

MEDIÇÃO DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0 *PRODUCTION EFFICIENCY MEASUREMENT IN INDUSTRY 4.0*

João Victor Machado de Souza¹

Victor Stela¹

Débora Meyhofer Ferreira²

Universidade São Francisco – *Campus* Itatiba

j.victor-vms@live.com | v.stela95@gmail.com | debora.ferreira@usf.edu.br

¹Alunos do Curso de Engenharia Elétrica

²Professor Orientador

RESUMO. O desenvolvimento de novas tecnologias para o setor industrial e as perspectivas de implementação da I4.0 (Indústria 4.0) estão promovendo o interesse das organizações em adaptar seus processos aos novos patamares tecnológicos, a fim de otimizar a eficiência da cadeia produtiva. A tendência é que cada vez mais, as empresas busquem modernizar seu modelo de gestão, utilizando a digitalização e integração de processos para alcançar um bom desempenho. Com essa transformação no setor de manufatura e a constante evolução tecnológica, surge a necessidade de atualização dos processos operacionais para que as indústrias possam acompanhar o mercado e se manterem competitivas. Contudo, a implementação dessa nova revolução industrial é um grande desafio, principalmente no Brasil, por demandar capacitação profissional, inovação, recursos e iniciativas do setor público e privado.

No decorrer do presente artigo, é apresentado a comparação de um sistema de medição de eficiência produtiva para plantas industriais e/ou linhas de produção, construído através das tecnologias digitais oferecidas pela I4.0, com um sistema tradicional de mercado. O conceito de integrar tecnologias digitais, conhecido como IoT (*Internet of Things*), oferece diversas ferramentas para construção de *softwares*. Para o sistema em questão, é utilizado o NODE-RED, ferramenta de programação em fluxo, para a construção das lógicas e interfaces gráficas. O projeto é baseado na integração do conceito da I4.0 com a metodologia TPM (*Total Productive Maintenance*), mais especificamente, o indicador-chave de desempenho, o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) que auxilia a promover melhorias em diversos setores produtivos da indústria, racionalizando a utilização de recursos, reduzindo custos e maximizando a performance produtiva, através do monitoramento dos principais indicadores de desempenho dos processos, que por sua vez, contribuem para a eficácia das tomadas de decisões.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0, Internet of Things, NODE-RED, Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness.

ABSTRACT. The development of new technologies for the industrial sector and the prospects for the implementation of Industry 4.0 are promoting the interest of organizations in adapting their processes to new technological levels to optimize the efficiency of the production chain. Companies are increasingly looking to modernize their management model, using digitization and process integration to achieve good performance. With this transformation in the manufacturing sector and the constant technological evolution, there is a need to update operational processes so that industries can keep up with the market and remain competitive. However, the implementation of this new industrial revolution is a major challenge, especially in Brazil, as it requires professional training, innovation, resources and initiatives from the public and private sector.

This article presents a comparison of a production efficiency measurement system for industrial plants and / or production lines, built using the digital technologies offered by I4.0, with a traditional market system. The concept of integrating digital technologies, known as Internet of Things, offers a variety of software building tools. For the system in question, NODE-RED, a flow programming tool, is used to construct logic and graphical interfaces. The project is based on the integration of the I4.0 concept with the Total Productive Maintenance methodology, more specifically, the key performance indicator, the OEE which helps to improve many industry productive sectors, rationalizing resource utilization, reducing costs and maximizing productive performance by monitoring key process performance indicators, which contributes to the effectiveness of decision making.

KEYWORDS: Industry 4.0, Internet of Things, NODE-RED, Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness.

INTRODUÇÃO

Conhecida por 4ª revolução industrial ou nova era digital, a I4.0 (Indústria 4.0) é um dos assuntos mais abordados por empreendedores do mundo todo, porém no Brasil, o tema ainda é bem recente, mesmo tendo sido citado pela primeira vez em 2011, na Alemanha. Segundo a ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial), menos de 2% das empresas, no Brasil, atuam no conceito da I4.0, o que contribui para que o país fique longe do topo da lista dos países mais inovadores, ficando atrás de países emergentes, como Índia e África do Sul.

Pesquisa realizada pela FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo), mostra que apenas 5% das empresas entrevistadas, que conhecem a I4.0, sentem-se muito preparadas para a implementação, e para 52% o progresso das iniciativas tem sido limitado.

A CNI (Confederação Nacional da Indústria) diz que existem treze tecnologias digitais que compõe a I4.0. Entre elas estão IoT (*Internet of Things*), inteligência artificial, *big data*, manufatura aditiva, robô colaborativo e outras, que segundo estudos, na indústria brasileira têm sido priorizado a implementação de tecnologias para aumentar a eficiência do processo de produção e melhorar a gestão dos negócios.

Observando o cenário atual da indústria brasileira, pode-se perceber que ainda existe limitações para a implementação dessas tecnologias. Segundo o mesmo estudo da CNI, essas barreiras normalmente são fatores técnicos, financeiros, burocráticos ou falta de demanda, mas ainda assim, indústrias investem em tecnologias que prometem aumentar a eficiência produtiva.

Uma forma de otimizar a produção de uma empresa de manufatura, já utilizada por renomadas empresas no mundo todo, é o TPM (*Total Productive Maintenance*). Essa metodologia é muito extensa, porém o KPI (*Key Performance Indicator*) é a ferramenta principal, que fornece indicadores que influenciam no desempenho das plantas e/ou linhas de produção. Um desses indicadores é o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), utilizado para mensurar a eficiência e contribuir com o aumento da produtividade de um determinado processo. Através de parâmetros como disponibilidade, performance e qualidade.

O OEE não é uma nova ferramenta ou conceito que pertence a era da 4ª revolução industrial, pelo contrário, já está há um bom tempo no mercado. Como é comprovada a sua eficácia, é possível integrar a metodologia TPM às tecnologias digitais oferecidas pela I4.0, construindo um sistema completamente digital, de fácil uso, não exigindo grandes conhecimento técnicos, de baixo custo e flexível, podendo ser aplicável a qualquer linha de produção. Esse sistema estaria concentrado dentro da grande demanda de implementação das tecnologias digitais, que é promover o aumento de eficiência do processo de produção.

REFERENCIAL TEÓRICO

Indústria 4.0

Baena (2017) conta que, em 2011, o governo alemão trouxe para o mundo um novo termo denominado I4.0, assumida como a quarta revolução industrial. O objetivo da I4.0 é trabalhar com um nível mais alto de automação, atingindo um nível mais alto de produtividade operacional e eficiência, conectando o mundo físico ao mundo virtual.

A I4.0 envolve especificamente uma mudança radical em como o chão de fábrica opera atualmente. Definido por muitos como uma transformação global da indústria de manufatura pela introdução da digitalização e da internet, essas transformações consideram melhorias revolucionárias nos processos de manufatura, operações e serviços de manufatura de produtos e sistemas (TJAHJONO et al., 2017).

Franco (2019) complementa dizendo que, a I4.0 introduz o que tem sido chamado de “fábrica inteligente”, em que sistemas ciber-físicos monitoram os processos físicos da fábrica e tomam decisões descentralizadas. Os sistemas físicos com IoT, comunicam e cooperam uns com os outros e com os humanos em tempo real através das redes de comunicação.

Segundo Tjahjono et al. (2017), a I4.0 também promove o uso de *big data*, IoT, e inteligência artificial como um só sistema. Esta revolução prevê um ambiente no qual máquinas inteligentes podem se comunicar umas com as outras, não apenas para automação de linhas de produção, mas também para analisar e entender um certo nível de questões de produção e, com mínimo contato humano, resolvê-los de forma eficiente. Ele ainda ressalta que essa revolução afetará indústrias de manufatura, varejistas, empresas de operações e provedores de serviço.

