novembro de 2020.

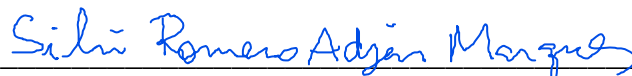
Banca examinadora:



Prof. MSc. Francisco Assis Barros de Oliveira – Orientador
Universidade do Estado do Amazonas



Prof. MSc. Nadja Polyana Felizola Cabete – Avaliadora
Universidade do Estado do Amazonas



Prof.^a MSc. Sílvia Romero Adjar Marques - Avaliadora
Universidade do Estado do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda graça concedida até hoje e a minha família que foi meu alicerce em todos os momentos e mostraram a grandiosidade do conhecimento.

Aos colegas do curso, no qual pudemos compartilhar momentos de grandes aprendizados e companheirismo.

Aos professores que compartilharam seus conhecimentos e experiências. Mas, agradeço em especial à Professora Msc. Nadja Polyana Cabete por toda dedicação ao curso de Engenharia de Produção desta Universidade e ao meu orientador por todo o auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Avanços tecnológicos têm produzido um grande crescimento na produtividade industrial desde o advento da Revolução Industrial e atualmente, vivencia-se uma quarta onda de avanços tecnológicos caracterizada por uma nova tecnologia industrial digital conhecida como Indústria 4.0. O presente trabalho evidencia algumas práticas de Indústria 4.0 voltadas para implantação de uma estrutura tecnológica e um sistema de monitoramento da produção e de parâmetros de máquinas com o intuito de preparar seu processo produtivo para o novo paradigma de fabricação contemplado pela indústria 4.0. Para isso, busca-se analisar, por meio de um estudo de caso, os impactos em ambiente fabril ao incorporar técnicas como IoT, Big Data e Analytics em uma indústria de fitas adesivas localizada no Polo Industrial de Manaus, cujas observações tiveram duração aproximada de nove meses. O Software e Hardware do sistema foram desenvolvidos por uma equipe de alunos e professores da Universidade do Estado do Amazonas. Com base nos resultados, conclui-se que o emprego dessa forma de controle e supervisão integrada, automatizada, compartilhada com base nos pilares da Indústria 4.0 permite a padronização da produção, a redução de desperdícios (espera e produtos defeituosos), a estabilidade no ritmo de produção e ações de gestão mais rápidas e eficazes.

Palavras-chave: Monitoramento da produção, Indústria 4.0, IoT, Big Data, Analytics.

ABSTRACT

Technological advances have produced great growth in industrial productivity since the advent of the Industrial Revolution. Currently, we are experiencing the fourth wave of technological advances characterized by a new digital industrial technology known as Industry 4.0. This paper highlights some Industry 4.0 practices aimed at implementing a technological structure and a monitoring system of production and machine parameters to prepare its production process for the new manufacturing paradigm contemplated by Industry 4.0. For this, we seek to analyze, through a case study, the impacts on manufacturing environment by incorporating techniques such as IoT, Big Data and Analytics in an adhesive tape industry located in Manaus Free Trade Zone, whose observations lasted approximately nine months. The Software and Hardware system were developed by a team of students and professors of Amazonas State University. Based on the results, it is concluded that the use of this form of integrated, automated, shared control and supervision based on the pillars of Industry 4.0 allows for standardization of production, reduction of waste (waiting and defective products), stability in the pace of production and faster and more effective management actions.

Keywords: Production monitoring, Industry 4.0, IoT, Big Data, Analytics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Pilares da Indústria 4.0	18
Figura 2– Estrutura de um sistema Ciber-Físico (CPS)	19
Figura 3– Framework do relacionamento da <i>Big Data</i> e Internet das Coisas	22
Figura 4- Primeiro tear automático	24
Figura 5- Casa Toyota	25
Figura 6 - Jumbo de Fita adesiva	33
Figura 7- Logs de Fita adesiva	33
Figura 8– Sequência de operação da máquina fatiadeiras 4 eixos fixos 1”	35
Figura 9 – Modelo do processo produtivo da máquina fatiadeiras 4 eixos fixos 1”	35
Figura 10 - Sequência de operação da máquina rebobinadeira 3”	36
Figura 11 –Modelo do processo produtivo da máquina rebobinadeira 3”	36
Figura 12 - Sequência de operação da máquina fatiadeiras 4 eixos 1”	37
Figura 13 - Modelo do processo produtivo da máquina fatiadeiras 4 eixos 1”	38
Figura 14 - Máquina automática rebobinadeira/cortadeira	39
Figura 15 – Modelo do processo produtivo da máquina rebobinadeira/cortadeira	39
Figura 16 – Exemplo de sensores/dispositivos usados	40
Figura 17 – Módulo IoT Wireless WISE da empresa Advantech	41
Figura 18 – Arquitetura do Sistema de Software proposto	42
Figura 19- Visão geral Dashboard	43
Figura 20 - Visão da Máquina em operação	43
Figura 21- Visão das telas de Módulo do operador	44
Figura 22 - Visão da tela terminal do operador	45
Figura 23 - Visão da Tela Pausa do operador	45
Figura 24 – Produtos com receitas das máquinas analisadas	47
Figura 25 – Treinamento do operador da máquina para entrada de dados no sistema	47
Figura 26 – Tempos de ciclos levantados na máquina Fatiadeira 4 eixos fixos 1”	48
Figura 27 – Tempos de ciclos levantados na máquina Rebobinadeira 3”	49
Figura 28 – Tempos de ciclos levantados na máquina Fatiadeira 4 eixos 1”	49
Figura 29 – Tempos de ciclos levantados na máquina Rebobinadeira/Cortadeira	49
Figura 30– Gestão visual do atingimento de meta por meio de TV	51
Figura 31– Ordem de serviço para manutenção	52
Figura 32 – Relatórios de Manutenção atuais da empresa analisada	53
Figura 33 – Tela do terminal do Operador para início e finalização de manutenção	54
Figura 34 – Relatório de Meta do Sistema	55
Figura 35 – Tela do sistema do Relatório de Manutenção	55
Figura 36 – Relatório Analytcs	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Links de integração entre Manufatura Enxuta e os pilares da Indústria 4.0.....	30
Quadro 2 - Componentes LM e sua correlação direta com Indústria 4.0.....	31
Quadro 3 - Características das Máquinas.....	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Tema	11
1.2 Problemática.....	11
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo Geral.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos.....	11
1.4 Limite de Estudo	12
1.5 Estrutura da Monografia	12
2. METODOLOGIA.....	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 Indústria 4.0.....	17
3.2 Sistema Toyota de Produção e Lean Manufacturing.....	24
3.3 Lean Manufacturing e Indústria 4.0.....	29
4. ESTUDO DE CASO	32
4.1 Apresentação da empresa.....	32
4.2 Mapeamento do Processo Produtivo.....	32
4.2.1 Processo da Máquina Fatiadeira 4 eixos fixos 1”	34
4.2.2 Processo da Máquina Rebobinadeira 3”	36
4.2.3 Processo da Máquina fatiadeiras 4 eixos 1”	37
4.2.4 Processo da Máquina Rebobinadeira/Cortadeira	38
4.3 Estrutura de hardware para coleta de dados de parâmetros de máquinas	39
4.4 Sistema integrado de dados de parâmetros de máquinas.....	41
4.5 Definição da Receita do Sistema por cronoanálise	46
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	50
6. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS.....	58
GLOSSÁRIO.....	62

1. INTRODUÇÃO

Avanços tecnológicos têm produzido um grande crescimento na produtividade industrial desde o advento da Revolução Industrial. A máquina a vapor e a força hidráulica movimentavam as fábricas na 1ª Revolução Industrial no século XIX, a eletrificação levou ao surgimento de produção em massa no começo do século XX e a automação industrial iniciou na década de 1970. (PINTO, 2020).

Atualmente, vivencia-se uma quarta onda de avanços tecnológicos caracterizada por uma nova tecnologia industrial digital conhecida como Indústria 4.0, a qual consiste em uma transformação fundamentada em nove pilares de avanços tecnológicos, conforme destaca BOSTON (2015). Nesta nova abordagem toda a cadeia produtiva é interligada, as máquinas interagem umas com as outras, autoconfiguram-se ao se adaptar às mudanças. Ferramentas de software são empregadas para simular processos, bem como para analisar dados e prever falhas, ou seja, na Indústria 4.0 busca-se tornar os processos mais eficientes, flexíveis, descentralizado para uma produção sob demanda de produtos personalizados, de baixo custo e com alta qualidade (MYIAGI *et al.*, 2017).

Desta forma, organizações de todos os setores buscam transformar seus modelos de atuação se preparando para assumir riscos, inovar e responder às novas demandas. Porém, essa não é uma tarefa simples para as indústrias de manufatura, pois exige uma modernização do seu sistema/maquinário legado de forma a integrá-los aos novos sistemas e tecnologias de rastreamento de dados lógicos das máquinas, utilizando a digitalização e internet das coisas (BOSSO, 2016).

Ao perceber esta necessidade, a direção da indústria de fitas adesivas analisada neste estudo utilizou-se de verba de Pesquisa & Desenvolvimento – P&D para realizar mudanças nos processos e operações. Desta forma, foram incluídas novas tecnologias no escopo de trabalho, e sobretudo, implantaram-se uma estrutura tecnológica e um sistema de monitoramento da produção e de parâmetros de máquinas. As mudanças foram realizadas com o intuito de preparar seu processo produtivo para o novo paradigma de fabricação contemplado pela indústria 4.0, para assim permanecer no mercado competitivo.

1.1 Tema

Análise da implantação de um sistema de monitoramento da produção de fita adesiva contemplando os conceitos da indústria 4.0.

1.2 Problemática

A implantação de um sistema no processo produtivo altera as atividades de operação e de toda a gestão. Tais mudanças podem impactar na estrutura organizacional, na tomada das decisões e nas operações. Para integrar os sistemas de informação com a organização de forma bem-sucedida, é preciso realizar uma avaliação do impacto organizacional, que deverá ser abrangente e amplamente documentada (BELAN, *et. al*, 2006).

Portanto, este estudo responderá a seguinte problemática: qual o impacto no processo produtivo da empresa analisada ao implementar um sistema de monitoramento de produção contemplando conceitos da indústria 4.0?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar os impactos em ambiente fabril da implantação de um sistema de monitoramento de produção e parâmetros de máquinas com vista na Indústria 4.0.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Mapear e modelar o processo produtivo de conversão de fitas adesivas antes e depois da implementação do sistema;
- Descrever o sistema criado para a empresa em estudo e as modificações das máquinas para o panorama da Indústria 4.0;
- Analisar o impacto do sistema no gerenciamento da produção.

1.4 Limites do Estudo

O sistema de monitoramento de produção contemplando conceitos da indústria 4.0, referenciado neste estudo, foi implantado em quatro máquinas de uma empresa fabricante de fitas adesivas. As demais máquinas não foram integradas ao sistema. Esta integração será realizada conforme disponibilidade de recursos da empresa.

Os resultados encontrados poderiam ser mais amplos caso o tempo de análise do uso contínuo do sistema fosse maior, pois seria possível a análise dos efeitos no longo prazo.

Para a replicação deste estudo, deve-se levar em consideração a similaridade dos produtos e processos produtivos, visto que os sensores e demais equipamentos instalados foram escolhidos conforme especificações das máquinas, podendo ser alterados para outros modelos e fabricantes.

1.5 Estrutura da Trabalho de Conclusão de Curso

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, tema, problemática, objetivos, e limites do estudo. Já o segundo capítulo traz a metodologia utilizada no decorrer do estudo.

O terceiro capítulo é composto pela fundamentação teórica que serviu de alicerce para o desenvolvimento do trabalho.

O quarto capítulo há o estudo de caso relatando a implementação de um sistema de monitoramento da produção de fita adesiva contemplando os conceitos da indústria 4.0.

No quinto capítulo serão apresentados os resultados obtidos no estudo de caso realizado.

Por fim no sexto capítulo, é apresentada a conclusão originada através do desenvolvimento desta pesquisa.

2. METODOLOGIA

Nesta sessão serão explicitados conceitos sobre metodologia e os procedimentos utilizados na pesquisa. De acordo com Rea e Parker (2012, p.138) “Método é um procedimento regular, explícito e passível de ser repetido para conseguir-se alguma coisa, seja material ou conceitual”. A característica essencial do método é a investigação organizada, o controle rigoroso das observações e a utilização de conhecimentos teóricos.

Quanto à abordagem, a pesquisa caracteriza-se qualitativa, visto que este tipo não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc. Nascimento (2008) acentua que a pesquisa qualitativa não procura enumerar e/ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico na análise dos dados, mas envolve a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos sujeitos, ou seja, dos participantes da situação em estudo.

A pesquisa qualitativa preocupa-se, portanto, com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais.

Quanto ao objetivo, trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva. Foi utilizado um procedimento exploratório, na qualidade de parte integrante da pesquisa principal, como o estudo preliminar realizado com a finalidade de melhor adequar o instrumento de medida à realidade que se pretende conhecer.

Logo, segundo Nascimento (2008, p. 39) em outras palavras:

[...] a pesquisa exploratória, ou estudo exploratório, tem por objetivo conhecer a variável de estudo tal como se apresenta, seu significado e o contexto onde ela se insere. Pressupõe-se que o comportamento humano é melhor compreendido no contexto social onde ocorre.

Este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar.

Gil (2012) pontua que as pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. Os estudos descritivos podem ser criticados porque pode existir uma descrição exata dos fenômenos e dos fatos.

O trabalho iniciou com uma pesquisa bibliográfica e teve como estratégia o estudo de caso. Para Gil (2012, p. 115) “a análise de documentos ou análise de conteúdos consiste no exame sistemático de informes ou documentos como fontes de dados”. A pesquisa bibliográfica contribuiu para o embasamento teórico e conhecimentos dos conceitos da indústria 4.0 que orientou na escolha dos pilares que melhor se adequa a realidade da empresa. Somado aos conceitos e fundamentos do Lean Manufacturing essenciais na análise do impacto no processo produtivo após implantação do sistema.

