

Sistema de solicitação e monitoramento de estoque em tempo real utilizando Node-RED para ensino remoto

Alice A. Lima* Gianluca de Crisci* Fábio R. Santos*
Isabella A. Cabral* Renata K. G. dos Reis*
Marenice M. de Carvalho* Renan L. P. de Medeiros*
Vicente F. Lucena Junior*

* Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, AM,
(e-mail: aliceamazonas, gianluca, fabiosantos, isabella, renatareis,
marenicecarvalho, renan, vicente {@super.ufam.edu.br}).

Abstract: Industry 4.0 is increasingly growing within manufacturing companies. The use of cyber-physical systems allows the construction of digital twins due to the accessibility of industry data in a cybernetic way. However, these data are often not available implementing digital twins even more complex. To educationally present the concept of the Digital Twin remotely, it was proposed to build a Digital Twin of a virtual plant based on a physical plant using Node-RED. The constructed plant is obtained from SVG images controlled by Node-RED, while it receives data from the real virtual plant, which is obtained through the various sensors and actuators in the Factory I/O software. The proposal relies on the use of a Mongo DB database to store a large volume of data. The solution shows that there is bidirectional communication between the plants, enabling real-time monitoring, in addition to activating and deactivating the process through the twin.

Resumo: A indústria 4.0 está cada vez crescendo mais dentro das empresas de manufatura. O uso de sistemas ciber-físicos permite a construção de gêmeos digitais devido a acessibilidade dos dados da indústria de forma cibernética. No entanto, muitas vezes estes dados não estão disponíveis tornando a implementação dos gêmeos digitais ainda mais complexas. Para apresentar de forma educativa o conceito do Gêmeo Digital de maneira remota, foi proposta a construção de um Gêmeo Digital de uma planta virtual baseada em uma planta física utilizando Node-RED. A planta construída é obtida a partir de imagens SVGs controladas pelo Node-RED ao passo que recebe os dados da planta virtual real, os quais são obtidos por meio dos diversos sensores e atuadores existentes no software Factory I/O. A proposta conta com o uso de um banco de dados em Mongo DB para armazenamento do grande volume de dados. A solução mostra que existe uma comunicação bidirecional entre as plantas, possibilitando o monitoramento em tempo real, além do acionamento e desacionamento do processo por meio do gêmeo.

Keywords: Remote teaching; Industry 4.0; Digital Twin; Node-Red; SVG.

Palavras-chaves: Ensino remoto; Indústria 4.0; Gêmeo Digital; Node-Red; SVG.

1. INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 é conhecida por utilizar diversas tecnologias para promover maior flexibilidade e colaboratividade nos processos da indústria (Bahrin et al., 2016). E dentro desta indústria podemos encontrar diversos tipos de sistemas, como os Sistemas Ciber-Físicos (SCF), compostos por sensores e atuadores, controlados por software que, monitorando uma série de dados, supervisionam e controlam processos industriais (Sacomano et al., 2018). Devido sua característica cibernética os dados dos SCF são mais fáceis de serem acessados e utilizados em tecnologias da indústria 4.0 como os Gêmeos Digitais (GD).

A aplicação dos GD vem crescendo devido a utilização da Internet das Coisas em diversos setores da indústria. Em ambiente fabril o GD fornece informações segmentadas e adequadas para cada etapa do processo construtivo. O modelo digital não está mais rodando simulações, e sim refletindo no mundo virtual o que está realmente acontecendo no chão de fábrica, pois passa a ser realimentado com informações físicas capturadas por meio dos sensores. A

própria linha de montagem, com o Gêmeo Digital, fornece as informações instantâneas sobre a produção, consumo e performance (Grievies, 2015).

A implementação dos GD em manufatura são complexas e exigem diversas etapas para sua construção (Rabelo et al., 2020). Implementar um GD em ambiente de laboratório é essencial para compreensão do conceito, contudo em situações emergenciais tal como a pandemia do corona vírus isto deve ser ensinado de forma remota. Neste contexto, um conjunto de tecnologias, como o GD, foram usadas para ensinar cursos a distância na área de construção em Sepasgozar (2020).

Todavia, ainda não se identificou uma abordagem realizada por meio do Node-RED para monitoramento do Gêmeo Digital com o intuito de explorar o conceito do GD no ensino remoto, que por vezes torna-se a única opção de ensino durante uma pandemia (COVID-19), ou ainda para o ensino à distância regular. Entender o funcionamento de um sistema industrial e realizar a elaboração do GD deste sistema, utilizando uma ferramenta de código aberto,

permite mitigar a complexidade de uma temática atual e relevante da indústria 4.0 e tornar a tecnologia mais acessível e configurável aos desenvolvedores.

Desta forma, este artigo propõe a construção de um Gêmeo Digital para uma planta industrial virtual de uma linha de produção que recebe modelos diferentes de produtos para o processo utilizando a ferramenta de programação Node-RED, onde esta planta é obtida por meio da virtualização de uma planta física real. Os dados da planta virtualizada são armazenados em um banco de dados, Mongo DB por meio do sistema *CRUD*, e são utilizados na planta replicada no Node-RED, sendo possível monitorar em tempo real, realizar análises de dados dentro do Node-RED e também enviar os dados de volta para a planta real virtualizada, obtendo então uma comunicação bidirecional.