Todas as tecnologias digitais citadas convergem a tornar uma fábrica mais inteligente e eficiente, com diferentes máquinas comunicando-se entre si. A IoT é um dos pilares para efetivar a I4.0 em uma indústria, são inumeráveis as possibilidades de aplicação deste conceito integrador.

Internet of Things

Conforme Jaikar e Iyer (2018), a IoT permite que objetos interajam uns com os outros, para trocar informações para tomadas de decisão. A IoT transforma simples objetos para objetos inteligentes, explorando suas tecnologias subjacentes. Mas esses objetos são heterogêneos e dependendo das necessidades da aplicação eles usam diferentes protocolos de comunicação. Ainda complementam que um protocolo de comunicação nada mais é do que uma linguagem utilizada pelos objetos para que haja uma interação entre eles.

Franco (2019) afirma que se os ativos industriais estão conectados e podem ser monitorados através da IoT os problemas são resolvidos antes que eles aconteçam, os benefícios são enormes. Os alertas podem ser configurados, os ativos podem ser mantidos de forma preditiva, o monitoramento e o diagnóstico em tempo real tornam-se possíveis

Os protocolos para a comunicação entre os componentes da IoT devem lidar com fatores como baixa largura de banda, alta latência e instabilidade da comunicação (TORRES et al., 2016). O protocolo escolhido para o projeto foi o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) que será abordado na metodologia.

Neste trabalho, o IoT é aplicado no controle da manufatura, já que essa tecnologia torna possível a comunicação entre máquinas e entre máquinas e pessoas. Através de uma interface digital é possível coletar e analisar dados, comandar e gerenciar máquinas, utilizando a internet e dispositivos inteligentes.

Total Productive Maintenance

Bhadury (2000) explica que o TPM é uma filosofia japonesa única, desenvolvida com base nos conceitos e metodologias de manutenção produtiva. Esse conceito foi introduzido pela Nippon Denso Co. Ltd. do Japão, fornecedora da Toyota Motor Company, no Japão em 1971. TPM é uma abordagem inovadora de manutenção que otimiza a eficácia do equipamento, elimina avarias e promove uma autonomia da manutenção pelos operadores através de atividades do dia-a-dia envolvendo a força de trabalho total.

TPM é um procedimento bem-sucedido e provado para a introdução de considerações de manutenção nas atividades organizacionais. Reúne as equipes de operação e manutenção como um time para reduzir o desperdício, reduzir o tempo de inatividade e melhorar a qualidade do produto (GUPTA et al., 2012).

A metodologia possui indicadores-chaves, chamados de KPI, que possibilitam a medição de diversos parâmetros de uma linha de produção.

Key Performance Indicators

A medição do desempenho de uma linha ou planta industrial é muito importante e se torna necessária em qualquer organização que deseje obter bons indicadores da performance de produção, pois possibilita a identificação da lacuna entre o desempenho atual e o desempenho desejado, além de fornecer uma indicação do progresso que levou ao encerramento desta lacuna (BALUCH, et al., 2012).

O KPI é fundamental para a adequação dos processos à níveis desejados de desempenho. O KPI é utilizado para medir o desempenho de qualquer sistema ou processo. Ele mede a lacuna entre a situação do ambiente atual e a situação desejada ou visada (PARIDA e KUMAR, 2009).

Quando os indicadores de desempenho são utilizados de forma correta, há uma significativa melhoria no processo em que estão inseridos os KPIs, uma vez que estes são capazes de identificar precisamente onde ocorrem as eventuais falhas que comprometem a performance de um sistema ou processo. Os KPIs típicos para fabricação e manutenção incluem disponibilidade operacional (OA), retorno do investimento (ROI), custo operacional, disponibilidade de ativos, eficácia global do equipamento (OEE) e utilização de ativos (BALUCH, et al., 2012).

Overall Equipment Effectiveness

Jain et al. (2012), conta que o conceito de eficiência global do equipamento (OEE), de certa forma, é simples de ser entendido. Basicamente, o OEE é utilizado para medir o desempenho do equipamento, através de três chaves de medição de performance: disponibilidade, taxa de performance e taxa de qualidade. Estes índices se combinam para uma medida consolidada pelo cálculo de OEE.

No cenário industrial atual, o OEE desempenha um papel importante, devido à sua capacidade de otimizar diversos processos, visto que os clientes estão mais preocupados com o tempo de entrega e com a qualidade do produto ou serviço (HEGDE, et al., 2009).

Em metodologias TPM e *Lean Manufacturing*, a utilização da ferramenta OEE se mostra eficiente e viável, dada a sua capacidade de fornecer indicadores-chaves de desempenho de forma clara e precisa. Nesse contexto, o OEE mede o desempenho comparando as unidades de fabricação em diferentes indústrias (RAGHURAM, 2014).

O indicador OEE, se faz eficaz em qualquer linha de produção que utiliza de processos uniformes no seu decorrer. Ressalta-se que essa ferramenta deveria ser amplamente divulgada e aplicada devido a seu alto índice de qualidade nos resultados assim como sua objetividade

mostrando os pontos chave onde deve haver uma revisão no processo o qual foi submetido a análise (VINHA et al., 2014).

METODOLOGIA

A construção do sistema foi fomentada no estudo realizado previamente, do que é a tecnologia digital da I4.0 e como utilizá-la para obter um ganho de produtividade na indústria, mais especificamente, como integrá-la com a metodologia TPM. Através desta pesquisa, o *software* foi construído para coletar os dados de produção em tempo real, de forma digital, transpô-los à plataforma *web* de tratamento de dados e exibi-los em um *dashboard* para compor o quadro de gestão à vista.

O gestor tem acesso aos dados coletados através do *dashboard*, que proporciona uma visualização dinâmica, com padrões visuais claros e de fácil entendimento das informações relevantes ao processo durante o período de uma ordem de produção, em forma de gráficos e tabelas. Através do diagrama de paradas e dos gráficos individuais dos indicadores, é possível conhecer as principais perdas de produtividade da linha de produção em questão.

A eficiência do sistema é testada analisando os dados obtidos com um *software* de mercado, utilizado por muitas indústrias no Brasil. Esse *software* é robusto e oferece todas as ferramentas que o sistema projetado contém.

Obtenção dos dados de produção

Primeiramente, para o sistema calcular efetivamente o indicador OEE, é necessário entender quais dados necessitam ser adquiridos. Para Gupta et al. (2012), o indicador é obtido através da multiplicação de três variáveis, conforme equação 1.

Equação 1 – Equação do OEE. (Fonte: GUPTA et al., 2012).

$$OEE = Disponibilidade \times Performance \times Qualidade$$

Ainda assim, foi necessário explorar o que constitui cada indicador. Conforme Jain et al. (2012), para encontrar estas variáveis, deve-se utilizar a equação 2.

Equação 2 – Equações dos indicadores de OEE. (Fonte: JAIN et al., 2012).

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo total de operação}}{\text{Tempo total disponível para operação}}$$

$$Performance = \frac{\text{Tempo de ciclo real ou total de peças produzidas}}{\text{Tempo total de operação}}$$

$$Qualidade = \frac{\text{Total de peças produzidas} - \text{Total de peças rejeitadas}}{\text{Total de peças produzidas}}$$

Conhecendo as equações, foi determinado que o sistema necessita para executar os cálculos. Para o parâmetro disponibilidade, o sistema deve receber um sinal informando linha em produção e linha parada. Qualidade, exige dados de quantidade de peças produzidas e quantidade de rejeito. Por fim, performance combina os dados de linha em produção e quantidade de peças produzidas.