A pesquisa de campo caracterizou-se pelas investigações em que, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, realizou-se coleta de dados junto aos funcionários da empresa estudada, com o recurso de diferentes tipos de pesquisa. Nascimento (2008, p. 72) salienta-se que “no estudo de campo, o pesquisador realiza a maior parte do trabalho pessoalmente, pois é enfatizada a importância de o pesquisador ter tido ele mesmo uma experiência direta com a situação de estudo”.

Conforme salienta Yin (2005), o uso do estudo de caso é adequado quando se pretende investigar o como e o porquê de um conjunto de eventos contemporâneos. O autor assevera que o estudo de caso é uma investigação empírica que permite o estudo de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

O estudo de caso do presente trabalho ocorreu em uma empresa especializada em fabricação de fitas adesivas do Polo Industrial de Manaus. As observações tiveram duração aproximada de nove meses na empresa que participou da pesquisa e foram registradas em notas de campo.

Utilizou-se observação direta pelo autor, que de acordo com Lakatos e Marconi (2011, p. 190) consiste:

[...] técnica de coleta de dados para conseguir informações e utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste em apenas ver e ouvir, mas também em examinar fatos ou fenômenos que se desejam estudar.

Nessa perspectiva o observador é partícipe dos eventos que observa. Como parte integrante da realidade que produz no campo de pesquisa, sua voz se encontra com as vozes dos sujeitos, produzindo novos sentidos para as experiências vividas. Ao término será feita uma triangulação entre o suporte teórico, os dados obtidos e a percepção do autor.

A pesquisa iniciou em maio de 2019 com duração de nove meses. As etapas de construção da solução de Hardware e Software, assim como a integração de ambas e implantação do sistema completo na fábrica foi realizada por uma equipe de alunos e professores na sua maioria pertencentes à Universidade do Estado do Amazonas, por meio de um projeto de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) em parceria com uma empresa local de iniciativa privada. Tais etapas visaram atender os objetivos de descrever o sistema desenvolvido e em seguida analisar o seu impacto na gestão da produção.

Inicialmente foram levantados os requisitos do sistema tanto para *Hardware*, quanto para *Software* por meio de questionário respondido pelo diretor da empresa.

O desenvolvimento do *Hardware* possuiu duas etapas: a primeira etapa foi o estudo do maquinário por meio de visitas técnicas e leitura dos manuais a fim definir os principais parâmetros a serem medidos nas máquinas. A segunda etapa consistiu na pesquisa, concepção e dimensionamento de infraestrutura tecnológica para a coleta, processamento e transmissão dos dados referentes a parâmetros elétricos e mecânicos das máquinas.

O desenvolvimento do *Software* consistiu nas seguintes etapas: projeto de implementação da infraestrutura básica de comunicação, implementação de banco de dados do sistema de visualização e motor de análise preditivas.

Na análise do processo, foram coletados os tempos de processamento para os principais produtos que serão utilizados no software como tempo de ciclo padrão para cada máquina e posteriormente comparada com os tempos de ciclo real, resultando no indicador do *Dashboard*. Além disso, foram coletados nomes e matrículas de todos os operadores, código e descrição de todos os produtos a serem inseridos no sistema.

Para concluir a pesquisa, acompanhou-se o sistema em funcionamento e posteriormente foi feito um comparativo do modo como as operações e a gestão da produção eram realizadas e como passariam a ser após a utilização do sistema implantado com base nos relatórios do sistema, os dados obtidos e a percepção dos

colaboradores e gestores da empresa e observação *in loco* do funcionamento do sistema pelo autor.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e as ferramentas utilizadas como base desta pesquisa, tais como: Indústria 4.0 e Sistema Toyota de Produção.

3.1 Indústria 4.0

Nas revoluções industriais, pode-se observar elementos essenciais surgidas a partir da necessidade da indústria. O surgimento da máquina a vapor e da força hidráulica movimentou as fábricas na 1ª Revolução Industrial no século XIX para atender a demanda do comércio têxtil. Na 2ª Revolução Industrial ocorreu devido ao surgimento da eletrificação, o que possibilitou a produção em massa no começo do século XX. A 3ª Revolução foi caracterizada pelo uso automação industrial, que deu seus primeiros passos na década de 1970, com avanços tecnológicos na indústria com uso da eletrônica e sistemas de informação nas décadas seguintes.

A convergência e avanços tecnológicos da 3ª Revolução e o advento da internet de alta velocidade associado à produto tecnológico permitiu uma maior integração do mundo físico e digital, caracterizando assim a 4ª Revolução Industrial ou como é popularmente conhecido como Indústria 4.0 (PINTO, 2020).

O termo “Indústria 4.0” foi usado pela primeira vez em 2011 na feira Hannover Messe sediada em Hannover na Alemanha por Kagermann et al. (2013), uma associação composta por representantes da indústria, da política e das universidades, como uma forma de fortalecer a competitividade da indústria alemã.

Outros programas e planos foram desenvolvidos em outros países para o desenvolvimento de ferramentas para a Indústria 4.0. Em 2015 a China e o Japão lançaram “*Made in China 2025*” e “*New Robot Strategy*” respectivamente. Nos anos seguintes, nos Estados Unidos, foi lançado o *Informational Technology Industry Council* (ITI) em 2018. Já no Brasil, a Agência Brasileira para a Indústria 4.0 foi lançado pelo Ministério da Indústria, Comércio e Serviços (CARDOSO, 2018).

Conforme Hermann et al. (2015) ainda não há um conceito claro da Indústria 4.0, apenas uma descrição de visão, ferramentas utilizadas e cenários aplicados. O conceito envolve inovações tecnológicas nos campos de automação e de tecnologia da informação para manufatura, com o objetivo base de criar processos mais rápidos,

flexíveis e eficientes, promover a união dos recursos físicos e digitais, conectando máquinas, sistemas e ativos, a fim de produzir itens de maior qualidade a custos reduzidos.

Para alcançar estes resultados, é necessário gerar um alto nível de articulação entre as principais tecnologias que formam o conceito, os chamados pilares da indústria 4.0, como é representado por Gerbert no esquema apresentado na figura 1.

Figura 1– Pilares da Indústria 4.0



Fonte: GERBERT et. al, 2015.

A **simulação computacional** no contexto da Indústria 4.0 é adequada para realização de análise de dados em tempo real no processo de introdução de novos produtos ou mudanças nos processos existente em relação a configuração de máquinas, ao aproximar o mundo físico do virtual. O resultado é a otimização dos recursos, melhor desempenho e menor custo. Esse conceito é representado pela ferramenta chamada de Cyber-Physical-Systems (CPS) que é uma forma de representar no mundo virtual processos e máquinas e a partir de simulações para inferir condições e comportamentos (ALTUS, 2019).

Os CPS podem ser caracterizados, conforme Myiagi *et al.* (2017) como uma plataforma de conexão de objetos inteligentes inerentes ao meio industrial, sendo

objetos inteligentes objetos físicos-digitais com capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação em rede tão essenciais em um sistema de controle global para coordenação descentralizada das atividades.

A estrutura dos sistemas CPS, de acordo com alguns autores, é estruturada em cinco camadas, conforme mostra a Figura 02.

Figura 2– Estrutura de um sistema Ciber-Físico (CPS)



Fonte: LEE, E. A., 2008.

A camada de Conexão Inteligente é a camada de interface com os processos físicos do sistema produtivo (comunicação entre máquina, fábrica e banco de dados) e realiza tanto a atuação dos equipamentos quanto a aquisição de dados das máquinas e seus componentes por meio de sensoriamento. Já a camada de Conversão de Dado-para-Informação, também conhecida como Inteligência local, trata os dados coletados, por meio de sensores e dos estados do objeto, extraindo informações e atribuindo significado empírico a elas. Essas informações são analisadas localmente para extrair conclusões relativas ao objeto inteligente (CARDOSO, 2018).

A partir dessas informações, pode-se estabelecer comunicação com objetos hierárquicos equivalentes e/ou transmitir o que for pertinente para as camadas superiores. Na camada Cibernética ocorre a concentração das informações e a partir daí elaborado o modelo virtual do sistema, além da aplicação de algoritmos que analisam o funcionamento do sistema (MYIAGI, 2017)

Na camada Cognitiva acontece a formatação dos dados a fim de serem apresentados ao pessoal capacitado, para informação e/ou tomada de decisão. É neste ponto que se diagnostica o funcionamento do sistema, identificando, por exemplo, os gargalos de produção, erros sistêmicos em um determinado processamento, necessidade de aquisição de insumos ou de manutenção de ferramentas e/ou equipamentos (MYIAGI, 2017).

A última camada, a de Configuração ou Coordenação, atua como um sistema de controle e supervisor, capaz de tomar decisões acerca do sistema e dar instruções aos agentes competentes. No âmbito local, ela usa os resultados da análise do modelo virtual para decidir se é necessário ou não intervir e, em caso afirmativo, a natureza da intervenção (MYIAGI, 2017).

A possibilidade de **análise e gestão de grandes quantidades de dados** gera um volume maior de informações, essencial para uma tomada de decisão ao ensejar uma melhor leitura de cenários de forma mais veloz. Existem duas ferramentas fundamentais para atingir essa meta que são o *Big Data* e o *Analytics* (ALTUS, 2019).

Os dados necessitam ser transformados em informação útil para assim auxiliar uma tomada de decisão, e para isso, a utilização de análises estatísticas avançadas é imprescindível. Daí, surge a ferramenta *Big Data*, que conforme Nunan & Di Domenico (2017) *apud* Barreto (2019), busca armazenar e analisar grande quantidade de dados com capacidade superior às das tecnologias anteriores. Tem a característica dos dados poderem se coletados por diversas fontes, a princípio, não estruturados, mas com precisão e velocidade, ou seja, possui rapidez na geração de dados por meio de uma grande multiplicidade de fontes.

A indústria pode utilizar o *big data* como ferramenta na busca de novas e inúmeras possibilidades para redução de custo e aumento de receita (BOSSO, 2016). Conforme pesquisa Philip Russom (2011 *apud* CARDOSO et.al, 2018), os principais resultados obtidos dos *big datas* são orientados para identificação de oportunidades no mercado, determinação das intenções do consumidor, tomada de decisão em tempo real (online), previsão de demanda e quantificação de risco. Venturelli (2017)

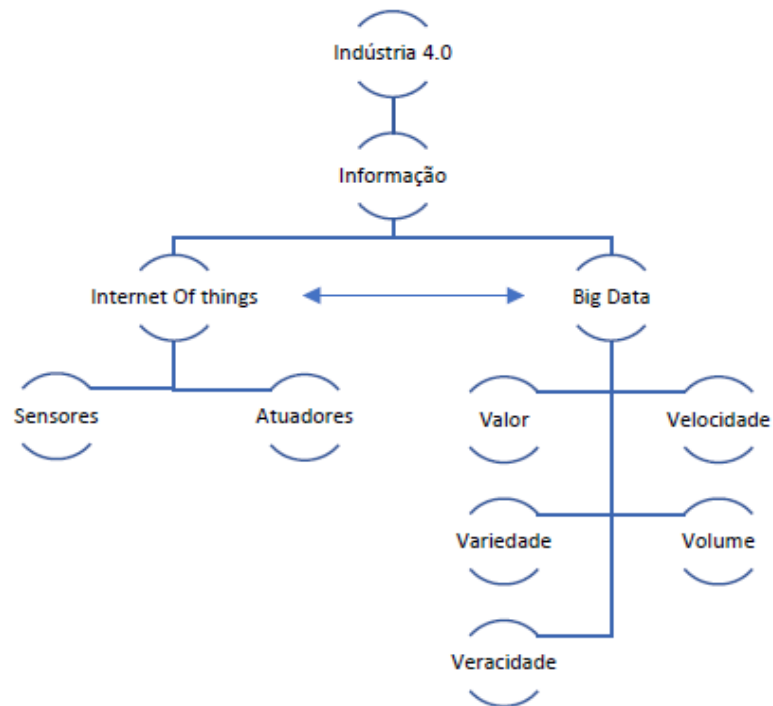
completa incluindo o aprendizado de máquina no qual a máquina aprende com as informações geradas pelo processo e atua diretamente na planta e o prognóstico que utiliza os registros de parâmetro de máquina, como temperatura, rotação, etc. e todos os comportamentos causais para emissão de um efeito relacionado à manutenção preditiva.

A **Internet das Coisas** (em inglês, IoT – *Internet of Things* - IoT), em sua primeira fase, possuía o objetivo de interligar os objetos através de uma estrutura inteligente utilizando a identificação por rádio frequência. Com advento dos computadores, da internet, dos sensores e dos atuadores, as possibilidades foram ampliadas e hoje consiste na conexão entre rede de objetos físicos (veículos, máquinas, calçados, etc) e ambientes, recorrendo aos dispositivos eletrônicos embarcados, permitindo uma coleta e troca de informações mais rápida e efetiva (LEITE, 2017).

Na indústria de produtos e serviços, a IoT representa a integração de tecnologias que antes não estavam conectadas e que agora estão interligadas por meio de uma rede baseada em IP. Em resumo, a Internet das Coisas é “uma rede de dispositivos interligados que possuem tecnologia para recolher e interagir através das componentes internas com o meio externo” (Ibarra-Esquer, et al., 2017 *apud* Barreto, 2019).

A Internet das Coisas possui uma relação de complementariedade com o *Big data* podendo ser vista no framework elaborado por Barreto (2019), conforme Figura 3. A IoT fornece dados coletados por meio dos sensores para o Big Data, que irá analisar por meio de seus algoritmos e tomar uma decisão a ser enviada para os atuadores que irão atuar sobre determinadas condições de forma automática. Comumente, os sistemas *Enterprise Resource Planning* (ERP) são atrelados a estas duas ferramentas ao prover um conjunto de indicadores, essencial para comparação na etapa de análise dos dados e elaboração da decisão tomada pelo *Big Data* (BARRETO,2019).

Figura 3– Framework do relacionamento da *Big Data* e Internet das Coisas



Fonte: BARRETO, 2019.

As duas ferramentas são utilizadas na virtualização (construção de cenários e definição prévia de ações a serem tomadas para cada cenário) por meio da coleta de dados pela IoT e seu tratamento pela *Big data* tudo em tempo real (BARRETO,2019).