Dado isto, este artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta os conceitos teóricos dos principais termos abordados, seguido da seção 3 com a metodologia utilizada para a criação do GD, então os resultados alcançados são apresentados na seção 4 e por fim a conclusão na seção 5.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Indústria 4.0 e Sistemas Ciber-Físicos

A Indústria 4.0 é definida pela combinação de tecnologias físicas e digitais como a robótica, inteligência artificial e IoT, criando uma empresa interconectada e autônoma capaz de se comunicar em tempo real, tomando decisões de forma automática quando necessário e fornecendo dados suficientes para a sinalização de decisões que serão aplicadas novamente ao sistema físico. Tal concepção permite a integração entre fábrica, fornecedores, trabalhadores e consumidores (Cotteleer and Sniderman, 2017).

Através da implementação de sensores no ambiente de produção, os mundos físico e virtual fundem-se, dando origem aos SCF. Esses sistemas conectados através da *Internet of Things* (IoT) interagem uns com os outros, usando protocolos padrão baseados na internet, e analisam dados para prever falhas e adaptar as mudanças (Markus et al., 2015).

O conceito compreende objetos inteligentes como máquinas, produtos ou dispositivos que trocam informações de forma autônoma. Os produtos inteligentes, identificados por meio de dispositivos como os chips RFID (*Radio-Frequency Identification*), fornecem informações sobre sua localização, histórico, status e rotas. Com a ajuda de IoT é possível realizar a coleta, armazenagem e avaliação abrangente dos dados de diversas fontes permitindo que colaboradores possam acessá-las de qualquer lugar, através de um tablet ou smartphone (Bahrin et al., 2016).

2.2 Gêmeo Digital

Conforme definido por Garetti et al. (2012), Gêmeo Digital é a réplica virtual de um sistema que devido aos dados coletados e à conectividade de equipamentos inteligentes, qualifica-se pela simultaneidade entre ambiente real e virtual. Já segundo Kritzinger et al. (2018), um sistema é caracterizado como Gêmeo Digital quando há fluxo de informações entre objeto físico e virtual em ambas as direções.

Segundo Mussomeli et al. (2018), o conceito do GD visa trazer para o ambiente digital, uma cópia do real físico, permitindo que se analise as informações e situação de um

objeto, equipamento, processo ou uma planta industrial em sua totalidade, testando cenários e possibilidades antes de implementar em seu ambiente físico, tornando as tomadas de decisões mais rápidas e eficientes.

2.3 Node-RED

Várias ferramentas de software dos diversos tipos foram usadas neste artigo. Esta seção tem como objetivo discurrir brevemente sobre algumas delas, uma vez que tais termos serão recorrentemente usados nas discussões e são parte fundamental do trabalho.

Node-RED é uma ferramenta de programação, feita utilizando Node.js, usada para conectar dispositivos de hardware, APIs e serviços online de maneira rápida e fácil. Ele fornece um editor baseado em navegador no qual é possível conectar, de forma visual, fluxos usando a ampla gama de nós na paleta que podem ser implementados em seu tempo de execução e são armazenados usando JSON. Podem também ser criadas funções JavaScript ou reutilizar funções, modelos ou fluxos que estão presentes na biblioteca integrada.

Existem duas estruturas principais em um projeto Node-RED, sendo elas, o nó e o fluxo. Os nós são blocos de código pronto que possuem uma aplicação específica no projeto e podem ser classificados como nós de processamento, entrada ou saída. Um conjunto de nós conectados formam um fluxo, dentro dessa estrutura os nós trocam mensagens entre si no formato JSON.

Mongo DB, por sua vez, é um software de banco de dados de código aberto e multiplataforma. O mesmo utiliza documentos semelhantes a JSON para o seu funcionamento. O banco de dados criado foi baseado no sistema CRUD (acrônimo de *Create, Read, Update e Delete*) ou interface para criação, consulta, atualização e destruição de dados dentro do mesmo.

Modelo de Dashboard com SVG controlado a partir do Node-Red SVG (do inglês, *Scalable Vector Graphics*) é um formato gráfico baseado em XML livre de *royalties* amplamente utilizado, desenvolvido e mantido pelo W3C SVG Working Group, muito usado para descrever gráficos bidimensionais, imagens e um conjunto de interfaces de script gráfico relacionado. O SVG é compatível com todos os navegadores modernos para desktops e celulares e a exportação para SVG é suportada por todas as principais ferramentas de criação de gráficos vetoriais. Além disso, ele pode ser incorporado em HTML.

A API *Controlled SVG from Node-RED Dashboard Template* é um código feito por Sharikov (2020) que permite animações simples utilizando imagens SVG num ambiente de *Dashboard* no Node-RED. Uma vez copiado o código da mesma, deve-se utilizá-lo no nó de *template* no *Dashboard*, definir o elemento que deseja animar e adicionar um *id*, que é, em HTML, um atributo utilizado nos objetos para a identificação dos mesmos. No caso de um SVG, tal atributo identifica um grupo, caminho (*path*), texto, etc.

A API define o uso para as animações utilizando o código. Um atributo a ser animado tem de ter o *id* no formato "id_único@ + token_da_animacao_desejada". Um *token* é uma forma de identificar, dentro do código, por uma *String*, um conceito. No caso da API, tais identificadores referem-se aos tipos de animação. Dentre os tipos de *token* existentes na API, tem-se:

- **cx_color**: especifica a mudança de cor do objeto;
- **cx_hide**: especifica o aparecimento/desaparecimento de um objeto, caminho, texto ou grupo;

- `cx_move`: especifica o movimento de um grupo, linha ou texto;
- `cx_status`: especifica a mudança de um atributo do tipo texto.

A animação do tipo `cx_color` é feita através do recebimento de uma `String`; `cx_move`, por uma `String` de 12 caracteres; `cx_hide`, por uma variável do tipo `Bool`; `cx_move`, por um `object`. Uma vez especificado o `id` com a identificação e o tipo de animação, o uso do mesmo é feito no fluxo do Node-RED através de funções. São nessas funções que tais recebimentos são feitos.

3. METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia utilizada para mostrar como foi realizado o uso das tecnologias para apresentar remotamente o conceito de Gêmeo Digital. A Figura 1 apresenta um diagrama com as etapas do trabalho. No primeiro bloco foram utilizados os softwares **Factory I/O** para a construção da planta virtual real, na segunda etapa utiliza-se o *TIA (Totally Integrated Automation) Portal* para programação da rotina de funcionamento da planta com o *Advanced PLCSim* para a realização da comunicação entre as plantas por meio do protocolo TCP/IP. Já no terceiro encontra-se o Node-RED como ferramenta principal para a construção do GD, além disso foram utilizados também o Inkscape para as ilustrações em SVG, e o Mongo DB para o banco de dados.

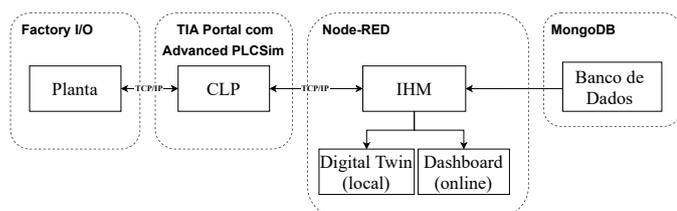


Figura 1. Diagrama do desenvolvimento do projeto.

3.1 Planta virtual

Como bem se sabe, o Gêmeo Digital é uma réplica virtual de uma planta física real, de modo que haja uma comunicação bidirecional entre estes dois ambientes, físico e virtual. Desta maneira uma planta virtual foi construída inspirada em uma planta física disponível no laboratório da universidade. A construção foi realizada para que houvesse o maior nível de semelhança entre as plantas em relação ao seu conjunto de sensores e atuadores.

A planta física denominada de planta Staundiger é um protótipo de manufatura que tem como objetivo simular uma linha de produção industrial automática, utilizando esteiras, sensores e atuadores para confeccionar produtos e armazená-los em um estoque vertical. O *software* utilizado para a construção da planta que será usada como a planta real do Gêmeo Digital é chamado de **Factory I/O** e nele foi possível implementar a maior parte dos sensores e atuadores presentes na planta física, como é possível ver na Figura 2.

A planta física Staundiger (Figura 2(a)) é equipada com CLPs Siemens conectados entre si por uma rede industrial *Profinet* e protocolo TCP/IP, desta forma para a planta real virtual (Figura 2(b)), foi utilizado o software *TIA Portal* também da Siemens para que fosse possível programar uma rotina de funcionamento desejada e carregá-lo do software **Factory I/O**, visto que o mesmo permite a conexão com simuladores de CLP. Com isto, de forma



(a)



(b)

Figura 2. Linha de produção industrial. (a) Planta física. (b) Planta virtual real inspirada na planta física.

remota foi possível emular a linha de produção e programá-la por meio de um simulador de CLP.

Análogo a planta física, a virtual também possui diferentes produtos em sua linha de produção, neste trabalho foram definidos cinco tipos de produtos para a linha de produção, os quais são caixotes que contém (ou não) itens do **Factory I/O**. São eles:

- Produto A: Caixaote vazio;
- Produto B: Caixaote azul sem tampa;
- Produto C: Caixaote verde sem tampa;
- Produto D: Caixaote azul com tampa;
- Produto E: Caixaote verde com tampa.

Na planta física os caixotes já possuem uma *tag* de identificação para que sejam diferenciados posteriormente, mas na planta real virtual foi necessário construir uma etapa de produção para que fosse realizado a codificação conforme definição dos produtos (início do processo na Figura 2(b)).

A armazenagem dos produtos no estoque não é realizada de maneira aleatória, desta forma suas *tags* são lidas por um RFID e se forem os produtos A, D ou E, eles seguem para o primeiro caminho do processo e são levados diretamente para serem armazenados no estoque, caso sejam os produtos B ou C, que devem ter tampa, então são levados para o segundo caminho do processo para que passem pelo processo de tampagem e enfim sejam armazenados no estoque. O diagrama da Figura 3 resume o processo geral do sistema.

3.2 Interface homem-máquina com o Node-RED

A Interface homem-máquina foi criada com o intuito de facilitar a visualização do sistema para um possível cliente, e também para o produtor. Ademais, permitindo com

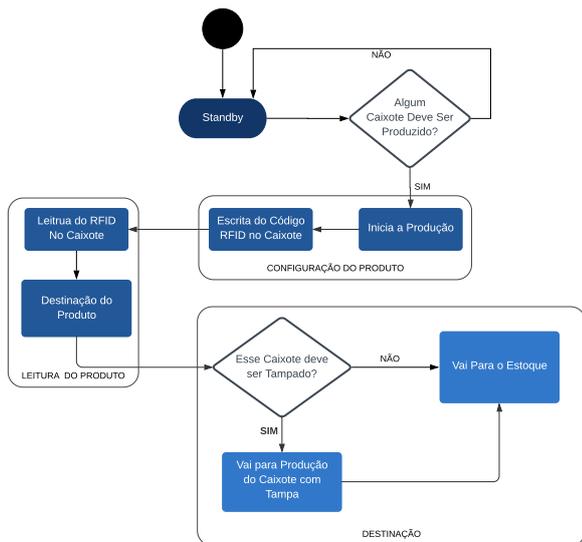


Figura 3. Diagrama geral da programação dos CLPs para definição do funcionamento do processo.

que o cliente possa fazer a sua solicitação de produtos e visualizar o mesmo sendo fabricado, traz consigo uma segurança para o mesmo.

