



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
 FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS EM NUVEM EM CENTRÍFUGAS DE AÇÚCAR

MONITORING OF VARIABLES IN THE CLOUD IN SUGAR CENTRIFUGES

André Luís Braga^{1, i}
Luciano André dos Santos^{2, ii}
Michel de Moura Chaparro^{3, iii}
Adriano Luiz Pedrini^{4, iv}
Tatiana Aparecida de Almeida^{5, v}
Aldo Roberto Pereira^{6, vi}
André Felipe Savedra Cruz^{7, vii}
Carlos Augusto de Araújo Melo^{8, viii}

Data de submissão: (31/10/2023) Data de aprovação: (06/11/2024)

RESUMO

O conceito sobre automação industrial vem sofrendo transformações, ao longo do tempo, principalmente devido à digitalização, que trouxe a Internet das Coisas (IoT). O monitoramento contínuo permite uma série de medidas do ponto de vista de planejamento e operação, são elas: manutenções preditivas causadas por uma determinada condição de operação, aumento ou diminuição de desempenho e disponibilidade da máquina, por observação da condição das variáveis, entre outras várias possibilidades. Dada a importância sobre as aplicações de centrifugação de açúcar, este trabalho busca trazer o estudo de uma possível solução independente para o monitoramento contínuo das principais variáveis dos

¹ Especialista em Automação, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange” e Engenheiro Eletricista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS, UNESP. andre.luisbraga@hotmail.com.

² Professor Mestrando em Automação - Eng^a Mecânica, Especialista em Eletrônica Embarcada, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. luciano.santos@sp.senai.br.

³ Professor Mestrando em Automação - Eng^a Mecânica, Especialista em Engenharia de Controle e Automação Industrial e Especialista em Mecatrônica, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. michel.chaparro@sp.senai.br.

⁴ Professor Mestre, em Educação, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. adriano.pedrini@sp.senai.br.

⁵ Professora Doutorando em Tecnologia - Sistema de Informação e Comunicação e Mestrado em Ciência da Computação, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. tatiana.almeida@sp.senai.br.

⁶ Professor Especialista em Metodologia de Ensino na Educação Superior, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. aldo.pereira@sp.senai.br.

⁷ Professor Especialista em Desenvolvimento Java, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. andre.cruz@sp.senai.br.

⁸ Professor Pós-Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho – Eng^a Elétrica com Ênfase em Eletrônica, Especialista em Automação Industrial, Controle Eletrônico de Motores e Eletrônica de Potência, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. carlos.araujo@sp.senai.br.

servos inversores Siemens, que atuam nesses tipos de máquinas, por meio de um controlador lógico programável (CLP) também da Siemens, disponibilizando os dados em nuvem, através do protocolo de mensagens *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) e monitorando os parâmetros através de ambiente em nuvem dedicada e proprietária. Os resultados obtidos com esta arquitetura confirmaram sua confiabilidade e disponibilidade, garantindo que a solução não interfere na rede operacional do equipamento enquanto fornece acesso remoto eficiente e seguro aos dados de monitoramento, contribuindo para decisões de manutenção e otimização operacional.

Palavras-chave: servo inversor; centrífuga de açúcar; internet das coisas.

ABSTRACT

The concept of industrial automation has undergone changes over time, mainly due to digitalization, which has brought about the Internet of Things (IoT). Continuous monitoring enables a series of measures from a planning and operational point of view, such as: predictive maintenance caused by a certain operating condition, increased or decreased machine performance and availability, by observing the condition of the variables, among many other possibilities. Given the importance of sugar centrifugation applications, this work seeks to study a possible independent solution for the continuous monitoring of the main variables of the Siemens servo inverters that operate in these types of machines, using a programmable logic controller (PLC) also from Siemens, making the data available in the cloud via the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) messaging protocol and monitoring the parameters via a dedicated and proprietary cloud environment. The results obtained with this architecture confirmed its reliability and availability, ensuring that the solution does not interfere with the equipment's operational network while providing efficient and secure remote access to monitoring data, contributing to maintenance decisions and operational optimization.

Keywords: inverter servo; sugar centrifuge; Internet of Things.

1 INTRODUÇÃO

A automação industrial evolui, impulsionada pela digitalização e pela adoção de novas tecnologias, como IoT. Dentre esses avanços, pode ser citado a capacidade de monitoramento contínuo de equipamentos, possibilitando o acesso a dados em tempo real e informações essenciais para o planejamento e operação de fábricas. A indústria sucroalcooleira brasileira é uma das maiores do mundo e centrífugas são essenciais para a separação do açúcar do melado e seu funcionamento depende de precisão e confiabilidade. A automação integrada ao monitoramento permite, por exemplo, antecipar falhas e aumentar a eficiência operacional, ajustando condições de operação e de desempenho conforme as variações críticas dos processos. Este artigo sugere uma forma de monitorar de forma contínua, as principais variáveis de operação do equipamento acionador de uma centrífuga de açúcar, por meio da utilização de um CLP e disponibilizá-los em forma gráfica e de fácil acesso em um ambiente baseado em nuvem.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo desenvolver e validar uma solução de monitoramento contínuo das principais variáveis dos servo inversores Siemens

utilizados nessas centrífugas. Esse monitoramento é feito por meio de um CLP Siemens, e os dados obtidos são transmitidos para um ambiente de nuvem por meio do protocolo MQTT, amplamente utilizado por sua eficiência e segurança em comunicações IoT. A proposta de solução visa atender à necessidade do setor por uma infraestrutura independente que ofereça alta confiabilidade e permita uma análise contínua das condições de operação dos equipamentos, contribuindo para estratégias de manutenção preditiva e melhoria de desempenho.

A metodologia aplicada neste estudo consiste no desenvolvimento de um sistema de monitoramento que coleta dados dos servo inversores por meio do CLP, com transmissão contínua via MQTT para um ambiente em nuvem dedicado. Esta infraestrutura possibilita a visualização gráfica e acessível das variáveis monitoradas, em uma plataforma de nuvem proprietária, que se comunica com o sistema sem interferir na rede operacional do equipamento. Os testes foram concluídos em bancada, garantindo controle sobre as interrupções operacionais e simulando condições reais de operação, como variações de carga e situações que podem levar a falhas.

Com essa arquitetura, espera-se validar a previsão de um sistema de monitoramento seguro e eficiente para aplicações industriais em equipamentos de alta criticidade. Os resultados confirmam que a solução é capaz de fornecer acesso remoto e seguro aos dados em tempo real, permitindo decisões rápidas e assertivas quanto à manutenção e otimização operacional das centrífugas de açúcar. A implementação deste modelo reforça a importância da inovação digital para a automação industrial e representa um avanço na confiabilidade e disponibilidade dos processos industriais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

É um grande fato que a indústria passou por grandes transformações ao longo dos anos. Segundo Abreu (2018), a quarta Revolução Industrial depende dos pilares que as outras revoluções trouxeram para este mesmo cenário e têm-se as seguintes bases de fundamentação para ela:

Segundo a Fundação Dom Cabral, o relatório da Boston Consulting Group - BCG lista os pilares da quarta revolução, que são consideradas as nove principais tecnologias da indústria 4.0; sendo essas: robôs automatizados; manufatura aditiva; simulação; integração horizontal e vertical de sistemas; internet das coisas industriais; big data e analytics; nuvem; segurança cibernética e realidade. (Abreu, 2018, p. 49)

Sobre estes termos, tem-se que para Borlido (2017) a Internet das Coisas se difere do termo Internet das Coisas Industriais, pois a primeira se refere a qualquer equipamento que é colocado a rede e tem-se a busca por iteração, quanto que o segundo, se parte de equipamentos que já estão no cenário industrial e tem-se o desafio de se integrar o mesmo em um ambiente de conectividade. Outro ponto muito bem abordado é a explanação sobre os temas: Nuvem e Big Data. Para Borlido (2017), devido à capacidade dos novos equipamentos, de gerar um grande volume de dados, torna-se inviável a disponibilidade de hardwares físicos na mesma empresa para armazená-los, dessa forma, surge o termo de Big Data. Portanto, a ideia de se armazenar estes dados num servidor gerenciado por outra empresa é totalmente viável, veja neste trecho de sua obra:

