

SISTEMA AUTOMATIZADO DE INSTRUÇÕES DE TRABALHO PARA MONTAGENS MANUAIS

Beatriz Honey Alves da Silva, Luan Lopes da Silva, Vinícius da Silva Rodrigues, Vitor Mauro Freitas, Ivan de Pádua Ferreira, Pedro Adolfo Galani

Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo

Behoney145@gmail.com, , lps_luan@hotmail.com, viniciuswill95@gmail.com, vitormf2011@hotmail.com
ivan.ferreira01@fatec.sp.gov.br, pedro.galani@fatec.sp.gov.br

RESUMO: Ao considerar que as operações manuais estão presentes nas linhas de produção é importante assegurar a padronização dos processos a fim de evitar irregularidades no produto. Também é fundamental manter um método que impossibilita que produtos confeccionados de forma errada sigam à diante no processo. Para isso o sistema automatizado de instruções de trabalho para montagens manuais desenvolvido com o auxílio de um softPLC e um Sistema Supervisório controla e monitora a sequência de um procedimento de montagem feito em protótipo à título de simular um conjunto de atividades que seguem uma ordem de execução. O projeto garante que a realização das operações siga um roteiro que não pode ser alterado, logo, caso ocorra um erro humano em um determinado passo, as próximas etapas não serão liberadas para o operador. Essa sistemática certifica que as unidades manufaturadas estejam em total conformidade com a série de operações exigidas pelo controle de qualidade do fabricante.

Palavras-chave: Montagem. Etapas. Erro humano.

ABSTRACT: Considering that manual operations are present in production lines, it is important to ensure the standardization of processes in order to avoid irregularities in the product. It is also essential to maintain a method that makes it impossible for products made in the wrong way to move forward in the process. For this, the automated system of work instructions for manual assemblies, developed with the help of a softPLC and a Supervisory System, controls and monitors the sequence of an assembly procedure made in prototype in order to simulate a set of activities that follow an order of execution. The project ensures that the performance of operations follows a script that cannot be changed, so if a human error occurs in a certain step, the next steps will not be released to the operator. This system certifies that the manufactured units are in full compliance with the series of operations required by the manufacturer's quality control.

Keywords: Assembly. Steps. Human error.

1. Introdução

Vários tópicos foram desenvolvidos no decorrer do advento da produção industrial, sempre em busca de evoluções e melhorias nos processos, como o conceito de linha de montagem idealizado por Henry Ford, no início do século XX, que impulsionou a fabricação serial e marcou o início, ainda abstrato, da automação industrial (Silveira; Lima, 2003).

A automação pode ser compreendida como um conjunto de procedimentos destinados a implementar componentes eletromecânicos e eletroeletrônicos para realizar determinada atividade reduzindo o esforço humano (Silveira; Lima, 2003).

Apesar dos avanços já alcançados, a automação industrial não substituiu totalmente a mão de obra humana, pois existem postos ou funções em que ela se faz necessária devido a presença de peças pequenas ou delicadas com difícil manipulação para máquinas, além da necessidade de detectar erros no processo que as tecnologias implementadas podem não atender (Xavier *et al.*, 2023).

Atualmente, diversos setores ainda adotam a montagem, em suas linhas de produção, de forma totalmente manual ou semi manual, como a indústria automotiva, de plástico, embalagem, de componentes e equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos (Macnicadhw, 2023). Porém ao mantê-la neste padrão, o erro humano se faz presente e pode gerar, por exemplo, a fabricação incorreta de um conjunto.

O erro humano é uma das principais preocupações das organizações, por conta do grande número de perdas que geram como prejuízos materiais e financeiros. As falhas cometidas pelo operador podem acontecer devido a diversos fatores como distrações, perdas de atenção, lapsos de memória entre outros (Reason, 1990 *apud* Silva *et al.*, 2017), sendo assim, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema automatizado de instruções de trabalho interativo que visa monitorar e auxiliar montagens manuais de forma a minimizar ou evitar erros humanos durante a execução de um procedimento e se justifica ao garantir o aperfeiçoamento e a padronização do processo em uma estação. Por meio da integração entre instruções objetivas e representações gráficas presentes no sistema supervisorio, método poka-yoke, sinalização e sensoriamento é possível assegurar a eficácia do processo, qualidade do produto e redução de custos com retrabalho.