Sistema de solicitação de produção Este sistema tem por fim tornar possível a solicitação das quantidades e tipos de caixotes pelo usuário através do Node-RED, em específico, um painel visual através da utilização dos seguintes nós:

- node-red-dashboard.
- plcindustry.
- node-red-contrib-ui-led.

Os blocos “Tipo” e “Quantidade”, que são elementos visuais fornecidos pelo nó node-red-dashboard, recebem as informações de entrada, o tipo do produto e a quantidade a ser produzida, inseridas pelos usuários, por meio da disponibilização do fluxo do Node-RED em uma página online. Em seguida, essas informações são armazenadas em variáveis no fluxo, então quando o botão “Solicitar” é acionado, os dados de entrada são enviados para o *TIA Portal* utilizando o nó plcindustry, e, ao mesmo tempo, são concatenados em um vetor, enviados para a planilha online e exibidos no *Dashboard* no campo “Histórico de Solicitações”. A Figura 4 mostra a montagem do fluxo usado.

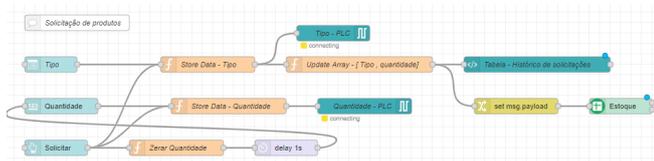


Figura 4. Fluxo do sistema de solicitações de produtos.

Histórico de solicitações Para armazenar todas as informações de entrada utilizando Node-RED foram utilizados os seguintes nós para compor o fluxo dessa aplicação:

- *Sheets*: Utilizado para manipular planilhas online consumindo a API *Google Sheets*.
- *Function*: Um editor de texto Java Script disponível no Node-RED.
- *Change*: Usado para inserir, mudar, deletar ou mover as propriedades de uma mensagem.

Organizando os nós e realizando as devidas conexões, obtém-se o fluxo mostrado na Figura 5.

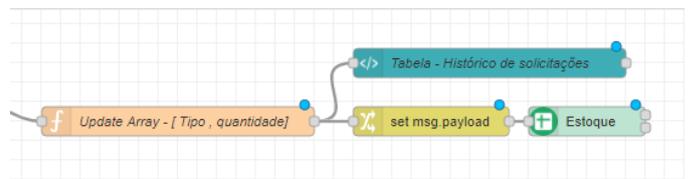


Figura 5. Fluxo do histórico de solicitações.

O nó “*Update Array - [Tipo, quantidade]*” (Figura 5) executa um código JavaScript que é responsável por receber os dados da solicitação de produto e reuni-las em um vetor. As informações recebidas são o horário em que a solicitação foi feita, o tipo de produto e quantidade desejada, respectivamente. Já o nó “*set.msg.payload*” insere na mensagem de saída todas as propriedades existentes na mensagem de entrada que, neste caso, são os dados enviados pelo nó “*Update Array - [Tipo, quantidade]*”. Por fim, a mensagem de saída do “*set.msg.payload*” é encaminhada para o nó “*Estoque*”, onde a informação será manipulada e adicionada a planilha online no *Google Sheets*.

O *Google Sheets* é uma API do *Google Cloud* utilizada para permitir aos clientes/usuários uma visualização em formato de tabela, portanto, para vincular o Node-RED primeiramente foram criadas uma conta e um projeto na plataforma do *Google Cloud*, e então as APIs *Google Sheets* e *Google Drive* foram instaladas dentro do projeto no *Google Cloud*. Enquanto no Node-RED, as configurações necessárias dizem respeito a dois itens: ID e credenciais.

Após os passos descritos anteriormente, toda solicitação feita no *Dashboard* será registrada na planilha correspondente podendo ser acessada a partir de outras redes, devido ao seu volume de dados, estas informações também foram armazenadas no banco de dados Mongo DB.

Acompanhamento do status dos pedidos No *TIA Portal* foram criadas variáveis responsáveis por contabilizar o número de produtos no estoque. Então, tendo em vista o desenvolvimento desta funcionalidade, à medida em que os valores dessas variáveis são atualizados, o Node-RED realiza leituras e as exibe no *Dashboard*.

Os nós dos produtos realizam a leitura da quantidade do seu respectivo tipo de produto utilizando o protocolo de comunicação s7 para acessar as informações do CLP. Na saída de cada nó de leitura está um nó do tipo *Gauge* o qual é responsável pela exibição dos dados no *Dashboard* em forma de gráficos. Eles são inseridos para facilitar a visualização e acompanhamento do usuário durante a solicitação dos pedidos.

As informações de quantidade vagas dos produtos no estoque são enviados do *TIA* para o Node-RED localmente que recebe estes dados e em seguida envia para o fluxo do Node-RED hospedado em uma página web, e assim esses dados ficam disponíveis também online.

Histórico de sensores/atuidores O fluxo responsável pelo histórico de sensores/atuidores utiliza um método semelhante ao desenvolvimento do histórico de solicitações. Sendo assim o fluxo da Figura 6 foi criado para cada sensor ou atuador da planta.

Como são muitos sensores e atuadores, os nós de entrada s7 foram renomeados com o mesmo endereço usado no CLP da planta física. Dessa maneira, o nó “%Q.03” faz a leitura de uma variável booleana no *TIA Portal* que indica se o

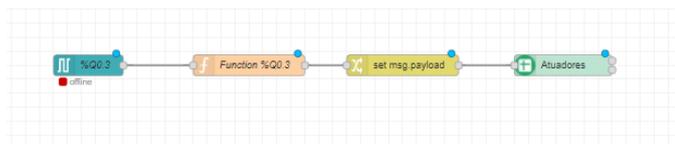


Figura 6. Fluxo do histórico de atuadores.

sensor ou atuador está em funcionamento ou parado e, em seguida, a informação lida é enviada para o “Function %Q0.3”.