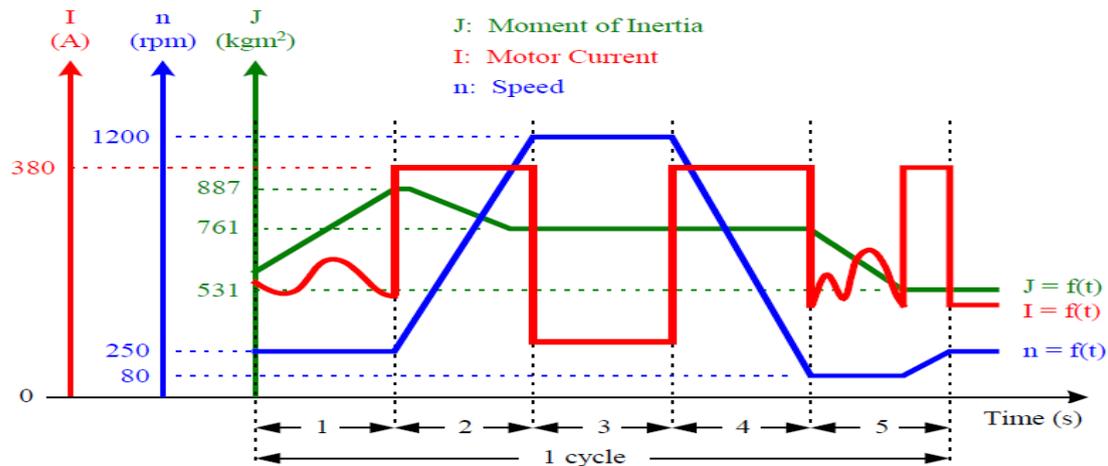
A virtualização veio para ficar e o facto de poder aceder desde qualquer local e sem ter os dados fisicamente não significa que os dados tenham perdido essa forma. Uma das vantagens da cloud é nas que propõe sincronização automática que, mesmo estando offline, alterando um documento este é replicado na cloud em segundos. (Borlido, 2017, p. 32)

Segundo Marques (2016 *apud* Nepomuceno) todas as máquinas, ao decorrer do uso, sofrem desgastes e necessitam de algum tipo de manutenção. Logo, se pode definir que a manutenção é um conjunto de procedimentos padrão, que são orientados pelo fabricante, que visa assegurar o funcionamento de uma determinada máquina. Tal técnica é muito bem conhecida e difundida, porém para os dias de hoje há o desenvolvimento de novas formas de se realizar manutenção. Alguns dos conceitos a serem abordados são: manutenção preditiva, confiabilidade e disponibilidade. Para Marques (2016), a manutenção preditiva é fundamentada na aquisição e análise de variáveis que possam identificar uma possível pane de uma máquina, que permite o planejamento de uma manutenção e evitando todo o estresse gerado de uma emergência. A respeito dos termos confiabilidade e disponibilidade, tem-se que para o teórico que a confiabilidade é um dos termos mais importantes de uma máquina e pode ser definido com um cálculo que garante a operação estável do dispositivo; onde tal cálculo é baseado em estatísticas providas de uma base de dados do próprio fabricante. A respeito da disponibilidade, a mesma pode ser definida como a medição da vida útil da máquina, que garante a máquina operando em uma condição confiável.

É extremamente importante citar sobre qual pode ser um dos métodos de análise, que pode trazer os conceitos abordados anteriormente. O monitoramento contínuo de variáveis pertinentes a uma determinada operação de uma máquina. De acordo com Isermann (2011), o monitoramento contínuo pode prevenir grandes danos em equipamentos, assim como trazer uma série de benefícios tais como: além do crescimento da disponibilidade e confiabilidade; a melhoria de segurança; o diagnóstico muito mais preciso em relação às falhas; além da captação de variáveis pertinentes em seus estados de transição; possibilitando a elaboração de um banco de dados para uma possível inteligência artificial. Este mesmo autor cita que é importantíssimo um conhecimento prévio das variáveis a serem observadas, para que o monitoramento contínuo tenha alguma validade e eficiência.

Portanto, é muito válido que a aplicação abordada neste trabalho seja de um sistema servo inversor de frequência que opera uma centrífuga de açúcar. Área em que o autor possui uma prévia experiência e poderá decorrer um pouco melhor sobre esta análise. Vale ressaltar também que, os servo inversores são amplamente utilizados na indústria açucareira, onde segundo Siqueira e Pasqualetto (199-?) o processo de centrifugação consiste em separar o açúcar dos méis que são reutilizados no processo de cristalização. Tal processo sempre envolve equipamentos de grande porte e são críticos em uma usina de açúcar. Na figura 1, pode ser observado como se comporta o ciclo de carga de uma centrífuga.

Figura 1 - Perfil das curvas de velocidade, corrente e momento de Inércia de uma Centrífuga

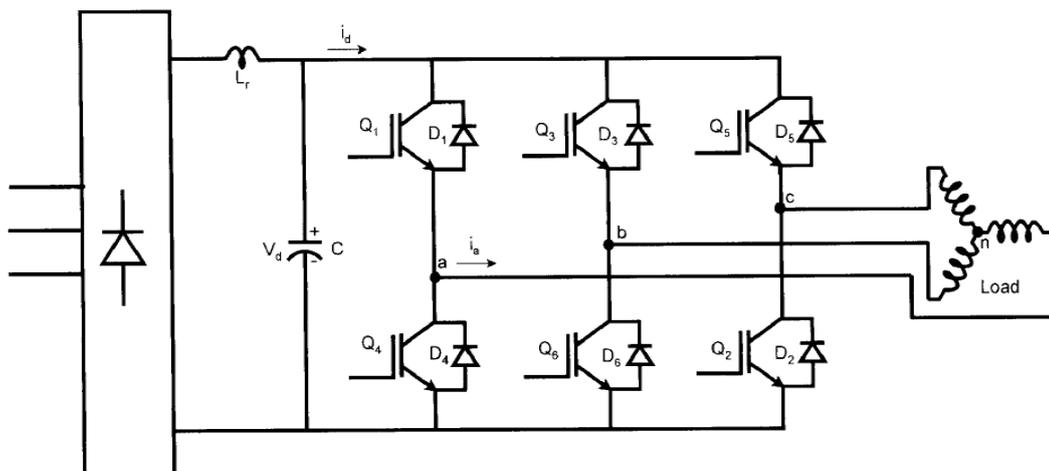


Fonte: (Siemens, 2002, p.9)

Interpretando as informações de Siemens (2002), percebe-se que durante a etapa 1 ocorre a alimentação do material, em que o momento de inércia começa a aumentar significativamente. Na etapa 2, ocorre a aceleração da centrífuga: percebe-se que durante a aceleração, o momento de inércia reduz, enquanto a corrente eleva-se devido à presença de carga. Durante a fase 3, é feita a centrifugação: percebe-se que a corrente reduz ao atingir uma constante da velocidade de toda inércia. No período 4, é feita a desaceleração (regeneração): percebe-se novamente um aumento da corrente, porém, dessa vez ocorre a regeneração. Conclui-se que, a dinâmica da carga é alta e geralmente são utilizados os sistemas servo inversores para executar este processo.

De acordo com Bose (2001), a categoria destes equipamentos é muito importante para o cenário da indústria atual, uma tecnologia muito bem difundida e utilizada pelos maquinários. Um inversor de frequência consiste basicamente em um acionamento de velocidade variável para motores, abrangendo diversas faixas de potência – mais comumente, são utilizados para acionar motores de indução ou de corrente contínua. O controle por chaveamento de frequência é mais eficiente que o controle reostático. O controle com variação de frequência melhora o controle de fluxo em baixa carga. A utilização de modos de controle adequados aos servo inversores reduzem o consumo de energia elétrica, por parte das máquinas elétricas. Estes possuem características construtivas diferentes, dependendo de sua potência, porém eles constituem uma concepção básica que contém três partes básicas: retificador, banco de capacitores do barramento de corrente contínua e chaveamento controlado a partir da tensão retificada. Essa concepção pode ser observada na figura 2.

Figura 2 – Carga de indução conectada à rede por meio de um inversor



Fonte: (Bose, 2001, p.198)

Raramente, este tipo de acionamento será encontrado, trabalhando de forma independente, tratando desta aplicação. No cenário industrial, ele é denominado como um escravo. Portanto, é essencial comentar a respeito do protocolo de rede utilizado, assim como o mestre que determina toda a dinâmica de movimento deste sistema.