Para coletar esses dados Iannone e Nenni (2013) explicam que o método de coleta manual consiste em um modelo de papel, é onde os operadores da linha de produção

preenchem as causas e durações de uma falha. Continuando o raciocínio, ainda comentam que, uma abordagem de alta tecnologia funciona a partir de um sistema de cálculo automático de OEE que é alimentado por sensores conectados ao equipamento, registrando automaticamente a duração de uma parada e solicitando que o operador forneça ao sistema o motivo da parada.

Por este motivo, exposto por Iannone e Nenni (2013), o sistema utiliza a coleta de dados automática, através de um *hardware* e uma ferramenta específica para aplicações de IoT. A ferramenta é chamada de NODE-RED, possui diversas bibliotecas de comunicação com CLPs (controladores lógicos programáveis), via comunicação serial ou *ethernet*. Segundo Blackstock e Lea (2016), o NODE-RED é uma ferramenta *web-based* (baseada em *web*) para conectar *hardware* com vários protocolos e APIs (Interface de Programação de Aplicações). Ele fornece um editor visual baseado em *browser* (navegador) e um tempo de execução implementado em *JavaScript* usando a estrutura do Node.js.

Programas escritos usando NODE-RED são chamados de fluxos. Eles consistem em um conjunto de nós conectados por fios, representado na figura 1. Como outros sistemas de fluxos de dados visuais, a interface com o usuário consiste em um editor de fluxo visual, no qual existem diferentes modelos de nós, representados por diferentes entradas, saídas e nós de processamento de dados, que podem ser arrastados e colocados na tela e conectados uns aos outros.

Figura 1 – Exemplo de fluxo Node-RED.



O NODE-RED é uma ferramenta *open-source* (código aberto), por isso a comunidade global de usuários, que criam bibliotecas, *drivers* de comunicação, APIs e entre outros recursos que enriquecem a ferramenta, tornando-a cada vez mais aplicável.

O *hardware* utilizado no projeto é um computador de baixo custo, chamado Raspberry Pi, representado na figura 2. Ele é capaz de executar o NODE-RED em seu sistema operacional, assim como conectar-se à rede Wi-Fi da planta e ao CLP, utilizando sua porta *ethernet*. Gibbs (2016) explica que sistemas baseados no *hardware* Raspberry Pi são excelentes para criação de plataformas IoT, e ressalta que o custo benefício é ótimo e possui uma grande gama de sensores e sistemas compatíveis com o *hardware*.

Figura 2 – Computador de baixo custo, Raspberry Pi. (Fonte: GIBBS, 2016).



Muitos usuários da plataforma NODE-RED, utilizam a ferramenta para soluções de automação, o que tornou a ferramenta mais acessível para a comunicação com diferentes protocolos e *hardwares*. A ferramenta oferece uma biblioteca chamada *node-red-contrib-s7*,

que torna o *hardware*, onde a plataforma está embarcada, capaz de comunicar-se com toda a família de CLPs Siemens via protocolo RFC 1006 (Transporte ISO sobre TCP), utilizado na comunicação entre *hardwares* Siemens.

A biblioteca oferece dois tipos de nós, o de leitura e o de escrita, para a leitura de sinais, é necessário inserir um nó de leitura, informar o IP do CLP e os endereços de interesse, o nó irá requisitar a informação e enviar para um nó de função que converte toda a informação em notação JSON (*JavaScript Object Notation*) que em seguida é enviado ao *broker* MQTT da IBM (*IBM Watson IoT Platform*) pelo nó IBM IoT. Esta operação é demonstrada na figura 3.

Figura 3 – Fluxo responsável por enviar os dados coletados do CLP para o *broker* MQTT.

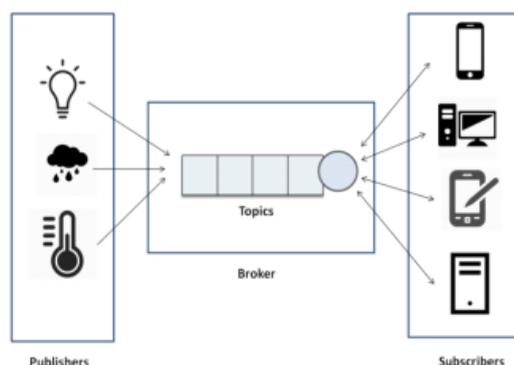


Os protocolos para a comunicação entre os componentes IoT devem lidar com fatores como baixa largura de banda, alta latência e instabilidade da comunicação. Alguns protocolos foram criados exatamente para lidar com tais fatores: CoAP (*Constrained Application Protocol*), MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), WAMP (*Web Application Messaging Protocol*), dentre outros (TORRES et al., 2016).

O protocolo escolhido para este projeto foi o MQTT, por existir muitas opções de *brokers* públicos e principalmente pelo NODE-RED ter bibliotecas incorporadas para comunicação MQTT. A construção do sistema, que será abordado em breve, é realizada em uma plataforma IBM para aplicativos IoT em nuvem, portanto, o *broker* escolhido foi o da IBM, por apresentar compatibilidade com as demais ferramentas.

Torres et al. (2016), explica que o protocolo MQTT adota o protocolo TCP e o padrão de mensagens *publisher/subscriber* (publicador/assinante), onde todos os dados são enviados para um intermediário, chamado *broker*, que se encarrega de enviar as mensagens aos destinatários corretos. Esta estrutura permite desacoplar o produtor do cliente, assim, apenas o endereço do *broker* precisa ser conhecido, possibilitando a comunicação de um para um (*one-to-one*), um para muitos (*one-to-many*) ou muitos para muitos (*many-to-many*). A figura 4 representa o funcionamento do protocolo MQTT.

Figura 4 – Funcionamento do MQTT. (Fonte: JAIKAR e IYER, 2018).



Dentro do nó IoT IBM, deve-se autenticar com o *broker*, informando uma chave de acesso, que é obtida durante a configuração do *broker*, assim como o tópico e outros parâmetros de comunicação.

Com os dados de produção publicados no *broker*, um *subscriber* com autenticação pode coletar esses dados. Com isso, o sistema já pode ser estruturado. Utilizando outro serviço da IBM, chamado *kit NODE-RED Starter*, podemos dedicar uma máquina virtual para a execução da ferramenta NODE-RED na nuvem, podendo ser acessada remotamente, utilizando autenticação. O serviço ainda disponibiliza um banco de dados não relacional na nuvem, chamado Cloudant, totalmente integrado ao NODE-RED.

Uma grande vantagem em utilizar o sistema nuvem da IBM é a facilidade na integração entre os serviços periféricos, como o banco de dados e o *broker*, que são facilmente conectados aos fluxos do Node-RED. Caso uma instabilidade nos servidores da IBM o serviço é transferido para servidores saudáveis sem que o sistema deixe de funcionar.

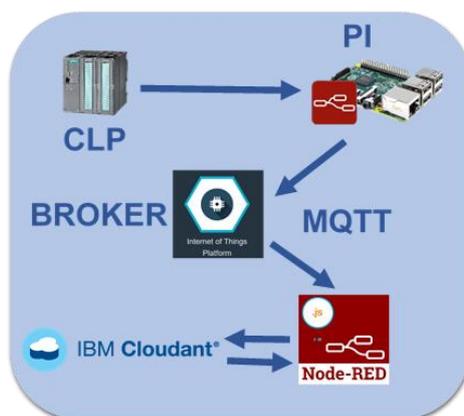
Estrutura do software na nuvem

Dentro do NODE-RED, alocado na nuvem, existe a programação baseada em fluxo, que respeita o método de desenvolvimento de *software* estruturado, adotando o padrão de programação estruturado em fluxo de dados. O ciclo de vida do *software* construído na plataforma NODE-RED é incremental, devido a possibilidade de cada incremento solicitado pelo usuário final possa ser descartado mediante a alguma falha. Isso porque o escopo não é específico, podendo variar conforme a necessidade do usuário.

