

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA

Escola de Engenharia Mauá

Engenharia de Controle e Automação

PALOMA MENELEU DE AZARA

THAMARA TODESCO RAFACHO

Gestão de energia em ambiente industrial

São Caetano do Sul

2020

PALOMA MENELEU DE AZARA

THAMARA TODESCO RAFACHO

Gestão de energia em ambiente industrial

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro eletricista e de controle e automação.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Silveira Madani

Área de concentração: Engenharia Elétrica e Controle e Automação

São Caetano do Sul

2020

Meneleu de Azara, Paloma

Gestão de energia em ambiente industrial: gerenciamento de custos. / Paloma Meneleu de Azara, Thamara Todesco Rafacho. — São Caetano do Sul : CEUN-IMT, 2020.

60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2020.

Orientador(a): Prof. Dr. Fernando Silveira Madani

1. gestão de energia. 2.gestão de custos. 3. dashboard. 4. Internet das Coisas Industriais 5. Indústria 4.0. I. Todesco Rafacho, Thamara. II. III. Instituto Mauá de Tecnologia. Escola de Engenharia. IV. Título.

PALOMA MENELEU DE AZARA

THAMARA TODESCO RAFACHO

Gestão de energia em ambiente industrial

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro eletricitista e de controle e automação.

Banca avaliadora:

Professor Doutor Fernando Silveira Madani

Professor Mestre Alexandre Harayashiki Moreira
Primeiro avaliador

Professor Mestre Rodrigo Mangoni Nicola
Segundo avaliador

São Caetano do Sul, 09 de dezembro de 2020.

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, que se esforçaram para que pudéssemos concluir o curso e que nos tornaram as mulheres que somos hoje.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Fernando Silveira Madani, pela orientação e apoio na elaboração do trabalho. A universidade por nos proporcionar as ferramentas necessárias. A Eng. Loredana Bonora Cobianchi, responsável pela plataforma Weblab do Instituto Mauá de Tecnologia, pelo auxílio no trabalho ao compartilhar seu vasto conhecimento e por disponibilizar a plataforma Weblab, essencial para o desenvolvimento desse trabalho. Aos nossos pais, por nos proporcionar um ensino de qualidade e pelo apoio incondicional durante nossa trajetória.

“Todo mundo é um gênio. Mas se você julgar um peixe por sua capacidade de subir em uma árvore, ele vai viver a vida inteira acreditando que ele é estúpido.”

Albert Einstein

RESUMO

O desenvolvimento desse trabalho tem como o objetivo o auxílio ao gestor de custos de uma empresa na tomada de decisões e precificação mais coerente em relação a seu produto. Com esse intuito, foi identificado que a energia compõe grande parte dos gastos e, muitas vezes, não é medida de forma detalhada, impedindo um conhecimento acerca de etapas ou locais que consumam mais ou menos energia durante o funcionamento. Foi desenvolvida uma forma de medir o consumo individual de cada componente de uma linha de produção, simulada e testada sobre uma planta piloto, e apresentada em plataforma digital com servidor publicado na internet, permitindo acesso de qualquer local, em tempo real.

Palavras chave: Gestão de energia. Custos. *Interface*. *Internet* das coisas. Medição energética.

ABSTRACT

In order to help the cost manager to make most convenient decisions and to put on a more precise price added on the final product, was noticed that energy represents a considerable part of the costs and, often, it's not measurable on details, being unable for the manager to identify which parts and steps of the process demand more or less energy during its work. For that, was developed a way of measuring the consume of independent component on an industry assembling line, simulated and tested on a model, and presenting the results on a server published online, enabling the control from anywhere.

Keywords: Energy management. Cost. Dashboard. Internet of things. Electrical measuring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Programação por meio de blocos feita no Node-red.....	25
Figura 2 - Etapas gerais para a coleta de dados.....	29
Figura 3 - Robôs utilizados na linha de produção.....	30
Figura 4 - CLP que controla o robô da Mitsubishi.....	31
Figura 5 - Sistema de comunicação entre o robô da Mitsubishi e o CLP1.....	31
Figura 6 - Vista interna do Painel Elétrico.....	32
Figura 7 - Vista frontal do Painel Elétrico.....	33
Figura 8 - Tomadas Industriais utilizadas para ligar os cabos de força dos Robôs.....	34
Figura 9 - Transformadores de correntes utilizados na aplicação.....	35
Figura 10 - Ligações realizadas no multimedidor.....	35
Figura 11 - Diagrama trifilar de potência do painel.....	36
Figura 12 - Diagrama do comando elétrico dos circuitos.....	36
Figura 13 - Esquema de comunicação entre os multimedidores e a nuvem.....	37
Figura 14 - Troca de informações entre CLP e robô.....	39
Figura 15 - Programação Ladder.....	40
Figura 16 - Estrutura <i>Node-Red</i>	51
Figura 17 - Interface com o usuário.....	52
Figura 18 - <i>Status</i> do sistema e início da planta piloto.....	52
Figura 19 - <i>Status</i> em emergência.....	52
Figura 20 - Gráficos da potência e fator de potência.....	53
Figura 21 - Gráficos com dados anormais.....	54
Figura 22 - Dados de consumo de energia.....	54
Figura 23 - Custo sobre o consumo de energia.....	55

Figura 24 - Consumo de energia fornecido pelo fabricante.....	55
Figura 25 - Gráfico do consumo de energia	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	GESTÃO DE CUSTOS.....	22
1.2	INDÚSTRIA 4.0	23
1.3	INTERNET DAS COISAS INDUSTRIAIS	23
1.4	PROTOCOLO MQTT	24
1.5	NODE-RED.....	24
1.6	MULTIMEDIDORES	25
1.7	FORMAS DE REDUÇÃO DE CUSTOS	26
1.8	OBJETIVOS	27
2	MÉTODO DE COLETA DOS DADOS	29
2.1	CLP E LINHA DE PRODUÇÃO.....	29
2.2	LINHA DE PRODUÇÃO E MULTIMEDIDORES	32
2.3	MULTIMEDIDORES E A NUVEM.....	37
3	COMUNICAÇÃO NA LINHA DE PRODUÇÃO	39
3.1	COMUNICAÇÃO ENTRE ROBÔS E CLP	39
3.1.1	CLP IQR	40
3.2	LEITURA DO CONSUMO DE ENERGIA	45
3.2.1	MULTIMEDIDORES E MQTT	45
3.3	MQTT E NODE-RED.....	50
3.2.1	INTERFACE COM O USUÁRIO	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

As empresas estão inseridas em um mercado cada vez mais competitivo, e a melhor maneira de evitar o insucesso é o controle financeiro. Cabe aos gestores gerenciar as despesas e os ganhos no dia a dia, com o intuito de saber se o lucro da empresa está dentro da margem esperada. No entanto, a maioria deles não sabe dizer com exatidão o custo para produzir a unidade de um produto fabricado, o que torna impossível o reconhecimento dos lucros (POMPERMAYER, 1999). Logo, sem o controle de todos os gastos a precificação dos produtos é incoerente e a saúde financeira da empresa pode estar comprometida.