Conforme Coretti (1998 *apud* Pupo, 2002), o CLP se trata de um dispositivo criado para processar sinais de entrada, executar funções que são programadas pelo usuário, transformando em sinais desejados de saída. Geralmente são utilizados como mestres em uma rede de comunicação industrial. A IHM (Interface Homem Máquina) é um equipamento capaz de tornar possível toda a manipulação dessas variáveis que são trabalhadas no CLP, além de tornar possível, a visualização de todos os processos que estão ocorrendo na máquina operada.

De acordo com Willig (2008) as redes industriais sem fio vêm ganhando grande força e crescendo no mercado, devido à evolução dos equipamentos dessa área. Atualmente, os roteadores móveis industriais podem fornecer um ponto de acesso à internet de alta qualidade, robustez e segurança que o cenário industrial exige.

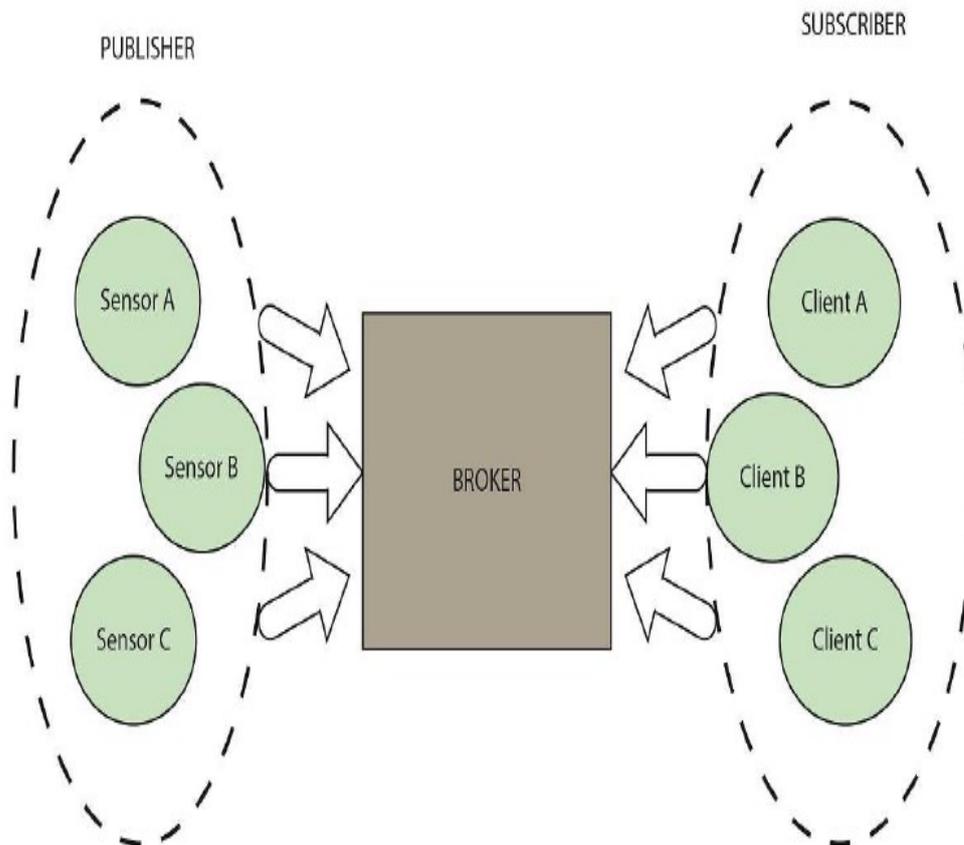
Um protocolo bastante utilizado na indústria, para gerenciar a comunicação entre os equipamentos mencionados, é o PROFINET. Este é um padrão aberto de Ethernet Industrial, que segundo Popp e Weber (2004 *apud* Turcato, 2015) foi aprimorado para satisfazer as condições mais severas encontradas no ambiente fabril. Permite a comunicação em tempo real, baseado nas normas IEC61158 e IEC61784.

Outro protocolo que está se tornando cada vez mais presente no cenário industrial, é o MQTT.

Criado pela IBM na década de 90 com foco em sistemas de supervisão e aquisição de dados, o protocolo evoluiu e encontrou seu espaço nesse amplo mercado de Internet das Coisas. O protocolo MQTT foi concebido para conectar dispositivos, redes, aplicações, serviços e middlewares. O protocolo foi concebido visando utilizar a infraestrutura e realizar integração com os protocolos TCP e IP. Além disso, o MQTT foi projetado para aplicações que utilizam pouca banda de rede, com requisitos de hardware extremamente simples e leve. (Souza, 2018, p.21)

Segundo Souza (2018), o funcionamento do protocolo MQTT pode ser observado na figura 3 e, de uma forma simples, consiste em:

Figura 3 – Modo de funcionamento do protocolo MQTT



Fonte: (Souza, 2018, p.22)

Quando o cliente precisa de uma informação, ele concede um comando *subscribe* por meio de um pedido para o *broker* que faz toda intermediação da comunicação. Os clientes que precisam escrever um tópico, realizam por meio do *broker*, mandando os tópicos que possui, portanto, essa interface fica responsável por compartilhar a mensagem até o destino. Os clientes podem ser tanto publicadores como assinantes, ou seja, a mensagem trafega pela rede como tópicos, que são enviados e recebidos.

Sendo assim, é extremamente importante abordar alguma solução que seja capaz de fazer o monitoramento contínuo das variáveis e disponibilizá-las em uma plataforma de fácil acesso; encaixando ao perfil citado acima, a fim de se manter a competitividade no mercado atual.

3 METODOLOGIA

Para este artigo, foram desenvolvidos testes experimentais em bancada, na tentativa de consolidação da solução. Na tabela 1, são descritos os hardwares que foram utilizados:

Tabela 1 – Lista de *hardwares* utilizados para a solução

***Hardwares* (descrição):**

Sistema Servo inversor SINAMICS S120 SIEMENS:

- **Unidade de Controle CU320-2 PN (CU)**
- **Módulo retificador regenerativo, *Smart Line Module (SLM)***
- **Módulo Inversor duplo, *Double Momo (DMM)***
- **Módulo opcional de Interface de rede PROFINET SINAMICS CBE20 SIEMENS**