A **robótica** possibilita que as operações repetitivas realizadas pelos operadores, em ambiente fabril, agora podem ser desenvolvidas por robôs com inteligência artificial. o setor ganha em desempenho e disponibilidade além de reduzir os custos. Com o desenvolvimento desses robôs, eles serão capazes, além de realizar tarefas autônomas, se interconectarem para cooperação mútua, uma ferramenta em “rede”. Assim, os robôs não funcionarão como um único robô como na 3ª Revolução industrial, mas como parte de vários sistemas integrados (ALTUS, 2019).

A **computação em nuvem** (em inglês *Cloudcomputing*) fornece recursos que resultam em uma importante redução de custo, tempo e eficiência ao auxiliar o uso de aplicativos e dados compartilhados entre pessoas de diferentes locais que estão além dos limites da empresa (ALTUS, 2019). Isto é possível pois a armazenagem de elevadas quantidades de dados relacionadas à produção de bens e serviços na Indústria são armazenadas em servidores remotos interligados por meio da Internet e não mais em computadores e servidores locais (COLLABO, 2016).

Em relação a **integração de sistemas**, “A indústria 4.0 propõe uma melhor harmonia entre todos que façam parte do ecossistema, garantindo uma gestão integral de experiência para que cadeias de valor sejam realmente automatizadas” (ALTUS, 2019). Isto evidencia a importância da interoperabilidade – “utilizado para verificar se existe uma utilização ou análise conjunta e interdependente entre as tecnologias em causa” (BARRETO, 2019, p.14) – no que tange a relação de interdependência e bidirecionalidade das tecnologia (Big Data, IoT, etc.) e o desenho de sistemas no qual tais tecnologias irão se comunicar sem qualquer tipo de barreira na troca de dados e informações, originando uma sintetização de processos. (BARRETO, 2019)

A indústria 4.0 demanda conexão entre todos os setores da empresa, que geram dados digitalizados. Assim sendo, é imprescindível que as empresas possuam sistemas de **cibersegurança** robustos para proteger sistemas e informações de possíveis ameaças e falhas que podem causar transtornos na produção. (ALTUS, 2019).

Já a **manufatura aditiva**, também conhecida como impressão em 3D, este pilar é conceituado conforme Aires (2019, p.1822) como “a fabricação de objetos por meio de adição de materiais, a partir de um modelo digital tridimensional” . Esta estratégia pode ser utilizada para criar produtos personalizados que oferecem vantagens de construção e desenhos complexos, baixo desperdício de material e sem mudanças de setup e/ou ferramentas (VOLPATO, 2017 *apud* AIRES, 2019, p.1827).

Os recursos da realidade aumentada possibilitam modificar a forma atual de treinamento e gestão, por exemplo, instruções de montagem via celular para o desenvolvimento de peças de protótipo ou utilizar óculos de realidade aumentada para a gestão e operação de determinadas máquinas, melhorando procedimentos de trabalho (ALBERTIN, 2017). Conforme Albertin (2017) esta tecnologia revoluciona o jeito de interação entre seres humanos e máquinas, pois permite o ser humano ver o mundo real juntamente com o mundo virtual sobrepostos.

O último pilar, a **realidade aumentada**, se diferencia da realidade virtual no que tange à imersão do usuário. A realidade virtual possui uma imersão total do usuário em ambiente sintético, não permitindo que veja o mundo real. Já na aumentada, os objetos virtuais são sobrepostos ou compostos com o mundo real (ALBERTIN, 2017)

3.2 Sistema Toyota de Produção e *Lean Manufacturing*

O Sistema Toyota de Produção (STP) é baseado numa abordagem sistemática focada na identificação e eliminação de todas as operações que não agregam valor ao produto na visão do cliente, ou seja, a identificação e eliminação contínua dos desperdícios. Para isso, o uso de conceitos importantes como a melhoria contínua e o fluxo de material puxado, buscando a qualidade total, são imprescindíveis. E esse contexto de desafios e mudanças requer que todos da organização estejam comprometidos, uma vez que são elementos fundamentais no processo de desenvolvimento organizacional (VARGAS, 2018).

O STP surgiu com Sakichi Toyoda em 1924, com a criação do primeiro tear automatizado de alta velocidade, conforme Figura 4, que além de fazer as trocas automaticamente, também parava a produção, caso o fio arrebentasse. Esse conceito é um dos pilares do Sistema, conhecido por *Jidoka*, cujo conceito é a capacidade do equipamento parar e sinalizar, caso ocorra algum problema (CUNHA, 2018).

Figura 4- Primeiro tear automático



Fonte: Torga, 2006.

Kiichiro Toyoda, filho de Sakichi, em 1933, inicia uma linha de fabricação de automóveis dentro da própria indústria do pai. Anos depois, Kiichiro lança o segundo pilar do STP, o JIT (Just-In-Time), cujo significado é entregar o que é pedido, quando e onde é requerido. Isso implica em eliminação de estoques desnecessários e aumento de produtividade (LAPASTINE, 2017)

Com o ingresso de Taiichi Ohno na Toyota, em 1943, reforça-se o time que estava construindo as bases do modelo Toyota de Produção. Em 1953, o engenheiro Shigeo Shingo, que na época já fazia consultoria, inicia sua jornada na Toyota que posteriormente desenvolve o poka yoke e setup rápido -TRF. Nesse mesmo ano, Ohno adota o *Kanban* na fábrica que, 10 anos depois, seria adotado também com os fornecedores, completando todo o ciclo de puxada de material, (PINTO, 2009).

Segundo Vargas (2018), a criação do sistema está diretamente associada a cinco pessoas:

- Sakichi Toyoda, o fundador da Toyoda Teares e mestre de invenções;
- Kiichiro Toyoda, filho de Sakichi, fundador da Toyota e segundo presidente;
- Eiji Toyoda, primo de Kiichiro, tornou-se o quinto presidente;
- Taiichi Ohno, executivo e engenheiro, criador do Kanban;
- Shigeo Shingo, engenheiro e criador do setup rápido e poka yoke.

De acordo com Liker (2015), para explicar o Sistema Toyota de Produção aos funcionários e fornecedores da Toyota, Taiichi Ohno e Eiji Toyoda, criaram a figura “Casa do Sistema Toyota de Produção” constituída de dois pilares, o Just-in-time (JIT) e Jidoka, que está ilustrado na Figura 5.

Figura 5- Casa Toyota



Fonte: Liker, 2015.

Liker (2015) ainda destaca que a casa do Sistema Toyota de Produção é representada desse modo para dar ênfase em sua forma estrutural que será forte se somente todas as suas partes (pilares, bases, telhado e suas conexões) forem fortes. O telhado representa os objetivos a serem alcançados, menor lead time, menor custo,

e qualidade mais alta. No alicerce está o *Heijunka* (Nivelamento da Produção), as Operações Padronizadas e o *Kaizen* (Melhoria Contínua), suportando a estrutura.

Conforme esquematizado por SHINGO (1996, pg. 264 e 265), o STP tem como característica inicial a compreensão da demanda, a produção deve ser puxada pelo cliente. Daí surgem os conceitos de *Just-in-time*, estoque zero, sistema de supermercado, produção em pequenos lotes, capacidade flexível, produção mista, balanceamento da produção, método do fluxo da peça unitária, sincronização e padronização das operações, troca rápida de ferramenta, *poka-yoke*, *jidoka*, *andon*, controle visual, operador multifuncional, sistema *kanban*, entre outros.

A produção enxuta ou *Lean Manufacturing* é conhecida por seu foco na redução dos desperdícios para melhorar o valor total ao cliente, mas existem diferentes perspectivas sobre como isso é melhor alcançado. O crescimento constante da Toyota, a partir de uma pequena empresa para a maior montadora do mundo, chamou a atenção para a forma como alcançou este sucesso (MAXIMINIANO, 2008).

O termo “enxuta”, do inglês “Lean”, surgiu no MIT (Massachusetts Institute of Technology), na década de 80, com a descrição de técnicas do sistema de produção e técnicas de trabalho desenvolvidas pela Toyota, ou seja, o STP possui uma abordagem única mas é a base para movimento *Lean*, assim denominado pela redução de quantidade, custos e tempo em toda a cadeia de produção, ou seja: menor esforço dos funcionários, redução da área ocupada para a fabricação, uso reduzido de ferramentas e tempo para planejamentos, menos estoques, menos fornecedores, e redução de defeitos com maior variedade de produtos. O termo se propagou pelo mundo e é uma das maneiras de se referenciar o Sistema Toyota de Produção (VARGAS, 2018; LIKER, 2015).

A relação entre STP e Produção Enxuta pode ser compreendida pela definição de Liker (2015) que “ é a aplicação do Sistema Toyota de Produção em todas as áreas da empresa” e constituída por cinco passos: definir o valor do cliente, definir o fluxo de valor, fazê-lo fluir, puxar a partir do cliente e lutar pela excelência (WOMACK, 1996).

Slack (2002) salienta que a Implementação do *Lean Manufacturing* é, portanto, focado em obter as coisas certas no lugar certo, na hora certa, na quantidade certa para atingir o fluxo de trabalho perfeito, minimizando falhas e tornando flexível e capaz de mudar. Estes conceitos de flexibilidade e mudança são principalmente necessários para permitir o nivelamento da produção (*Heijunka*). Todos esses conceitos têm que

ser compreendidos, apreciados, e abraçados pelos funcionários que fabricam os produtos e, portanto, possuem os processos que entregam o valor. Os aspectos culturais e gerenciais da produção possivelmente são mais importantes do que as ferramentas ou metodologias da própria produção real (SLACK, 2002). Segundo ressalta Côrrea (2009), o objetivo do *Lean Manufacturing* é tornar o trabalho bastante simples de entender, fazer e gerenciar.

Taiichi Ohno formulou “os 7 desperdícios” da indústria, (chamados de “muda” pelos japoneses): superprodução, espera, transporte, processamento impróprio, inventário desnecessário, movimento desnecessário e produto defeituoso. Tais desperdícios não agregam valor para o cliente e devem ser eliminados (LAPASTINE, 2017).

Os sete desperdícios, de acordo com Shingo (2010) consistem em:

- Superprodução: Simplificando, a superprodução é fabricar um item antes que seja realmente necessário. Superprodução é altamente caro para uma fábrica porque proíbe o bom fluxo de materiais e realmente degrada a qualidade e a produtividade. Isso cria prazos excessivos, resulta em custos de armazenagem elevados, e faz com que seja difícil de detectar defeitos. A solução simples para a superprodução organizar o processo; isso requer muita coragem, porque os problemas que a superprodução deixa escondidos serão revelados. O conceito é programar e produzir apenas o que pode ser imediatamente vendido/enviado e melhorar a capacidade de setup de mudança da máquina.
- Espera: Quando as mercadorias não estão se movendo ou sendo processadas, o desperdício de espera ocorre. Normalmente mais de 99% da vida de um produto na fabricação de lotes será gasto à espera de ser processado. Isso geralmente ocorre porque o fluxo de material é pequeno, ciclos de produção são muito longos, e as distâncias entre os centros de trabalho são muito grandes. Ohno, (1997) afirmou muitas vezes que uma hora perdida em um processo de gargalo é uma hora perdida para a produção de toda a fábrica, que nunca pode ser recuperado. Ligando processos em conjunto de modo que se alimente diretamente para a próxima produção pode reduzir dramaticamente a espera.
- Transporte: Transportar produto entre os processos é uma incoerência de custo que não agrega valor ao produto. Movimento excessivo e danos de manipulação são uma oportunidade para comprometer a qualidade e

deteriorar-se. Manipuladores de materiais devem ser utilizados para transportar os materiais, resultando em mais um custo organizacional que não agrega valor ao cliente. O transporte pode ser difícil de reduzir devido aos custos percebidos de equipamentos e processos. Além disso, muitas vezes é difícil determinar quais processos devem estar ao lado do outro. Fluxos de produtos de mapeamento podem tornar isso mais fácil de visualizar.

- **Processamento impróprio:** Frequentemente denominado como "usando uma marreta para quebrar uma noz", muitas organizações usam caros equipamentos de alta precisão onde as ferramentas mais simples seriam suficientes. Isso muitas vezes resulta em um mau layout da planta porque as operações anteriores ou posteriores estão localizadas distantes. Além disso, eles incentivam uma maior utilização de ativos (excesso de produção com trocas mínimas) a fim de recuperar o alto custo deste equipamento. Investir em equipamentos menores, mais flexíveis, sempre que possível; a criação de células de manufatura irá reduzir significativamente o desperdício de processamento inadequado.
- **Inventário desnecessário:** é um resultado direto de superprodução e espera. Excesso de estoque tende a esconder problemas no chão de fábrica, que devem ser identificados e resolvidos, a fim de melhorar o desempenho operacional. Excesso de estoque aumenta os prazos de entrega, consome espaço produtivo, atrasa a identificação de problemas, e inibe a comunicação. Ao atingir um fluxo contínuo entre centros de trabalho, muitos fabricantes têm sido capazes de melhorar o atendimento de inventários e seus custos associados.
- **Movimentos desnecessários:** este desperdício está relacionado com a ergonomia e é visto em todas as instâncias de flexão, alongamento, andar, levantar. Estas são também questões de saúde e segurança, que na sociedade de hoje estão se tornando mais um problema para as organizações. Trabalhos com movimento excessivo devem ser analisados e redesenhados para melhoria, com o envolvimento de funcionários da fábrica.
- **Produtos defeituosos:** Produtos com defeitos de qualidade resulta em retrabalho e refugos que são um custo elevado para as organizações. Custos associados incluem quarentena de inventário, reinspeção, reescalamento, e perda de capacidade. Em muitas organizações, o custo total de defeitos é

muitas vezes uma percentagem significativa do custo de produção total. Através do envolvimento de funcionários e melhoria contínua dos processos, há uma enorme oportunidade para reduzir defeitos em muitas instalações.

Marques (2010) destaca que a subutilização dos funcionários foi adicionada como um oitavo desperdício para os sete desperdícios originais de Ohno. Organizações empregam seus funcionários com os seus dedos ágeis e músculos fortes, mas esquecem que eles vêm para trabalhar todos os dias com um cérebro livre. Marques (2010) completa afirmando que é só por capitalização sobre a criatividade dos funcionários que as organizações podem eliminar os outros sete desperdícios e melhorar continuamente o seu desempenho.