Os custos diretos na fabricação de um produto incluem matéria-prima, mão de obra e energia elétrica (COSTA, NÉLO e ARAÚJO, 2004), sendo que os dois primeiros são mais simples de ser coletados. Porém, a energia elétrica investida na fabricação da unidade de um produto é geralmente embutida no preço como uma porcentagem, mas esse valor é apenas uma tentativa de quantificá-la, sem embasamento na realidade, o que pode levar a fábrica a perder dinheiro, pois o preço de venda pode estar abaixo do lucro desejado ou até mesmo, não estar obtendo lucro.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa inteligente, utilizando conceitos da Indústria 4.0, para que o gestor de custos de uma indústria possa obter os dados do consumo de energia elétrica na produção de um produto, podendo assim precificá-lo de maneira correta, e saber com precisão o seu retorno, sem a necessidade de gastos com *softwares* especializados. Foi desenvolvido dentro do site da *Weblab*, que pertence à universidade, uma interface, em forma de *dashboard*, onde é apresentado dados de consumo de energia de cada etapa de uma linha de produção, para cada produto, de maneira objetiva e de fácil visualização, que servirão como base para o gestor na tomada de decisões. Para a medição do consumo serão instalados multimedidores ao longo da linha de produção, estes recebem e enviam dados requeridos pelo CLP. A ideia é que todos os dados importantes para o gestor sejam enviados remotamente do CLP para uma interface, que irá exibir estes dados disponibilizados na nuvem, na plataforma *Weblab*. Com esses dados, o gestor pode identificar possíveis desperdícios e formas de economia de energia, além de melhor visualização de possíveis melhorias e auxílio no controle financeiro.

1.1 GESTÃO DE CUSTOS

As informações obtidas pela gestão de custos são elementos críticos para o desenvolvimento de uma empresa. Possibilitam ao gestor controlar os custos gerados na produção e em consequência, calcular com propriedade o retorno esperado, além de possibilidades de potencialização da margem de lucro, ação na reversão de resultados negativos, otimização de custos, diminuindo despesas, tomada de decisões estratégicas, de forma eficiente e garantindo assim o fortalecimento financeiro da empresa.

Uma empresa que investe em gestão de custos eficiente tente a ter mais lucros. O valor final de uma peça depende diretamente do quanto é investido, quando não existe o conhecimento desse investimento, a organização pode estar cobrando valores fora da realidade, podendo prejudicar suas margens de lucros e suas vendas em geral.

A maioria das empresas não consegue dar a devida atenção a essa área, pois é complexa e requer dedicação e disciplina por parte do gestor, devido à grande quantidade de dados que devem ser buscados, compreendidos e analisados. Se não houver uma planilha com todos os gastos, a dificuldade para identificar onde os recursos estão sendo aplicados é muito maior, dificultando a análise sobre onde investir e economizar.

A proposta do trabalho é o gestor de uma indústria identificar o real gasto na produção de cada produto, por meio da interface que recebe e armazena dados na nuvem, como por exemplo, energia elétrica e quantidade de produtos produzidos. Como muitas empresas não se atentam em quantificar o consumo exato gasto na fabricação de uma unidade, acabam por adotar um valor, não sabendo se é coerente com o valor real, embutindo assim esse custo inventado no preço do produto. Caso esse valor seja maior do que o real, pode torná-lo menos competitivo no mercado. No caso de ser menor, pode trazer sérios prejuízos para empresa. Logo, o gestor eficiente precisa ter o conhecimento desses dados com clareza para que a empresa tenda a crescer financeiramente. A *dashboard* também exhibe outras informações importantes para o gestor, por meio de gráficos *gauges*, se a máquina está operando como deveria estar ou se está apresentando anomalias no consumo. Desse modo, é mais fácil identificar problemas na instalação e enviar a equipe de manutenção para o local.

1.2 INDÚSTRIA 4.0

Também chamada de “quarta revolução industrial”, a proposta de fábrica inteligente consiste não só em automatização da linha de produção, mas na interconexão digital de todas as máquinas que a compõem. Cada vez mais independentes e inteligentes, os sistemas computacionais são capazes de desempenhar funções complexas e analisar dados de forma que humanos não seriam capazes, mais rápida e precisamente.

Com o objetivo de aumentar a eficiência da manufatura, a indústria 4.0 se baseia em seis pilares principais: tempo real, virtualização, descentralização, orientação a serviços, modularidade e interoperabilidade. No presente trabalho, são usados conceitos importantes da Indústria 4.0, como o monitoramento de dados, que são enviados remotamente por meio da comunicação entre dispositivos físicos na linha de produção para a nuvem; e o conceito de internet das coisas, que remete a conectividade entre os multimedidores e a automação da indústria.

1.3 INTERNET DAS COISAS INDUSTRIAIS

Com o objetivo de habilitar a comunicação entre pessoas, máquinas e processos; conectar objetos à internet e monitorar e registrar dados com a mínima necessidade de intervenção humana, temos a tecnologia chamada de Internet das Coisas, fase em que esses componentes trocam informações dinâmicas entre si, sob vigilância de protocolos normalizados, como por exemplo, o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), que será utilizado nesse trabalho. Ao aplicarmos esse conceito à indústria, temos a subcategoria IIOT (Internet das Coisas Industrial), relacionada também à Indústria 4.0.

De acordo com Conte, G. Y. C., & Araujo, G. J. F. de. (2020), o objetivo do uso da IIOT é aumento da produtividade e qualidade do produto, podendo gerar maior redução de custos, abertura de mercados, a partir da coleta e compartilhamento de grandes quantidades de dados entre os componentes envolvidos na linha de produção.

1.4 PROTOCOLO MQTT

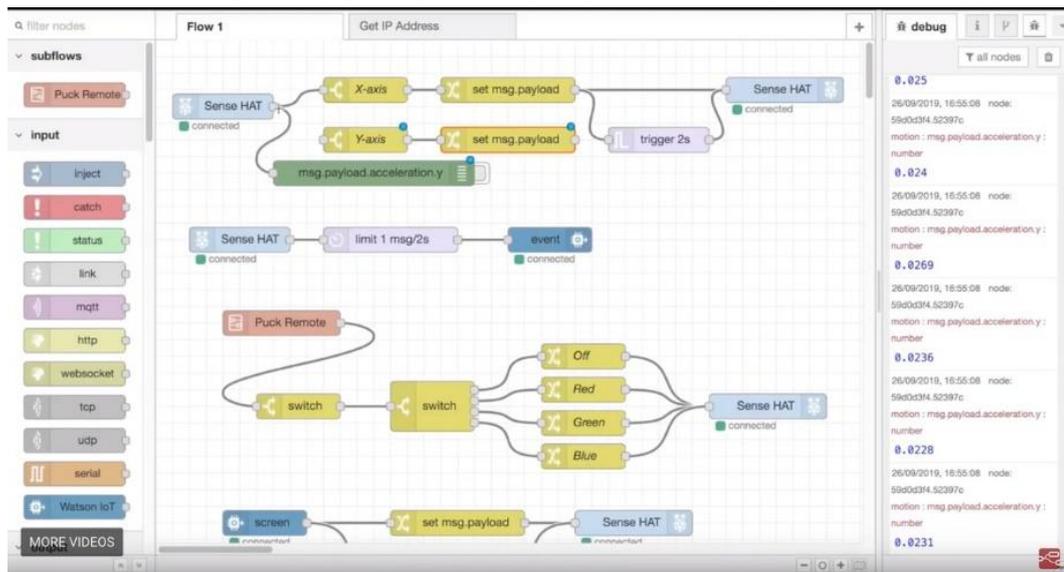
Como dito anteriormente, a comunicação entre os multimedidores e a interface na nuvem que exibe os dados é o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), devido à possibilidade de desvincular o emissor e receptor de informações, por comunicação de resposta não necessariamente imediata, ele oferece maior segurança em ambientes de rede não confiável. Suas mensagens são organizadas em tópicos e são recebidas por um servidor “*message broker*”, que interage com infinitos clientes que estejam conectados a ele. Por “cliente” entende-se uma das entidades do protocolo, podendo ser qualquer coisa que possa trocar mensagens com o *broker*.

