

Desenvolvimento de um sistema de empacotamento automático para embalagem de fitas adesivas

Ruan C. M. Teixeira*, **Walter P. S. Guimarães****, **Felipe A. S. Guimarães*****,
Rubens A. Fernandes****, **Lennon B. F. Nascimento*******.

**HUB: Tecnologia e Inovação, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
 Brasil (Tel: +55 92 99347-0175; e-mail: rcmt.eng@uea.edu.br).*

***HUB: Tecnologia e Inovação, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
 Brasil (Tel: +55 92 98119-5440; e-mail: wguimaraes@uea.edu.br).*

**** HUB: Tecnologia e Inovação, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM
 Brasil (Tel: +55 92 98193-4433; e-mail: felipe.augusto.1303@gmail.com)*

***** HUB: Tecnologia e Inovação, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
 Brasil (Tel: +55 92 98212-9068; e-mail: rdafr.eng@uea.edu.br).*

******HUB: Tecnologia e Inovação, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
 Brasil (Tel: +55 92 99158-8482; e-mail: lbfn.eng@uea.edu.br).*

Abstract: The evolution of technologies for automation of production processes has enabled the continuous development of industrial sectors throughout the century. However, some companies still use manufacturing as a production method in some sectors. As a result, the demand for technologies that make it possible to automate certain activities in this area has been growing, especially in the Manaus Industrial Pole. The present work aims to present the development of a technological solution for a company in the Industrial Pole of Manaus, in the segment of adhesive tapes, in order to replace the manual tape packaging operation with a machine capable of allocating several tape models already labeled in standardized cardboard boxes automatically.

Resumo: A evolução de tecnologias para automação de processos produtivos está possibilitando o desenvolvimento contínuo dos setores industriais ao longo do século. Contudo, algumas empresas ainda utilizam a manufatura como método de produção em alguns setores. Com isso, a demanda por tecnologias que permitem automatizar determinadas atividades nesse âmbito vem crescendo, como o caso do Polo Industrial de Manaus. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma solução tecnológica para uma empresa do Polo Industrial de Manaus, do segmento de fitas adesivas, com o intuito de substituir a operação manual de embalagem de fitas por um maquinário capaz de alocar diversos modelos de fitas já rotuladas em caixas de papelão padronizadas de forma automática.

Keywords: Industrial Automation; Servomechanism; PLC; Automatic Packaging System; Guzzetti Wrapper.

Palavras-chaves: Automação industrial; Servomecanismo; CLP; Sistema de embalagem automática; Embaladora Guzzetti.

1. INTRODUÇÃO

Em um mercado altamente competitivo, as indústrias tendem a optar por soluções aptas a automatizar seus processos a fim de torná-los cada vez mais eficientes e de reduzir custos operacionais. Além disso, almeja-se com isso a redução de custos com mão-de-obra humana, monitoramento e controle do processo produtivo e, conseqüentemente, melhorias nos indicadores de rendimento da produção. Assim sendo, a automação industrial torna-se um grande aliado a manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*), já que a substituição de manufaturas por máquinas permite redução no tempo de ciclo, melhor aproveitamento de recursos e um maior envolvimento dos operadores nos processos produtivos, agregando mais valor a mão-de-obra (Hedelind, 2011).

Algumas empresas do Brasil, no segmento de fitas adesivas, perdem eficiência no processo de embalagem, que se constituem em boa parte de operadores fabris realizando esforços elevados para realização das ações neste setor. Uma das atividades é o processo de empacotamento, que normalmente consiste na alocação de fitas em caixas de papelão padrão e, de forma simultânea, operar outras máquinas do posto de embalagem. Este é um fator que afeta diretamente a eficiência e qualidade do processo produtivo (Schwarzstein, 2014).

Na perspectiva ergonômica, a atividade manual de embalagem de fitas adesivas torna-se prejudicial à saúde do operador, principalmente devido ao elevado volume de produção e o movimento repetitivo realizado para locomover as fitas,

contrariando a Norma Regulamentadora 17, relacionada a ergonomia (Norma, 1990).