2. Fundamentação teórica

2.1 Sistemas Supervisórios

A coleta de dados é fundamental em um processo industrial e, por isso, destaca-se a relevância dos sistemas como o *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Segundo Silva e Salvador (2005) esses sistemas supervisórios permitem a coleta de dados,

monitoramento das variáveis do processo em tempo real, armazenamento e análise. Os dados são então apresentados ao usuário e facilitam, a partir das informações obtidas, a tomada de decisões e manipulação das atividades.

O supervisorio ELIPSE E3, uma das plataformas que trabalham com o sistema SCADA, possibilita o registro de *tags* que representam as variáveis de um processo. Permite ainda, durante a simulação do protótipo, o monitoramento do estado lógico da sequência de montagem pré-programada e, com as informações obtidas a partir de uma *tag*, o sistema apresenta ao elaborador a opção de realizar operações matemáticas e funções lógicas. A partir de um valor pré-definido do *set point*, pode-se realizar uma lógica com alarmes indicando que um parâmetro está fora de uma faixa aceitável de operação.

As informações transitam do Controlador Lógico Programável (CLP) para o supervisorio através de redes de comunicação por meios físicos como fibra óptica e cabos ethernet com base em um protocolo aberto ou do fabricante.

2.2 CODESYS

A escolha do ambiente de desenvolvimento é crucial para o sucesso do projeto, nesse contexto, o CODESYS se destaca como uma plataforma de programação apropriada para sistemas de automação industrial.

A plataforma favorece a implementação de uma variedade de funções, desde controle de dispositivos básicos até sistemas de automação complexos e garante a confiabilidade do sistema em ambientes industriais, isso facilita que o sistema seja ajustado para atender às demandas específicas da aplicação de montagem manual sugerida (Moreira, 2020).

Atendendo as exigências da norma IEC 61131-3 (Rodrigues; Silva; Fernandes Júnior, 2020) que trata da padronização das linguagens de programação para a automação industrial, o CODESYS suporta vários protocolos de comunicação e interfaces de *hardware*, o que facilita a integração com vários dispositivos e sistemas usados na indústria. Isso é necessário para garantir que todos os componentes do sistema funcionem juntos e se comuniquem, além de fornecer um ambiente de desenvolvimento abrangente com ferramentas para programação e simulação, sendo assim reduz o tempo de desenvolvimento e os custos associados.

Para a solução deste projeto foi adotado como lógica de programação a linguagem *Ladder* que de acordo com Mendes (2021) é um método de programação amplamente utilizado em CLPs que assegura uma representação visual clara da lógica de controle e facilita a compreensão do processo. Além disso, a linguagem *Ladder* proporciona uma rápida modificação da lógica, o que é essencial em ambientes industriais onde as demandas podem mudar com frequência.

Em suma, devido ao seu ambiente de desenvolvimento completo, atendimento às normas industriais, flexibilidade de programação e facilidade de integração, o CODESYS foi selecionado como o software de programação mais adequado para este projeto.

2.3 Modbus RTU

O Modbus é um protocolo aberto que trabalha com o modelo de comunicação *master-slave*, onde o mestre é o único capaz de iniciar uma comunicação, enquanto os dispositivos escravos devem responder, enviando os dados requisitados pelo mestre ou executar alguma ação solicitada. Um dos modos de comunicação Modbus é o RTU, no qual os dispositivos enviam, para cada informação da mensagem, um carácter em hexadecimal, o que admite uma maior densidade de caracteres em uma única mensagem e, conseqüentemente, maior desempenho na comunicação (Nascimento; Lucena, 2003).

No projeto o Modbus RTU, em conjunto com o padrão USB, permite a troca de dados entre o *notebook* com CODESYS (mestre) e as unidades remotas de I/O (escravos).

2.4 SoftPLC

Um Controlador Lógico Programável em *Software* (SoftPLC) é uma implementação de um CLP em um ambiente de *software*, muitas vezes executado em um computador ou dispositivo embarcado. Neste caso específico, aplicamos um *notebook* e os kits Arduinos como remotas de I/O para simular um CLP devido ao seu alto custo de aquisição, o uso de um Arduino como interface de entradas e saídas facilita a ampliação do sistema ao permitir a adição de mais sensores e atuadores (Rodrigues; Silva; Fernandes Júnior, 2020).

Os benefícios dessa abordagem, como flexibilidade, custo e facilidade de expansão atendem a proposta do trabalho. A utilização de um *notebook* como plataforma de processamento favorece modificações e atualizações de *software* conforme a necessidade. Quando já disponível, seu uso reduz os custos de *hardware*, pois descarta a necessidade da aquisição de um CLP dedicado.