No presente trabalho, cada bloco de entrada no servidor *Node-RED* possui um endereçamento vinculado, funcionando como assinatura, de onde serão fornecidos os dados para aquela exibição específica. Esse endereçamento é o próprio tópico, definido em um código *Python* *mosquitto*, que utilizamos para tratamento dos dados medidos pelos multimedidores.

1.5 NODE-RED

Desenvolvida pela *IBM Emerging Technology*, assim como o protocolo MQTT, a ferramenta utilizada para a criação da dashboard exibida no site da *Weblab* foi *Node-RED* foi criada para facilitar a conexão entre dispositivos de IIOT, sendo visual e de simples programação, pois é possível estruturar fluxos por meio de ligações em nós (em inglês, “*nodes*”) entre blocos, classificados por diferentes cores e diferenciados por tons. A Figura 1, mostra um exemplo de programação de dashboard.

Figura 1-Programação por meio de blocos feita no Node-red.



Fonte: www.infoq.com/news/2019/10/nodered-1-0-released/

1.6 MULTIMEDIDORES

Os multimídios são instrumentos que realizam a medição de diversas grandezas elétricas, como por exemplo, corrente elétrica, tensão, potência, fator de potência, entre outros, além de estabelecer alarmes para detectar valores fora do padrão. Podem ser utilizados na indústria, no comércio, em condomínios e até mesmo em residências, para monitoramento e controle do consumo de energia. Nesse trabalho, é graças a esse componente que o gestor de custos de uma organização pode medir o exato consumo para a fabricação de seus produtos.

Para que a medição seja realizada corretamente, sem danificar os multimídios, é necessário o uso de transformadores de corrente para evitar uma medição em vazio, esse dispositivo diminui a corrente para que ela possa ser medida dentro das especificações do multimídior.

No presente trabalho, será usado para medições o multimídior ME96SS, fabricado pela Mitsubishi. Sua comunicação convencional é o protocolo Modbus-RTU (RS-485), que é o tipo mais corriqueiro utilizado nas indústrias. Através desse protocolo, é possível o envio dos dados captados pelo multimídior para a nuvem.

1.7 FORMAS DE REDUÇÃO DE CUSTOS

O primeiro passo para se obter redução nos gastos com energia elétrica em uma indústria é justamente a análise dos dados obtidos pelo multimedidor por parte do gestor, com intuito de ter a maior eficiência energética possível e de evitar custos adicionais a sua conta de energia. Além do mais, o multimedidor emite um aviso ao gestor rapidamente em caso de anormalidades ou desperdícios.

No setor elétrico brasileiro, o custo do kWh varia em diferentes períodos do dia e isso acontece porque existem momentos de maior ou menor demanda na nossa matriz nacional. Desse modo, há um grande investimento na geração, distribuição e transmissão para suprir toda a potência necessária no momento de maior demanda. Por essa razão, há uma tarifação diferente para os chamados horários de ponta e horários fora de ponta, com o objetivo de concentrar um maior número de consumidores em um deles. O horário de ponta é composto

de um período de três horas consecutivas, exceto sábados, domingos e feriados nacionais, sendo definido no setor de cada distribuidora em função das características próprias de seus consumidores, é o horário com maior demanda, sendo assim, a tarifa nesse horário é muito mais alta que nas 21 horas restantes do dia, que constituem o horário fora de ponta. Esse é um dos motivos pelos quais podemos reduzir custos com a utilização do multimedidor, que será utilizado no trabalho. Com ele, é possível controlar a demanda com “setpoints” independentes para os postos horários, evitando assim, ter um gasto maior no momento de ponta. Esse conjunto de dados fornecidos pelo multimedidor possibilita ao gestor a análise de oportunidades de adequação aos horários de funcionamento de cargas.

Ao conhecer o real perfil de uso de energia na indústria, o gestor pode acompanhar e verificar se a quantia cobrada está condizente com o real o valor consumido e ter com exatidão o histórico de interrupções no fornecimento da concessionária. Outro proveito desse conhecimento é a determinação do melhor contrato de fornecimento junto à concessionária, pois a demanda contratada, que é a potência elétrica ativa a ser disponibilizada pela concessionária no ponto de entrega, não pode estar abaixo da demanda necessária, o que resultará em ter incidência de multa, e em uma demanda contratada acima da maior demanda

de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento. Significa que está se pagando sem necessidade um valor maior de demanda. No multimedidor, também é possível definir um limite para demanda máxima, eliminando assim as multas por ultrapassagem de demanda.

Além dos “setpoints” configuráveis já ditos anteriormente, existe outro crucial no quesito redução de custos: o por excedente de reativos. A energia reativa não é cobrada na fatura elétrica, pois ao contrário da ativa ela não realiza trabalho, ou seja, não é essa energia que liga os equipamentos elétricos, mas é a responsável por manter o campo eletromagnético ativo em motores, reatores, transformadores, lâmpadas fluorescentes, etc. No entanto, caso o fator de potência esteja abaixo de 0,92, seu excedente é cobrado a título de multa, conforme resolução 414 da ANEEL. Para entender o que é o fator de potência, é necessário explicar sobre os termos potência aparente, ativa e reativa. A aparente é composta pela soma vetorial da potência ativa e reativa, e é medida em kVA (quilovolt-ampere). A ativa é a potência que de fato, realiza trabalho, ou seja, a que faz com que os aparelhos eletrodomésticos e máquinas industriais funcionem, medida em W (Watts).

O fator de potência é o resultado da razão entre a potência e potência aparente, que indica o quão eficiente é o consumo de energia elétrica por um equipamento ou circuito. Com esse dado medido no multimedidor, é possível determinar se a energia pode ser aprimorada com a correção desse fator, que deve ser realizada considerando-se as características da carga da instalação industrial. A solução mais empregada nas indústrias, devido ao investimento baixo em relação as outras soluções, é a instalação de banco de capacitores fixos ou chaveados, que promovem essa correção.

1.8 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é desenvolver um sistema automatizado de medição do consumo energético em uma linha de produção, para guiar o gestor de uma organização a ter o conhecimento do custo da energia elétrica na produção da unidade de um produto, possibilitando que ele saiba com precisão o custo para sua fabricação e deste modo, baseado na margem de lucro esperada, realizar o cálculo exato do preço final. Desse modo, garantindo

o controle financeiro da empresa. Além disso, como para esse fim será utilizado multimedidores, o gestor poderá também analisar os dados obtidos, a fim de reduzir custos de energia elétrica e, por consequência, o preço do produto diminui, pois se torna mais competitivo no mercado.