Essa facilidade de implementar e descartar funções é uma das grandes vantagens do NODE-RED que possui uma ferramenta de versionamento incorporada, qualquer *update* ou *rollback* pode ser efetuado em instantes, sem parar a execução do serviço.

A figura 5 mostra como é estruturado todo o sistema, desde a conexão do CLP com o Raspberry de campo, que coleta os dados via NODE-RED e envia para o *broker* MQTT da IBM, até o sistema nuvem baseado no NODE-RED que coleta os dados do *broker*, calcula e armazena os dados históricos no banco de dados Cloudant.

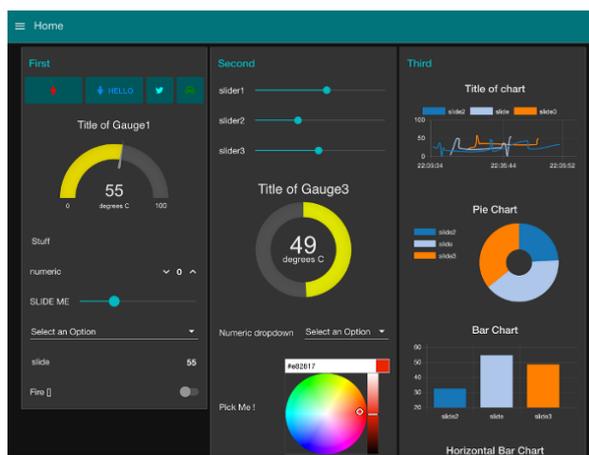
Figura 5 – Estrutura do sistema.



Construção do dashboard

O NODE-RED oferece uma biblioteca de nós pronta, criada por Dave Conway-Jones, chamada *node-red-dashboard*. A biblioteca oferece diversos componentes gráficos prontos, como botões, formulários e gráficos, mas também permite que o usuário crie qualquer objeto utilizando o *framework* AngularJS. Um *dashboard* com todos estes recursos é representado na figura 6.

Figura 6 – Exemplo de *dashboard* disponibilizado pelo NODE-RED. (Fonte: CONWAY-JONES, 2015).



Os *dashboards* do sistema são fundamentados na ferramenta gestão visual, que para Gonçalves (2009), é uma ferramenta da filosofia *Lean Construction*, que engloba o TPM, que consiste em um sistema de *cards* colocados de forma visível, apresentando a performance das atividades programadas e a causa do não cumprimento. Permite um melhor planejamento futuro à medida que se vão conhecendo as porcentagens do cumprimento da programação anterior e com os obstáculos eliminados.

Dias (2019) completa, dizendo que a utilização dos *dashboards* deve ocorrer quando é necessário fornecer uma visão geral de alto nível dos dados que permita descobrir tendências viáveis. Eles fornecem informações em tempo real sobre o estado das métricas mais importantes de um determinado sistema.

Analisando a ideia de Dias (2019), é possível entender que o conceito de *dashboard* estratégico e executivo é o ideal para representar os indicadores de TPM se baseando na ferramenta de gestão visual. Ele explica que os *dashboards* estratégicos e executivos exibem KPIs importantes, que as equipes rastreiam periodicamente, seja, diariamente, semanalmente ou mensalmente. O painel estratégico se concentra em fornecer uma visão geral de alto nível do estado do negócio e aborda as principais mudanças que o negócio cria.

O KPI OEE e seus parâmetros, qualidade, performance e disponibilidade, são informados no *dashboard* de produção, onde o usuário deve escolher qual parâmetro visualizar em tempo real. Ainda neste *dashboard* o usuário encontra uma tabela que traz as informações do produto que está sendo produzido. Existem mais dois outros *dashboards* para que o usuário possa criar diferentes ordens e produtos para alimentar o sistema.

Armazenamento de dados na nuvem

O sistema conta com o armazenamento dos dados de produção no banco de dados da IBM (Cloudant). A conexão entre o NODE-RED e o Cloudant é bem eficiente por utilizar-se os serviços da IBM. A cada segundo, todos dados gerados pelos fluxos do NODE-RED são enviados para nós Cloudant, que encapsulam as informações em uma notação JSON e enviam para o banco de dados, conforme fluxo representado na figura 7.

Figura 7 – Fluxo responsável por gravar dados no banco de dados Cloudant.



Quando solicitado os dados no *dashboard* de consulta, outro nó da Cloudant requisita do banco de dados a informação de uma determinada ordem de serviço e os nós do *dashboard*

traduzem as informações em gráficos, textos e tabelas. Os dados são alocados em um formato específico no banco de dados, conforme a figura 8.

Figura 8 – Estrutura dos dados no banco de dados Cloudant.

```

1 {
2   "_id": "06102019163151",
3   "_rev": "6-1455a9b5253f0f4a60f0f8db0f96c383",
4   "payload": {
5     | "skuInformacoes": {
6       | | "sku": "TODODIA RF HID DES CORP NOZ PEC 400ML PM",
7       | | "ciclo": 1.333,
8       | | "velocidadePadrao": 80,
9       | | "tempoDeProducao": "04:10:03",
10      | | "tempoDeProducaoSec": 15003.750937734434,
11      | | "quantidadePrevista": 20000

```

Operação do sistema

Para o sistema executar as rotinas de aquisição de dados e cálculos de OEE em tempo real, o usuário deve alimentar o sistema com informações do produto, como velocidade padrão e identificação, e da ordem de produção, com quantidade prevista. Quando selecionado pelo usuário, estas informações são injetadas em nós específicos do NODE-RED que calculam o tempo de produção previsto, que é utilizado para alimentar a métrica, gerando constantes que determinam a base de cálculo do OEE. Portanto, para operação do sistema, deve-se criar produtos e ordens conforme demanda e assim serão armazenadas no banco de dados Cloudant.

No *dashboard* de produção, o usuário deve escolher a ordem que será produzida, e indicar o início. Com a ordem aberta e a linha em funcionamento, o sistema inicia seus cálculos e a cada variação dos parâmetros o *dashboard* é atualizado. Quando o sistema possui ordem aberta e a linha para por algum motivo, um nó capta a parada e solicita a justificativa desta parada no *dashboard*. Esta informação é armazenada no banco de dados e um gráfico é criado para trazer todas as paradas justificadas e não justificadas durante aquele período de produção.

Assim que é finalizada a produção, o usuário indica no sistema e a ordem é encerrada, a partir disso, a ordem é retirada da lista de ordens disponíveis no *dashboard* de produção e suas informações de produção são alocadas no banco de dados para ser consultada no *dashboard* de consulta de ordens.