No contexto da implementação, O CODESYS viabiliza o desenvolvimento de controladores programáveis de acordo com a norma IEC 61131-3 e pode operar como SoftPLC ao transformar um computador em um controlador lógico totalmente funcional e programável (Rodrigues; Silva; Fernandes Júnior, 2020). O *Modbus* possibilita a comunicação eficiente e padronizada entre dispositivos (Rodrigues; Silva; Fernandes Júnior, 2020). Por ser um protocolo aberto e acessível, tornou-se a escolha para esta aplicação, com a função de realizar a comunicação entre o CODESYS e as unidades remotas de I/O.

2.5 RFID

O *Radio Frequency Identification* (RFID) trabalha com o envio de dados por meio de ondas eletromagnéticas (radiofrequência) de um aparelho móvel para um leitor, transmitindo-os para um Sistema computacional (Seufitelli *et al.*, 2009).

O *transceiver* é o leitor com antena que emite um sinal de radiofrequência, já o *transponder* é o aparelho móvel, como etiqueta, *tag* entre outros. Ao entrar na área em que este sinal se encontra, o *transponder* envia informações do produto contidas na *tag*, também através de sinais de radiofrequência. O leitor então envia esses dados para o computador que efetua o controle de acordo com sua programação previamente definida (Seufitelli *et al.*, 2009).

Com o uso de leitor e *tags* RFID, será possível identificar qual modelo será confeccionado na estação para que o sistema direcione o montador.