Foi apresentado por meio de uma ferramenta de visualização na aba gestão de energia no site <https://weblab.maua.br/>, que pode ser acessado de qualquer dispositivo com acesso à internet, para que o gestor de uma indústria possa analisar os dados de consumo de energia utilizados na fabricação de dois produtos, e que exiba o custo médio por unidade de produto. Por trás desse processo, é necessário entender como funciona o multimedidor, programar o CLP para captar as medições, utilizar um software que converte as medições para o objetivo que é o custo que será inserido no preço final. Além disso, indicar ao gestor como utilizar os dados do multimedidor na tomada de decisão para gerar economia de gastos com energia elétrica, para proporcionar mais lucros para a empresa.

2 MÉTODO DE COLETA DOS DADOS

Para alcançar o objetivo principal do trabalho, que é disponibilizar uma solução econômica para o gestor de custos de uma empresa analisar os dados de gasto de energia na fabricação de um produto, através de uma Dashboard, que possa ser acessada em qualquer smartphone, tablet, notebook ou computador com acesso à internet, foi necessário simular uma linha de produção para realizar as medições necessárias para a comprovação do método.

Para desenvolvimento deste trabalho foi utilizado uma das plantas de fabricação existentes na Escola de Engenharia Mauá, localizada no Prédio W na sala 401, onde estão os robôs industriais que foram utilizados para simular uma linha de produção industrial no presente trabalho. Foi simulado a fabricação de dois produtos, com massas e trajetos de produção distintos para agregar valores diferentes à aplicação.

Na Figura 2 foi ilustrado a arquitetura geral de ligação dos equipamentos utilizados no gerenciamento de custo energético de fabricação do produto:

Figura 2 - Etapas gerais para a coleta de dados.



Fonte: Autoria própria.

2.1 CLP E LINHA DE PRODUÇÃO

Foram integrados a linha de produção o robô RV-4FRL, da Mitsubishi e o o Arc Mate 100i da FANUC, pelo CLP 1, uma esteira para simular a passagem do produto entre os robôs e a CNC

Prolight 1000, utilizada apenas para proporcionar um caminho distinto entre os produtos os quais podem ser vistos na Figura 3.

Figura 3 - Robôs utilizados na linha de produção.



Fonte: Autoria própria.

Os robôs conseguem se comunicar com o CLP 1, o qual tem a função de enviar comandos para os robôs executarem um movimento pré-programado no controlador deles. Cada robô só realiza o movimento pré-programado se tiver a autorização do CLP 1. O movimento é autorizado por meio de sinais que sensores, posicionados estrategicamente, enviam quando o produto está na posição correta para o robô ser capaz operar sua função na peça.

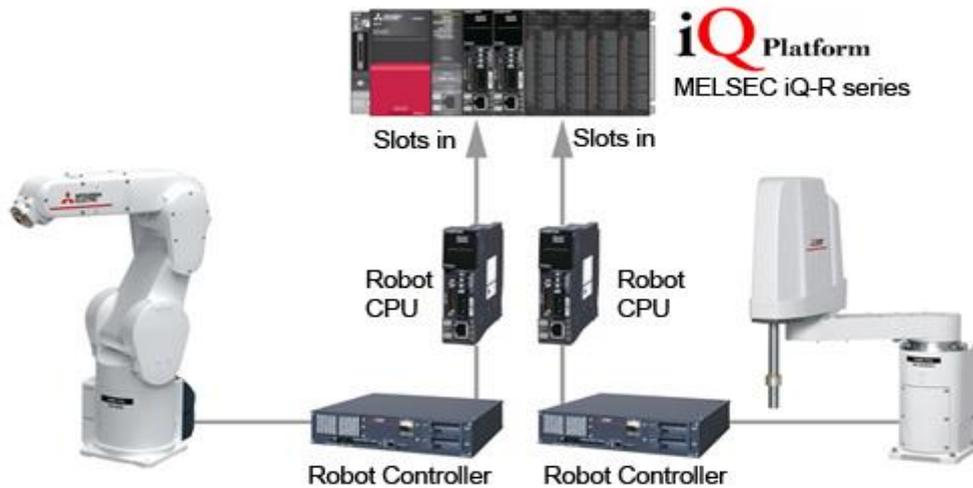
A troca de dados entre os robôs da Mitsubshi e o CLP 1 funciona por meio da comunicação interna da CPU do robô e a CPU do CLP, os quais estão conectados no mesmo rack dentro de um painel elétrico de automação, como visto na Figura 4 e o esquema é visto na Figura 5.

Figura 4 - CLP que controla o robô da Mitsubishi.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5 - Sistema de comunicação entre o robô da Mitsubishi e o CLP1



Fonte: <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/rbt/robot/pmerit/vertical/frseries/index.html>

Após a configuração dos robôs da Mitsubishi foi necessário também fazer a integração do robô da Fanuc no CLP 1, que foi feita através de sinais I/O remotos.

2.2 LINHA DE PRODUÇÃO E MULTIMEDIDORES

Para captar a energia elétrica que estava sendo consumida de cada robô na produção do produto foi utilizado de um aparelho de medição para cada robô. Para acomodar todos os componentes elétricos necessários e suas respectivas fiações foi necessária a montagem de um painel elétrico. Foi utilizado um painel de sobrepor com 1.200(A)x800(L)x350(P), IP 32, localizado na mesma planta da linha de produção, cuja montagem foi feita de acordo com as normas de segurança da NR10. Na Figura 6 é visto a parte interna do painel e na Figura 7 a vista frontal.

Figura 6 - Vista interna do Painel Elétrico.



Fonte: Autoria própria.

Figura 7 - Vista frontal do Painei Elétrico



Fonte: Autoria própria.

O esquema de um circuito de medição de energia para um robô é constituído de um disjuntor para a proteção do robô, protegendo-o em caso de sobrecorrente ou curto-circuito; um disjuntor para a proteção do comando, nesse caso é preciso apenas um disjuntor para o comando dos três robôs; um contator e um botão liga e desliga, que possibilita a energização e desenergização do circuito através da porta do painel; três transformadores de corrente (um para cada fase), uma tomada industrial, e um multimedidor.

Para medir o consumo de energia de cada robô por meio de um multimedidor foi preciso conectar os cabos de força dos robôs em tomadas trifásicas (3F+N+T) industriais de 32A que foram embutidas no painel, como visto na Figura 8.

Figura 8 - Tomadas Industriais utilizadas para ligar os cabos de força dos Robôs.



Fonte: Autoria própria.

O transformador de corrente tem a função de reduzir a corrente que está passando no seu primário para níveis de funcionamento aceitáveis para o aparelho de medição. O TC utilizado para a aplicação foi o MSQ-30 da Hasotec, que tem uma relação de transformação de 30A para 5A, desse modo, se estiver passando 30A de corrente no primário do transformador de corrente, no secundário irá passar apenas 5A. O aparelho de medição detecta a corrente do secundário do transformador, e converte novamente para a corrente do primário que será exibida no display. Para que a energia seja exibida corretamente é necessário a parametrização do componente, que é feita quando o usuário insere a relação de transformação utilizada no circuito e a tensão aplicada.