O código Javascript executado no nó “Function%Q0.3” recebe `true` ou `false` do nó “%Q0.3”, então toda vez em que `msg.payload` for verdadeiro o objeto `atuadores` é enviado para a saída do nó. O objeto contém as três propriedades em que deseja-se registrar, sendo elas, o endereço do componente, o instante em que o valor foi lido e o status.

Os dados foram enviados para a nuvem e armazenados no banco de dados Mongo DB de forma que cada sinal ocupa uma linha da tabela e assim, criar um fluxo de dados para análise futura caso necessário.

3.3 Gêmeo Digital

Nesta seção é apresentado a construção do GD no Node-RED. Conhecendo o objetivo de construir e implementar o GD de maneira remota para o ensino à distância, a construção baseia-se na planta virtual apresentada na Figura 2(b).

O fluxo apresentado na Figura 7 mostra os passos realizados para o desenvolvimento do GD. Iniciou-se com as ilustrações isoladas dos módulos equivalentes à planta (esteiras, esteiras rotativas, tampador, barrador e armazém) feitas em SVG. Para tal, foi utilizado o Inkscape, que é um software *open source* para ilustração vetorial.

Em seguida, tais ilustrações foram utilizadas para compor uma ilustração da planta por completo. Em seguida adicionaram-se as ilustrações utilizadas pela animação (em sua maioria caixotes) e foram configuradas as identificações utilizando a *API Controlled SVG from Node-RED Dashboard Template*.

Tal configuração permitiu o uso de animações, as quais foram utilizadas com os nós de função, onde foi especificado como seria usada a animação. Para cada item a ser animado, foi criado um nó de função e, para receber sinal vindo do CLP, foram configurados nós do módulo `PLCIndustry`. Para cada sinal do CLP a ser levado em conta no Gêmeo, um nó foi criado.

Por fim, foi organizado o fluxo no Node-RED conectando os nós ao nó `template`, o qual especifica a janela do Gêmeo no Node-RED. Os nós de leitura foram conectados aos nós de mensagem, tais nós foram conectados às funções e os nós de função foram conectados ao `template` (janela no Node-RED), como é mostrado nos exemplos que seguem (Figuras 8 e 9).

De forma geral, as animações consistem em 2 tipos básicos. O primeiro deles é o aparecimento/desaparecimento dos caixotes sobre os módulos da planta, sugerindo a ideia de movimento dos mesmos ao longo do processo. O segundo é a mudança de cor de pequenos círculos nos módulos (remetendo à ideia de um LED) que indica se o atuador daquele módulo está ativado ou não. Os sensores mudam de cor seguindo o mesmo princípio.

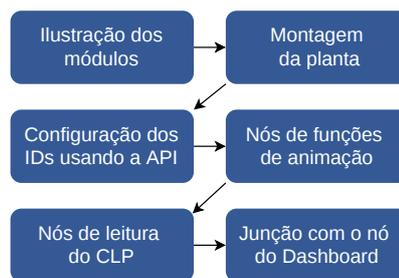


Figura 7. Passos seguidos para o desenvolvimento do Gêmeo Digital.

Os caixotes precisavam estar na planta sobre os módulos para que as animações de aparecimento/desaparecimento pudessem acontecer e sugerir a ideia de movimento a ser usado no monitoramento. Portanto, o SVG final da planta constituiu-se de uma ilustração da mesma com vários caixotes (de todas as cores) sobrepostos sobre os módulos nas posições apontadas pelos sensores.

Assim, quando um caixote passa por um sensor de um módulo na planta, o Gêmeo anima o SVG de modo que um caixote (da cor correspondente ao da planta) apareça sobre o módulo na posição apontada pelo sensor. Além disso, tanto o sensor quanto o “LED” do módulo, no SVG, mudam de cor.

No que diz respeito ao uso da API, foi utilizado `cx_hide` para os caixotes aparecerem e desaparecerem durante todo o processo, inclusive no armazém. Já para os módulos e sensores, foi utilizado `cx_color` para a mudança de cor nos mesmos: verde para atuador ativado; vermelho para o contrário.

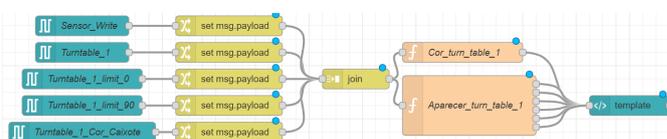


Figura 8. Fluxo da animação da primeira esteira rotativa.

Como mostrado na Figura 8 e dito anteriormente, os sinais vindos do CLP (portanto, os sinais vindo da planta real virtual) são passados para os nós de empacotamento de mensagem, que em seguida são agregados pelo nó de junta para finalmente serem usados nas funções de animação utilizando a API. A função “Cor_turn_table_1” na Figura 8 é responsável por indicar a cor do módulo (portanto, se o mesmo está atuando), enquanto a mais abaixo se encarrega do aparecimento dos caixotes.

Um exemplo da animação utilizando o *token cx_hide* é mostrado na Figura 9. Nela, observa-se o sinal do CLP que indica se o `slot 1` está ocupado e o nó de função responsável pela animação do caixote.

Tal função recebe uma mensagem com um valor do tipo `Bool` e a partir dele identifica se o caixote deve ou não aparecer na planta SVG. Se o valor de tal variável for verdadeiro, é retornado uma variável do tipo `Bool` com o valor `false`, indicando que o caixote não deve desaparecer. Caso contrário, ou seja, o valor de entrada é falso, o valor retornado é `true`, indicando que o caixote deve desaparecer.