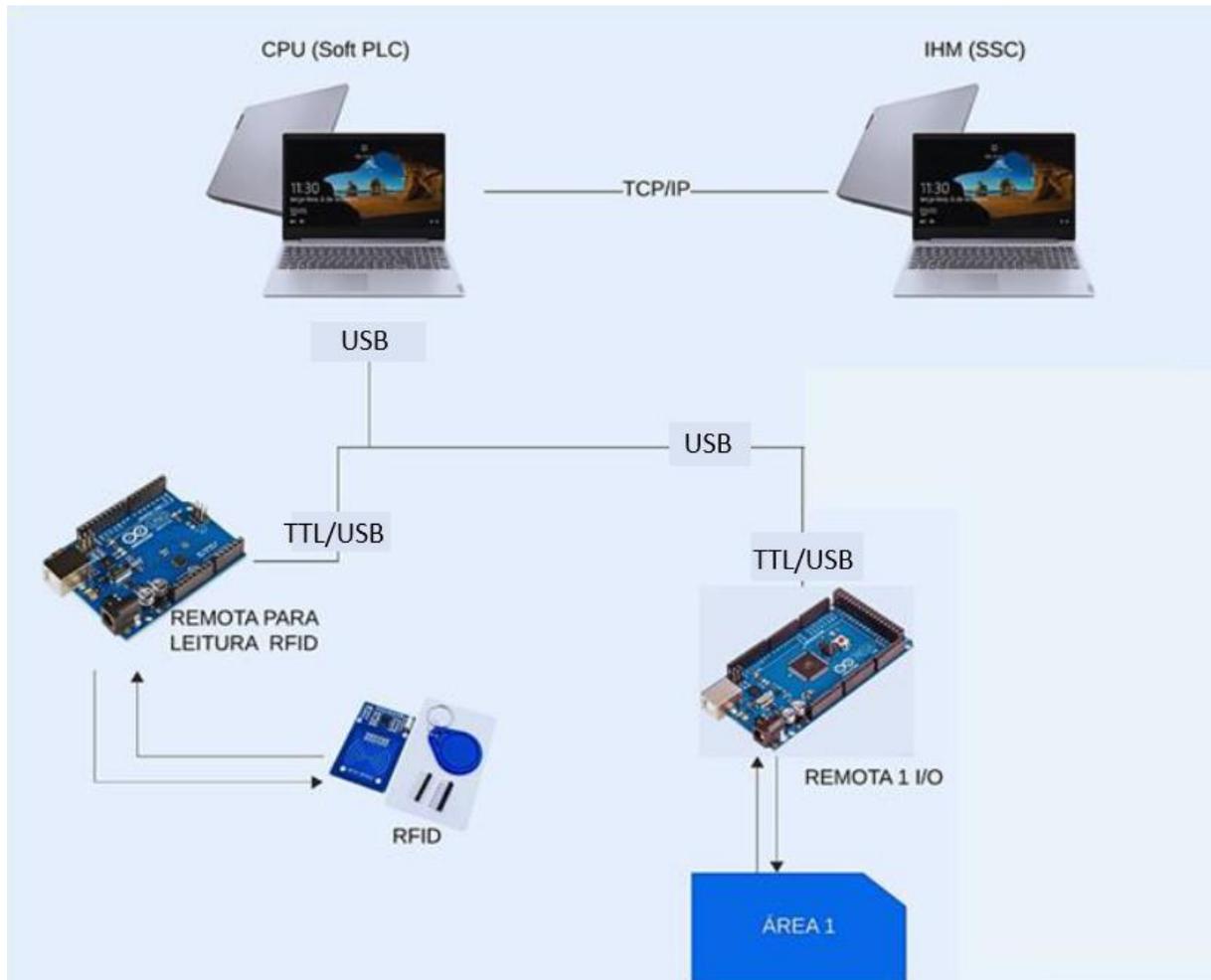
3. Metodologia

Ao avaliar a relevância da atividade dos montadores em um processo de fabricação, logo percebe-se a importância de auxiliá-los. Para tanto, o projeto desenvolvido contempla uma estação interativa de montagem de três possíveis modelos de tratores. A partir do reconhecimento do modelo pelo sistema RFID, serão comunicadas ao operador quais etapas deverão ser realizadas através de instruções de trabalho em uma sequência programada com o suporte da estrutura de um SoftPLC, que utiliza a linguagem de programação *ladder* pelo software CODESYS em comunicação via *Modbus* com dois Arduinos Mega, que são usados como unidades remotas a fim de abranger os sinais dos dispositivos de campo.

A Interface-Homem-Máquina (IHM) contém o sistema supervisor ELIPSE E3 para apresentar os procedimentos que deverão ser realizados e a lógica presente na CPU impede que a ordem de execução seja alterada.

A ligação do *hardware* do SoftPLC com o campo (áreas 1 e 2) e a IHM será realizada conforme a Figura 1.

Figura 1 – Disposição dos equipamentos com ênfase na comunicação



Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, sensores, sinalizadores, e outros materiais dispostos na estrutura do protótipo podem indicar que um componente foi retirado dos compartimentos no momento errado, evitando que o produto seja construído de modo inadequado e um erro humano seja identificado somente quando o processo estiver em etapas posteriores próximo ao cliente final.

4. Desenvolvimento do projeto

Foi desenvolvido um softPLC através de um *notebook* como plataforma de processamento (CPU) e Arduinos como interface de I/O remotas. O protocolo de comunicação *Modbus RTU* e a ligação USB favorecem a troca de dados entre o CODESYS (mestre) e as unidades de remotas de entradas e saídas (escravos).

O supervisor foi dividido em telas e apresentado na IHM enquanto a lógica (sequência) foi elaborada no CODESYS. A comunicação entre as duas entidades foi feita via *Modbus TCP/IP*.

No protótipo, uma esteira transporta os paletes contendo os tratores parcialmente montados da pré-estação para a estação de montagem. Na pré-estação, há um sensor de presença de paleta, um leitor de *tag* RFID e um *stopper* que impede que o paleta entre na estação sem a condição correta.

O processo segue a seguinte ordem: a esteira é ligada e o *stopper* da pré-estação permanecerá fechado até que um paleta acione o sensor de presença da pré-estação. Neste momento a esteira é desligada, o CODESYS enviará um sinal de comando para o Arduino realizar a leitura da *tag* presente no paleta. De acordo com o UID da *tag* lida será retornado um valor para que o CODESYS saiba qual é o modelo do produto e assim direcionar a lógica para seguir a sua receita.

Esse valor pode ser “1” para indicar que o produto é um Trator Carregador; “2” para indicar que é um Trator Britadeira ou “3” para indicar que é um Trator Escavadeira.

Ao receber um desses três valores, o CODESYS reconhece que a leitura foi bem-sucedida e o *stopper* é acionado para liberar o paleta. A esteira é ligada e quando o paleta chegar na estação (acionar o sensor de presença da estação), é desligada novamente. Nesse momento é iniciado a máquina de estados da receita do produto lido, indicando ao montador a sequência de montagem.

Na estação há nove caixas com peças e uma contendo a ferramenta de aperto. Em cada caixa existe um sensor óptico de presença para reconhecer que o montador pegou a peça/ferramenta e um led RGB que indica qual é a peça do passo atual de montagem, a peça do próximo passo e alarme de montagem incorreta.