Figura 9 - Transformadores de correntes utilizados na aplicação.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 9 mostra a ligação do secundário dos transformadores de correntes no multímetro, o secundário do TC1 é ligado nas entradas +C1, C1, o secundário do TC2 é ligado nas entradas +C2, C2, e o, o secundário do TC3 +C3 e C3 do multimedidor. Vale lembrar que são três transformadores de correntes porque é um circuito trifásico, com três fases condutoras de corrente.

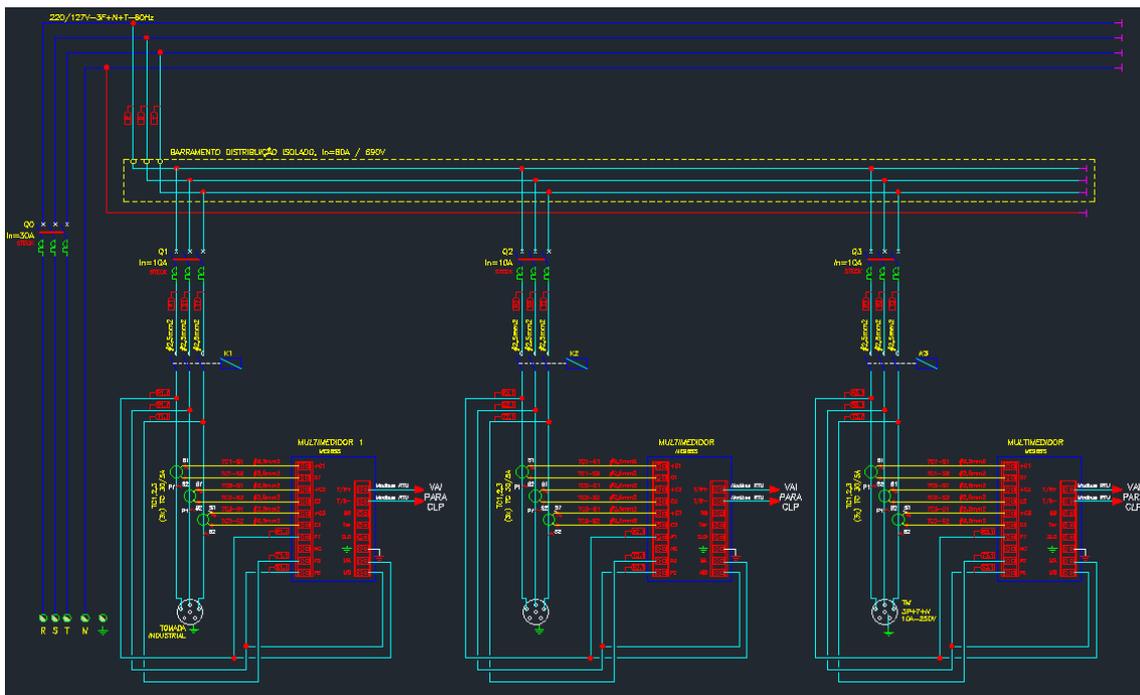
Figura 10 - Ligações realizadas no multimedidor.



Fonte: Autoria própria.

Com base nas ligações elétricas necessárias para a medição de energia pelos multimedidores dos três robôs, foi feito o diagrama trifilar de potência do painel elétrico, visto na Figura 11.

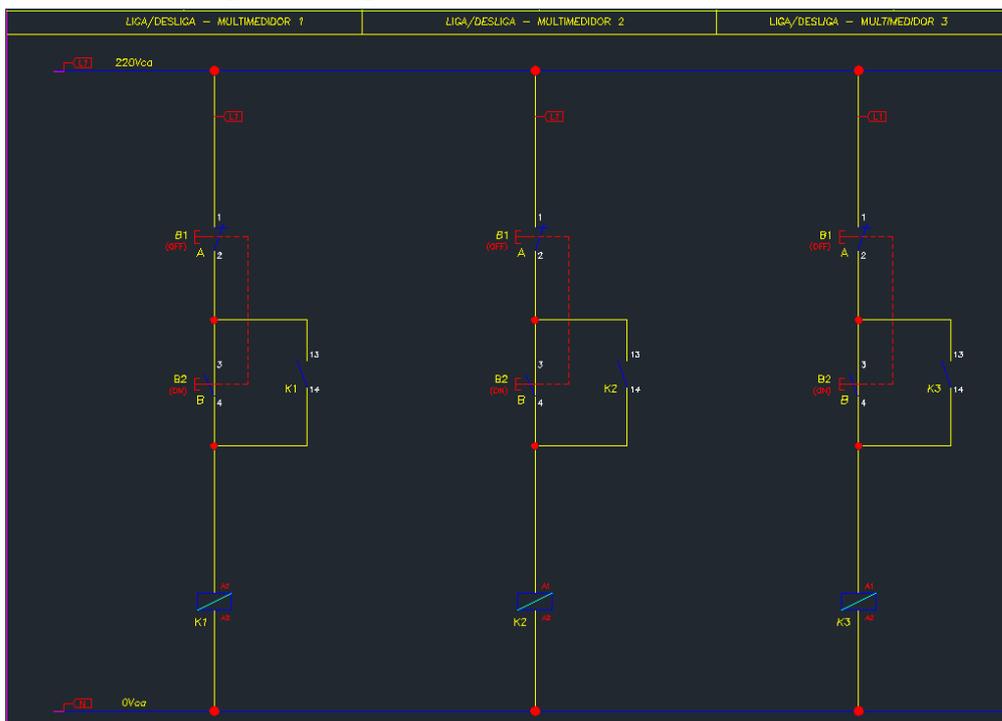
Figura 11 - Diagrama trifilar de potência do painel.



Fonte: Autoria própria.

Para ser possível ligar e desligar o circuito de cada robô por um botão na porta do painel, foi preciso de um contator. Como visto na Figura 12 foi feito o diagrama do comando.

Figura 12 - Diagrama do comando elétrico dos circuitos.

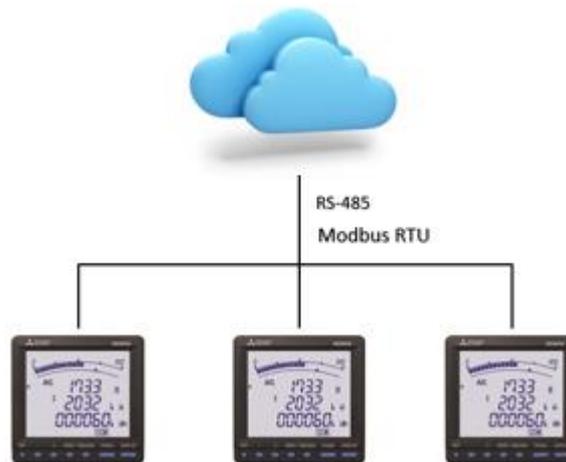


Fonte: Autoria própria.

2.3 MULTIMEDIDORES E A NUVEM

Os multimetros enviam diversos tipos de informação para o usuário através do protocolo *Modbus RTU*, como corrente, tensão e fator de potência. A comunicação desses componentes é serial e dois cabos RS-485 realizam sua conexão com o computador industrial, para transmissão dos dados.

Figura 13 - Esquema de comunicação entre os multimetros e a nuvem.



Fonte: Autoria própria.