Análise de produção baseada no sistema

Vijayakumar e Gakedran (2014), explicam que as principais perdas que afetam o OEE se dividem em perdas de qualidade, perdas de performance e perdas de disponibilidade. E Iannone e Nenni (2013) complementam dizendo que para melhorar a eficiência da linha, as perdas devem ser divididas em:

- Perdas de paradas não planejada: quando a máquina deve funcionar, mas permanece parada. Podendo ser um mau funcionamento, uma manutenção não planejada ou setup (regulagem de máquina durante a inicialização);
- Perdas de velocidade: o equipamento está funcionando, mas não está funcionando na velocidade máxima projetada. As perdas de velocidade mais comuns ocorrem quando a velocidade do equipamento é baixa, mas não é zero. Pode depender de um mau funcionamento, equipamento fora das condições básicas, ou devido à partida do equipamento após uma tarefa de manutenção;

- Perdas de qualidade: o equipamento está produzindo produtos que não atendem totalmente às especificações ou requerimentos de qualidade. As perdas de qualidade mais comuns ocorrem porque os equipamentos, produzem produtos que não estão em conformidade com os padrões de qualidade. Eles acontecem devido ao funcionamento incorreto da máquina ou devido a um setup mau feito, com parâmetros de processo não ajustados.

Fomentado nas explicações de Iannone e Nanni (2013), foi construído uma adaptação do gráfico de perdas, representado na figura 9. Esse gráfico, segrega os tempos com sua respectiva perda, o qual utilizamos com base para a construção das métricas do sistema. O tempo final de operação é o tempo calendário menos todas as perdas citadas acima, portanto, quanto maior o tempo final de operação, maior é a eficiência da linha de produção. A análise é a mesma para as perdas, sendo possível encontrar qual o maior ofensor da eficiência desta linha de produção.

Figura 9 – Gráfico de perdas (Fonte: adaptado de IANNONE E NANNI, 2013).

TEMPO CALENDÁRIO		
TEMPO DE CARGA		PERDA POR PARADAS PLANEJADAS
TEMPO DE OPERAÇÃO		PERDA POR PARADAS NÃO PLANEJADAS
TEMPO REAL OPERAÇÃO		PERDA POR BAIXA VELOCIDADE
TEMPO FINAL DE OPERAÇÃO	PERDA POR BAIXA QUALIDADE	

A tabela 1 foi construída para separar as paradas planejadas e não planejadas em sub motivos, para enriquecer a coleta de dados durante a operação da ordem de produção.

Tabela 1 – Divisão de paradas.

Paradas	Motivos
Não Planejada	-Ajuste / Regulagem -Setup
Planejadas	-Refeição -Manutenção Planejada

Toda ordem, desde criada até encerrada, fica disponível para consulta no *dashboard* de consulta de ordens. O *dashboard* alimenta um nó que requisita para do banco de dados todas as informações da ordem selecionada. Utilizando o conceito visto acima, o sistema entrega informações suficientes para o usuário analisar as perdas da linha e encontrar os reais motivos de baixa eficiência da linha de produção.

O sistema gera gráficos e tabelas para o usuário consultar todos os parâmetros do OEE, seja hora-hora ou dia-dia, assim como os gráficos de árvore de perdas e motivos de parada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar os resultados do sistema, foi comparado as coletas de dados com o atual sistema de cálculo de OEE automático que a empresa Natura utiliza em suas plantas, que é um *software* de mercado e muito utilizado na indústria brasileira. As informações também são coletadas diretamente do CLP utilizando *drivers* de comunicação industriais, portanto, os sistemas são bem parecidos no quesito aquisição de dados.

As comparações foram realizadas em duas ordens de produção, de produtos e turnos diferentes, porém na mesma linha de produção, a VOLPAK, que envasa produtos da linha SOU e TODODIA da marca Natura. Os produtos e ordens foram criadas previamente e os apontamentos de parada foram feitos pela equipe do projeto, para não sobrecarregar a operação e para buscar a maior sincronismo possível do apontamento. As ordens estão representadas na tabela 2.

Tabela 2 – Relação: ordens e produtos.

Ordem Natura	Ordem sistema projetado	Produto	Data de Produção	Tempo de Produção
000001839602	06102019163151	TODODIA RF HID DES CORP NOZ PEC 400ML PM	28/09/2019	05:00:48
000001839261	06102019163112	TODODIA RF HID DES CORP FRU VER 400ML PM	30/09/2019	06:23:07

A partir destas informações é possível identificar melhor cada ordem do sistema utilizado pela Natura e do sistema projetado.

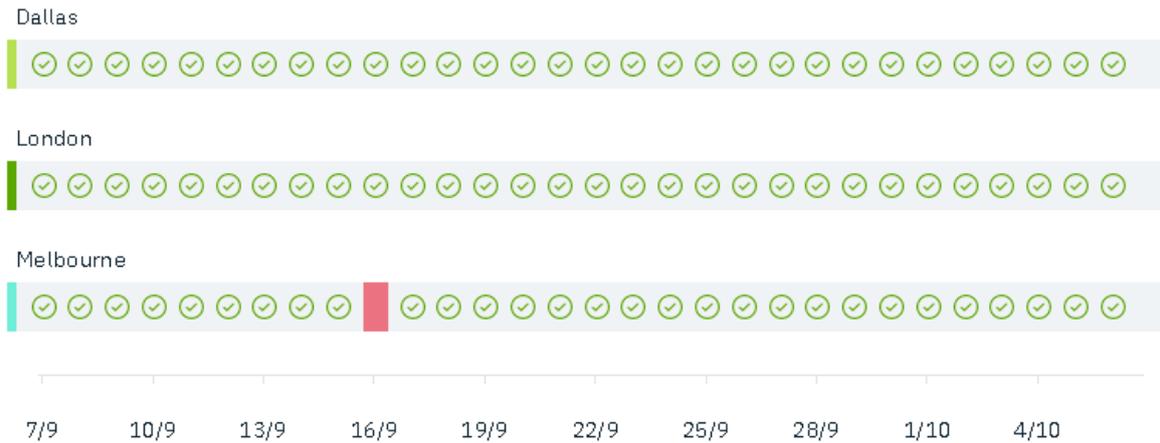
Durante os testes, o sistema não apresentou nenhum *bug* ou instabilidade. O Raspberry de campo, manteve sempre sincronizado a requisição dos dados do CLP. Quando o painel, onde o CLP é alocado, foi desenergizado para uma manutenção corretiva, a biblioteca *node-red-contrib-s7* mostrou-se muito confiável. Assim que o painel foi religado, a comunicação foi retomada rapidamente sem comprometer a aquisição dos dados.

Os serviços IBM estiveram *online* durante os testes, o *log* de eventos da máquina virtual e do banco de dados Cloudant não apresentaram nenhum erro. Além disso, o processamento da máquina virtual manteve-se baixo, abaixo do limite mínimo estipulado pela IBM. A figura 10 mostra com detalhes o consumo de memória.

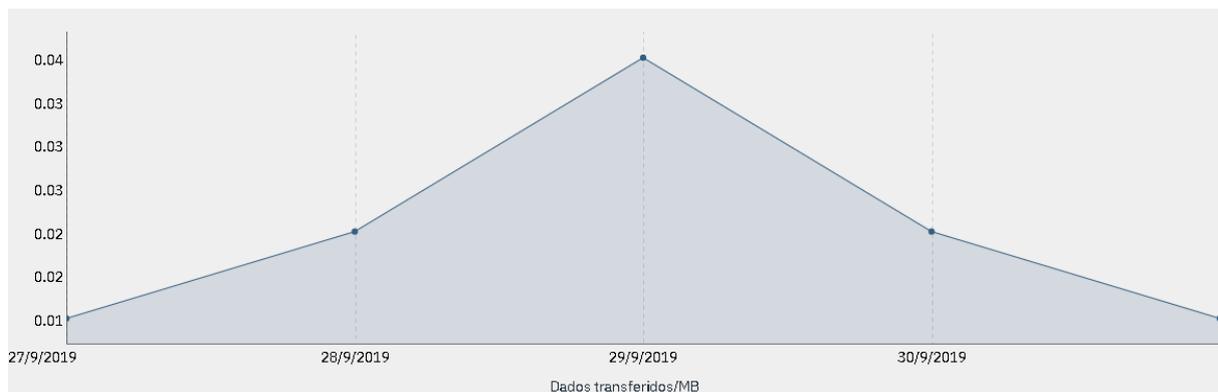
Figura 10 – Processamento do serviço *kit* NODE-RED *starter*.