3.3 *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0

Conforme Tortorella (2018) a aplicação do *Lean Manufacturing* é essencial no paradigma da Indústria 4.0 assim como a Indústria 4.0 passa a ser essencial para o *Lean Manufacturing*, podendo levar a empresa a patamares elevados de excelência caso ambos sejam implantados.

Pinto (2020), em seu estudo de revisão bibliográfica destaca que a Indústria 4.0, quanto à perspectiva de influência “[...]informa, implementa, estabiliza, suporta, modera, capacita, facilita, ajuda e viabiliza as práticas Lean” e “as aplicações da I 4.0 podem estabilizar e suportar os princípios Lean” (PINTO, 2020, p.31). Já a influência do *Lean* sobre a indústria 4.0, o autor constata que o *Lean* é condição ao facilitar, viabilizar, consolidar e flexibilizar a adoção da Indústria 4.0. Por exemplo, não se justifica um alto investimento em virtualização de um processo produtivo se o mesmo se encontra fora de controle (em relação ao controle estatístico de processo) e com desperdício (PINTO, 2020).

A correlação e a complementaridade entre *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 pode ser melhor entendida nos Quadros 1 e 2 elaborados por autores distintos.

Quadro 1 - Links de integração entre as práticas da Manufatura Enxuta e os pilares da Indústria 4.0

Feedback do fornecedor	Big Data Analytics, Integração de Sistemas Cloud / Nuvem
Entrega JIT	Simulação Computacional e Integração de Sistemas
Redução de tempo de setup	Robôs Autônomos e Simulação Computacional
Envolvimento do Funcionário	Segurança Cibernética
Desenvolvimento de Fornecedor	Integração de Sistemas, Segurança Cibernética, Cloud / Nuvem
Envolvimento do Cliente	Big Data e Analytics, Internet das Coisas e Realidade Aumentada
Produção Puxada	Robôs Autônomos, Simulação computacional e Manufatura Aditiva
Manutenção Produtiva Total	Robôs Autônomos, Integração de sistemas e Internet das Coisas (IoT)

Fonte: Habekost et. all, 2019.

Quadro 2 - Componentes LM e sua correlação direta com Indústria 4.0

Ferramentas e técnicas LM	Correlações com I 4.0	Conjunto de tecnologias I 4.0
Kanban*	9	Integração Horizontal, Cloud Computing, Smart Machine, Smart Product, Smart operator, Simulação e Smart Planner.
Heijunka	9	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data, Sensores e atuadores, Cloud Computing e Realidade Virtual.
Kaizen*	8	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data, Realidade Aumentada, Cloud computing, Realidade Virtual e Smart Product.
JIT	8	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data, Realidade Aumentada, Sensores e atuadores, Cloud computing e {AGV, RFID (Auto-ID)}.
Padronização*	8	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data, Realidade Aumentada, Sensores e atuadores, Cloud Computing e Realidade Vertical.
Jidoka	8	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data e Cloud Computing
Redução de Desperdício	5	Integração Horizontal, Analytics, integração Vertical, Big Data e Internet das Coisas.
Gestão de Pessoas	5	Analytics, Realidade Aumentada, Realidade Virtual, e {Big Data & Analytics}.
Takt-time*	4	Integração Horizontal, Analytics, integração Vertical e Big Data.
Fluxo Puxado*	4	Integração Horizontal, Integração Vertical, Sensores e atuadores e Internet das Coisas.
Gestão de fornecedores e clientes	4	Integração Horizontal, {Big Data & Analytics}
VSM*	3	Integração Horizontal,
Andon*	3	Smart Machine, smart Operator e Augmented Operator
Gestão Visual	3	Internet das Coisas, {Big Data & Analytics} e {RFID (Auto-ID), Realidade Aumentada}.
SMED *	3	Smart Machine e {Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada e Plug and Play}
Poka Yoke*	2	Smart Machine e {RFID (Auto-ID), Machine Learning, Realidade Aumentada}.
5S*	2	Realidade Aumentada e Realidade Virtual.
Homem-Máquina	2	Realidade Aumentada e Realidade Virtual.
Fluxo Contínuo	2	{E-kanban, RFID, Plug & Play, IIoT} e {Simulação e Internet das Coisas}.
Manutenção Produtiva Total *	1	{Realidade Virtual e Realidade Aumentada, Big Data & Analytics, Plug & Play}

Fonte: PINTO, 2020 (Adaptado).

* Ver Glossário

4. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso realizado em uma indústria de fitas adesivas localizada no Polo Industrial de Manaus.

4.1 Apresentação da empresa

A empresa analisada neste estudo é uma organização de capital inteiramente nacional, fundada em 2005, especializada em fabricação de fitas adesivas. Consolidou seu crescimento em nível nacional a partir do desempenho de sua unidade localizada no Polo Industrial de Manaus – PIM.

Apresenta como visão tornar-se líder nacional no setor de fitas adesivas e, para isso, busca fornecer produtos e serviços com padrões de qualidade global para os seus clientes. Ao longo dos últimos três anos, a empresa passou por automação dos seus sistemas de embalagens com intuito de modernizar a produção, eliminar desperdícios, diminuir custos e aumentar produtividade. Em busca da melhoria contínua, implantou um sistema de monitoramento da produção contemplando os conceitos da indústria 4.0 por meio de verba de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) desenvolvido em conjunto com a Universidade do Estado do Amazonas- UEA.

4.2 Mapeamento do processo produtivo

O processo produtivo da empresa analisada é dividido em três processos macros. O primeiro processo consiste no rebobinamento da fita do jumbo (rolo máster conforme Figura 6) para logs (rolos com comprimentos específicos conforme Figura 7).

Figura 6 - Jumbo de Fita adesiva



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020

Figura 7- Logs de Fita adesiva



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020

Em seguida, no segundo processo produtivo, o lote dos logs é transportado para as máquinas de corte onde são cortados em rolos nas medidas a serem vendidas ao usuário final que posteriormente são embalados, finalizando o terceiro processo. Contudo, a pesquisa se concentrou em apenas 04 máquinas, conforme Quadro 3.

Estas máquinas foram seleccionadas como pilotos para a implementação da solução proposta, por apresentarem características, parâmetros e funcionamento distintos, o que enseja possíveis soluções tecnológicas diferenciadas.

Quadro 3 - Características das Máquinas

Processo	Máquina	Foto
Corte	Fatiadeira 4 eixos fixos 1"	
Rebobinamento	Rebobinadeira 3"	
Corte	Fatiadeira 4 eixos 1"	
Rebobinamento e Corte	Robobinadeira Cortadeira	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

4.2.1 Processo da Máquina Fatiadeira 4 eixos fixos 1"

O processo de corte nas máquinas fatiadeiras inicia quando o operador alimenta a máquina com os logs (rolo de fita adesiva) que estão dispostos em um carrinho, podendo ser 2, 3 ou 4 logs, dependendo das condições do eixo. Posteriormente, o operador aciona o botão Start para início do corte. Durante o processo de corte, o operador tem a função de observar se a máquina necessita de

ajuste no eixo, na lâmina ou nas fitas, além de dispor as pré-embalagens na mesa quando necessário.

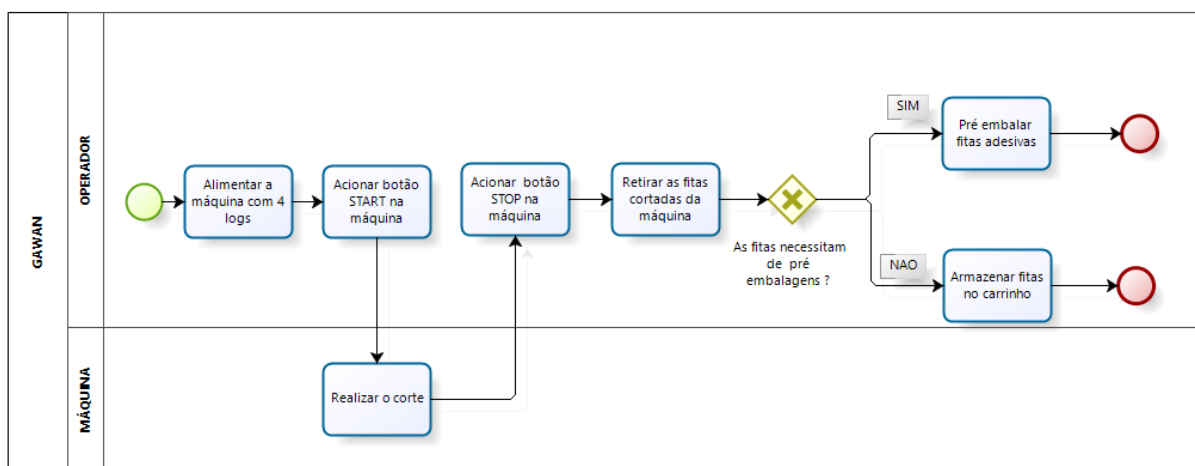
Após a conclusão do corte das fitas, o operador aciona o botão de stop para interromper a rotação e avanço da lâmina e retira os produtos da máquina para dispor na mesa de pré-embalagem ou no carrinho. As ações e o fluxo no processo são apresentados nas Figuras 8 e 9.

Figura 8– Sequência de operação da máquina fatiadeiras 4 eixos fixos 1”



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 9 – Modelo do processo produtivo da máquina fatiadeiras 4 eixos fixos 1”



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

4.2.2 Processo da Máquina Rebobinadeira 3”

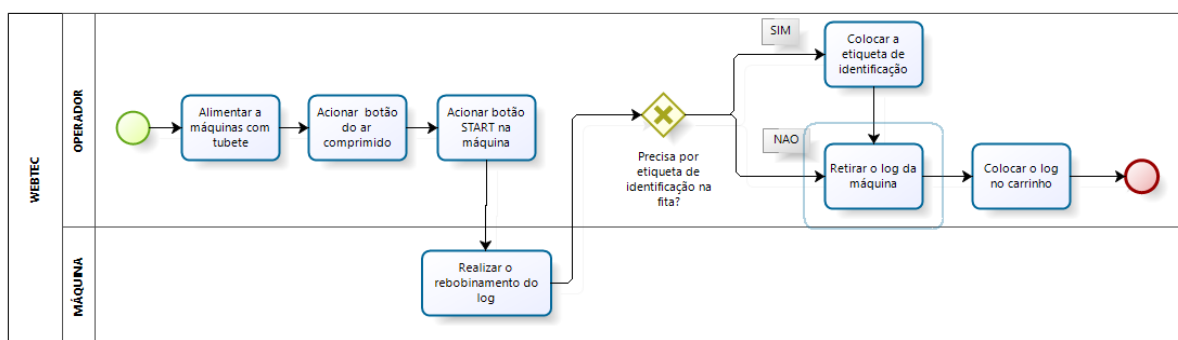
É uma máquina usada na fabricação de fitas de dupla face, BOPP (polipropileno bioorientado), Multiuso, entre outras fitas. Na máquina rebobinadeira o processo de rebobinamento inicia com a alimentação da máquina com um tubete pelo operador. Depois de alimentar a máquina, o operador aciona o botão do ar comprimido responsável por prender o tubete no eixo, e por fim aciona o botão de start na máquina. Quando o rebobinamento se encerra, o operador fixa, se for preciso, a etiqueta de identificação que contém a metragem ou código de barra. Por fim, retira o log da máquina e armazena no carrinho que será destinado ao processo de corte posteriormente. As ações e o fluxo no processo são apresentados nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 - Sequência de operação da máquina rebobinadeira 3”



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Figura 11 –Modelo do processo produtivo da máquina rebobinadeira 3”