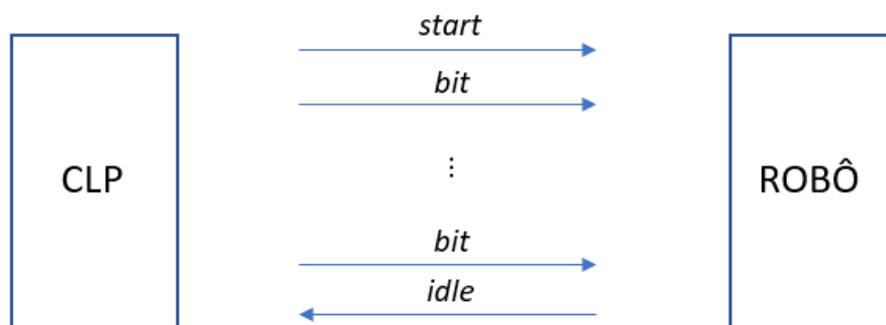
3 COMUNICAÇÃO NA LINHA DE PRODUÇÃO

3.1 COMUNICAÇÃO ENTRE ROBÔS E CLP

O controlador lógico programável (CLP) é o que determina qual será a sequência de movimentos a ser executada pelos robôs, conectados a ele, enviando instruções correspondentes ao controlador.

Essa comunicação entre eles ocorre de forma bidirecional, representada na Figura 14 a seguir. Enquanto o CLP envia o sinal de *start* para início do movimento, envia também uma sequência de *bits* correspondente ao comando salvo no controlador, para que o robô entenda o que deve fazer. Por sua vez, o robô retorna um sinal "*idle*", informando o CLP que ele está disponível para receber uma nova instrução. O número de operações configuradas possíveis funciona como um tipo de lista, obedecendo o cálculo de $N_{mov} = 2^n$.

Figura 14 - Troca de informações entre CLP e robô



Fonte: Autoria própria

Para o robô FANUC, essa troca de informações é mais simples, pois o robô é conectado diretamente ao CLP por um cabo manga multivias, no caso com 8 vias, o que permite que o CLP troque sinais binários diretamente com ele.

3.1.1 CLP IQR

A programação do CLP foi feita em *Ladder*, para gerenciamento dos movimentos dos robôs, de forma que fosse possível a verificação de condições iniciais para início do processo, assim como o controle para paralizações do sistema. Pode ser visualizada na Figura 15 a seguir.

Figura 15 - Programação Ladder



Fonte: Autoria própria.

Para inicialização remota e seleção de peça a ser fabricada, foi feito um programa em Python para tornar possível a comunicação entre os robôs e o CLP. A comunicação é feita por protocolo TCP/IP, utilizando método SLMP e meio físico Ethernet.

```
# Função import
# Objetivo: importação das bibliotecas a serem utilizadas ao
longo do código

import paho.mqtt.client as paho

from mitubishifx5 import PLC

import time

# Comunicação com o IP correspondente ao robô Mitsubishi

#Create a object PLC to control, set 'FX5CPU' or 'RCPU'

RCPU = PLC('RCPU', '10.2.131.45', 3000)

RCPU.connectPLC()          # Conexão com CLP

# Conexão com servidor MQTT

def on_connect(client, userdata, flags, rc):

    print("Connected received with code %d." % (rc))

# Recepção e tratamento de mensagens em tópicos e inscritos
```

```
def on_message(client, userdata, message): #recebe msgMQTT e
envia pro CLP
```

```
    mensagem = message.payload.decode("utf-8")
```

```
    print("message received " ,mensagem)
```

```
    topico = message.topic
```

```
    print("message topic=",topico)
```

```
# Inicia a produção
```

```
    if (topico == "TCCEnergia/Planta/Iniciar"):
```

```
        if (mensagem=="true"):
```

```
            d = RCPU.write_M(1, 1)
```

```
            print("Iniciar")
```

```
        else:
```

```
            d = RCPU.write_M(1, 0)
```

```
# Para a produção
```

```
    if (topico == "TCCEnergia/Planta/Parar"):
```

```
        if (mensagem=="true"):
```

```
            d = RCPU.write_M(2, 1)
```

```
        print("Parar")

    else:

        d = RCPU.write_M(2, 0)

# Seleção da peça a ser fabricada

    if (topico == "TCCEnergia/Planta/Peca"):

        if (mensagem=="true"):

            d = RCPU.write_M(0, 1)

            print("Peça 1")

        else:

            d = RCPU.write_M(0, 0)

            print("Peça 0")

# Configuração da conexão com MQTT

client = paho.Client()

paho.Client(client_id="Teste",                                clean_session=True,
            userdata=None, protocol=paho.MQTTv311)

client.username_pw_set("PUBLIC", "public")
```

```
client.on_connect = on_connect

client.connect("weblab.maua.br", 1883)

client.reconnect_delay_set(min_delay=1, max_delay=120)

# Assinatura nos tópicos desejados

client.subscribe("TCC Energia/Planta/Iniciar")

client.subscribe("TCC Energia/Planta/Parar")

client.subscribe("TCC Energia/Planta/Peca")

client.on_message = on_message

client.loop_start()

# Condição de envio de informações da planta para a rede

while True:

    # Recebe mensagem do CLP e manda pro MQTT

    Running = RCPU.read_M(3) # (endereço, numero de bits)

    if (Running==True):

        client.publish("TCC Energia/Planta/Running"      ,1)

        print("Sistema funcionando")
```

```

else:

    client.publish("TCC Energia/Planta/Running" ,0)

    print("Sistema parado")

Emergencia = RCPU.read_M(5)

if (Emergencia==True):

    client.publish("TCC Energia/Planta/Emergencia" ,1)

    print("Sistema em emergência")

else:

    client.publish("TCC Energia/Planta/Emergencia" ,0)

    print("Tá tudo bem =D")

# Tempo de 1 segundos para atualização de dados

time.sleep(1)

```

3.2 LEITURA DO CONSUMO DE ENERGIA

3.2.1 MULTIMEDIDORES E MQTT

Os componentes da planta piloto estão conectados à um quadro de energia, onde foram instalados os multimedidores, com suas comunicações ligadas em série. Utilizando no meio físico um par de fios até o COM1 de um computador industrial, foi possível a troca de dados padrão RS-485, que conversa com a camada de aplicação Modbus RTU.