Servo Motor família 1FK7 SIEMENS

IHM SIMATIC TP1200 *Comfort* SIEMENS

CLP SIMATIC S71500 CPU1515-2 F PN SIEMENS

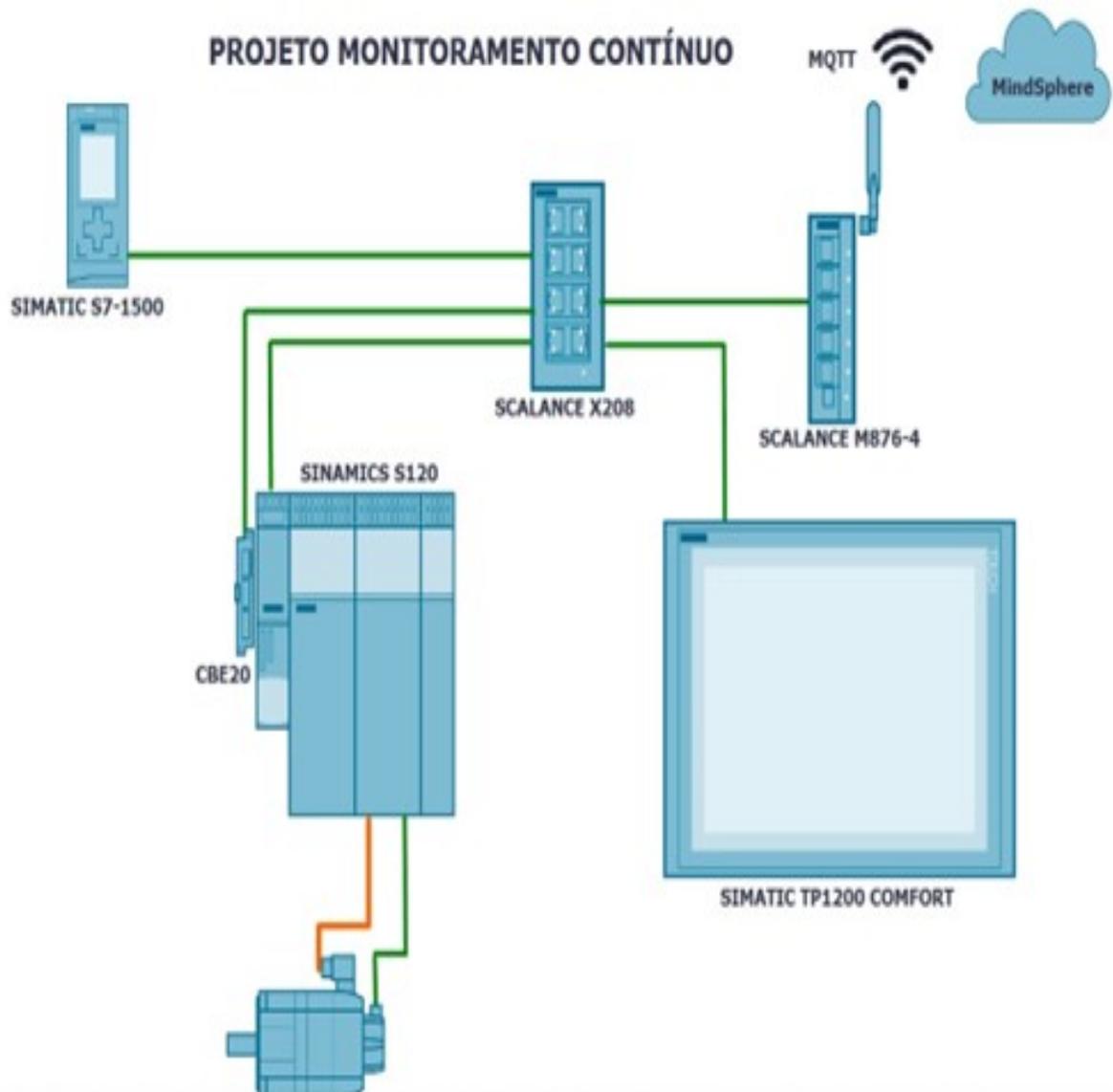
Roteador de Rede Móvel SCALANCE M876-4 SIEMENS

***Switch* SCALANCE X208 SIEMENS**

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para que os testes fossem executados, utilizou-se da seguinte topologia do projeto, conforme a figura 4:

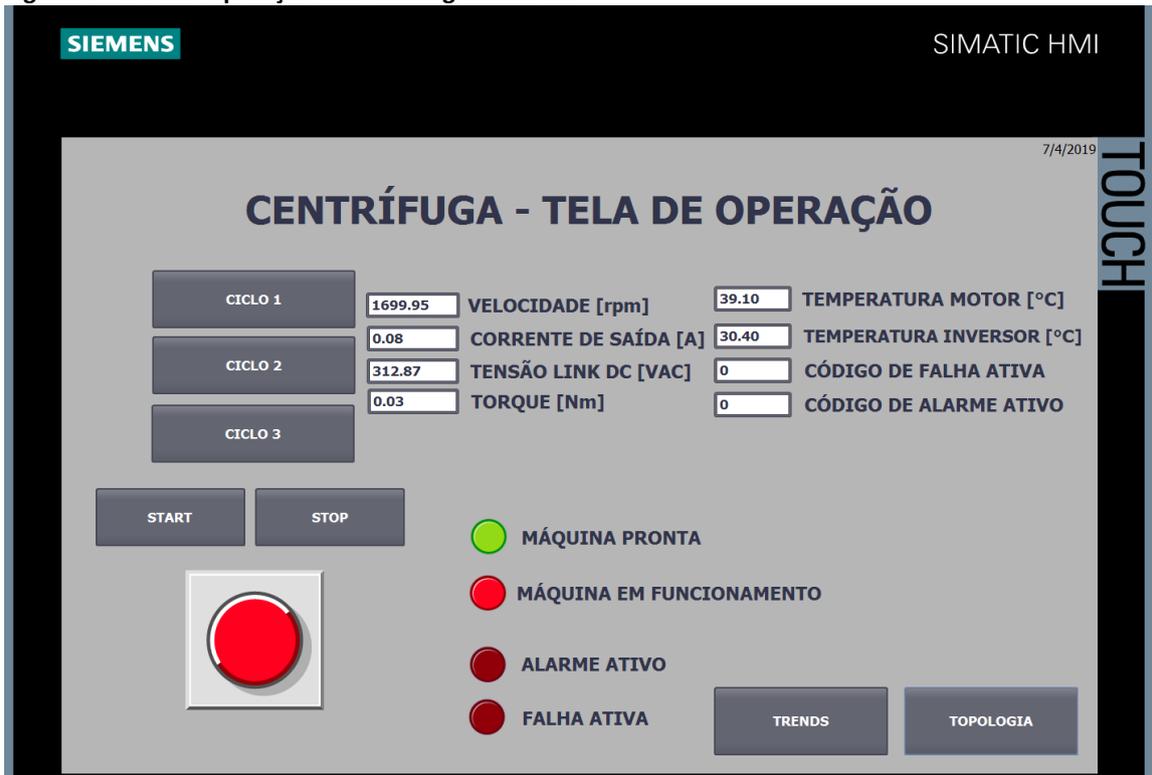
Figura 4 – Arquitetura do Projeto



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para alcançar maior proximidade à aplicação real, utilizou-se dos recursos do CLP e da IHM para simular o processo executado por uma centrífuga de açúcar. A plataforma integrada TIA Portal V15.1 (*Totally Integrated Automation*) foi utilizada para integração dos equipamentos envolvidos. O CLP foi programado por meio do *software Step 7 Professional V15.1* e usadas linguagens de programação conforme a norma IEC 61131-3, como o diagramas Ladder e sequenciamento gráfico de funções (SFC), adaptado pela Siemens através da ferramenta de programação gráfica S7-GRAPH, para a mudança dos valores de velocidade de forma automática no servo inversor. A IHM foi desenvolvida por meio do *software WinCC Basic V15.1*, de uma forma a tornar os comandos da simulação da centrífuga mais fáceis de serem executados. Os parâmetros principais de operação do ciclo conversor foram monitorados na IHM, conforme a figura 5.

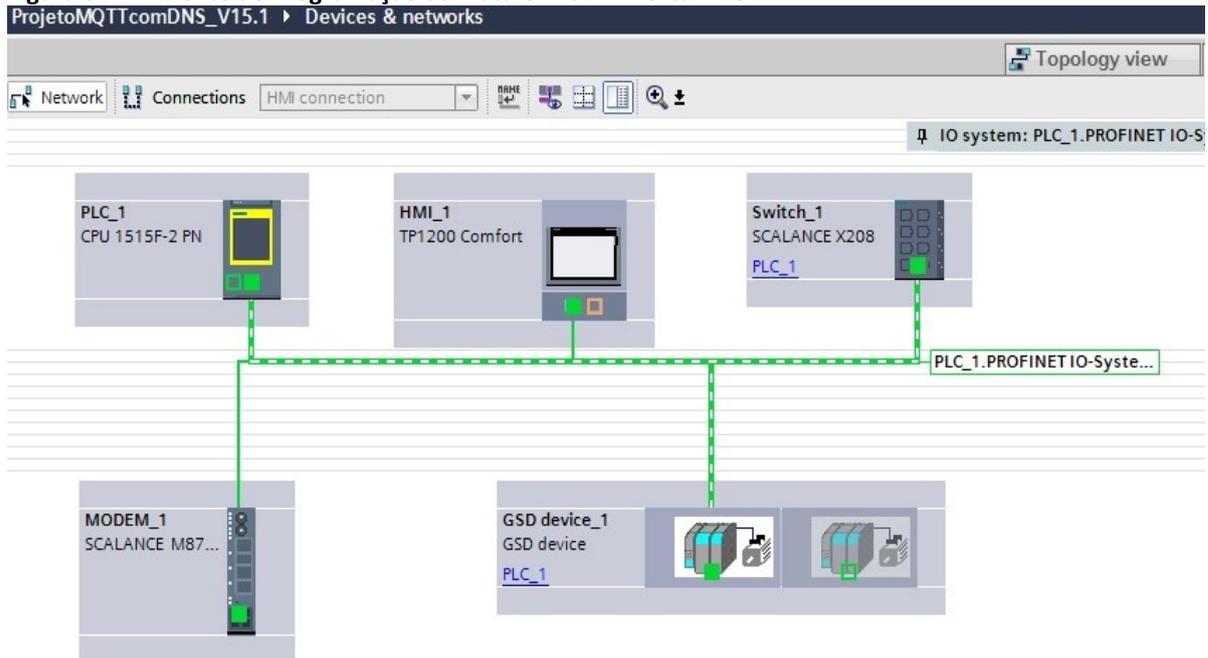
Figura 5 – Tela de Operação da Centrífuga Simulada



Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema servo inversor foi totalmente parametrizado por meio do software SINAMICS MICROMASTER *Starter* V5.3, integrando-o ao CLP e IHM. Todos os componentes foram interligados por meio da rede PROFINET, conforme ilustrado pela figura 6, que também mostra o ambiente da plataforma de softwares TIA Portal V15.1.