Quando o led estiver verde, significa que a peça/ferramenta pertence ao passo atual e que o montador deve pegá-la para realizar a montagem apresentada na IHM. Ao pegar todas as peças em verde, um tempo é contado e após isso, esses leds são apagados e, simultaneamente, leds são acesos na cor azul em outras caixas, indicando que essas são as peças do próximo passo da montagem.

Quando o montador finalizar a etapa atual, poderá pegar as peças que estarão sendo indicadas pelos leds azuis. Ao fazer isso, os leds azuis passarão a ficar verdes, indicando que, agora, essas são as peças do novo passo e, simultaneamente, a IHM mudará para a tela de montagem dessas peças. O processo segue assim até o fim. Ao finalizar toda a montagem, o montador apertará o botão de liberação. Nesse momento, a esteira é ligada novamente até que o paleta saia do sensor de presença da estação e permanece ligada até que um novo paleta seja identificado na pré-estação. O processo então se repete.

Caso o montador pegue uma peça incorreta no processo, um alarme será gerado e o led da caixa na qual foi retirada a peça errada ficará vermelho e piscando. Simultaneamente

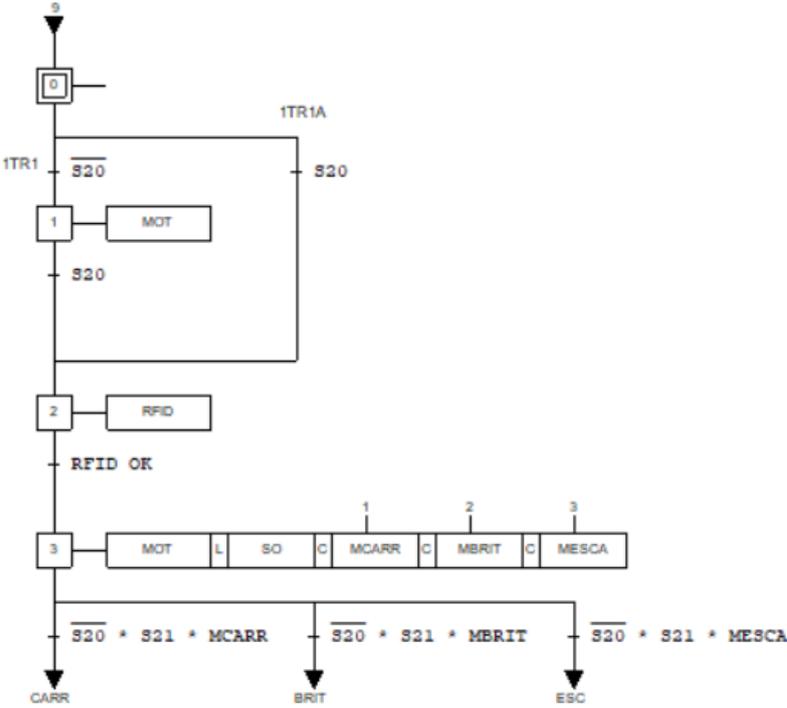
aparecerá uma mensagem na IHM dizendo para o montador devolver a peça na caixa. Ao devolver, os alarmes serão resetados e segue-se a sequência normalmente.

4.1 Grafcet

A sequência lógica do processo foi dividida em cinco Máquinas de Estado, sendo: uma para a pré-estação, uma para a liberação do palete ao fim da montagem (figura 6) e um para cada uma das três receitas correspondentes aos tratores carregador (figura 5), britadeira (figura 4) e escavadeira (figura 3).