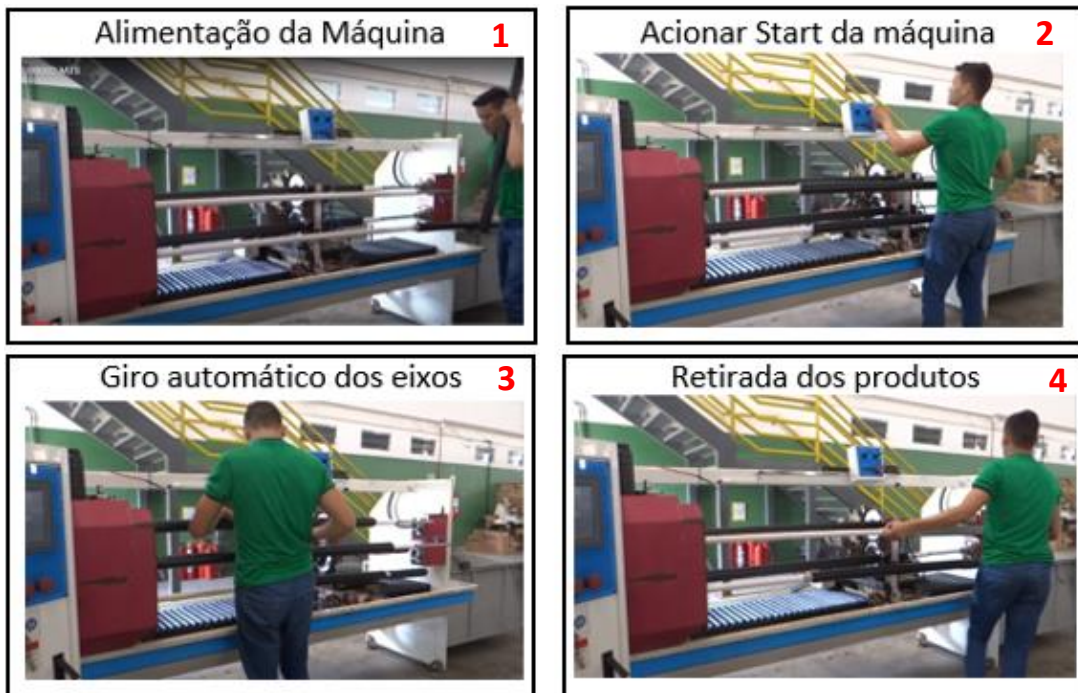


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

4.2.3 Processo da Máquina fatiadeiras 4 eixos 1”

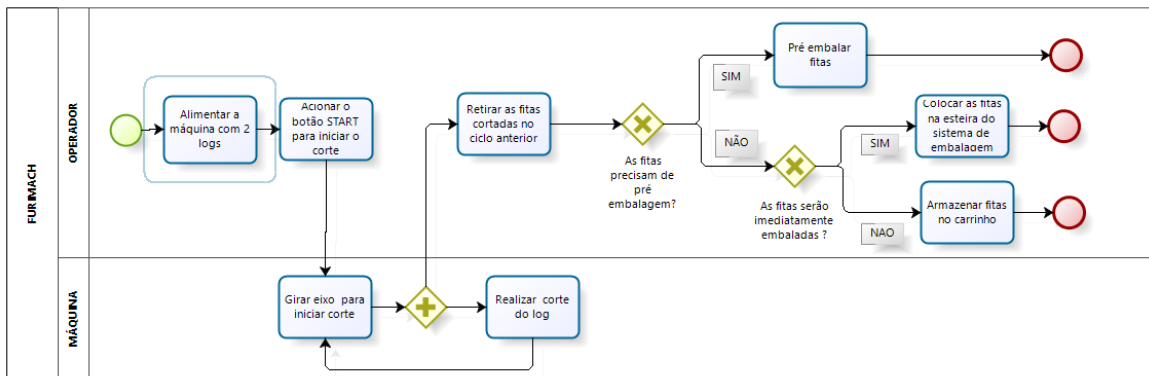
É uma máquina usada para cortar fitas adesivas BOPP, PVC, dupla face, fita de tecido, entre outras fitas. Na **fatiadeiras 4 eixos 1”** o processo de corte inicia quando o operador alimenta a máquina com 2 logs que estão dispostos em um carrinho próximo, dependendo do produto será apenas 1 log. Em seguida, o operador aciona o botão start para a máquina iniciar o processo de corte. Assim que termina o ciclo, a máquina automaticamente gira seu eixo para realizar o corte de mais dois logs enquanto o operador retira as fitas cortadas e realimenta a máquina com novos log. Caso as fitas cortadas necessitem de pré-embalagem, o operador as leva para a mesa de pré-embalagem, caso contrário, as fitas são transportadas para o setor de embalagem ou armazenadas no carrinho. As ações e o fluxo no processo são apresentados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Sequência de operação da máquina fatiadeiras 4 eixos 1”



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Figura 13 - Modelo do processo produtivo da máquina fatiadeiras 4 eixos 1”



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

4.2.4 Processo da Máquina Rebobinadeira/Cortadeira

É uma máquina adequada para a produção de rolos BOPP e MASKING TAPE. O processo de rebobinamento e corte na rebobinadeira/cortadeira se inicia quando o operador alimenta a máquina com os tubetes cortados, que estão em caixas próximas à máquina e aciona o botão start da máquina. Por se tratar de um maquinário altamente tecnológico, as operações são realizadas de forma automatizada. Os tubetes são transportados por meio de esteira até a máquina que os organiza e insere nos dois eixos, que por sua vez são posicionados para serem rebobinados. Por fim, o eixo é deslocado para liberação das fitas na esteira do processo de embalagem.

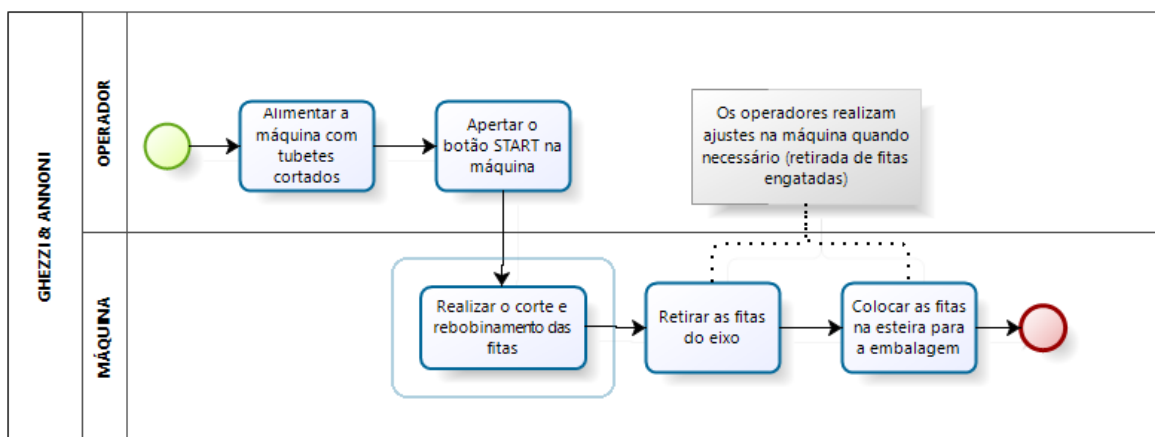
O operador fica responsável por observar a máquina e se necessário realizar ajustes, como retirar fitas engatadas ou lubrificar os eixos, além de manter a alimentação dos tubetes. As ações e o fluxo no processo são apresentados nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 - Máquina automática rebobinadeira/cortadeira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Figura 15 – Modelo do processo produtivo da máquina rebobinadeira/cortadeira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

4.3 Estrutura de hardware para coleta de dados de parâmetros de máquinas

O primeiro passo foi a realização de análises do maquinário legado escolhido para o estudo com o intuito de identificar os principais parâmetros a serem coletados, características elétricas e mecânicas, adaptando-as para a Indústria 4.0.

O hardware inserido na máquina para a coleta automática dos seus parâmetros elétricos e mecânicos consiste basicamente de sensores, dispositivos de condicionamento de sinais e de um transmissor sem fio. Para a coleta manual de

informações, referentes ao processo, inseridas pelo operador, usa-se um terminal do tipo tablet.

O tipo e a função do sensor usado depende das especificidades da máquina, mas de uma forma geral foram utilizados sensores para medir parâmetros como tensão e corrente de alimentação, consumo, corrente ou torque dos motores e servomotores, pressão pneumática, temperatura dos motores e servomotores, vibração mecânica de eixos, temperatura e umidade ambiente, dentre outros. A Figura 16 ilustra alguns tipos de sensores/dispositivos usados.

Figura 16 – Exemplo de sensores/dispositivos usados



Fonte: Compilado pelo autor, 2020¹.

Foram usados, por exemplo, o dispositivo analisador de energia modelo DPCM520, sensor de corrente modelo E83-2050, o sensor de vibração modelo VTV-121, o medidor de pressão pneumática modelo DPA-10PP, o transmissor de temperatura modelo BRT TCH1, dispositivo termohigrômetro (mede temperatura e umidade), sensor ultrassônico modelo UA18CAD09, conversor de sinais analógicos para padrão MODBUS RS-485 modelo TCP517A, dentre outros.

Para a transmissão automática dos parâmetros da máquina e implementação da funcionalidade de IoT (Internet das Coisas), usando o protocolo MQTT, foram empregados módulos IoT Wireless WISE da empresa Advantech, como mostrado na Figura 17. Um grupo desses dispositivos foi empregado para cada máquina para receber e transmitir os dados captados pelos sensores.

Figura 17 – Módulo IoT Wireless WISE da empresa Advantech



Fonte: Advantech, 2020.

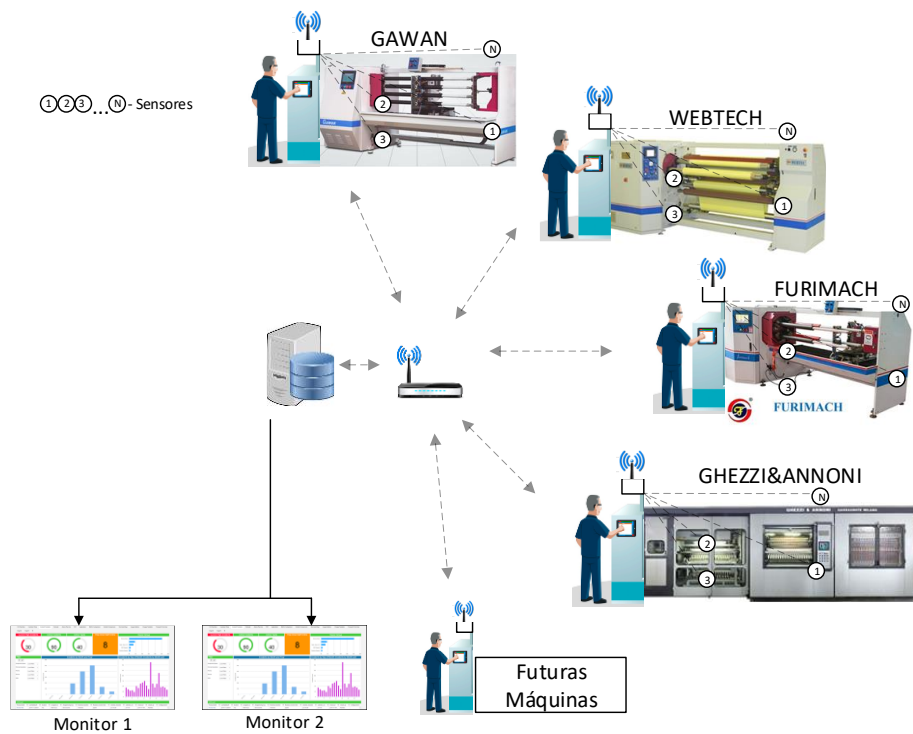
Esses módulos possuem algumas características que o tornam adequado para uso em IoT para Indústria 4.0, como:

- Opera em 2.4 GHz no padrão IEEE 802.11b/g/n WLAN;
- Gera e transmite pacotes de dados em formato JSON que é próprio para uso em Internet das Coisas (IoT);
- Opera com os seguintes protocolos: Modbus/TCP, TCP/IP, UDP, DHCP, HTTP, MQTT;
- Alimentado com tensão de 10 a 30VDC;
- Configurado via página WEB no padrão HTML5.

4.4 Sistema integrado de dados de parâmetros de máquinas

O sistema proposto consiste em coleta os dados dos principais parâmetros das máquinas legado, tais como: tensão, corrente, potência, informações dos sensores das máquinas, da temperatura ambiente, das temperaturas dos principais motores, da pressão de ar comprimido, entre outros (alguns desses parâmetros são processados através de um controlador PLC). Em seguida, os dados são enviados, por meio de comunicação sem fio, a um servidor de aplicação e são armazenados em um banco de dados. Esses dados são formatados, analisados e processados e geram gráficos que são apresentados em monitores de TV instalados em pontos estratégicos da produção. Outrossim, esses mesmos dados são avaliados pelos algoritmos de análise e predição (motor de análise preditivas), de forma a gerar informações relevantes de tomada de decisão e criação de relatórios como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Arquitetura do Sistema de Software proposto

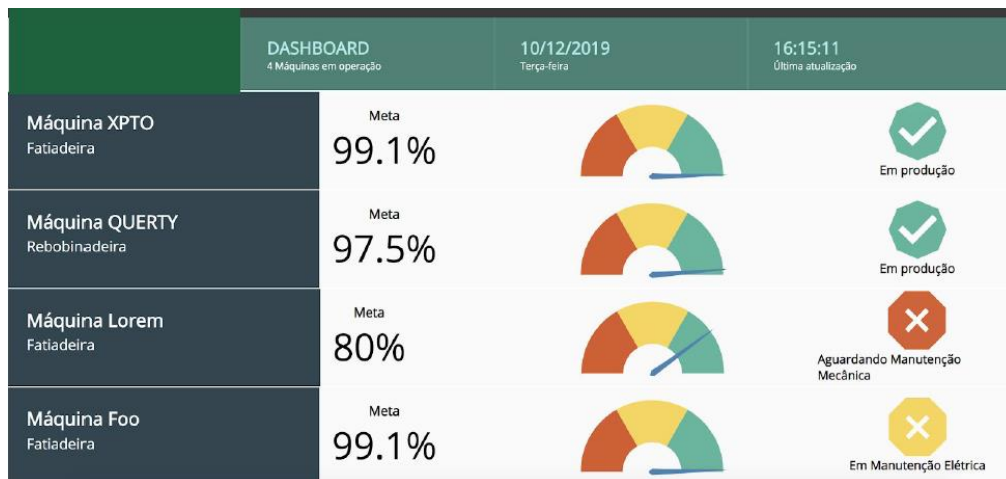


Fonte: JUNIOR, 2020

Com o sistema é possível acompanhar em tempo real a produção e os parâmetros de máquina coletados pela infraestrutura tecnológica também implementada. Possui três módulos principais, o Dashboard, terminal do operador e módulo administrativo.

O Dashboard é uma plataforma na qual os gerentes e líderes de produção poderão acompanhar o grau de atingimento de meta de todas as máquinas que estão sendo monitoradas pelo sistema, conforme Figura 19. Por meio deste módulo é possível também visualizar a necessidade de intervenção de mecânicos, líderes ou engenharia por meio do alerta visual e sonoro, ou seja, o sistema avisa que as máquinas estão paradas, sem produção de fitas adesivas e necessitam da intervenção do time de suporte.

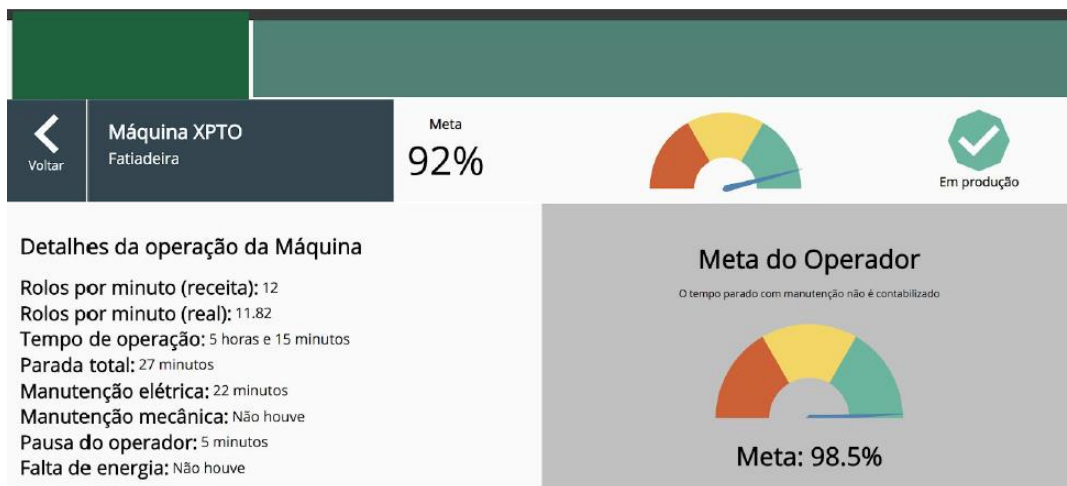
Figura 19- Visão geral Dashboard



Fonte: UEA, 2020

Ainda no dashboard, Figura 20, é possível visualizar detalhes da produção de cada máquina, por exemplo, a velocidade de corte, tempos de operação e parada de máquina além da meta do operador.