Figura 6 – Ambiente de Programação da Plataforma TIA Portal V15.1



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela 2, podem ser vistas, as variáveis que são consideradas importantes a serem monitoradas para uma centrífuga, que utilizam o servo inversor SIEMENS da linha SINAMICS S. As variáveis foram endereçadas ao CLP de forma a fazer a coleta dos dados, para que, posteriormente fossem enviados à nuvem.

Tabela 2 – Lista de variáveis sugeridas para monitoramento do ciclo conversor

Variável	Descrição	Unidade de Medida
r0060	Setpoint de Velocidade	rpm
r0063	Velocidade Atual	rpm
r0068	Corrente de saída do motor	A
r0080	Torque Atual	Nm
r0072	Tensão de saída do motor	$V_{AC\ rms}$
r0070	Tensão do <i>link</i> C.C.	$V_{DC\ rms}$
r0035	Temperatura do Motor	°C
r0037	Temperatura do Inversor	°C
r2132	Código de alarme ativo	-
r2131	Código de falha ativa	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio do *software* Step 7 V15.1, foi criado um bloco de programação, utilizando a biblioteca MQTT. Tal bloco foi capaz de criar um dispositivo com as informações necessárias para publicação na nuvem e envio de variáveis em um período definido pelo usuário. Na figura 7, podem ser vistos mais detalhes da configuração do bloco.

Figura 7 – Blocos criados para protocolo MQTT

The image displays the Siemens SIMATIC Manager interface for configuring MQTT blocks. It is divided into three main sections:

- Network 1: conexão com a rede**: Shows a ladder logic network with a function block `FC_CreateDevice` (FC2006) and various MQTT-related blocks like `InstPublisherQD` and `InstMqttData`.
- Network 2: publicacao das variaveis**: Shows a ladder logic network with a function block `FC_PublisherMQTT` (FC2007) and blocks for publishing data to MQTT, including `InstPublisherQD` and `InstMqttData`.
- LMqtt_Data**: A data block definition table with the following structure:

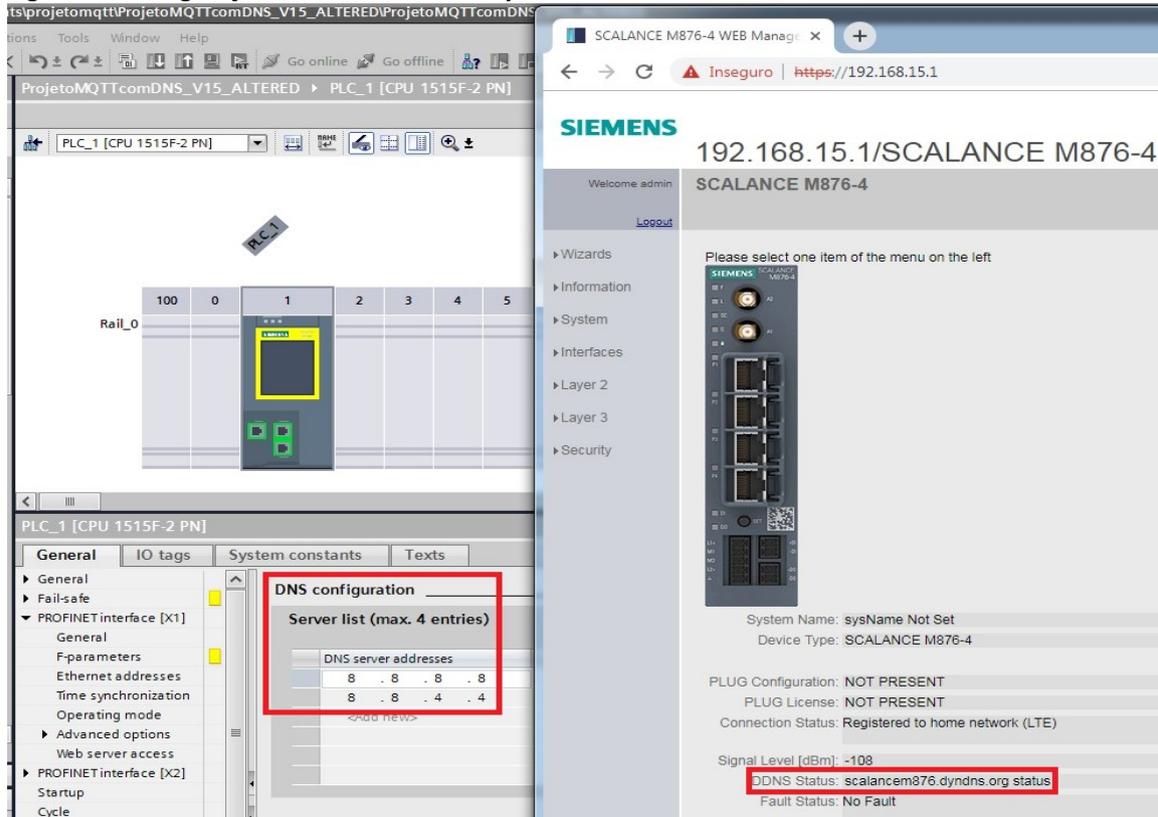
Name	Data type	Start value
Static		
dataTcp	*typeTcpConnPa...	
hwIdentifier	HW_ANY	64
connectionID	CONN_OUC	16#20
qdnAdressBroker	String[254]	'mciotextension.eu1.mindsphere.io.'
localPort	UInt	2000
mqttPort	UInt	1883
dataMqtt	*typeMqttParam*	
connectFlag	*typeMqttConnectF...	
publishFlag	*typeMqttPublishF...	
keepAlive	Word	0
packetIdentifier	Word	16#12
clientIdIdentifier	String[23]	'Centrifuga0101'
willTopic	String[100]	''
willMessage	String[100]	''
userName	String[50]	'sicstsbrli_@siemens.com'
password	String[50]	': '
topic	String[100]	's/us'
message	String	'100,createdDeviceName,deviceType'
Value	Int	0
Mqtt_IoT	Struct	
- Values**: A table showing the values for the 'DB2005' data block:

Name	Data type	Start value	Retain	Accessib...
Static				
Data	Array[0..2] o...			<input checked="" type="checkbox"/>
Data[0]	Struct			<input checked="" type="checkbox"/>
Variable_Name	String[12]	'Velocidade'		<input checked="" type="checkbox"/>
Serie	String	'Drive'		<input checked="" type="checkbox"/>
Value	Int	0		<input checked="" type="checkbox"/>
Unit	String	'rpm'		<input checked="" type="checkbox"/>
Data[1]	Struct			<input checked="" type="checkbox"/>
Variable_Name	String[12]	'DC Link'		<input checked="" type="checkbox"/>
Serie	String	'Drive'		<input checked="" type="checkbox"/>
Value	Int	0		<input checked="" type="checkbox"/>
Unit	String	'VAC'		<input checked="" type="checkbox"/>
Data[2]	Struct			<input checked="" type="checkbox"/>
Variable_Name	String[12]	'Temp Motor'		<input checked="" type="checkbox"/>
Serie	String	'Drive'		<input checked="" type="checkbox"/>
Value	Int	0		<input checked="" type="checkbox"/>
Unit	String	''		<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Elaborada pelo autor

Para que os dados monitorados pudessem ser encaminhados a nuvem, foi necessário realizar a configuração de um ponto de acesso à internet. Assim, foi realizada a configuração de um roteador de rede móvel: SCALANCE M876-4 atrelado a um domínio público. Para que a solução fosse a mais simplificada possível, buscou por um domínio compatível com o CLP: DynDNS. Portanto, foi criado um domínio público com o seguinte endereço: "scalancem876.dyndns.org". Além disso, foi atrelado ao CLP, conforme mostra a figura 8: configuração do roteador e do CLP.