A ilustração completa do Gêmeo Digital é acessada pelo Node-RED utilizando a rede local do sistema. De forma geral o acesso ao Gêmeo Digital é feito da seguinte forma: os dados dos sensores lidos na planta virtual são enviados

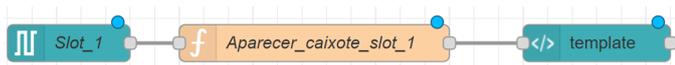


Figura 9. Fluxo da animação do caixote no primeiro slot do armazém.

do CPL por meio do PLCSim para o Node-RED utilizando o módulo PLCIndustry. No bloco de funções estes dados dos sensores são enviados para um banco de dados Mongo DB e enviados para o Gêmeo Digital construído em SVG, de modo que as animações descritas anteriormente possam ser realizadas. O fato de os dados estarem armazenados em uma banco de dados online permite que com o fluxo do Node-RED possa ser compartilhado e visualizado em outra rede local que tenha acesso ao mesmo banco de dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sistema de solicitação de produção

A proposta inicial desta funcionalidade do Dashboard é o usuário ser capaz de solicitar a produção remotamente. Para solicitar um novo produto, o usuário deve clicar no campo indicado para escolher o tipo de produto, escolher uma quantidade e, em seguida, clicar no botão “Solicitar”. Ao finalizar esse procedimento, a solicitação deve ser enviada para o TIA Portal, registrada na planilha online e aparecer no campo de “Histórico de solicitações” acompanhado do horário e data em que a solicitação foi feita.

A solicitação remota é possível por meio da utilização do serviço de nuvem que permite hospedar a aplicação em Node-RED como, por exemplo, a IBM Cloud. Desta forma o projeto Node-RED desenvolvido localmente ao ser importado para a nuvem podendo permitir o acesso ao Dashboard estando conectado a uma outra rede. (Figuras 10 e 11). Devido ao grande volume de dados gerados pelo sistema este acesso remoto só foi possível após o registro das variáveis em um banco de dados (Mongo DB).

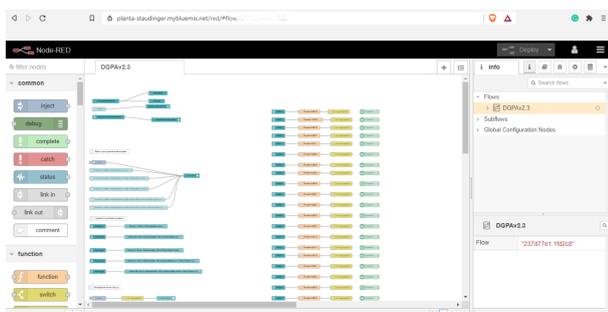


Figura 10. Projeto do Node-RED na IBM Cloud.

Como podemos observar do Dashboard (Figura 11) além de enviar os pedidos de produção é possível ligar e desligar o processo pelo Node-RED, ambiente em que foi construído o Gêmeo Digital, com isto fica evidente que existe a comunicação do GD com a planta real virtual, a qual representa nosso sistema físico.

4.2 Histórico de solicitações

A planilha apresentada na Figura 12 é o banco de dados onde todas as solicitações enviadas para a produção são registradas. Portanto, toda vez em que o botão “Solicitar” é acionado no Dashboard, o Node-RED encaminha os dados para o serviço de nuvem do Google, onde estão sendo usadas as API's Google Sheets e Google Drive. Dessa maneira,

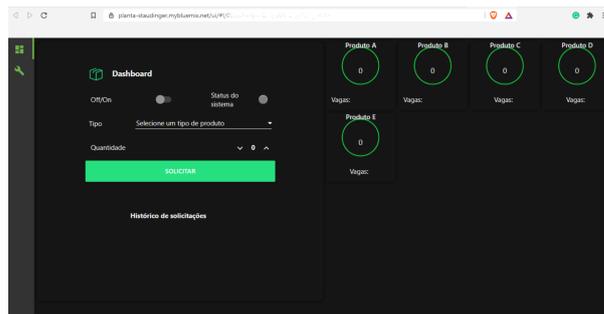


Figura 11. Dashboard na IBM Cloud.

Tempo	Produto	Quantidade
Thu Feb 11 2021 14:02:28 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto A	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto B	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto C	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto D	1
Fri Feb 12 2021 11:41:52 GMT-04:00	Produto E	1
Fri		

em milissegundos em que o evento ocorreu e o status lógico do componente. Devido ao grande volume de dados essas informações também foram armazenadas no banco de dados Mongo DB para que os dados armazenados localmente e constantemente atualizados fossem utilizados pelo Gêmeo Digital construído.

Atuador	Valor	Status
%Q2 9	25	VERDADEIRO
%Q2 6	1524	VERDADEIRO
%Q2 7	1524	VERDADEIRO
%Q1 2	1628	VERDADEIRO
%Q1 4	1853	VERDADEIRO
%Q1 0	1853	VERDADEIRO
%Q1 4	2095	VERDADEIRO
%Q1 7	2486	VERDADEIRO
%Q1 6	2490	VERDADEIRO
%Q1 4	3750	VERDADEIRO
%Q1 1	3447	VERDADEIRO
%Q1 4	3872	VERDADEIRO
%Q1 0	3872	VERDADEIRO
%Q1 7	4990	VERDADEIRO
%Q1 0	4346	VERDADEIRO
%Q1 6	4492	VERDADEIRO
%Q1 0	4492	VERDADEIRO
%Q1 7	4492	VERDADEIRO
%Q1 5	6533	VERDADEIRO

Figura 14. Histórico de acionamento dos atuadores da planta.