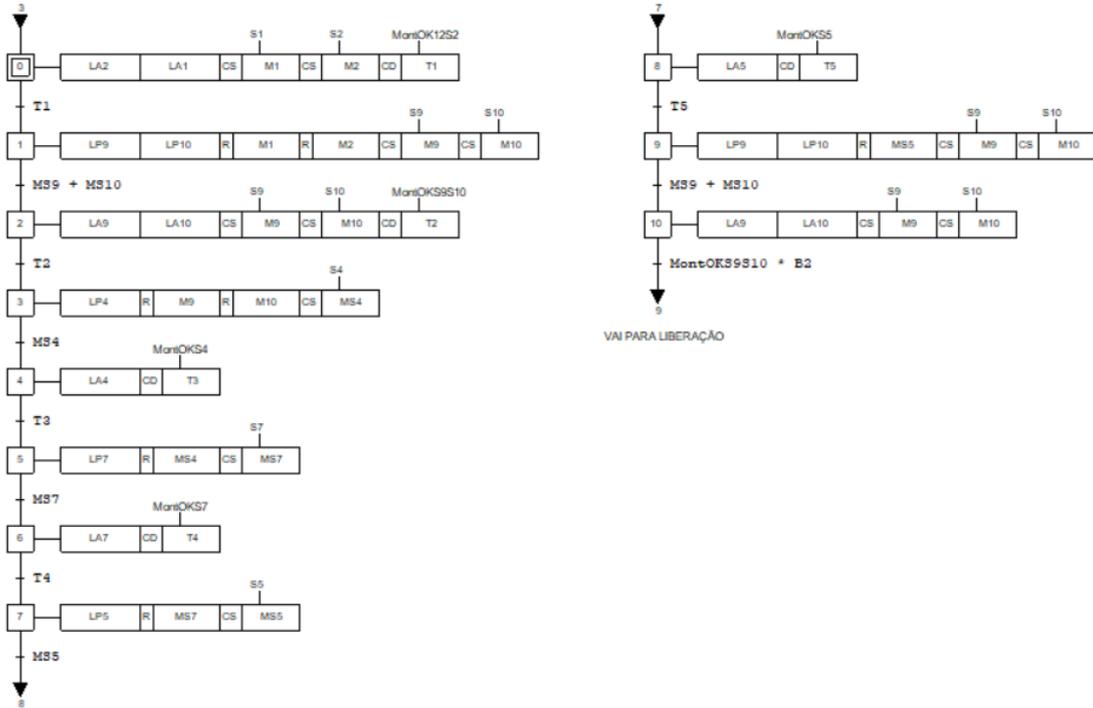
No Grafcet da pré-estação (Figura 2) é reconhecido modelo do produto através da leitura da tag do palete na pré-estação e o sequenciador da receita dele é iniciado quando o palete chega na estação.

Figura 2 - Grafcet: Pré-estação



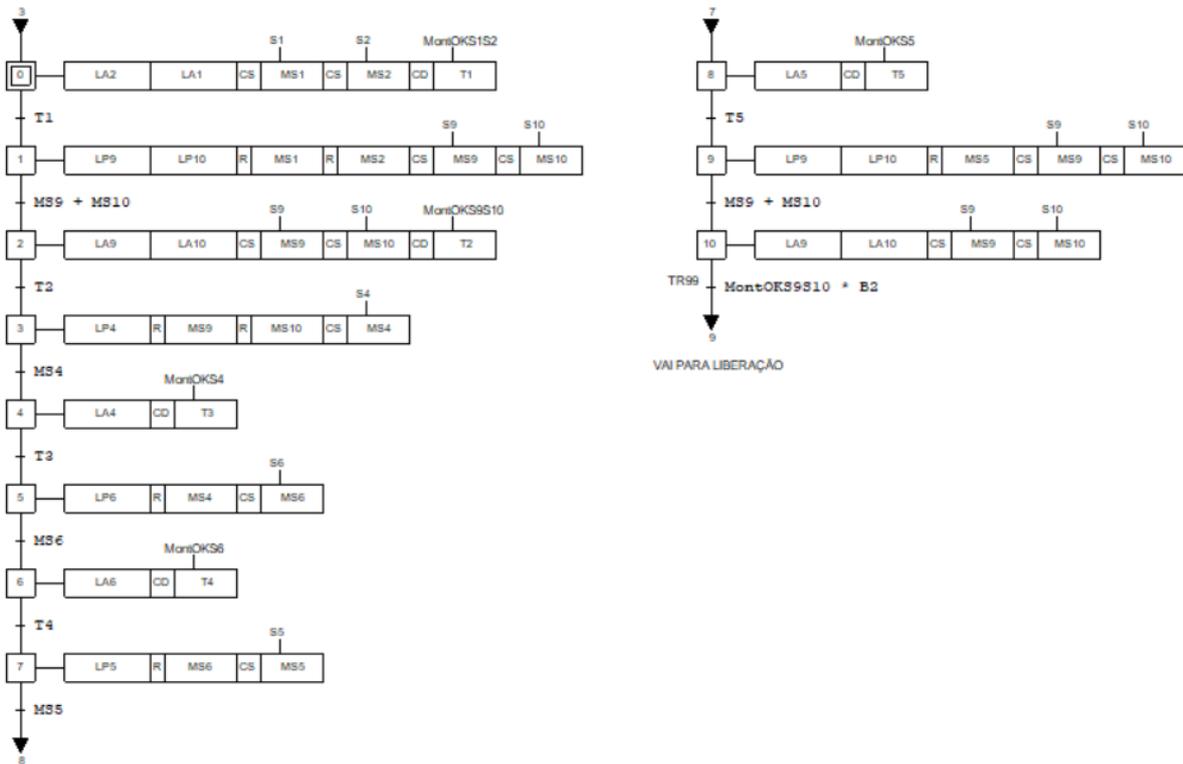
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 3 – Grafcet: Escavadeira