Figura 8 – Configuração do roteador e CLP: DynDNS



Fonte: Elaborada pelo autor.

O serviço de nuvem utilizado foi o SIEMENS *MindSphere*. Dentro desta plataforma é disponibilizado um aplicativo chamado *MC IOT Extension*. A figura 9 mostra o ambiente de trabalho desta plataforma, em que foram programados gráficos de exibição e *gauges* com algumas das variáveis sugeridas do ciclo conversor.

Figura 9 – Ambiente do SIEMENS *MindSphere*



Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi possível implementar toda a arquitetura abordada nos procedimentos, conforme mostrado na figura 10, que tornou possível a coleta de dados.

Figura 10 – Montagem dos Hardwares Utilizados



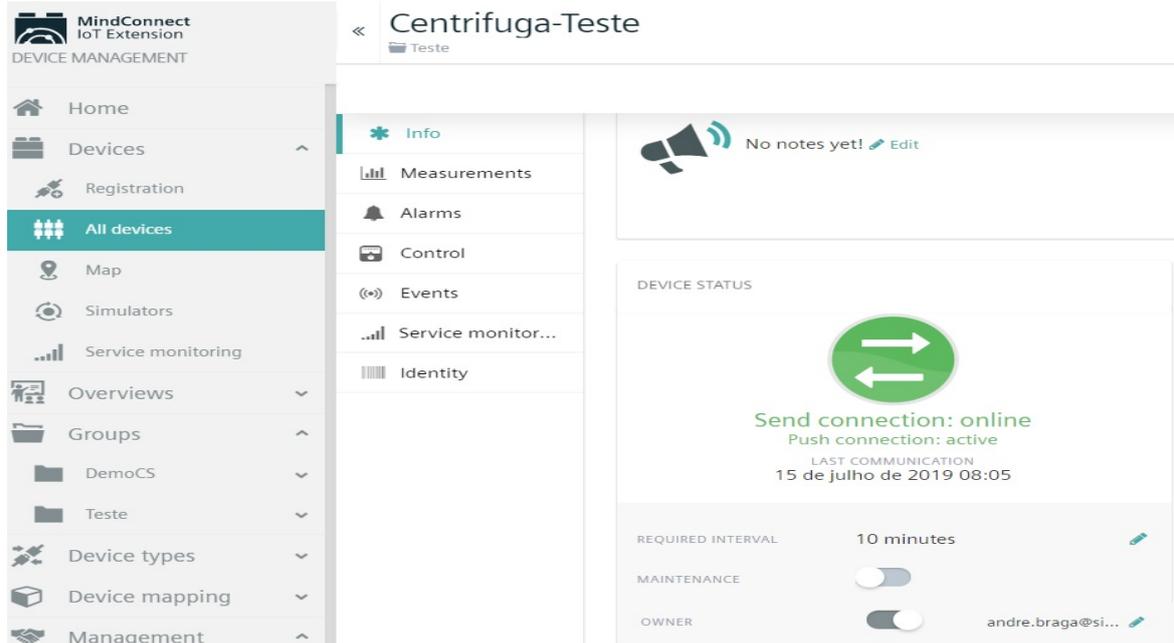
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Analisando a figura 10, todos os elementos estão conectados por meio do switch SCALANCE X208, utilizando rede PROFINET (CLP, IHM, sistema servo inversor). Foi utilizado o mesmo CLP da simulação da centrífuga, em conjunto com o roteador de rede móvel SCALANCE M876-4, conectados à segunda interface do inversor, disponibilizada pela placa opcional SINAMICS CBE20.

Dessa forma, foi possível fazer a simulação do comportamento de uma centrífuga em relação aos perfis de velocidade e operação (simulação dos ciclos de cargas). Não foi possível simular os valores de corrente de saída do motor, pois não havia carga conectada ao eixo.

A conexão com o *broker MindSphere* (MC IOT Extension) foi estabelecida e pode ser vista na figura 11.

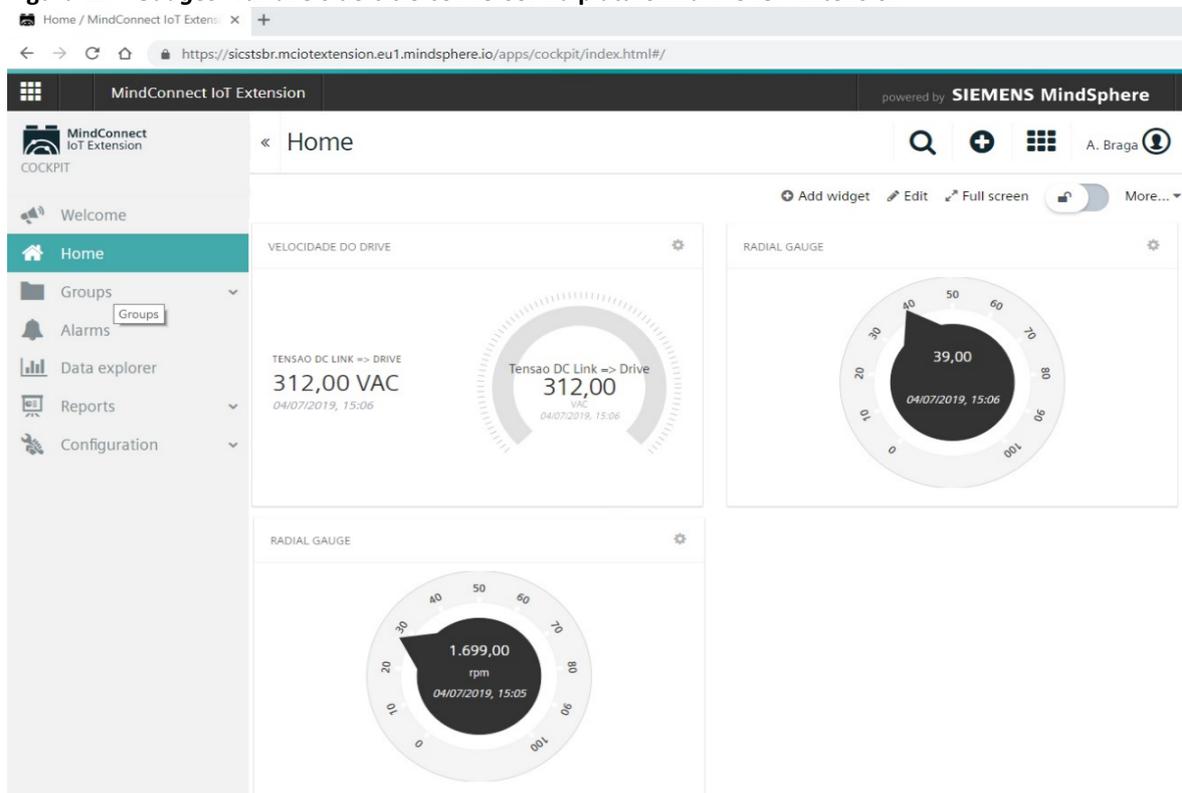
Figura 11 – Conexão estabelecida com o *broker MC IOT Extension*



Fonte: Elaborada pelo Autor.

No ambiente do MC IOT *Extension*, foi possível fazer um simples tratamento das variáveis de: velocidade do motor, tensão do *link* C.C. e temperatura do motor, por meio de gráficos e *gauges*, para uma melhor interpretação dos dados; conforme mostram as figuras 12, 13, 14 e 15.