STATUS	INSTANCIAR	CPU	MEMÓRIA	DISCO	ÚLTIMA INICIALIZAÇÃO
Em execução	0	2.1%	153.3 MB / 512 MB	156.6 MB / 1 GB	6 de Out de 2019 21:57:45

A IBM ainda disponibiliza relatórios de disponibilidade dos seus servidores, como pode ser observado na figura 11. Durante a fase de testes, nenhum dos três servidores apresentaram sinistros. Um dos servidores ficou indisponível no dia 16/09, porém os outros dois assumiram as instâncias do servidor de Melbourne.

Figura 11 – Disponibilidade dos servidores.

O *broker* MQTT também fornece *logs* de monitoramento. De acordo com a figura 12, o *log* registrou um volume muito baixo de transmissão de dados, cerca de 0.04MB por *publisher*, enquanto o pacote mínimo da IBM oferece 200MB de dados por *publisher*.

Figura 12 – Dados recebidos e enviados pelo *broker*.

Essas ferramentas de monitoramento de erros e uso, oferecidos pela IBM, tornam o projeto mais confiável, garantido seu pleno funcionamento, mesmo executando instâncias de diferentes serviços.

Algumas considerações foram feitas para facilitar a comparação dos dois sistemas, que apresentam métricas diferentes.

O sistema utilizado pela Natura, possui uma árvore de paradas bem diversificada, portanto, foi considerado qualquer parada planejada (reuniões, análises e outros) como uma manutenção planejada, exceto refeição, e qualquer parada não planejada, diferente de ajuste/regulagem e setup, como uma parada não apontada. Essa mudança no escopo do apontamento não comprometeu o cálculo do OEE, porém não enriquece as análises das perdas da linha de produção. As tabelas 3 e 4, mostram detalhadamente os tempos de parada para cada sistema.

Tabela 3 – Relação de parada da ordem 06102019163151.

Sistema	Descrição da Parada	Tipo	Duração (Segundos)
Projetado	Manutenção Planejada	Planejada	1799
	Parada Não Apontada	Não Planejada	1377
		Total	3176
Natura	Sem Demanda	Planejada	159

Reuniões e Treinamentos	Planejada	201
Teste de Melhoria	Planejada	1439
Pequenas Paradas	Não Planejada	1377
Total		3176

Na tabela 3, pode-se observar, que os tempos coletados por ambos sistemas, foram exatamente iguais, apesar do sistema projetado não ter um detalhamento de cada parada, onde todas as paradas planejadas que ocorreram de fato, foram registradas como Manutenção Planejada.

Tabela 4 – Relação de paradas da ordem 06102019163112.

Sistema	Descrição da Parada	Tipo	Duração (Segundos)
Projetado	Manutenção Planejada	Planejada	3534
	Refeição	Planejada	3001
	Parada Não Apontada	Não Planejada	1061
	Ajuste e Regulagem	Não Planejada	778
	Total		8374
Natura	Limpeza, inspeção e lubrificação	Planejada	599
	Refeição	Planejada	3001
	Sem Demanda	Planejada	2901
	Pequenas Paradas	Não Planejada	1177
	Ajuste e Regulagem	Não Planejada	778
Total		8456	

Os tempos de parada da ordem 0610201963112, representada na tabela 4, apresentam uma pequena diferença na contabilização das paradas planejadas do sistema projetado, o que impactou em uma diferença no indicador de disponibilidade. Essa diferença deve-se ao método de identificação de parada do sistema projetado. O sistema utilizado na Natura, apresenta filtros que após a linha voltar a produzir, as paradas persistem por um determinado tempo, enquanto o sistema projetado finaliza a parada instantaneamente, consequentemente, contabilizando menos tempo de parada.

Outro parâmetro importante para as métricas do OEE, é a contagem de peças boas e ruins, retratado na tabela 5.

Tabela 5 – Contagem de produção.

Ordem	Produção Total sistema Natura	Produção Total sistema projetado
06102019163151	20680	20680
06102019163112	19972	19972

Os métodos de coleta de produção entre os dois sistemas são idênticos, portanto, não houve diferença na contagem, apresentando o mesmo valor de peças boas e peças ruins.

Apesar dos principais dados não apresentarem uma grande divergência, a métrica utilizada por cada sistema tem suas particularidades, resultando em diferenças entre os indicadores e o próprio OEE, conforme tabela 6.

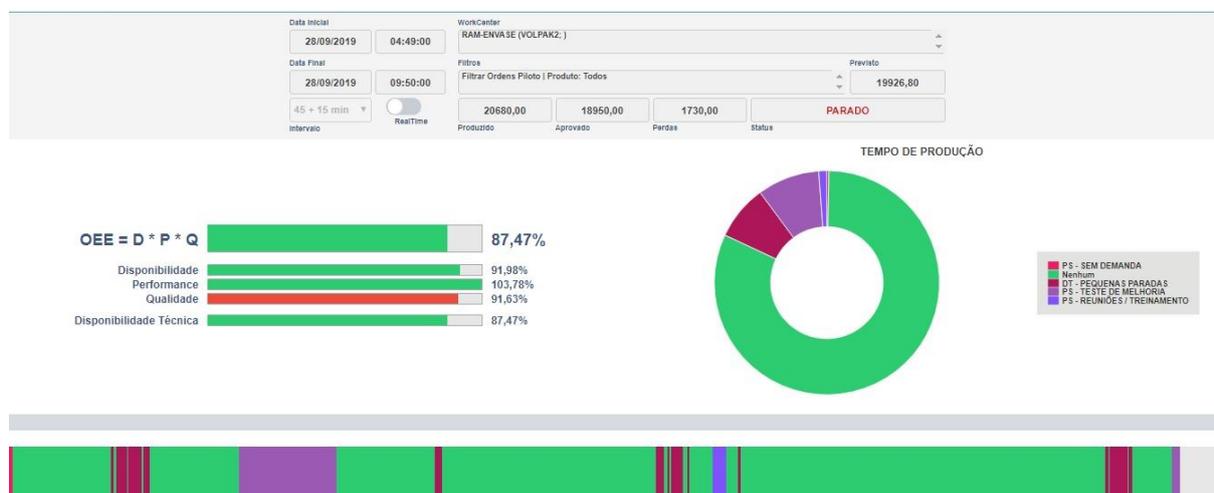
Tabela 6 – Comparação dos indicadores.

Sistema projetado				
Ordem	Disponibilidade	Performance	Qualidade	OEE
06102019163112	89,35 %	103,02%	90,7%	82,48%
06102019163151	92,37%	103,89%	92,07%	89,17%
Sistema Natura				
06102019163112	88,98%	102,3%	91,45%	82,94%
06102019163151	91,98%	103,78%	91,63%	87,47%
Diferença				
06102019163112	0,37%	0,72%	-0,75%	-0,46%
06102019163151	0,39%	0,11%	0,44%	1,7%

Apesar da diferença existir, a variação máxima entre os indicadores da ordem não passou de +/- 2%, uma margem pequena se comparado com o *software* de mercado, utilizado por grandes empresas. Essa diferença é claramente devido à métrica utilizada pelos dois sistemas, visto que os tempos de paradas e quantidade de peças produzidas, extraídos do sistema são muito próximos um ao outro.