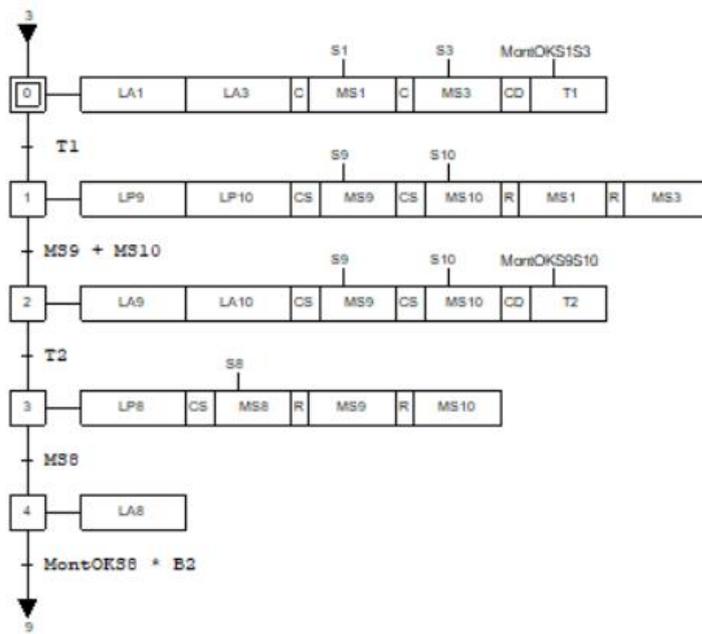
Fonte : Autoria própria (2024).

Figura 4 – Grafcet: Britadeira



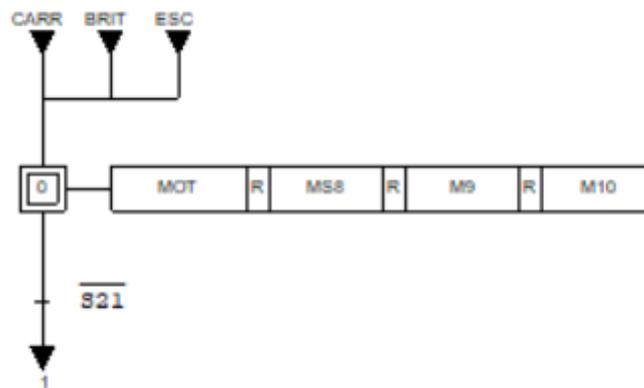
Fonte : Autoria própria (2024).

Figura 5 – Grafcet: Carregador



Fonte : Autoria própria (2024).

Figura 6 – Grafcet: Liberação após o fim da montagem



Fonte : Autoria própria (2024).

4.1.1 Códigos utilizados na representação do Grafcet

Com o intuito de facilitar a compreensão dos grafkets apresentados anteriormente, segue abaixo o significado dos códigos utilizados na representação do processo:

- Pré-estação:

MOT: Motor da esteira;

S20: presença de palete na pré-estação;

RFID: comando para ler tag do palete;

SO: stopper;

MCARR: memória do modelo lido Trator Carregador;

MBRIT: memória do modelo lido Trator Britadeira;

MESCA: memória do modelo lido Trator Escavadeira;

S21: presença de palete na Estação de montagem.

- Tratores

LAx: led verde da caixa/ferramenta (o “x” desta sigla representa a caixa em que o led está);

LPx: led azul da caixa/ferramenta (o “x” desta sigla representa a caixa em que o led está);

MSx: memórias ativadas após o montador ativar o sensor de presença contido em cada caixa/ferramenta (o “x” desta sigla representa a caixa em que o sensor está);

Tx: temporizador para transição ocorrer, liberando que o montador siga para próxima etapa de montagem (o “x” desta sigla indica qual temporizador está em ação);

Sx: sinal do sensor de presença contido na caixa/ferramenta (o “x” desta sigla representa a caixa em que o sensor está);

5. Testes e resultados

Durante a etapa de testes, pode-se observar que os intertravamentos propostos na lógica de programação atendem aos requisitos do processo simulado e assim, garantem que o objetivo principal do projeto seja atendido, uma vez que, mesmo que o operador tente montar uma das peças no momento errado o produto não é liberado, pois a sequência foi alterada. Ao retirar a peça de um dos modelos para ser encaixada em outro trator também não é possível dar continuidade às operações.