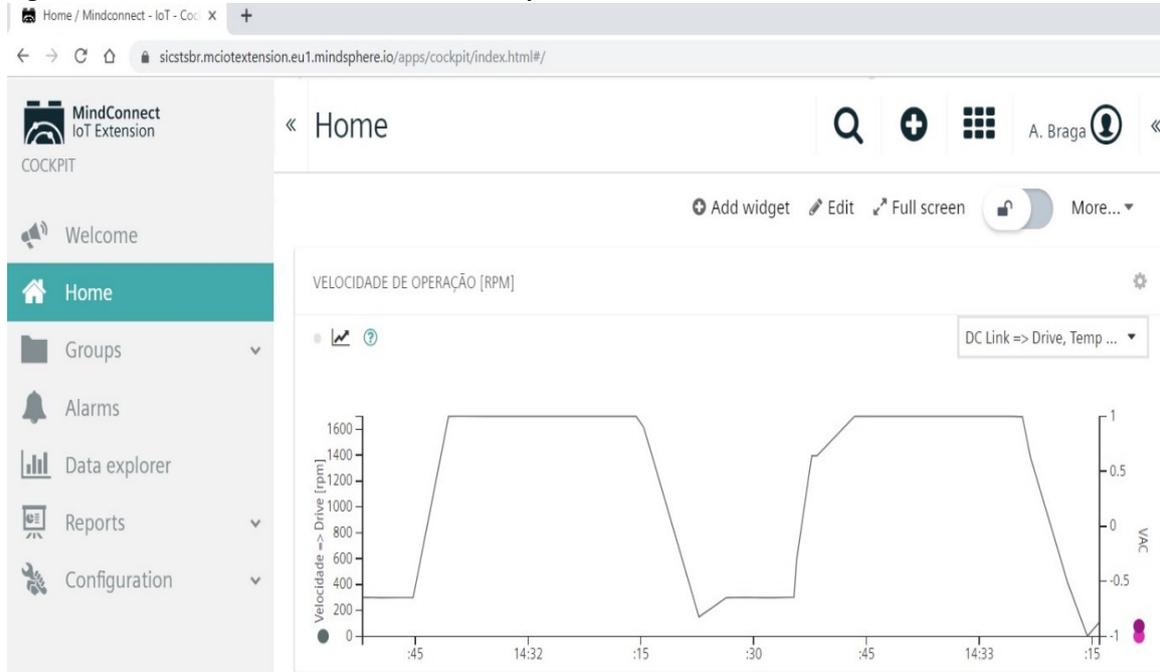
Figura 12 – *Gauges*: variáveis do ciclo conversor na plataforma MC IOT *Extension*



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Na figura 12 é possível verificar as amplitudes de tensão do link DC, temperatura do motor e a sua velocidade, além dos objetos gráficos como rótulos, caixas de texto e medidores da ferramenta para visualização das informações.

Figura 13 – Gráfico da velocidade do motor na plataforma MC IOT Extension



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Na figura 13 a variação da velocidade é apresentada através de um objeto gráfico de tendência, disponível nessa ferramenta, para visualização da amplitude de uma variável ao longo do tempo, muito usado em sistemas de automação para monitoramento, previsão e tomadas de decisão dentro de um processo.

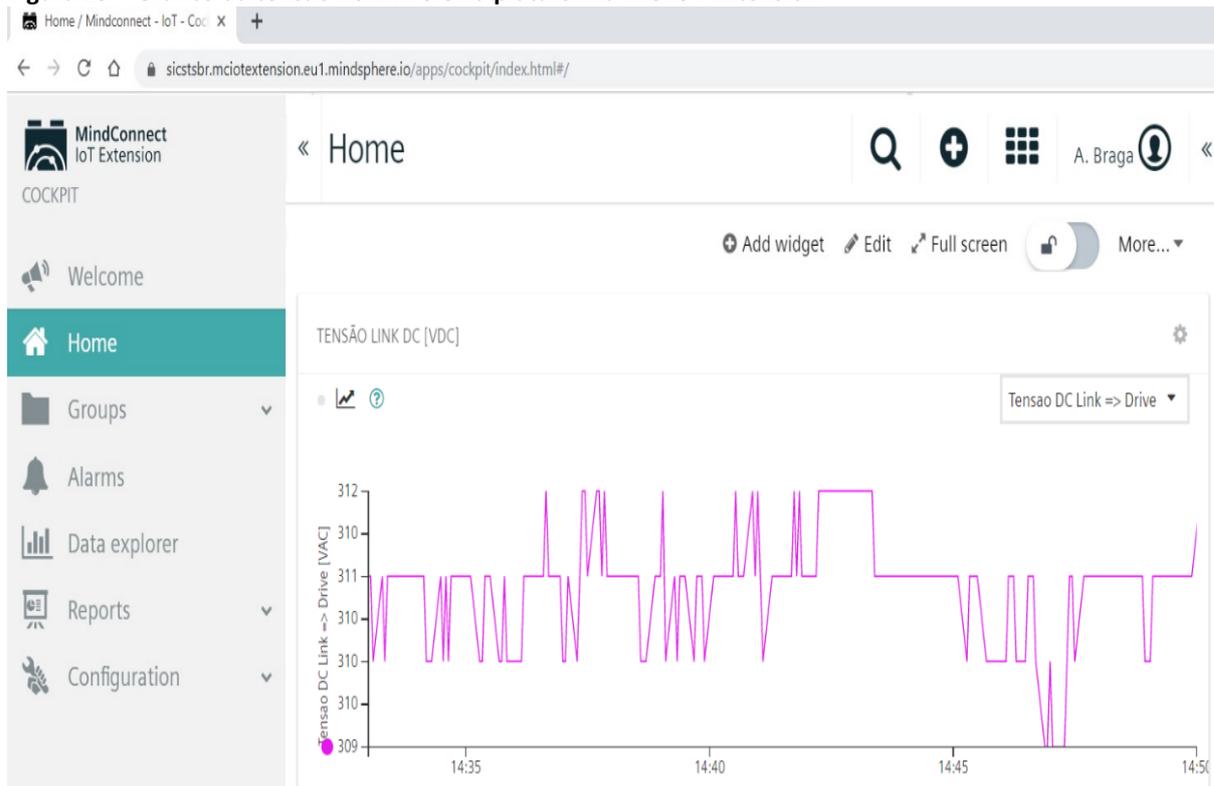
Figura 14 – Gráfico da temperatura do motor na plataforma MC IOT Extension



Fonte: Elaborada pelo Autor.

A figura 14 apresenta a evolução da variável de temperatura do servo inversor ao longo de um tempo relativamente curto, nesse caso, a temperatura apresentou comportamento estável e sem oscilações, mas, se em seu monitoramento e acompanhamento contínuo, haver instabilidade e oscilações, pode ser indicativo de mau funcionamento ou problemas, como por exemplo sobrecargas. As centrifugas apresentam extremos de funcionamento, acelerações e desacelerações do sistema servo inversor são comportamentos constantes e requerem um monitoramento crítico, avaliativo e preditivo dessa variável.

Figura 15 – Gráfico da tensão no link C.C na plataforma MC IOT Extension



Fonte: Elaborada pelo Autor

Outra variável que apresenta um comportamento bem peculiar e que está sendo monitorada e visualizada através do objeto gráfico de tendência, disponibilizado pela ferramenta conforme a figura 15 é a tensão do link DC do servo inversor, que tem um papel fundamental para determinar o esforço do *drive* para regular velocidade e torque, bem como, através de seu monitoramento contínuo, prever anomalias ou falhas no sistema.

Por meio das figuras 12, 13, 14, e 15 efetivaram-se as visualizações simples dos dados do servo inversor, operando em simulação de uma centrífuga de açúcar. Além disso, isso pode ser feito por meio de multiplataformas que tenha acesso à internet, como computadores, *smartphones*, *tablets*, entre outros.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo desenvolver e implementar uma solução de monitoramento contínuo das variáveis dos servos inversores Siemens, aplicados às centrifugas de açúcar. Utilizando uma rede PROFINET composta por CLP, IHM e sistema de servo inversor, foi possível simular o comportamento operacional de uma centrífuga e coletar dados em tempo real, garantindo a confiabilidade e a segurança da comunicação com a nuvem

via protocolo MQTT. O monitoramento remoto dessas variáveis apresentou resultados consistentes, como observado nas medições de velocidade, temperatura e tensão de link DC, permitindo uma análise precisa das condições operacionais.