Tendo isso em vista, o intuito deste trabalho é apresentar o desenvolvimento e implementação do sistema elétrico de um maquinário de empacotamento automático de fitas adesivas para uma fábrica situada no Polo Industrial de Manaus. Será demonstrada a arquitetura, especificações, lógica de controle e implementação do sistema elétrico do maquinário, além da integração com a parte mecânica. O sistema elétrico deste maquinário será constituído por controladores, sensores, motores de indução, servo motores e atuadores pneumáticos que objetivam o transporte de fitas adesivas já rotuladas e protegidas, até as caixas de papelão padronizadas, a fim de melhorar as condições de trabalho e uma manufatura mais eficiente e enxuta. (Freire, M., 2020, maio 30)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dispositivos e aparatos mecânicos constituintes da solução de empacotamento foram projetados paralelamente por outra equipe especializada. Portanto, o desenvolvimento do sistema mecânico da solução não será discutido neste trabalho. Assim sendo, foi necessário, sobretudo, integrar estes mecanismos com o sistema elétrico, após o processo de desenvolvimento. Ao longo desta seção, serão detalhados os recursos e metodologias necessárias para realização de cada etapa do processo de implementação do sistema de empacotamento automático. As etapas do processo de elaboração deste trabalho são ilustradas na figura 1.

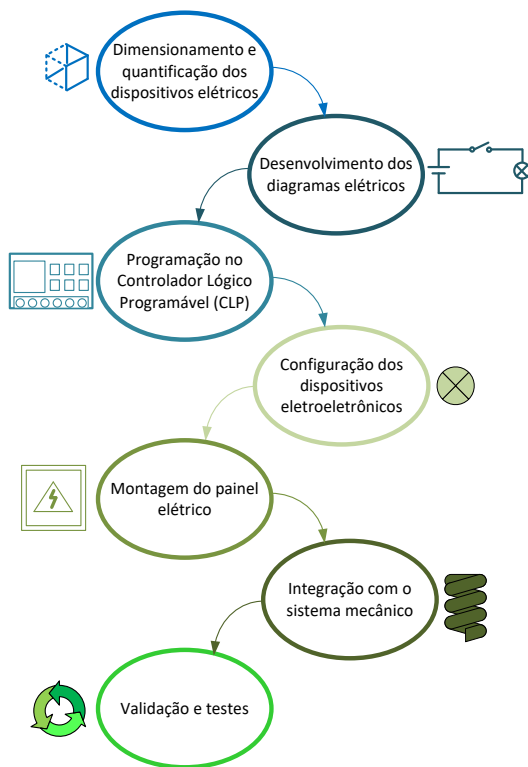


Figura 1 – Diagramação da metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema.

2.1 Sistemas para empacotamento automático de embalagens de fitas

No caso deste projeto, em específico, o processo de empacotamento é parte integrante de um conjunto de dispositivos eletromecânicos responsáveis pela proteção, rotulação e embalagens de fitas adesivas de forma automática conhecida como “Solução Guzzetti”, que é patente e propriedade da empresa onde este trabalho fora realizado.

A máquina Guzzetti é responsável pela inserção de uma camada de filme plástico, utilizada como proteção para as fitas adesivas. A figura 2 ilustra esta solução e também situa o posicionamento da embaladora neste processo.

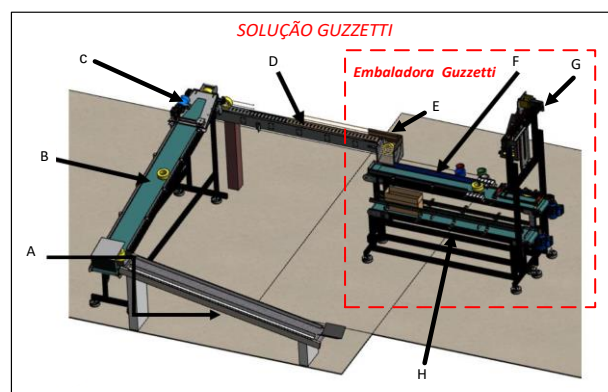


Figura 2 - (A) Esteira de saída da máquina Guzzetti; (B) Esteira da rotuladora; (C) Máquina rotuladora; (D) Esteira para o virador de fitas; (E) Virador de fitas; (F) Esteira da embaladora Guzzetti; (G) Sistema pick-up; (H) Esteira das caixas.