4.5 Monitoramento do sistema

Com a planta construída, as animações configuradas no fluxo e a leitura dos sensores e atuadores do CLP sendo feitas a todo momento, obtivemos o resultado desejado do monitoramento visual do processo em “tempo real” quando visualizados localmente pelos alunos. Com isso, o usuário pode acompanhar o processo pela rede local não mais somente com números, mas com a visualização quase completa do processo e do armazém. O fluxo no Node-RED para o GD foi hospedado em uma página web, da mesma forma que ocorreu com o *dashboard*, no entanto, não foi possível carregar todo o sistema, acredita-se que o Gêmeo Digital construído em SVG deve ser otimizado para que a página web de hospedagem do fluxo seja capaz de suportar todo o sistema.

O uso de gráficos vetoriais garantem versatilidade na resolução por pouco espaço de armazenamento. Logo, para o caso de uma empresa com mais de uma planta (ou uma planta muito grande), essa forma é facilmente agrupável numa mesma tela, como mostrado em soluções atuais do mercado, tal como o Azure. As figuras abaixo mostram o monitoramento feito para um pedido do tipo A, isto é, um caixote vazio.

Assim que o caixote sai do módulo emissor, ele é mostrado no gêmeo na esteira correspondente (Figura 15) e é mostrado em seguida ao passar pelo sensor anterior à primeira esteira rotativa (Figura 16-a). Tal esteira recebe o caixote (Figura 16-b) e rotaciona (Figura 16-c) a fim de passar para a próxima esteira.

Em seguida a próxima esteira recebe (Figura 16-d) e passa o caixote para a próxima esteira rotativa (Figura 16-e). Uma vez que tal esteira rotativa recebe (Figura 16-f), o gêmeo não mostra tal esteira rotacionando, por questões de processamento, e pula para a parte da esteira seguinte recebendo (Figura 16-g). O caixote tem seu trajeto mostrado pelo gêmeo até à esteira de acesso (Figura 16-i). Por fim, o caixote é inserido no armazém na última coluna (Figura 17), pois tal coluna é a subdivisão separada para esse tipo de produto.

O caixotes aparecem assim que os sensores são ativados e os círculos dos módulos, assim como os sensores, mudam de cor indicando que estão ativados (ou desativados). É importante notar que a cor mostra o valor lido: verde para `true`; vermelho para `false`. Entretanto, os sensores

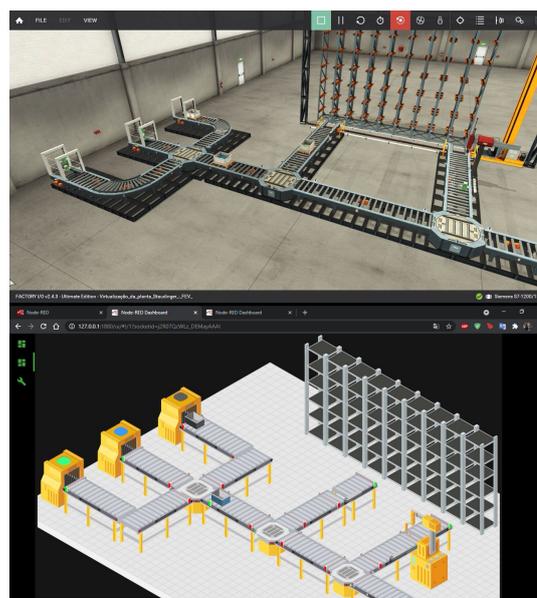


Figura 15. Monitoramento do início de uma produção (caixote preto).

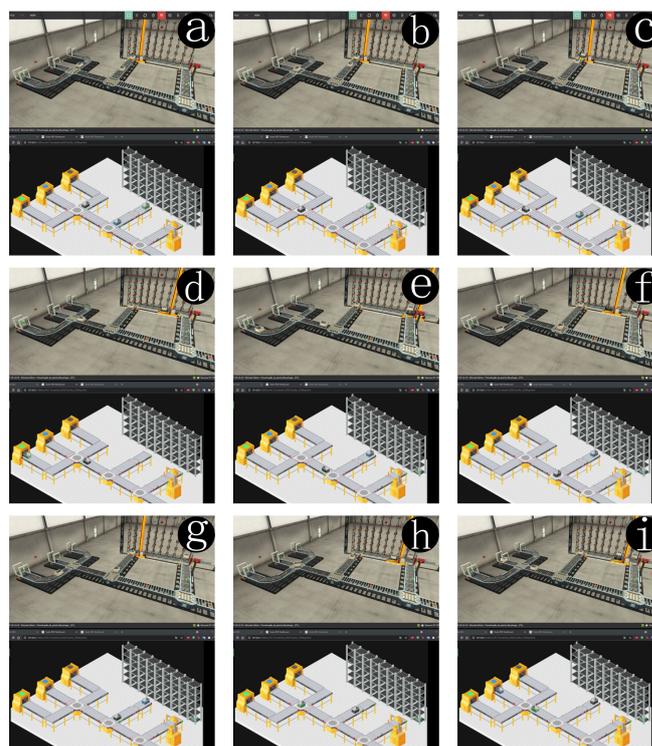


Figura 16. Monitoramento de uma produção pelo Gêmeo Digital (caixote preto).

das esteiras de acesso e os da saída do emissor estão normalmente verdes, o que se deve ao fato de os mesmos serem sensores refletivos (portanto modelados no CLP com contato normalmente aberto). Podemos observar que o gêmeo construído no Node-RED recebe dados da planta virtual real do Factory I/O assim como também envia dados para ela, como foi visto anteriormente, possuindo então uma comunicação bidirecional, além disso, o Node-RED permite a realização de análises de dados por meio da viabilidade de programação interna.