Finalizando a comparação, as figuras 13 e 14, mostram os *dashboards* de gestão a vista proposto pelos dois sistemas.

Figura 13 – *Dashboard* do sistema Natura.



O sistema utilizado pela Natura mostra os indicadores, o OEE, dados de produção prevista e real, um *timeline* das paradas e o status atual da linha de produção.

Figura 14 – *Dashboard* do sistema proposto.

Ordem	SKU	Status	Data Inicial	Data Final	Data Reprogramada	
06102019163151	TODODIA RF HID DES CORP NOZ PEC 400ML PM	Encerrada	28/09/2019 - 04:49:54 (+03:00)	28/09/2019 - 09:50:42 (+03:00)		
Ciclo padrão [s]	Velocidade padrão [pçs/min]	Tempo previsto	Tempo de ordem	Quantidade prevista	Quantidade produzida	OEE
1.333	80	04:10:03	05:00:48	20000	20680	89.17

O *dashboard* do sistema proposto, traz uma gama de opções para visualização dos indicadores individualmente, a figura 15 mostra algumas das opções.

Figura 15 – Indicadores individuais do sistema proposto.



Os gráficos da figura 15 são exibidos juntamente com a tabela de gestão à vista da figura 14, o que contribui muito para a rápida tomada de decisão do gestor que utiliza a ferramenta. O sistema da Natura também oferece gráficos hora-hora, como o do sistema proposto, porém, não no *dashboard* gerencial indicado na figura 13.

Segundo William Franco, gerente da engenharia de manutenção da Natura, o custo para da implementação do sistema foi de aproximadamente R\$350.000,00 para as 50 linhas de produção da empresa, mais o custo de R\$348.000,00 por ano em suporte técnico, sem considerar *hardware* e infraestrutura. Para levantar o custo do sistema proposto para a mesma quantidade de linhas, deve-se olhar individualmente as três ferramentas da IBM, utilizadas na construção do projeto.

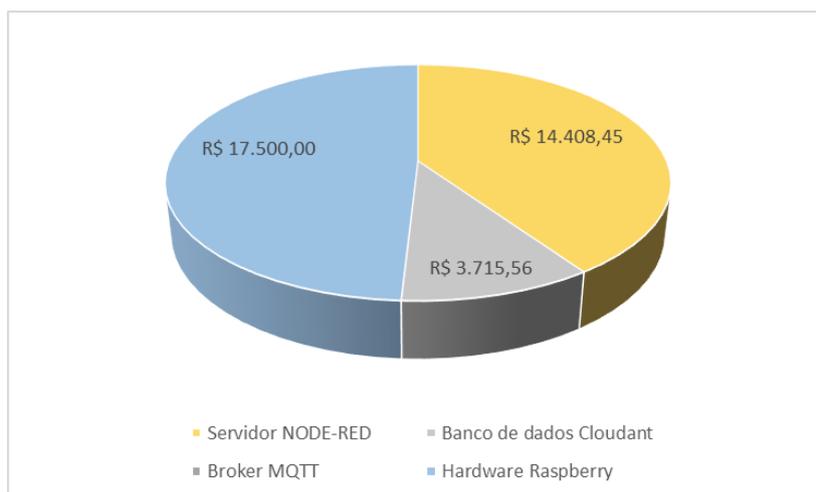
Conforme visto na figura 10, para implementação de uma linha de produção, a ferramenta de execução do NODE-RED utilizou o processamento com uma carga média de 157 MB por hora. Para 50 linhas de produção, a ferramentaria demandaria um processamento de quase 8 GB. O custo para cada GB utilizado em uma hora é de R\$0,2056 resultando R\$14.408,45 no final de um ano.

Para levantar os dados estipulados no artigo, foi necessário consumir 0.65 MB de armazenamento do banco de dados para cada ordem de produção. A média de ordens abertas por linha é de uma por turno, ou seja, três por dia. No final do ano, pode-se ter até 54.750 ordens abertas para todas as linhas. Isso resultaria em um armazenamento de aproximadamente 36 GB. O serviço Cloudant de banco de dados na nuvem, da IBM, oferece um pacote *Standard* que propõe um armazenamento de 20 GB gratuitos, cada GB excedido tem um custo de R\$2,9372 por dia. Seguindo essa média de consumo do armazenamento, no dia 206 começa a ser excedido o limite de 20 GB e a cada 10 dias um GB é excedido, portanto no final do ano o custo resultante é de R\$3.715,56. Para cada ano seguinte, o custo passa a ser de R\$ 38.594,80 por ano, se for desejado manter o histórico dos anos anteriores.

Por último, o *broker* MQTT da IBM utilizou cerca de 0.04 MB de dados pelo *publisher*, para uma ordem visto na figura 12, seguindo a mesma métrica das outras ferramentas, em um ano seria utilizado 43.8 MB por apenas um *publisher*, já que o plano *Light* permite até 500 *publishers* com 200 MB de tráfego para cada um. Graças ao intuito do protocolo MQTT que preza pela transmissão de dados pequenos, essa ferramenta não gera custo anual para o projeto.

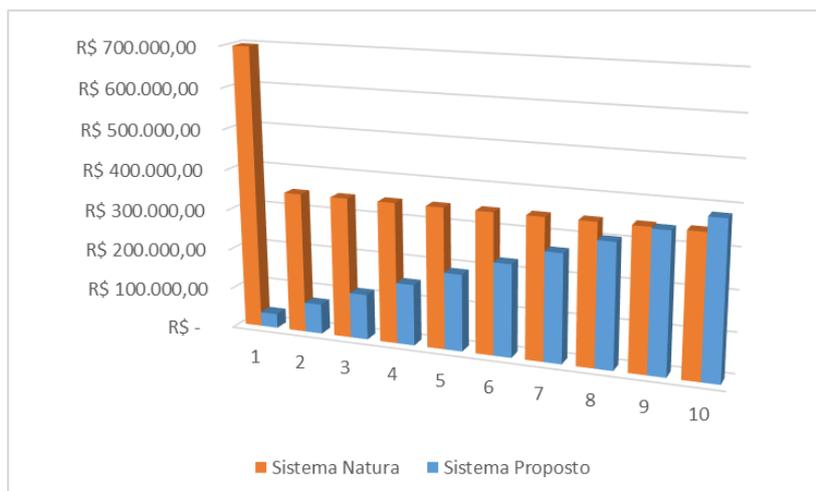
Além das ferramentas, é necessário adquirir o *hardware* de campo, o Raspberry, que em sua última versão, Pi 3 B+ com todos os acessórios, tem um custo médio de R\$350,00 por unidade. Para a implementação das 50 linhas, o custo seria de R\$17.500,00.

Figura 16 – Custo par Implementação do sistema proposto na Natura.



A figura 16 mostra o custo para a implementação e o primeiro ano do sistema proposto em um cenário igual a Natura, com 50 linhas de produção. Analisando os custos, em um período de 10 anos, conforme figura 17, quando o custo do sistema proposto ultrapassa o custo mensal de manutenção do sistema utilizado na Natura, lembrando que devido o armazenamento do banco de dados o custo é crescente.

Figura 17 – Estimativa de custo para uma aplicação de 10 anos.



A tabela 7 mostra o ganho projetado para um período de 10 anos, que chega a R\$ 1.736.994,90.

Tabela 7 – Estimativa de custo para uma aplicação de 10 anos.