2.2 Embaladora Guzzetti

Após passar pelo processo de rotulação, as fitas passam pelo processo de empacotamento automático, realizado pela embaladora Guzzetti. Esse processo ocorre ao alocar as fitas em caixas de papelão de tamanho padrão que se encontram em uma esteira paralela ao depósito de fitas. Ao término desta etapa, quando inserido o número máximo de fitas, procede-se para o processo de fechamento e adesivagem da caixa. A figura 3 ilustra os compartimentos da embaladora Guzzetti.

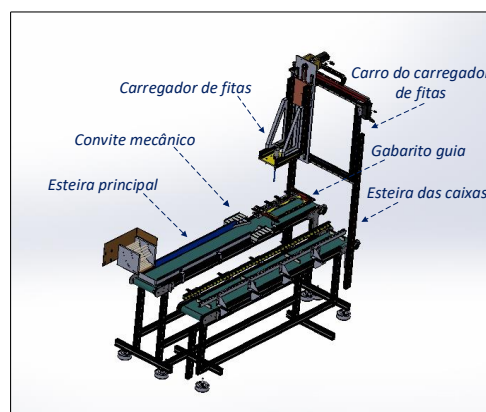


Figura 3 – Representação da embaladora Guzzetti.

Ao entrar na embaladora, as fitas encontram-se em posição horizontal e passam por um convite mecânico que as ordena de forma enfileirada. Assim sendo, elas entram em um gabarito guia que acomoda determinada quantidade de fitas, dependendo do modelo a ser empacotado.

Quando a última fita entra no gabarito, um sensor fotoelétrico envia um comando para o carregador de fitas recolhê-las. Dessa forma, ele as retém através do deslocamento no eixo “Z” e um sistema de molas consegue penetrar nas fitas sem danificá-las, para que possam ser deslocadas pela aderência exercida. O sistema de movimentação do carregador de fitas é realizado por aparatos mecânicos, baseados em polias e correias, e também com o uso de dois servos motores: um para movimentação no eixo “X” e outro para o eixo “Z”.

O sistema de locomoção do carregador de fitas é denominado “carro do carregador de fitas”. Sua função é realizar o transporte das fitas que se encontravam no gabarito guia até a esteira paralela em que está a caixa de papelão. O carregador de fitas entra na caixa. Então, o atuador pneumático, juntamente com a solução mecânica do expulsor de fitas as expelle. Terminada esta etapa, o carregador retorna ao ponto inicial e o processo recomeça, até completar três pilhas de fitas. Após a última pilha de fitas a caixa está completa e pode prosseguir para o fechamento. O fluxograma deste processo é ilustrado na figura 4. Ressalta-se que a posição *homing* e a posição “apanhar fitas”, citados no fluxograma, são posições similares quando o carro está suspenso e alinhado com o guia. Porém, o carro só parte da posição inicial (*homing*) no ciclo de depósito da primeira pilha de fitas.

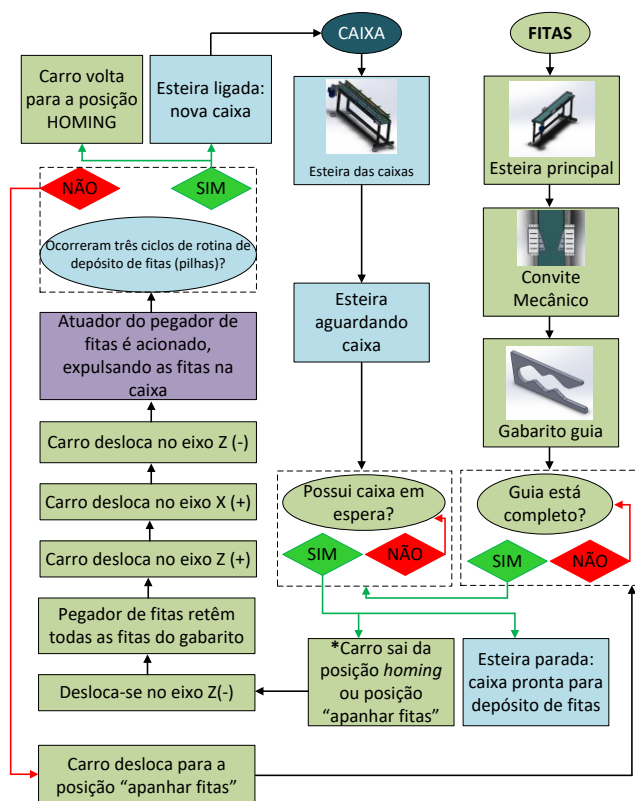


Figura 4 – Representação da embaladora Guzzetti.