Figura 20 - Visão da Máquina em operação



Fonte: UEA, 2020

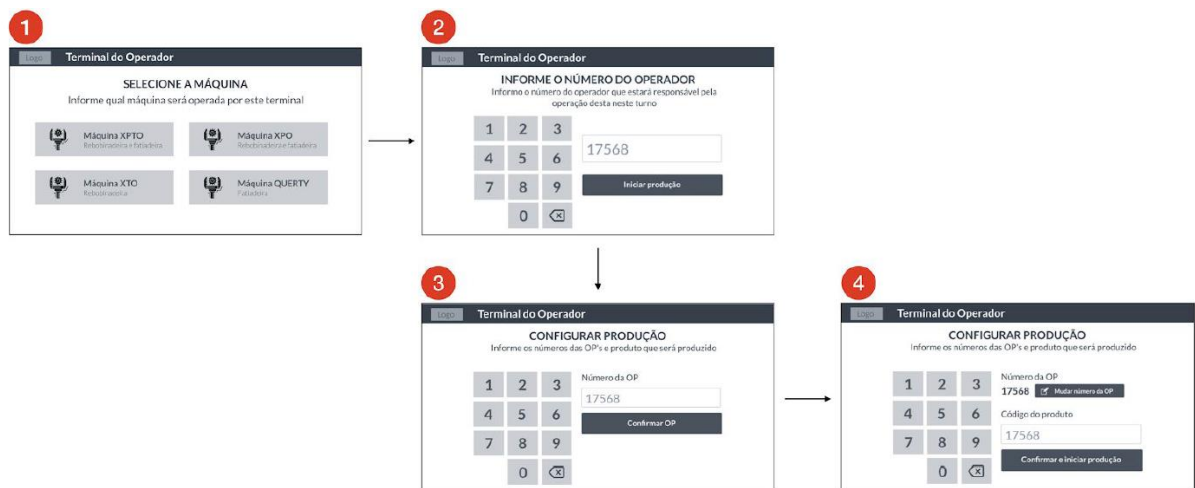
Como dito anteriormente, o sistema informará se a máquina em funcionamento está atingindo a meta ou não. Para isso, faz-se necessário o cálculo da meta, conforme a fórmula abaixo.

$$Meta (\%) = \frac{n \times MC}{T_{prod}}$$

Sendo T_{prod} o tempo total de produção em minutos, n a quantidade de ciclos da operação e Mc a quantidade de minutos por ciclo.

O módulo operador é um sistema web acessado por meio de tablet com acesso à rede intranet da fábrica implantada. Este módulo tem como objetivo coletar informações da produção de fitas informando a máquina que a mesma se encontra e qual o operador responsável naquele momento. Estas informações coletadas alimentam o módulo dashboard. Na tela inicial, conforme Figura 21 do módulo do operador, é possível informar a máquina no qual o terminal será iniciado (1), assim possibilitando flexibilidade ao processo ao permitir que os tablets não sejam exclusivos a uma máquina. Após isso, é necessário informar o código do operador (2), o número da ordem de produção (3) e o código do produto (4) para iniciar a produção.

Figura 21- Visão das telas de Módulo do operador



Fonte: JUNIOR, 2020

Ao preencher todos os dados, inicia-se a tela terminal do operador, conforme Figura 22, a qual contém informações das configurações da máquina em operação, e a respeito do atingimento da meta.

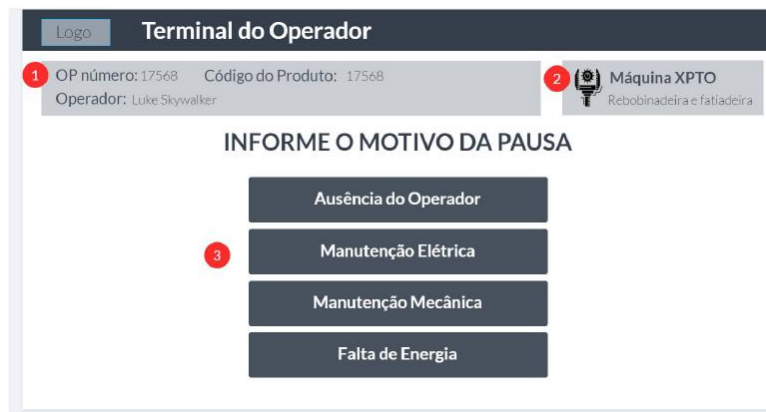
Figura 22 - Visão da tela terminal do operador



Fonte: JUNIOR, 2020

Nesta área do sistema, o operador pode informar uma pausa, ou finalizar seu turno, realizar a troca de operador e encerrar a produção naquela máquina. Os tipos de pausa são ausência do operador, manutenção elétrica ou mecânica e falta de energia, pausas estas mais decorrentes no processo analisado, conforme Figura 23.

Figura 23 - Visão da Tela Pausa do operador



Fonte: JUNIOR, 2020

O Módulo Administrativo é responsável pelos cadastros dos produtos, máquinas, receitas, usuários, operadores e paradas de máquina, de modo que demais módulos consigam as informações para sua plena operação assim como realizar edição e exclusão. O acesso a este módulo será por meio de um usuário e senha.

Já o cadastro das receitas, considerando que uma receita é composta pelo tempo normal de um ciclo e quantidade de rolos pro ciclo e determina o ritmo de produção de uma fita em uma determinada operação (máquina). Os dados

cadastrados na receita são utilizados para o cálculo de atingimento de meta. Para isso foi realizado um estudo de cronoanálise para realizar a coleta destas informações.

Por fim, o módulo administrativo responsável por gerar relatórios informativos sobre o processo e produtividade. Tais relatórios serão abordados com mais detalhes no tópico dos resultados.

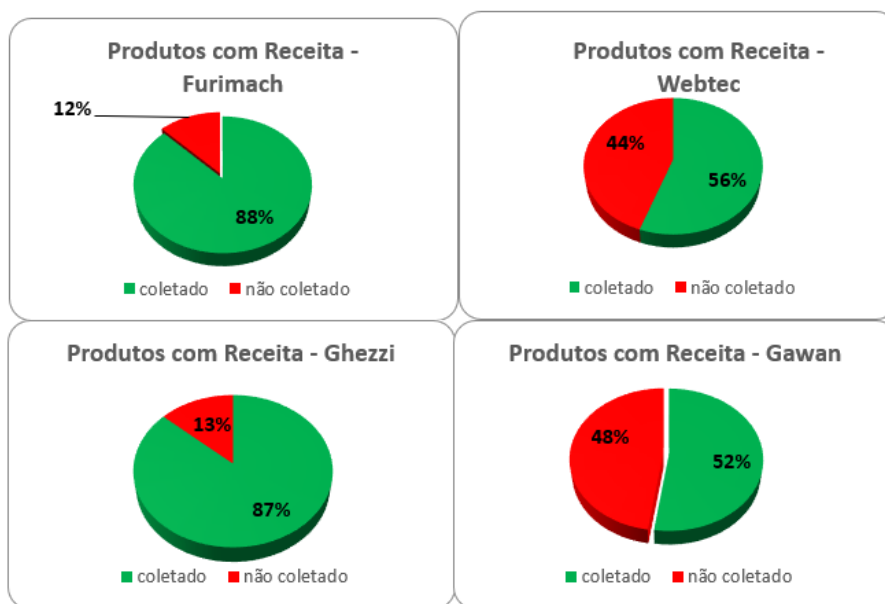
4.5 Definição da Receita do Sistema por Cronoanálise

Como dito nos capítulos anteriores, o sistema de acompanhamento de produção realiza o cálculo da meta de produção que leva em consideração o tempo total para execução de um ciclo de produção. Para a coleta dos tempos, foram realizadas, durante seis meses, filmagens do processo produtivo e posteriormente analisadas para extração dos tempos de ciclo. Parâmetros de máquina como velocidade de corte, de rebobinamento e tensão ou qualquer outro parâmetro que influencie de forma direta ou indireta o tempo de produção, foram anotados antes do início das filmagens assim como toda e qualquer alteração nas mesmas durante a coleta. Todos os tempos de ciclos compuseram as receitas dos produtos e foram inseridos no sistema antes dos testes de integração.

Na determinação do tempo de ciclo não foram consideradas algumas paradas de máquina, como por exemplo lixamentos dos tubos de pvc utilizados nos eixos das máquinas de corte, afiação das lâminas de corte, paradas por falta de operador, setup das máquinas, coleta de matéria prima em outro setor da fábrica, troca de jumbo, desobstrução na mangueira de resfriamento da lâmina, adição de água e sabão na máquina, retirada do resíduo de cola do eixo, lubrificação dos eixos e retirada de produtos engatados na máquina, por serem classificadas no sistema como parada de máquina, tempo este descontado para o cálculo da meta do operado.

Não foi possível coletar tempos e, conseqüentemente, elaborar receitas para todos os produtos. Na Figura 24 são ilustrados os gráficos com a porcentagem das receitas coletadas para as máquinas dos produtos considerados prioridade pelo programador da produção.

Figura 24 – Produtos com receitas das máquinas analisadas



Fonte: Autor, 2020

As quantidades de tempo coletados para as fitas prioritárias são suficientes para operacionalização do sistema. No caso de inserção de uma nova receita, a equipe técnica da empresa estudada deverá realizar a coleta de tempos de em média 10 ciclos para o novo cadastro. Conforme MARTINS (2005), esta é a média de quantidades de ciclos a serem coletados em ambiente fabril. Para isso, o líder de produção e o programador da produção foram treinados na etapa de integração do sistema, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Treinamento do operador da máquina para entrada de dados no sistema



Fonte: Autor, 2020

Segue a metodologia utilizada para coleta dos tempos de ciclo para cada máquina.

- Máquina Fatiadeira 4 eixos fixos 1”: 1 (um) ciclo inicia quando o operador dá o comando para a máquina iniciar o processo de corte dos logs. E finaliza ao iniciar o corte do próximo log. Um ciclo contempla o corte de 4 logs;
- Máquina de Rebobinadeira 3”: 1 (um) ciclo inicia quando o operador dá o comando para a máquina iniciar o processo de rebobinamento do log. E finaliza quando dá o comando para o rebobinamento do próximo log. Um ciclo contempla o rebobinamento de 01 log;
- Máquina Fatiadeira 4 eixos 1”: 1 (um) ciclo inicia quando o operador dá o comando para a máquina iniciar o processo de corte dos dois logs. E finaliza ao iniciar o corte dos próximos logs. Um ciclo contempla o corte de 02 logs;
- Máquina Rebobinadeira/Cortadeira: 1 (um) ciclo inicia quando os dois eixos da máquina giram para iniciar o corte e rebobinamento das fitas. E finaliza quando os eixos giram para o corte e rebobinamento do próximo log.

Na Figura 26 é apresentado trecho do documento elaborado contendo os tempos de ciclos obtidos durante a coleta de dados na máquina Fatiadeira 4 eixos fixos 1”.

Figura 26 – Tempos de ciclos levantados na máquina Fatiadeira 4 eixos fixos 1”

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	TEMPO DE CICLO (MINUTO)	TEMPO DE 01 CICLO (SEGUNDO)	ROLOS POR CICLO
3609080002	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 2m - ADELBRAS	0	588	272
3609080026	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 2m - EMP. BRASILEIRA	0	588	272
3609080003	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 2m - NORTON	0	588	272
3609080028	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 2m - PRATIK	0	588	272
3618080001	2692 - DUPLA FACE ESPUMA - 12mm X 2m - ADELBRAS	0	414	272
3618080017	2692 - DUPLA FACE ESPUMA - 12mm X 2m - EMP. BRASILEIRA	0	414	272
3618080005	2693 - DUPLA FACE ESPUMA - 12mm X 2m - NORTON	0	414	272
3609080005	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 19mm X 2m - ADELBRAS	0	225	172
3609080029	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 19mm X 2m - PRATIK	0	225	172
3618080002	2692 - DUPLA FACE ESPUMA - 19mm X 2m - ADELBRAS	0	335	220
3618080008	2692 - DUPLA FACE ESPUMA - 19mm X 2m - ART TAPE	0	335	220
3618080019	2692 - DUPLA FACE ESPUMA - 19mm X 2m - PRATIK	0	335	220
3611080011	2422 - FT ISOLANTE - 19mm X 5m - ADELBRAS	0	360	260

Fonte: Autor, 2020

Na Figura 27 é apresentado o documento com os tempos de ciclos obtidos durante a coleta de dados na máquina Rebobinadeira 3”.

Figura 27 – Tempos de ciclos levantados na máquina Rebobinadeira 3”

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	TEMPO DE CICLO (MINUTO)	TEMPO DE 1 CICLO (SEGUNDO)	TUBETE POR CICLO (UND)
3613080005	2604 - FT DUPLA FACE - FLOW PACK - 12mm X 30m - ADELBRAS	0	117	1
3613080001	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - ADELBRAS	0	117	1
3613000001	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - AMAZON	0	117	1
3613080028	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - CRONOS	0	117	1
3613080007	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - FITAR	0	117	1
3613080022	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - MIPEL	0	117	1
3613080027	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - TACK TAPE	0	117	1
3601080001	2300TRA - FT POLIP. - 12mm X 40m - ACRIFIT	0	91	1
3601080129	2300TRA - FT POLIP. - 12mm X 40m - AFA	0	91	1
3601000001	2300TRA - FT POLIP. - 12mm X 40m - AMAZON	0	91	1
3601080142	2300TRA - FT POLIP. - 12mm X 40m - COLACRIL	0	91	1
3601080144	2300TRA - FT POLIP. - 12mm X 40m - FITAR	0	91	1

Fonte: Autor, 2020

Na Figura 28 é apresentado o trecho do documento com os tempos de ciclos obtidos durante a coleta de dados na máquina Fatiadeira 4 eixos 1”.