A sinalização auxilia o indivíduo que utilizará a estação, as cores dos *leds* mostram se o componente retirado das prateleiras está correto ou não, além de mostrar em qual compartimento está o item do próximo passo. Através de uma legenda presente na tela do sistema supervisorio é possível interpretar a situação que a iluminação informa.

Todo o funcionamento da estação de trabalho simulada no protótipo segue o fluxo programado em *ladder* e representado nas máquinas de estado. O projeto proporciona que mesmo sem experiência, qualquer um consiga concluir a montagem completa dos modelos de forma correta.

6. Considerações finais

Com a finalização do projeto, pode-se garantir a confiabilidade do funcionamento do sistema de instruções e da estação de montagem em si, todas as unidades feitas durante os testes demonstraram conformidade com as expectativas sobre o produto final. O conjunto de instruções, passos e advertências informados ao operador são descritos de forma concisa e precisa a fim de facilitar a interpretação evidenciando apenas a informação necessária aplicável na situação correspondente.

Conforme as circunstâncias simuladas nos testes, toda montagem obedece a receita do produto lido na pré-estação, ao reproduzir um erro de troca de peças entre os modelos dos tratores os alarmes acusaram que a operação estava irregular. Por exemplo, ao retirar uma pá carregadeira durante a confecção da britadeira, o led vermelho da caixa indicou o erro, a tela do supervisorio detalhou a irregularidade, e a lógica do Codesys não deu continuidade ao procedimento. Outros testes foram realizados na situação de intercambialidade de componentes, e em nenhum momento a não conformidade foi ignorada pelo sistema, logo, todo o panorama previsto de erros foi identificado e somente após a correção foi permitido concluir a produção.

O trabalho realizado não prevê a relação entre operação e tempo de ciclo por se tratar de uma simulação com ênfase nas instruções e etapas, portanto, em uma situação real no ambiente industrial ou em um centro de treinamento da empresa a aplicação precisa ser adaptada ao considerar o tempo de cada operação, mesmo assim, toda a lógica de alarmes e as condições de transição funcionam independente da duração de cada procedimento.

REFERÊNCIAS

MACNICADHW. **Inteligência Artificial nos Processos de Montagem Manual** (13 de junho de 2023).

Disponível em: <https://www.macnicadhw.com.br/noticias/2023-06-13-inteligencia-artificial-nos-processos-de-montagem-manual>. Acesso em: 17 fev. 2024.

MOREIRA, Caio Augusto. **Linguagem ladder aplicada a profissionais da ciência da computação**. FEMA, 2020.

NASCIMENTO, João Maria Araújo do; LUCENA, Pedro Berretta de. **Protocolo Modbus**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, jul, 2003.

RODRIGUES, Tale Silva; SILVA, Fábio Vincenzi Romualdo da; FERNANDES JUNIOR, Renato Ferreira. **Plataforma de aprendizagem de automação industrial com CODESYS, Modbus, Arduino e recursos web**. Universidade Federal de Uberlândia. 2020.

SEUFITELLI, Claudia; HENRIQUE, Daniele; ROSA, Sérgio; CARVALHO, Rogério. **Tecnologia RFID e seus benefícios**. Campos dos Goytacazes/RJ, v.11, n.1/3, p. 19-26, jan/dez, 2009.

SILVA, Ana Paula Gonçalves; SALVADOR, Marcelo. **O que são Sistemas Supervisórios**. ELIPSE, 1-5, dezembro, 2005.

SILVA, Bruna Grazielly de Jesus; LISBOA, Ainã Pinheiro; SANTOS, Áurea Haíza Almeida; SANTANA, Kelyanne Santos; SILVA, Isabelly Pereira. **Confiabilidade Humana: Uma Abordagem Atual do Erro Humano**. Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 2017.

SILVEIRA, Leonardo; LIMA, Weldson Q. **Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação**. 2003.

XAVIER, Andreza; CANDIDO, Kerollany; ROBERTO, José; SOUTO, Sístina. **A automação industrial como solução e não como ameaça aos trabalhadores**. Revista GeSec, São Paulo, v. 14, n.6, p. 9019-9032, 2023.