2.3 Arquitetura do sistema elétrico

O elemento central de controle da embaladora Guzzetti é o Controlador Lógico Programável (CLP). Através dele, é possível efetuar leituras de sensores e chaves em geral e controlar periféricos físicos, como: inversores de frequência, *drivers* servos motores, sinalizadores e atuadores pneumáticos.

Como periféricos externos de entrada do sistema, foram utilizadas botoeiras *start/stop* e botoeiras para reiniciar o sistema, caso necessário, além do uso de uma chave de emergência para parada total do processo. Um sensor de fim de curso também foi implementado na aplicação para sinalizar ao CLP o limite do deslocamento do carregador de fitas, que por sua vez, responderá ao *driver* do servo motor os comandos para finalização do ciclo. Fez-se necessário o uso de quatro sensores fotoelétricos, onde dois deles indicam quando o gabarito está completo (alinhados com a última e a primeira posição do gabarito) e os outros dois indicam quando a caixa está preparada e posicionada para receber as fitas.

Na saída do CLP, utilizaram-se dois inversores de frequência para controle de velocidade e sentido de cada esteira utilizada. O controle dos servos motores foi realizado através da comunicação do CLP com os seus respectivos *drivers* e terão a função de atuar no movimento do carro carregador e do sistema de “*pick-up*”. Além disso, o CLP também controla o acionamento eletropneumático do expulsor de fitas, sinalizações para indicar a energização, sobrecargas, falhas dos sensores e também para indicar se o sistema está ligado ou desligado. O diagrama arquitetural do sistema elétrico é ilustrado na figura 5.

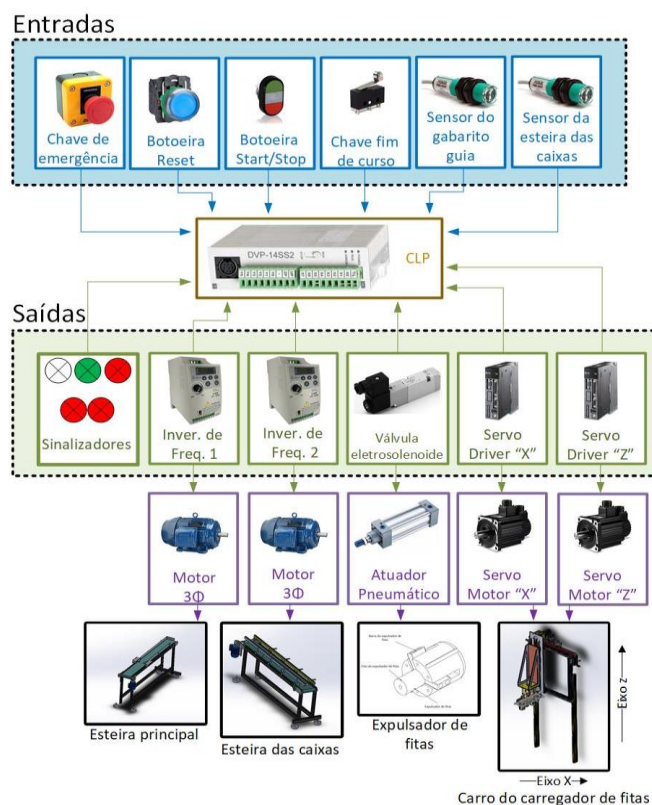


Figura 5 – Diagrama arquitetural do sistema elétrico.

2.4 Especificações dos dispositivos elétricos

Os materiais utilizados para implementação da empacotadora vão muito além dos que foram apresentados anteriormente. Também foram utilizados dispositivos de proteção elétrica e materiais para o quadro de comando. A tabela 1 apresenta os principais materiais elétricos utilizados para elaboração do sistema.