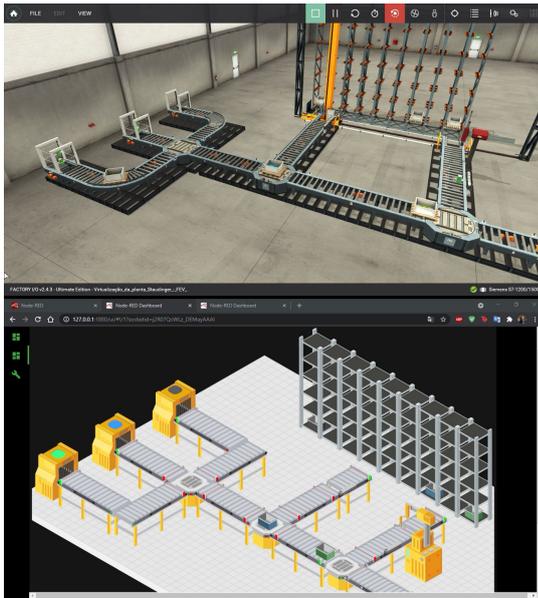


Figura 17. Monitoramento do fim de uma produção (caixote preto).

Os alunos tiveram um grande desafio com o projeto desenvolvido, visto que possuíam pouco ou nenhum conhecimento sobre a tecnologia do gêmeo digital e a ferramenta Node-RED, assim como o conhecimento sobre programação web necessário para desenvolvimento da solução dentro do Node-RED. Então, ao longo do desenvolvimento do projeto foi possível aprender sobre os diversos temas que envolvem estas ferramentas e ter uma visão geral do desenvolvimento do gêmeo digital, preparando-os para projetos maiores. O maior desafio encontrou-se em realizar a comunicação entre a planta virtual e o gêmeo digital proposto, assim como todo o desenvolvimento que envolveu programação web.

5. CONCLUSÃO

As empresas estão buscando se tornar cada vez mais digitalizadas devido a crescente onda da indústria 4.0. O conceito do Gêmeo Digital carrega consigo grandes expectativas devido as suas diversas funcionalidades, contudo aplicar e entender a simples comunicação das plantas não é algo trivial. Devido o contexto de pandemia, o ensino da aplicação do Gêmeo Digital ficou comprometida, desta forma uma planta virtual baseada em um sistema físico foi utilizada para construção de um Gêmeo Digital utilizando programação web no Node-RED, e de maneira remota apresentar o conceito da tecnologia.

O sistema de solicitação no *Dashboard* alcançou total sucesso na sua comunicação com a planta e seu acompanhamento remoto online da situação atual do estoque. Enquanto o gêmeo digital não foi possível alocar online da mesma forma que foi feito com o *Dashboard*. A solução encontrada pelo aluno para este problema seria otimizar a forma que a planta é construída em SVG e a forma que os dados são enviados e recebidos pela planta. Desta forma, para trabalhos futuros, seria interessante realizar esta otimização, assim como realizar análises dos dados utilizando Node-RED, explorar mais ferramentas de programação web para a construção do gêmeo digital, e integrar o gêmeo digital desenvolvido a planta física.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi parcialmente financiada por bolsas concedidas pelo Apoio à Pesquisa da Fundação do Estado do Amazonas (FAPEAM) por meio de bolsas de estudo e pela bolsa FAPEAM nº 062.00272/2020.

Esta pesquisa, realizada no âmbito do Projeto Samsung-UFAM de Ensino e Pesquisa (SUPER), nos termos do artigo 48 do Decreto nº 6.008/2006 (SUFRAMA), foi financiada pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., Nos termos do Lei Federal nº 8.387/1991, por meio do convênio 001/2020, firmado com a Universidade Federal do Amazonas e a FAEPI, Brasil.

REFERÊNCIAS

- Bahrin, M., Othman, F., Azli, N., and Talib, M. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78. doi:10.11113/jt.v78.9285.
- Cotteleer, M. and Sniderman, B. (2017). Forces of change: Industry 4.0. URL <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/overview.html>.
- Garetti, M., Rosa, P., and Terzi, S. (2012). Life cycle simulation for the design of product-service systems. *Computers in Industry*, 63, 361–369. doi:10.1016/j.compind.2012.02.007.
- Grievens, M. (2015). Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. 4.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., and Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51, 1016–1022. doi:10.1016/j.ifacol.2018.08.474.
- Markus, L., Michael, R., Manuela, W., Pascal, E., Michael, H., and Jan, J. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. URL https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industr_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.
- Mussomeli, A., Meeker, B., Shepley, S., and Schatsky, D. (2018). Expecting digital twins: Adoption of these versatile avatars is spreading across industries. URL <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/signals-for-strategists/understanding-digital-twin-technology.html>.
- Rabelo, R.J., Magalhães, L.C., and Cabral, F.G. (2020). Uma proposta de arquitetura de referência de gêmeo digital para sistemas ciberfísicos em um cenário de indústria 4.0. *Sociedade Brasileira de Automática, SBA*, 2. doi:10.48011/asba.v2i1.1382.
- Sacomano, J.B., Gonçalves, R.F., Bonilla, S.H., da Silva, M.T., and Sátyro, W.C. (2018). *Indústria 4.0, Conceitos e fundamentos*, volume Volume 1. Editora Blucher, 1ª edição.
- Sepasgozar, S.M. (2020). Digital twin and web-based virtual gaming technologies for online education: A case of construction management and engineering. *Applied Sciences*, 10(13). doi:10.3390/app10134678. URL <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/13/4678>.
- Sharikov, A. (2020). Controlled svg from node-red dashboard template. URL <https://github.com/Alex-OPTIM/red-dashboard-svg-control>.