Os testes em bancada mostraram uma taxa de perda de dados muito pequena, com 98% das variáveis sendo transferidas para o ambiente em nuvem sem interrupções. No entanto, a coleta da corrente de saída do motor não pôde ser realizada devido à ausência de carga no eixo, o que limita a interpretação completa do comportamento do sistema sob condições de carga. Em relação à continuidade da transmissão, a implementação de um buffer de dados no CLP mitigou perdas ocasionais de conexão, armazenando temporariamente os dados para envio posterior ao *broker* MQTT.

Toda a configuração do CLP, com o propósito de se obter os dados do servo inversor, foi feita por meio de blocos, e para que tais dados fossem disponibilizados à nuvem, fez-se o uso da biblioteca do protocolo MQTT. É válido lembrar que, apesar de ser utilizado o mesmo CLP, a comunicação para obtenção de dados, foi feita em uma outra interface de rede do servo inversor, com o propósito de garantir a maior probabilidade de acesso à rede de operação da automação. Além disso, foi configurado um roteador de rede móvel, utilizando um domínio público para enviar os dados à nuvem. Outro ponto bastante importante é salientar que todas as informações, para que sejam disponibilizadas à rede externa, precisaram de autenticação por meio de login e senha. Todos estes objetivos foram cumpridos e os testes mencionados anteriormente foram testados e confirmados, conforme observação das figuras 12, 13, 14 e 15.

Com base nos resultados, a solução se mostrou eficaz no monitoramento contínuo e remoto dos parâmetros críticos do sistema, oferecendo uma alternativa viável para a manutenção preditiva e a otimização do desempenho das centrífugas de açúcar. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a implementação de um estudo comparativo com outras plataformas e protocolos de monitoramento para avaliar o consumo de dados e a segurança da conexão. Outra possível sugestão é a realização de um estudo a respeito do consumo de dados por parte do roteador de rede móvel, a fim de dimensionar um plano de dados correto, de acordo com a necessidade de monitoramento. Por parte do CLP coletor de dados, podem ser implementadas várias melhorias para que a solução se torne o mais independente possível e não se tenha perda de dados, por influências de perda de conexão, sendo uma delas a reconexão automática ao *broker*, quando for interrompida e o armazenamento das variáveis em um buffer do CLP e seu envio programado ao *broker*, sendo essa solução, testada e aprovada nos ensaios.

Por fim, vale lembrar que esta solução pode ser expandida para monitorar qualquer equipamento que esteja em uma rede PROFINET e consiga enviar dados ao CLP coletor de dados. Isso pode tornar possível, o envio de qualquer variável para nuvem, tais como, dados de produção, indicadores de OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), ou qualquer elemento do cenário industrial, que seja crítica e possa trazer algum benefício em seu monitoramento.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Cleyde Evangelista Maia *et al.* Indústria 4.0: como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, [s. l.], v. 12, n. 12, p. 49-53, 22 fev. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324799197_Industria_40_Como_as_Empresas_Estao_Utilizando_a_Simulacao_para_se_Preparar_para_o_Futuro . Acesso em: 31 out. 2024.
- BORLIDO, David José Araújo. **Indústria 4.0**: aplicação a sistemas de manutenção. 2017. 77 f. Dissertação - (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2017. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/102740> . Acesso em: 31 out. 2024.
- BOSE, Bimal K. **Modern power electronics and AC drives**. Upper Side River, NJ: Person Education, 2001.
- ISERMANN, Rolf. **Fault diagnosis application: model based condition monitoring**. Darmstadt: Springer, 2011.
- MARQUES, Luiz Felipe Baldo. **Manutenção preditiva de motores trifásicos de indução através da análise de assinatura de corrente e fluxo magnético**. 2016. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/handle/11624/1446> . Acesso em: 25 ago. 2018.
- NEPOMUCENO, L. X. (Coord.). **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. v. 1.
- PUPO, Maurício Santos. **Interface homem máquina para supervisão de um CLP em controle de processos através da www**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2002.tde-11072002-085859> . Acesso em: 30 out. 2024.
- SIEMENS. **Sugar centrifuges with masterdrives**. [S. l.]: Large Drives Division A&D LD, 2002.
- SIQUEIRA, Nelson; PASQUALETTO, Antônio. (2018). **Modelo para fase de planejamento de um sistema integrado de gestão em usinas de cana-de-açúcar**. Goiás, [199-?]. Disponível em: <https://encurtador.com.br/Ld1Od> . Acesso em: 30 out. 2024.
- SOUZA, Daniel Silva de. **Estudo da aplicação de um sistema IoT baseado no protocolo de comunicação MQTT a área da robótica industrial**. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica de Controle e Automação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/24847> . Acesso em: 30 out. 2024.

TURCATO, Afonso Celso. **Desenvolvimento de uma metodologia baseada em redes neurais para identificação de anomalias em redes de comunicação Profinet**. 2015. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo - EESC/USP, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2015.tde-04082015-112148> . Acesso em: 30 out. 2024

WILLIG, Andreas. Recent and emerging topics in wireless industrial communications: a selection. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, Berlin, v. 4, n. 2, p. 102-124, fev. 2008.

Sobre os(as) Autores(as)

ⁱ André Luís Braga



Graduado em Engenharia Elétrica pela UNESP (2017), especialista em Automação pela Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. Atualmente, é especialista em soluções digitais industriais pela Siemens, suportando demandas técnicas e de vendas relacionadas a produtos e serviços de conectividade do chão de fábrica, integração IT/OT. <https://orcid.org/0009-0009-5572-2864>

ⁱⁱ Luciano André dos Santos



Possui graduação em Eng^a da computação pela UNIVESP (2024), Eng^a Elétrica pelas Faculdades Integradas Torricelli (2008), especialista em Eletrônica Embarcada pela UNISAL (2016) e Mestrando em Engenharia Mecânica na Universidade de Taubaté. Atualmente é professor da Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. <https://orcid.org/0009-0001-6056-759X>

ⁱⁱⁱ Michel de Moura Chaparro



Possui graduação em Instrumentação e Controle de Processos Industriais pelo Centro Universitário Salesiano de São Paulo UNISAL (1992). Especialização em Mecatrônica pela UNISAL (2015). Mestrando em Eng^a Mecânica na área de Automação na Universidade de Taubaté (UNITAU). Atualmente é professor da Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. <https://orcid.org/0009-0000-2789-1390>

^{iv} Adriano Luiz Pedrini



Possui graduação em Matemática e Física pela Unicamp e Mestrado em Educação pela mesma Instituição. Tem experiência em ensino Médio, Técnico, Profissionalizante, Graduação e Pós-graduação. Atualmente é professor da Faculdade de Tecnologia Senai “Roberto Mange” e do Colégio Salesiano Liceu Nossa Senhora Auxiliadora. <https://orcid.org/0000-0002-8922-8065>

v Tatiana Aparecida de Almeida



Possui mestrado em Ciência da Computação pela Faculdade UNIFACCAMP (2021), doutoranda em Tecnologias TIC, pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atuo como Técnica de Tecnologia da Informação no Ministério da Justiça e sou professora da Faculdade de Tecnologia Senai “Roberto Mange”. <https://orcid.org/0009-0009-1216-6626>

vi Aldo Roberto Pereira



Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2010), especialização em Metodologia de Ensino na Educação Superior pela Uninter (2015), cursando atualmente Mestrado em Solidificação de Metais, Ligas e Compósitos pela Unicamp (2024). Atualmente é professor da Faculdade de Tecnologia Senai “Roberto Mange”. <https://orcid.org/0009-0009-8123-4688>

vii André Felipe Savedra Cruz



Possui graduação em Eng^a de Controle e Automação pela Faculdade Anhanguera (2014), especialização em Desenvolvimento Java pela Estácio (2020), pós-graduando em Data Science pela Universidade Estadual de Campinas. É professor da Faculdade de Tecnologia Senai “Roberto Mange” e desenvolvedor de Aplicativos Web Sênior na empresa Robert Bosch Ltda. <https://orcid.org/0009-0005-1970-4248>

viii Carlos Augusto de Araújo Melo



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela UNISAL (1998), pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Anhanguera – FAC (2015), mestrando em Infraestrutura Urbana pela Pontifícia Universidade Católica – PUC Campinas. É professor da Faculdade de Tecnologia Senai “Roberto Mange”. <https://orcid.org/0009-0006-7641-6020>