Tabela 1. Principais materiais elétricos utilizados

Descrição	Fabricante
SENSOR CAPACITIVO M18 COM CONECTOR	Carlo Gavazzi
SENSOR F.E.M18 PNP 1NA+1NF DS4000MM C/CONECTOR	Carlo Gavazzi
CLP CPU 14SS2 8ED/6SD TRANSISTOR	Delta
DRIVE 200W A2 220V 1/3 FASES	Delta
DRIVE 750W A2 220V 1/3 FASES	Delta
FONTE MONOFÁSICA 60W 24V 2,5A	Delta
INVERSOR INV. 0.75KW 1CV 220V	Delta
MOTOR 200W BAIXA INERCIA C/ FREIO	Delta
MOTOR 750W BAIXA INERCIA S/ FREIO	Delta
SINALEIRO LED 22MM - 24VCC IP65	Metaltext
VALV SOL/MOL 5V 1/8 24V S7	Metalworks
MOTORED.TRIF.REL.1/25 0.08KW/0,12CV 4P TAM.25	ORIENTAL
QUADRO DE COMANDO STEELBOX DE SOBREPOR 800X600X250	Steck

2.5 Especificações de software

Os recursos de *software* foram utilizados para desenvolvimento dos diagramas elétricos e pneumáticos do sistema e para programação do CLP da fabricante Delta em linguagem Ladder. Também foi necessário adquirir um *software* de configuração para os *driver* de servos motores utilizados da mesma fabricante. A tabela 2 apresenta os *softwares* utilizados para desenvolvimento do projeto (QElectroTech, 2019; ISPSOft, 2019; DELTA, 2014).

Tabela 2. Recursos de software utilizados

Referência do software	Utilidade
QElectroTech 5.13.0	Elaboração de diagramas elétricos e pneumáticos
ISPSOft 3.07	Ambiente de desenvolvimento para programação do CLP
ASDASoft 5.3.4.0	Configuração dos servo drivers

3. CONTROLE DO SISTEMA ELÉTRICO

3.1 Controle dos servos motores

O controle dos servos motores foi por meio do modo de configuração *Position Register* (PR), onde o *servo driver* recebe um comando posição de até 6 bits e no *servo driver* é

possível configurar os registradores relacionada a esse comando posição, indicando a posição do servo motor, velocidade, *delay* entre as rotinas, limite de velocidade e a configuração da posição *homing*. No projeto foi adotado o *homing* por meio de sensor limite (chave de fim de curso)

Para cada servo motor foi configurado um conjunto de instrução como pode ser observado na tabela 3 e tabela 4, onde POS 0, POS 1 e POS 2, são as saídas do Controlador Lógico Programável (CLP), indicando a posição comando do *servo driver*.

Tabela 3. Posição comando Servo motor eixo Z

Servo motor Z			
POS 2	POS 1	POS 0	Comando
0	0	0	Homing
0	0	1	Gabarito guia
0	1	0	1º Pilha
0	1	1	2º Pilha
1	0	0	3º Pilha
1	0	1	Suspensão

Tabela 4. Posição comando Servo motor eixo X

Servo motor X		
POS 1	POS 0	Comando
0	0	Homing
0	1	Caixa
1	0	Gabarito guia

3.2 Premissas de controle do CLP

Para deixar o sistema estável, robusto e seguro para o operador, algumas premissas para a linguagem foram adotadas:

- botão emergência finalizar todos os ciclos da máquina instantaneamente;
- botão reset deve reiniciar todas as posições dos servos motores e flags;
- após parada por emergência a máquina só reinicia após selecionar o botão reset;
- botão parada deve finalizar o ciclo e só então parar;
- piscar sinalização de início ao apertar o botão start;
- acionar as sinalizações conforme o status da máquina;
- após um certo período que o sensor do início do gabarito guia está em alto que então é interpretado como gabarito guia completo;
- após finalizar o ciclo os servos motores devem ir para posição *homing*;
- após finalizar o ciclo deve ser reiniciado todas as flags incluso a máquina de estado;
- pequenos ciclos temporizados entre o comando posição e o trigger;
- os servos motores não podem trabalhar simultaneamente;

Além dessas premissas, destaca-se o método utilizado para controlar as rotinas da embaladora (figura 4), que é o princípio de uma máquina de estado, onde sempre há uma rotina atual e uma próxima rotina comandada por meio de um “trigger” normalmente dado por um conjunto de sensores e estados salvo na memória do CLP, de forma que todos os estados formam um ciclo.