Figura 28 – Tempos de ciclos levantados na máquina Fatiadeira 4 eixos 1”

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	TEMPO DE CICLO (MINUTO)	TEMPO DE 1 CICLO (SEGUNDO)	ROLOS POR CICLO (UND)
3609000009	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 20m	0	1002	136
3609080001	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 20m - ADELBRAS	0	1002	136
3609080022	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 20m - IBJ BARCELOS	0	1002	136
3609080018	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 20m - MIPEL	0	1002	136
3609080030	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 20m - PRATIK	0	1002	136
3609080019	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 20m - SUL PACK	0	1002	136
3609080002	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 2m - ADELBRAS	0	323	136
3609080026	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 2m - EMP. BRASILEIRA	0	323	136
3609080003	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 2m - NORTON	0	323	136
3609080028	2690 - FT DF MASSA ACRILICA - 12mm X 2m - PRATIK	0	323	136
3613080005	2604 - FT DUPLA FACE - FLOW PACK - 12mm X 30m - ADELBRAS	0	402	170
3613080001	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - ADELBRAS	0	402	170
3613000001	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - AMAZON	0	402	170
3613080028	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - CRONOS	0	402	170
3613080007	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - FITAR	0	402	170
3613080022	2604 - FT DUPLA FACE - 12mm X 30m - MIPEL	0	402	170

Fonte: Autor, 2020

Na Figura 29 é apresentado o documento com os tempos de ciclos obtidos durante a coleta de dados na máquina Rebobinadeira/Cortadeira.

Figura 29 – Tempos de ciclos levantados na máquina Rebobinadeira/Cortadeira

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	TEMPO	TEMPO	ROLOS
3602080117	SK280TRA - FT POLIP. - 48mm X 100m	0	82	42
3604080017	SK285TRA - FT POLIP. - 48mm X 100m	0	82	42
3601080034	2300TRA - FT POLIP. - 48mm X 100m - ACRIFIT	0	82	42
3601080251	2300TRA - FT POLIP. - 48mm X 100m - ADELPACK	0	82	42
3601080305	2300TRA - FT POLIP. - 48mm X 100m - ADELPACK	0	82	42
3601080177	2300TRA - FT POLIP. - 48mm X 100m - AGNUS	0	82	42
3601080058	2300TRA - FT POLIP. - 48mm X 100m - ALPACK	0	82	42
3601080317	2300TRA - FT POLIP. - 48mm X 100m - ALVESCAN	0	82	42

Fonte: Autor, 2020

5. RESULTADOS OBTIDOS

No início deste estudo foi levantada a seguinte problemática: qual o impacto no processo produtivo da empresa analisada ao implementar um sistema de monitoramento de produção contemplando conceitos da indústria 4.0? Assim, neste capítulo, serão apresentados os resultados desta análise tendo como premissa que um sistema é composto por pessoas, ambiente, software e hardware, e para que a integração do sistema com a organização ocorra de forma bem-sucedida, é preciso realizar uma avaliação do impacto organizacional, os quais deverão ser abrangentes e amplamente documentados em seu desenvolvimento (BELAN, 2006).

Em relação ao hardware, foi possível adequar o maquinário legado ao conceito de IoT (Internet das Coisas), com a utilização de módulos de transmissão sem fio, capazes de receber os dados de parâmetros das máquinas (no formato de tensão, corrente ou digital) e publicá-los em um Broker MQTT (função Publisher) em formato de pacotes de dados JSON, que é o mais utilizado em IOT, um dos pilares da Indústria 4.0 (GERBERT *et al.* 2015).

O conjunto dos sensores e demais dispositivos instalados nas máquinas, possibilitaram a captura dos dados (parâmetros das máquinas) que são acessados pelos software implantado por meio do aplicativo de supervisão e controle (função *Subscriber*) e tratados para geração de telas, gráficos, relatórios ou para prever ações de manutenção preditiva, com base em inferência de tendências ou potenciais problemas de funcionamento. Conforme Cardoso (2018), os sensores, além de contribuir com a manutenção preditiva, evitam gastos com parada de linha, com segurança, reduzem o consumo de energia.

Em relação ao software, o armazenamento contínuo das informações em um banco de dados ao longo dos anos permitirá que, em um futuro próximo, os dados históricos possam embasar análises mais completas e complexas de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) tornando os resultados mais precisos e eficazes.

O fato de integrar as máquinas a um servidor de aplicação possibilitou também o controle e o gerenciamento da produção em tempo real. Os dados pertinentes às ordens de produção, ao ritmo de produção, aos tempos de operação e de parada e outros eventos, estão disponíveis a qualquer tempo e podem ser visualizados em pontos estratégicos da fábrica pelo pessoal responsável, conforme Figura 30.

Figura 30– Gestão visual do atingimento de meta por meio de TV



Fonte: Autor, 2020

Com a informação em tempo real, o líder de produção pode interferir no processo produtivo e descobrir os motivos da meta não estar sendo atingida antes do fim da produção da Ordem de Produção (O.P) e corrigi-los antes de impactar no prazo da entrega do lote ao cliente. Assim como o time de manutenção é informado que é necessária a sua intervenção no mesmo instante em que a máquina teve seu funcionamento interrompido, eliminando o tempo gasto de deslocamento do operador até a sala de manutenção. Espera-se que com isso o indicador de disponibilidade de máquina aumente e o de tempo médio de reparo diminua.

Em resumo, as ocorrências de anormalidades podem ser tratadas imediatamente pelo setor correspondente, seja em caso de redução do ritmo de produção, da falta de insumos, por ausência de operador, por problemas na máquina ou por outro problema qualquer. Este controle de supervisão mais ágil e automatizado da produção resulta na possibilidade de diminuição das perdas com parada de máquina, o que irá automaticamente gerar aumento na produtividade, eliminar desperdício com espera e produção de produtos com defeito e ter uma produção que irá operar de uma maneira mais estável, em uma taxa de produção mais constante.

Em se tratando de pessoas, foram realizados treinamento e testes de usabilidade com os operadores e gestores. Foi constatado que o software é de fácil manuseio por meio dos tablets e com isso, obteve-se grande aceitabilidade do seu uso no processo produtivo pelos operadores. Conforme Belan, *et. al* (2006), o

treinamento dos funcionários é imprescindível para que os erros de apontamentos por falta de atenção sejam minimizados.

Outro impacto foi a geração de relatórios para a área de manutenção. Anterior à implantação do sistema, os gráficos dos relatórios eram gerados no Excel por meio de inserção manual dos dados coletados da Ordem de Serviço de Manutenção conforme Figura 31.

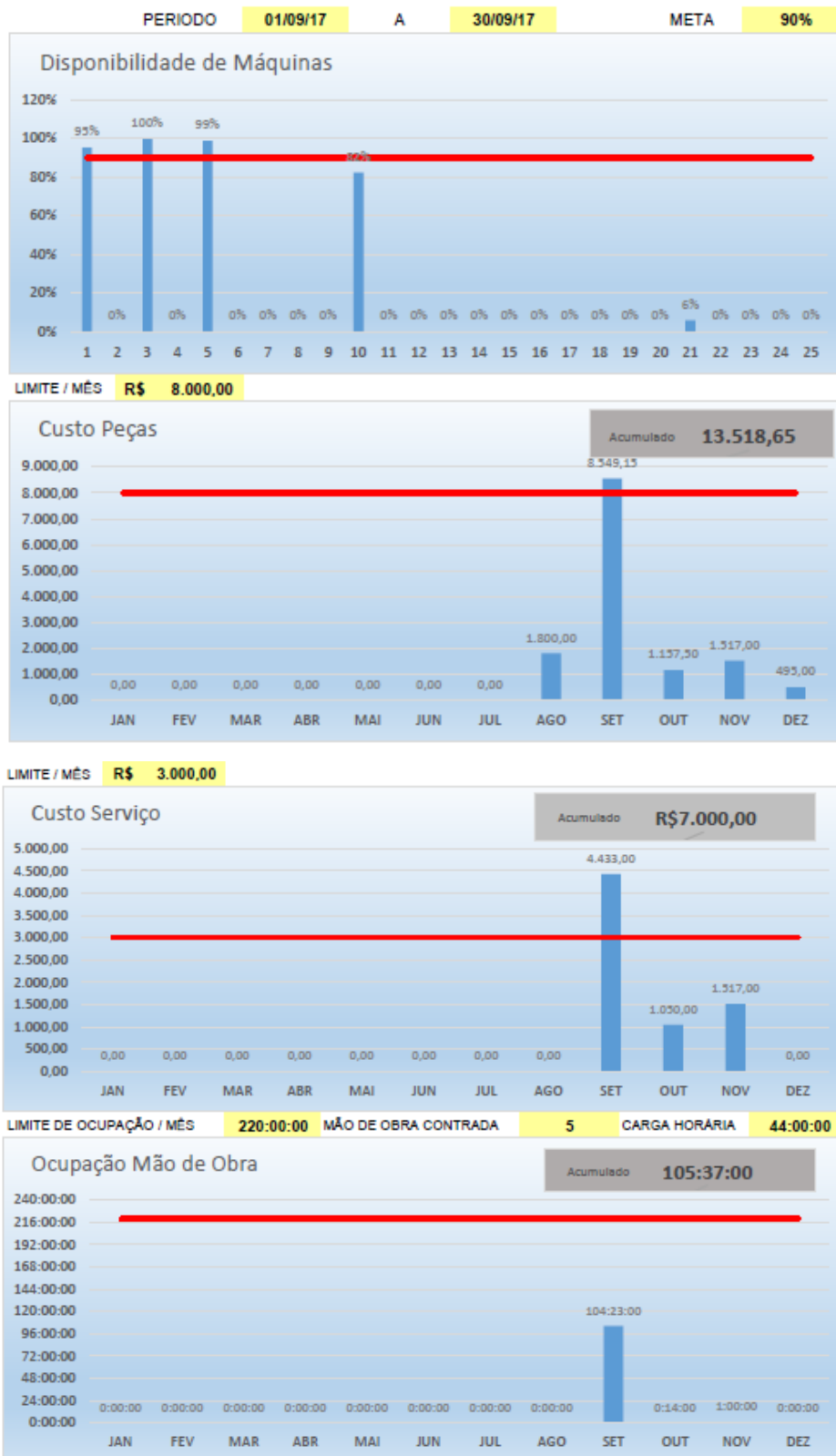
Figura 31– Ordem de serviço para manutenção

AMAZON TAPE		ORDEM DE SERVIÇO / OS		Data:	01/09/17
				Rev.:	00
OS Nº	REGISTRO	TIPO DE MANUTENÇÃO			
180	ABERTURA: 18/11/19 8:44 FECHAMENTO: 21/11/19 10:41	Corretiva			
EMISSOR: Leandro					
TURNO: 1º	TIPO: Interna				
MÁQUINA: 2	DESCRIÇÃO: Rebobinadora de 3"				
DESCRIÇÃO DO PROBLEMA					
Eixo que faz com que regule a tensão dos logs não está correspondendo conforme a regulagem.					
SOLUÇÃO DO PROBLEMA					
Foi feita a lubrificação na válvula que faz com que o eixo emprensador permita a regulagem de tensão nos logs.					
PEÇAS UTILIZADAS					
RFP	DESCRIÇÃO	CUSTO UNIT.	QTD	SUB TOTAL	
				CUSTOS COM PEÇAS :	R\$ -
				CUSTOS COM SERVIÇOS :	-
				CUSTO TOTAL :	R\$ -
TEMPO DE MÁQUINA PARADA			TEMPO UTILIZADO DE MÃO DE OBRA		
75:57:00			0:00:00		

Fonte: Autor, 2020.

Contudo, o mesmo se encontrava desatualizado no decorrer da pesquisa, conforme Figuras 32, por falta de alimentação dos dados.

Figura 32 – Relatórios de Manutenção atuais da empresa analisada



Fonte: Autor, 2020.

Já com o novo sistema, a inserção será realizada pelo operador, que terá um comando que informa o início e o fim do processo de manutenção, conforme a Figura 33. Assim, os dados são armazenados automaticamente no banco de dados para geração de relatórios, não necessitando de uma pessoa específica para desenvolver esta atividade.

Figura 33 – Tela do terminal do Operador para início e finalização de manutenção



Fonte: UEA, 2020

Com os dados inseridos pelo operador, são realizados o cálculo das métricas de disponibilidade da máquina, tempo médio entre falhas e tempo médio para reparos, que são evidenciados no sistema por meio de gráficos e tabelas.

Os relatórios de metas têm a característica de possuir uma gama de combinações entre período, máquina, produto, operador e turno que possibilita o gestor obter informações em tempo real da produtividade, conforme Figura 34. A diferença em relação aos antigos relatórios é que na forma implantada há a disponibilidade da informação em tempo real e de forma estratificada.

Figura 34 – Relatório de Meta do Sistema



Fonte: UEA, 2020

O tempo médio entre falhas (MTBF) consiste na média de tempo transcorrido entre uma manutenção e a outra. O tempo médio para reparo (MTTR) é o tempo médio necessário para executar as manutenções. Já a disponibilidade possui a fórmula: $\text{disponibilidade} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$. O relatório pode ser visto na Figura 35.