Para alimentação do processador *Node-RED*, foi necessário o tratamento desses dados para protocolo MQTT, utilizando o código *Python mosquitto* a seguir.

```
# Função import
# Objetivo: importação das bibliotecas a serem utilizadas ao
longo do código

import paho.mqtt.client as paho
import time
from pymodbus.client.sync import ModbusSerialClient as
ModbusClient
from pymodbus.constants import Defaults
Defaults.RetryOnEmpty = True
Defaults.Timeout = 5      # Tempo de tentativa de conexão
Defaults.Retries = 5     # Quantidade de tentativas de conexão

# Configuração de comunicação na entrada COM1 pelos cabos RS-
485, ligados em DB9

# TCP auto connect on first modbus request
TDB1 = ModbusClient (method = 'rtu', port = 'COM1', timeout =
2, stopbits = 1, bytesize = 8, parity = 'E', boundrate =
19200)
TDB1.connect ()          # Tentativa de conexão

# Conexão com o servidor MQTT

def on_connect(client, userdata, flags, rc):
print("Connected received with code %d." % (rc))
```

```

# Função de recebimento de mensagem de tópicos inscritos

def on_message(client, userdata, message): #recebe msgMQTT e
envia pro CLP
mensagem = message.payload.decode("utf-8")
print("message received " ,mensagem)
topico = message.topic
print("message topic=",topico)

# Configuração da conexão com o servidor MQTT

client = paho.Client()
paho.Client(client_id="Testee", clean_session=True,
userdata=None, protocol=paho.MQTTv311)
client.username_pw_set("PUBLIC", "public")
client.on_connect = on_connect
client.connect("weblab.maua.br", 1883)
client.reconnect_delay_set(min_delay=1, max_delay=120)
client.loop_start()

# Leitura dos dados medidos pelos multimedidores

while True:          # Enquanto houver fornecimento de dados

# Leitura do multimedidor 4, correspondente ao robô
Mitsubishi(1)

        #TDB1 mitsubishi
        Correntel = TDB1.read_holding_registers(address=773,
count=1, unit=4)    # Valor da corrente

```

```

Correntel = (Correntel.registers[0])/100
client.publish("Weblab/TCC/TDB1/Correntel"
              ,str(Correntel))
print("Correntel: ", Correntel)

Tensaol = TDB1.read_holding_registers(address=781,
count=1, unit=4)          # Valor de tensao
Tensaol = (Tensaol.registers[0])/10
client.publish("Weblab/TCC/TDB1/Tensaol"
              ,str(Tensaol))
print("Tensaol: ", Tensaol)

Fatorl = TDB1.read_holding_registers(address=879, count=1,
unit=4)          # Valor de fator de potencia
Fatorl = round((64010.688/(Fatorl.registers[0])), 2)
client.publish("Weblab/TCC/TDB1/Fatorl"      ,str(Fatorl))
print("Fatorl: ", Fatorl)

Potencial = round((Correntel*Tensaol), 2)
#Potencial = TDB1.read_holding_registers(address=841,
count=1, unit=4)      # Valor de potencia
client.publish("Weblab/TCC/TDB1/Potencial"
              ,str(Potencial))
print("Potencial: ", Potencial)

Energial = round((Potencial*0.001), 2)
#Energial = TDB1.read_holding_registers(address=845,
count=1, unit=4)      # Valor de energia
client.publish("Weblab/TCC/TDB1/Energial"
              ,str(Energial))
print("Energial: ", Energial)

# Leitura do multimedidor 8, correspondente ao robô Fanuc(2)

```

```

        #TDB2 fanuc
Corrente2 = TDB1.read_holding_registers(address=773,
count=1, unit=8)    # Valor de corrente
Corrente2 = (Corrente2.registers[0])/100
client.publish("Weblab/TCC/TDB2/Corrente2"
        ,str(Corrente2))
print("Corrente2: ", Corrente2)

Tensao2      =      TDB1.read_holding_registers(address=781,
count=1, unit=8)          # Valor de tensao
Fator2 = Fator2.registers[0]*0.0015259
Tensao2 = (Tensao2.registers[0])/10
client.publish("Weblab/TCC/TDB2/Tensao2"
        ,str(Tensao2))
print("Tensao2: ", Tensao2)

Fator2 = TDB1.read_holding_registers(address=879, count=1,
unit=8          # Valor de fator de potencia
Fator2 = round((64010.688/(Fator2.registers[0])), 2)
client.publish("Weblab/TCC/TDB2/Fator2"    ,str(Fator2))
print("Fator2: ", Fator2)

Potencia2 = round((Corrente2*Tensao2), 2)
#Potencia2 = TDB1.read_holding_registers(address=841,
count=1, unit=8)    # Valor de potencia
client.publish("Weblab/TCC/TDB2/Potencia2"
        ,str(Potencia2))
print("Potencia2: ", Potencia2)

Energia2 = round((Potencia2*0.001), 2)
#Energia2 = TDB1.read_holding_registers(address=896,
count=1, unit=8)    # Valor de energia

```

```
client.publish("Weblab/TCC/TDB2/Energia2"
              ,str(Energia2))
print("Energia2: ", Energia2)

EnergiaTotal = Energia1 + Energia2
client.publish("Weblab/TCC/TDB2/EnergiaTotal"
              ,str(EnergiaTotal))
print("Energia total: ", EnergiaTotal)

# Tempo de 3 segundos para atualização de dados

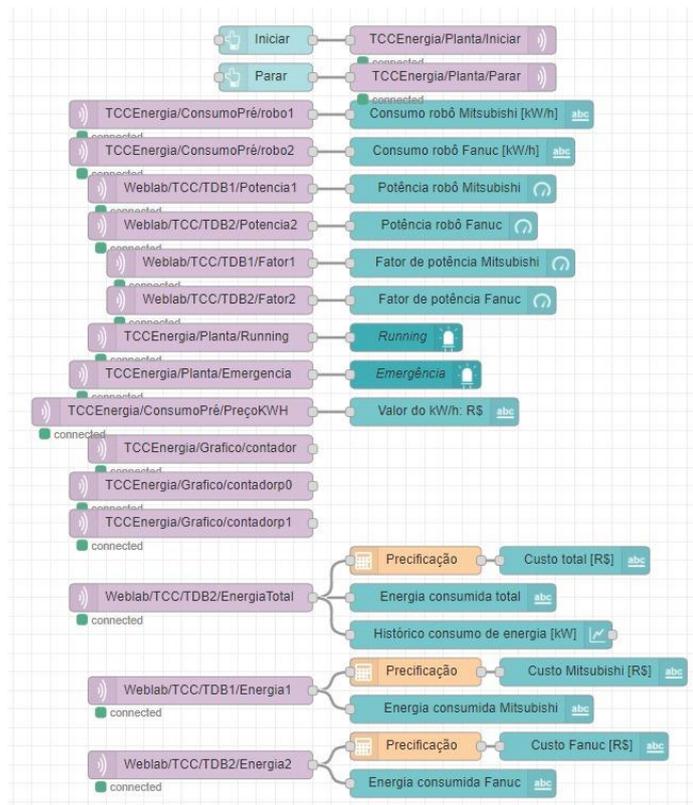
time.sleep(3)
```

3.3 MQTT E NODE-RED

Após o tratamento dos dados lidos pelos multimedidores e a sincronização realizada com o *Python*, as informações alimentam o servidor *Node-RED*, que se comunica diretamente com o *Weblab* da Mauá. Todos os blocos e ligações que são montados no servidor são refletidos na plataforma de visualização, que precisa de um servidor.

A Figura 16 mostra a estrutura utilizada para montagem do layout final da plataforma, exibindo de diferentes formas os dados coletados, podendo ser alterado conforme o interesse do usuário, sendo possível estruturar fluxos por meio de ligações em nós (em inglês, “*nodes*”) entre os blocos, classificados por diferentes cores e diferenciados por tons.

No caso, os blocos em roxo são as informações recebidas do MQTT, os azuis são os exibidos na plataforma e os demais, tratamentos internos de dados, como operações matemáticas. Além deles, o servidor também se comunica com o Python correspondente ao CLP IQR, recebendo informações como início do movimento e emergência.

Figura 16 - Estrutura *Node-Red*

Fonte: Autoria própria.