Total do custo estimado para 10 anos	
Sistema Natura	R\$ 3.830.000,00
Sistema Proposto	R\$ 2.093.006,10
Ganho	R\$ 1.736.993,90

Analisando os gráficos e tabelas, tem-se que o ganho pode ser de até 45,35% se aplicado o uso do sistema projetado em uma empresa de porte industrial igual a Natura, visto que um *software* de mercado pode apresentar um custo mais elevado, sem integrar as tecnologias digitais da I4.0.

CONCLUSÕES

O sistema proposto alcançou resultados excelentes, sem apresentar instabilidade e indisponibilidade ao usuário, isso deve-se a empresas de tecnologia, como a IBM, que estão sempre buscando desenvolver ferramentas e serviços confiáveis para aplicações de tecnologias digitais da I4.0, para acompanhar as tendências do mercado mundial. Esta preocupação com a eficiência do serviço alimenta o mercado com boa impressão das novas tecnologias, atenuando o medo quanto a sua implementação.

Além da excepcional disponibilidade do *software*, a partir dos resultados, pode-se afirmar que o sistema é capaz de suprir as demandas propostas, sendo uma ferramenta completamente digital, flexível e que oferece a medição da eficiência de produção e um ganho de produtividade para a indústria, que é a principal premissa para aplicação de tecnologias digitais no mercado brasileiro.

A flexibilidade do sistema oferece a oportunidade de aplicar os conceitos da 4ª revolução industrial em diversos ramos da indústria, desde a geração de energia, até a manufatura de um produto, seja com a métrica do TPM ou outra metodologia de mercado. Ferramentas abertas a comunidade aumentam as possibilidades de aplicação, como é o caso do NODE-RED, o que não prende o usuário final a fabricantes e tecnologias específicas, tornando o projeto com custo mais acessível e com compatibilidade à diversas opções no mercado.

Apesar dos bons resultados, existe uma preocupação com o crescente aumento do custo do banco de dados, já que todos os dados são guardados para que os históricos de ordens possam ser exibidos. Se armazenado todos os dados por tempo ilimitado, o custo do projeto pode ser inviável após 10 anos de aplicação. Para evitar essa situação, seria necessário trocar o serviço por um *hardware* dedicado que faça a gestão dos dados, ou excluir dados históricos após alguns anos, o que acarretaria a perda de histórico de ordens muito antigas.

Hoje, muitas empresas conceituadas oferecem serviços digitais, o que aumenta a competitividade e gera cada vez mais, produtos eficientes. Para um próximo estudo, recomenda-se estudar os serviços oferecidos por empresas como Amazon, Google e Microsoft, que apresentam outras ferramentas para desenvolvimento de *softwares*, que proporcionam o uso de outros protocolos para projetos de IoT ou mesmo outros *brokers* MQTT. A I4.0 quanto mais explorada, maior o campo de aplicações de suas tecnologias digitais.

De maneira geral, a utilização do sistema proposto é um grande avanço para a indústria brasileira, que busca o aumento de produtividade em suas linhas de produção, promovendo a integração da I4.0 no Brasil, que hoje ainda encontra barreiras técnicas e financeiras.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Natura, em especial o Gerente de Engenharia em Manutenção William Franco, por toda a disponibilidade em sanar as dúvidas durante o processo de pesquisa e levantamento de dados para este artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAENA, F. et al. **Learning Factory: The Path to Industry 4.0**. In: Procedia Manufacturing, V.9, p. 73-80, 2017.

BAHDURY, B. **Management of Productivity Through TPM**. In: Productivity, V.41, p. 240-251, 2000.

BALUCH, N. et al. **TPM and lean maintenance – A critical review**. In: Interdisciplinary Journal of Contemporary Research In Business, V. 4, n. 2, 2012.

BLACKSTOCK M.; LEA R. **FRED: A Hosted Data Flow Platform for the IoT built using Node-RED**. In: International Workshop on Web of Things. p. 1-5, 2016.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Investimento em Indústria 4.0**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/8b/0f/8b0f5599-9794-4b66-ac83-e84a4d118af9/investimentos_em_industria_40_junho2018.pdf>. Acesso em: 13 outubro 2019.

CONWAY-JONES, D. **Node-red-dashboard**. Disponível em: <<https://github.com/node-red/node-red-dashboard>>. Acesso em: 21 abril 2019.

DIAS, C. **SmartNode Dashboard: um framework front-end baseado em Node-RED para criação de Smart City Dashboards – Natal. 2019**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Software) – UFRN. Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/26736/1/SmartNodeDashboard_Dias_2019.pdf>. Acesso em: 21 abril 2019.

FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **FIESP IDENTIFICA DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL E APRESENTA PROPOSTAS**. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/noticias/fiesp-identifica-desafios-da-industria-4-0-no-brasil-e-apresenta-propostas/>>. Acesso em: 13 outubro 2019.

FRANCO, W. **Não é 1, nem 2, nem 3, então, o que é Indústria 4.0?** Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/n%C3%A3o-%C3%A9-1-nem-2-3-ent%C3%A3o-o-que-ind%C3%BAstria-40-william-franco/>>. Acesso em: 13 outubro 2019.

GIBBS, M. **Node-RED, wiring the Raspberry Pi to the IoT**. Disponível em: <<https://www.networkworld.com/article/3075329/node-red-wiring-the-raspberry-pi-to-the-iot.html>>. Acesso em: 13 outubro 2019.

GONÇALVES, W. K. F. **Utilização de Técnicas Lean e Just in Time na Gestão de Empreendimentos e Obras** – Lisboa. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – IST. Lisboa, 2009. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395138970511/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 21 abril 2019.

GUPTA, A. K.; GARG, R. K. **OEE Improvement by TPM Implementation: A Case Study**. In: Industry International Journal of IT, V. 1, n. 1, p. 115-124, 2012.

HEGDE, H. et al. **Overall Equipment Effectiveness Improvement by TPM and 5S Techniques in a CNC Machine Shop**. In: SasTech, V.8, n.2, p. 25-32, 2009.

IANNONE, R.; NEMMI, M. E. **Managing OEE to Optimize Factory Performance**. In: SCHIRALDI, M. (Ed.). **Operations Management**. Roma: IntechOpen, 2013. p 192-203.

JAIKAR, S.; IYER, K. R. **A Survey of Messaging Protocols for IoT Systems**. In: International Journal of Advanced in Management, Technology and Engineering Sciences, V. 8, n. 2, p. 510-514, 2018.

JAIN, A. et al. **Implementation of TPM for Enhancing OEE of Small Scale Industry**. In: Industry International Journal of IT, V. 1, n. 1, p. 125-136, 2012.

PARIDA, A.; KUMAR, U. **Maintenance Performance Measurement-Methods, Tools and Application**. In: MaintWorld, V.1, n.1, p. 50-53, 2009.

RAGHURAM, R. **Implementation of Overall Equipment Effectiveness (OEE)**. In: Middle-East Journal of Scientific Research, V.20, n.5, p. 567-576, 2014.

TJAHJONO, B. et al. **What does Industry 4.0 mean to Supply Chain?**. In: Procedia Manufacturing, V. 13, p 1175-1182, 2017.

TORRES, A. et al. **Análise de Desempenho de Brokers MQTT em Sistemas de Baixo Custo**. In: XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, p 2804-2815, 2016.

VINHA, E. P.; MOTA, R. O. **A Importância da Correta Aplicação do OEE: Um Estudo de Caso em uma Empresa Produtora de Rações da Cidade de Rio Pomba MG**. In: Administração de Empresas em Revista, V.18, n.19, p 192-203, 2014.