Figura 35 – Tela do sistema do Relatório de Manutenção

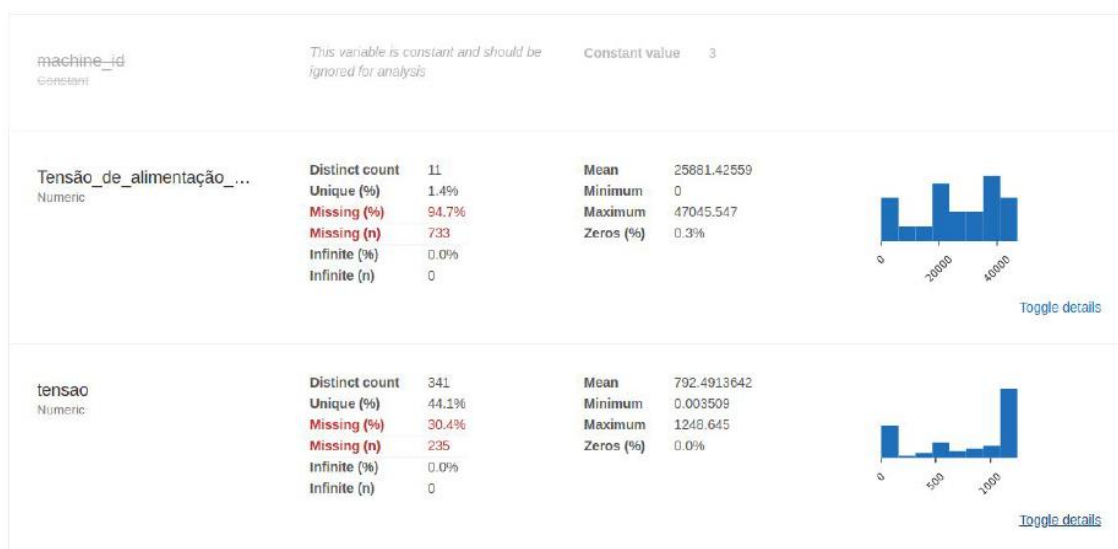


Fonte: UEA, 2020

Por fim, os relatórios de Analytics, como mostrado na Figura 36, possibilitam uma análise mais profunda do comportamento dos parâmetros das máquinas para

tomadas de decisão no que tange a manutenções preditivas. Além de preparar as máquinas para a Indústria 4.0. “A manutenção preditiva é a manutenção centrada num conjunto de ações que levam a redução de falhas de funcionamento.” (BORLIDO, 2017, p.51). Com seu monitoramento contínuo, é possível determinar em qual peça e máquina será realizada a manutenção preventiva antes de uma quebra ou paralização, resultando em uma redução de custo. (BORLIDO, 2017).

Figura 36 – Relatório Analytcs



Fonte: UEA, 2020

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho tratou de analisar os impactos em ambiente fabril da implantação de um sistema de monitoramento de produção e parâmetros de máquinas com vista para Indústria 4.0 em uma empresa de manufatura de fitas adesivas, mostrando um estudo de caso real.

O mapeamento e modelagem do processo produtivo foi essencial para o entendimento das atividades e determinação do tempo de ciclo inseridos no sistema além de ter sido essencial para sugerir melhorias para a equipe que desenvolveu o sistema (*Hardware e Software*) ao relatar a execução das atividades pelos operadores além de suas necessidades. Somada à descrição do sistema, que possibilitou o melhor entendimento dos impactos da implantação no processo produtivo.

Em resposta ao objetivo, os principais impactos são monitoramento dos parâmetros de máquinas utilizando IoT, armazenamento de grandes volumes de dados (*Big Data*) e elaboração de relatórios de acompanhamento de produção e de manutenção. Na gestão, o maior impacto é a possibilidade de acesso a informações da produção em tempo real para a tomada de decisão. Já as atividades do operador não sofreram impactos relevantes, contudo, foi dada atenção aos treinamentos para que a inserção de dados ocorra de maneira correta, essencial para um bom funcionamento do sistema.

Com base nos resultados, conclui-se que a o emprego dessa forma de controle e supervisão integrada, automatizada, compartilhada com base nos pilares da Indústria 4.0, permite a padronização da produção, a redução de desperdícios (espera e produtos defeituosos), a estabilidade no ritmo de produção e ações de gestão mais rápidas e eficazes. A nova cultura de produção faz com que todos os atores do processo produtivo estejam mais integrados e partícipes, tendo consciência que as responsabilidades pelo funcionamento da produção ficam mais visíveis a todos.

REFERÊNCIAS

ADVANTECH. **Wise-4051 8-ch Digital Input IoT Wireless I/O Module with RS-485 Port, Datasheet**, 2020 Disponível em: <<http://support.elmark.com.pl/advantech/pdf/iag/WISE-4051-datasheet.pdf>>. Acessado em: 17 mar. 2020

AIRES, Matheus de Oliveira *et al.* **Indústria 4.0: a manufatura aditiva como ferramenta de inovação e otimização**. Braz. J. of Bus., Curitiba, v. 1, n.3, p. 1821-1833, jul/set. 2019.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo *et al.* **Principais inovações tecnológicas da Indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura**. XXIV Simpósio de Engenharia de Produção, Baurú, 2017.

Altus, sistema de Automação. **Conheça os nove pilares da Indústria 4.0 e sua relevância para a atividade industrial**. Altus S.A, 07 jan. 2019. Disponível em:< <https://www.altus.com.br/post/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

BARRETO, Nuno Miguel Meireles Barreto. **O impacto do Big Dat e Internet of Things**. 2019. Tese (Mestrado em Ciências Empresariais) – Lisbon School of Economics & Management, Lisboa 2019.

BELAN, H. C.; PALMA, J. G.; LIMA, R. H. P. Análise da Implantação de um Sistema de Execução da Manufatura. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., Bauru, 2006.

BORLIDO, David José Araújo. Indústria 4.0 – Aplicação e Sistemas de Manutenção. Orientador Dr. Armando Leitão. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2017.

BOSSO, Marlos. O uso inteligente do Big Data a favor da indústria. **Convergência Digital**, 2016. Disponível em: <<https://www.convergenciadigital.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?UserActiveTemplate=site&UserActiveTemplate=mobile%252Csite&inford=442%E2%80%A6>>. Acesso em: 06 ago. 2020.

BOSTON CONSULTING GROUP/BCG. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. Munique, 2015

CARDOSO, D. A. L.; CHEBAR; I. E.; BELTRÃO, M. J. **Estudo de aplicabilidade de ferramentas da indústria 4.0 em uma planta de geração de energia a partir da reforma do biogás**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

CAUSAS da Revolução Industrial. **Educa Mais Brasil**. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/historia/causas-da-revolucao-industrial>>. Acesso em: 06 agos. 2020.

COLABO. **A indústria 4.0 e a revolução digital**. 22 de nov. de 2016. Disponível em: <<https://blog.collabo.com.br/transformacoes-industria-4-0/>> Acesso em: 8 set. 2020.

CUNHA, Renato. **A história da Toyota começou com um revolucionário tear mecânico**. 13 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.stylourbano.com.br/a-historia-da-toyota-comecou-com-um-revolucionario-tear-mecanico/#:~:text=Em%201890%20aos%2023%20anos,e%20fundou%20o%20Grupo%20Toyota.>>. Acesso em: 26 out. 2020.

GERBERT, P., LORENZ, M., RUBMANN, M., WALDNER, M., JUSTUS, J., ENGEL, P. e HARNISCH, M. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. Boston Consulting Group, 2015. Disponível em: <https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx>. Acesso em 10 dez. 2019.

CHIZZOTTI, Marco Tavares. **Normas técnicas para o trabalho científico**. 16.ed. Porto Alegre: Dáctilo Plus, 1995.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

HABEKOST, Anderson Felipe. *et al.* **A Indústria 4.0 como potencializadora das práticas da manufatura enxuta**. Revista de Engenharia de Produção, v.1, n.1, p 61 – 73. Campo Grande, 2019.

H., LUKAS, W. e WAHLSTER, W. **Industrie 4.0: Mit dem Internet de Dinge auf dem Weg zur 4**. Industriellen Revolution. VDI nachrichten, 13. 2011.

HEINRICH, Vivian. Legado faz da IoT um grande desafio para a indústria brasileira. **CIO FROM IDF**. 16 jan. 2019. Disponível em: <<https://cio.com.br/legado-faz-da-iot-um-grande-desafio-para-a-industria-brasileira/>>. Acesso em: 10 agos. 2020.

HERMANN, Mario, PENTEK, Tobias, OTTO, Boris. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. Working Paper, No. 01 / 2015.

JUNIOR, Antonio Ramos de Carvalho; CARVALHO, Rafael Barbosa de. **Documentos de Requisitos do Sistema – Módulo Dashboard**. 2. ed. Manaus, 2019.

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W. e HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of Industrie 4.0 Working Group**. 2013.

LAKATOS, E .M.; MARCONI, M. A. **Técnicas de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas. 2011.

LAPASTINI, Danilo. **Lean Manufacturing, reduzindo desperdícios e aumentando a qualidade**. 22 fev. 2017. Disponível em: <<https://manufatura->

inteligente.com.br/materia-completa-sobre-lean-vale-pena-ler/>. Acesso em: 26 out. 2020.

LEE, E. A. **Cyber physical systems: Design challenges, Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)**. 11thIEEE International Symposium on, IEEE, pp. 363-369. 2008.

LEITE, J.R. Emiliano; MARTINS, Paulo S.; Ursini, Edson L. **A Internet das Coisas (IoT): Tecnologias e Aplicações**. Brazilian Technology Symposium, São Paulo, v.1. 2017.

LIKER, Jeffrey K. **O Modelo Toyota. 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MARTINS, Petrônio G., LAUGENI, Fernando P.. **Administração da Produção**: 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MYIAGI, PM.AE. *et al.* **Arquitetura para desenvolvimento de sistemas ciber-físicos aplicados na indústria 4.0**. XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Porto Alegre, RS. Out 2017.

MARQUES, M. M. **Ferramentas da qualidade como suporte em sistemas de informação**. São Paulo: Futura, 2010.

MAXIMIANO, Antônio Cesar Amaro. **Introdução à Administração**, 6^a ed. São Paulo: Atlas, 2008.

NASCIMENTO, Dinalva Melo do. **Metodologia do trabalho científico: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Fórum, 2008.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção - Além da produção em larga escala**. Ed. Bookman: Porto Alegre, 1997.

PINTO, Jefferson Pinheiro. **A relação entre Lean Manufacturing e Indústria 4.0: Uma revisão sistemática da literatura**. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial), Universidade de Lisboa, Lisboa, 2020.

PINTO, José. **Modelo de Implementação do Pensamento JIT**. Porto: Publindústria, 2009.

REA, L.; PARKER R. **Metodologia de pesquisa: do planejamento à execução**. São Paulo: Pioneira Thomson, 2012.

REPULLO, Rodney. Indústria 4.0, desafio para os sistemas de legados da produção. **Ind4.0 Manufatura Avançada**. 15 dez. 2019. Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/noticias/19216-industria-40-desafio-para-os-sistemas-de-legados-da-producao>> Acesso em: 10 agos. 2020.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta. Uma Revolução nos Sistemas Produtivos**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura – Atingindo competitividade nas operações industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

TORGA, E. F. **Sistema de Produção**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2006.

TORTORELLA, G. L. *et. al.* **Implantação da Produção Enxuta e Indústria 4.0 em Empresas Brasileiras de Manufatura**. Revista Empreender e Inovar Unifebe, Brusque, v.1. n. 1. P. 01-18, 2018.

UEA, Hub Tecnologia e Inovação. **Manual do usuário – Sistema Amazon Tape**. [Manaus]: 2019. 33p.

VARGAS, Rodrigo. **Gestão Industrial**, 2018. Disponível em: <<https://gestaoindustrial.com/author/rodrigo-vargas/>>. Acessado em: 07 mai. 2019.

VENTURELLI, Marcio. Banco de Dados em Cloud para Tomada de Decisões na Automação Industrial. Seção Automação Industrial, Digitalização e Indústria 4.0. **Marcio Venturelli**. 24 jul. 2017. Disponível em: <<https://marcioventurelli.com/2017/07/24/big-data-na-industria-4-0/>>. Acesso em: 06 agos. 2020.

WOMACK, J.P., JONES, D.T. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**, Simon & Schuster, 1996.

YIN, R.K. **Estudo de Caso – Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

GLOSSÁRIO

5S: Metodologia que se concentra na criação e manutenção de um local de trabalho organizado para eliminar o desperdício.

Andon: É uma ferramenta de gestão do Lean Manufacturing, que se utiliza de sinais luminosos e/ou sonoros para avisar que há algum defeito na cadeia de produção.

Fluxo Puxado: Um estado ideal de operações eficientes produzindo apenas o que é necessário, uma unidade de cada vez (sem estoque em estoque).

Kaisen: É uma filosofia baseada no processo de melhoria contínua. Seus princípios são vá ao Gemba (chão de fábrica), observa o que acontece, procure os desperdícios.

Kanban: O uso de sinais visuais para desencadear ou controlando o fluxo de materiais. Impede a superprodução conforme a variação da demanda. Deve-se ser aplicado somente depois que um processo foi estabilizado e equilibrado.

Manutenção Produtiva Total: Métodos que garantem que todo o equipamento esteja sempre apto a funcionar, para que a produção nunca seja interrompida. Promove a cooperação e o respeito entre as equipes de manutenção e produção.

Padronização: É a descrição das melhores práticas realizadas por pessoas e máquinas. É composto por três elementos: tempo de ciclo, sequência de trabalho e inventário padrão. Torna o padrão explícito para todos e expõe qualquer desvio do padrão.

Poka Yoke: Uma abordagem para detectar e prevenir erros, ou seja, parar os defeitos antes de irem para o próximo processo. É utilizado quando a tolerância de erros é igual a zero.

SMED: Métodos que reduzem o tempo e esforço para troca de ferramentas sem impacto negativo na qualidade. Melhora a flexibilidade, permitindo a produção de muitas peças em lotes menores.

Takt time: Tempo necessário para produzir uma peça de qualidade para atender à demanda do cliente. É calculado como o tempo de trabalho efetivo dividido pelas necessidades do cliente.

VSM: Value Stream Mapping é uma técnica para analisar e projetar os fluxos de materiais e informações de todo um fluxo de valor. Uma visão "ampla" dos estados atuais e futuros do fluxo de valor, com intuito de tornar o desperdício visível e identificar os meios para eliminá-lo.