3.2.1 INTERFACE COM O USUÁRIO

Todo o processo de comunicação, troca e tratamento de dados foi realizado com o propósito final de exibição na *interface* representada na Figura 17.

Caso a saída da plataforma esteja publicada na internet, sua visualização pode ser feita de qualquer lugar, até mesmo pelo celular. Caso não esteja, a visualização se torna limitada à rede interna da instalação.

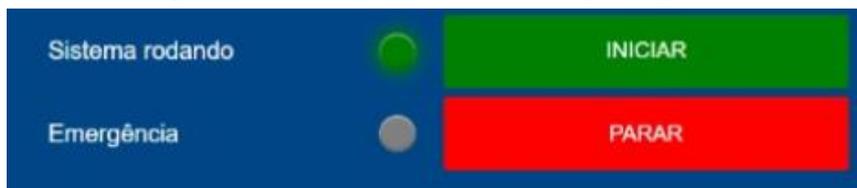
Figura 17 - Interface com o usuário



Fonte: Autoria própria.

A Figura 18 abaixo mostra a exibição dos dados correspondentes à parte do servidor *Node-RED* alimentada pelos dados vindos do CLP IQR, sendo eles os botões e alertas. Em caso de emergência relatada por algum dos componentes, os *LED's* mudariam de cor, informando o *status na interface*, visto na Figura 19.

Figura 18 - Status do sistema e início da planta piloto



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 - Status em emergência



Fonte: Autoria própria.

Os dados medidos em tempo real estão sendo exibidos de diversas formas, de acordo com a necessidade dessas informações. Na Figura 20, é possível visualizar de forma didática os valores de potência consumida e status dos fatores de potência dos robôs presentes na planta piloto. Os gráficos *gouges* estão configurados para alterar suas cores conforme atingem limites de valores críticos ou fora do esperado, conforme pode ser visto na Figura 21, de forma a auxiliar o usuário na identificação de possíveis falhas técnicas ou sistêmicas, antecipando atuação para correção e evitando grandes impactos para a empresa.

Figura 20 - Gráficos da potência e fator de potência



Fonte: Autoria própria.

Figura 21 - Gráficos com dados anormais



Fonte: Autoria própria.

Os dados de energia são exibidos separadamente e também em valor total do consumo para a linha de produção completa, visto na Figura 23. O valor de custo sobre esse consumo também foi inserido na plataforma, a fim de auxiliar o gestor na quantificação financeira correspondente, conforme representado pela Figura 23.

Figura 22 - Dados de consumo de energia



Fonte: Autoria própria.

Figura 23 - Custo sobre o consumo de energia

Custo total [R\$]	0.3
Custo Mitsubishi [R\$]	0.09
Custo Fanuc [R\$]	0.21

Fonte: Autoria própria.

Para verificação de informações fornecidas pelo fabricante dos componentes da linha de produção, utilizamos o parâmetro de consumo de energia, conforme Figura 24, além do custo especificado para esse parâmetro, de forma a tornar possível a comparação do valor com o medido em tempo real pelo multimedidor. Com isso, pode-se validar o quão coerente é a precificação sobre a fabricação de determinado produto.

Por fim, o consumo de energia total do sistema é exibido na forma de gráfico de auto escala, ao longo do tempo, representado pela Figura 25, onde qualquer anormalidade no valor impacta diretamente em picos ou declínios significativos.

Figura 24 - Consumo de energia fornecido pelo fabricante

Consumo esperado pelo fabricante	
Valor do kW/h: R\$	0.8
Consumo robô Mitsubishi [kW/h]	0.8
Consumo robô Fanuc [kW/h]	1

Fonte: Autoria própria.

Figura 25 - Gráfico do consumo de energia



Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido a limitações de montagem e testes físicos enfrentados ao longo do ano devido à pandemia do COVID-19, foi necessária uma grande adaptação do nosso projeto original, para que fosse possível a obtenção de alguns dados tangíveis e teste do funcionamento das conexões físicas e digitais. Mesmo com todas as mudanças, foi possível concluir o projeto, mesmo com a coleta de dados não tão significativos. Isso porque, em ambientes a nível industrial, o consumo de energia dos equipamentos em movimento teria maior variação, devido a fatores como peso de carga, período de funcionamento, pausas, trocas de turno, entre outros.

Além disso, é interessante o uso da leitura dos multimedidores para comparação entre o consumo energético para fabricação de diferentes produtos, dentro de uma mesma linha de produção, para que o gestor consiga verificar se a precificação sobre o preço final de cada um deles deve ou não ser equivalente, buscando maior lucro para sua empresa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atendendo nosso objetivo inicial do projeto, a plataforma de exibição dos dados coletados apresenta de forma didática e personalizável informações úteis para auxiliar o gestor de custos da empresa na tomada de decisões, revisão da precificação do produto de acordo com a energia gasta para sua fabricação, além de agilidade na atuação de possíveis falhas na linha de produção.

Ao longo da realização do projeto, foi possível identificar possibilidades de implementação além do ambiente original fabril, já que a medição do consumo de energia pode ser realizada em qualquer equipamento conectado a um painel de energia, como por exemplo hospitais, prédios e escritórios.

REFERÊNCIAS

CAZELLA, C. F.; BASSO, C. DE A. M.; MOREIRA, A. B.; PAULA, W. DE. **Gestão de custos como fator de vantagem competitiva na Indústria Metalmeccânica da Região AMAI**. *Ágora : revista de divulgação científica*, v. 21, n. 1, p. 121-134, 17 ago. 2016.

Conte, G. Y. C., & Araujo, G. J. F. de. (2020). **A internet da indústria das coisas: oportunidades e ganhos potenciais**. *Ágora: Revista De divulgação científica*, 25, 1-17. <https://doi.org/10.24302/agora.v25i0.2017>.

COSTA, R.; NÉLO, A.; ARAUJO, J. **CUSTOS, PREÇOS E RENTABILIDADE DE PRODUTOS**. *Revista do Conselho Regional de Contabilidade do Paraná*. p.10 - 15, 2004, disponível em https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5077050/mod_resource/content/1/custos%2C%20prec%CC%A7os%20e%20rentabilidade%20de%20produtos%2020031111%2020190320.pdf

POMPERMAYER, C. **SISTEMAS DE GESTÃO DE CUSTOS: DIFICULDADES NA IMPLANTAÇÃO**. *Rev. FAE, Curitiba*, v.2, n.3, set./dez., 1999, p.21-28.

Mitsubish Eletric. **Comunicação Ethernet tipo TCP/IP com robô (CR-750/751D) N o . DAP-RBT-01**. 2016. 9 p. http://www.mitsubishielectric.com.br/download/catalogs/DAP-RBT-01_A_Ethernet.pdf.

Mitsubish Eletric. **MITSUBISHI ELETRIC INDUSTRIAL ROBOT FR SERIES**. Março de 2019. 80 p. [https://dl.mitsubishielectric.co.jp/dl/fa/document/catalog/robot/l\(na\)-09091eng/l09091c.pdf](https://dl.mitsubishielectric.co.jp/dl/fa/document/catalog/robot/l(na)-09091eng/l09091c.pdf).

O Que é Internet of Things (IoT)?. Oracle, 2020. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>. Acesso em: 08 de setembro de 2020.