3. IMPLEMENTAÇÃO

A implementação da embaladora Guzzeti consiste na integração de componentes elétricos e mecânicos que compõem o sistema. A figura 4 referente à essa arquitetura expõe exatamente a diversidade de elementos para esse sistema. Com isso, esse processo pode ser dividido na montagem do painel de comando e integração dos componentes mecânicos.

Após finalizar o diagrama elétrico é possível iniciar a montagem do painel, seguindo as ligações planejadas. Inicialmente é criado um layout da disposição dos componentes, canaletas e trilhos para mobilidade e alocação favorecendo toda infraestrutura primária. A figura 6 ilustra essa implementação inicial do painel de comando da solução Guzzeti.

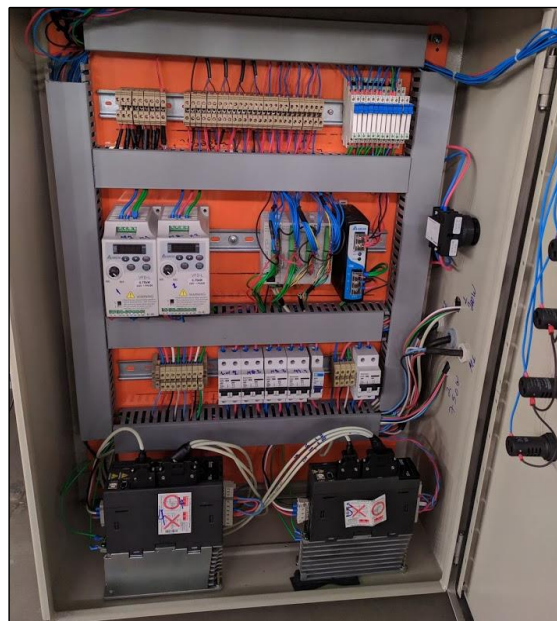


Figura 6 – Posicionamento dos componentes.

Então, com o posicionamento prévio dos componentes, o processo de cabeamento do painel é iniciado. O cabeamento é classificado de acordo com suas finalidades que são: circuito de força e circuito de controle. Para o dimensionamento dos cabos do circuito de força foi utilizado o critério de seção mínima 2,5 mm de acordo com a corrente especificada e para o circuito de controle foi utilizado cabos de 1 mm. A partir disso, é necessário adequar a parte externa do gabinete para o acoplamento das botoeiras, sinalizações, chave seccionadora e

prensa cabos e suas devidas conexões. A figura 7 mostra a parte interna e a externa do painel.

Estrutura interna



Estrutura externa

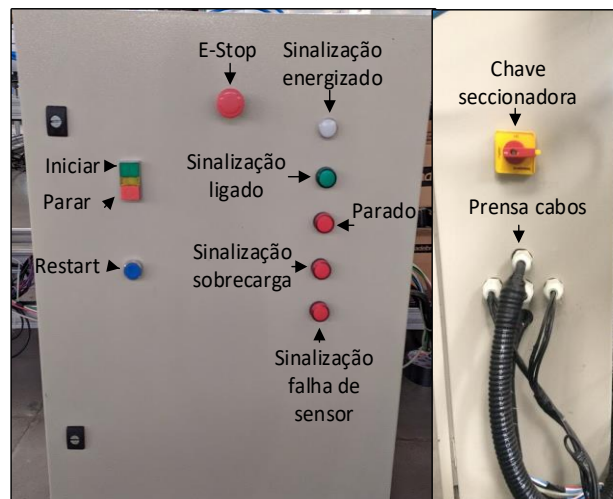


Figura 7 – Estrutura interna e externa do painel de comando.

Após finalizar a montagem do painel de comando é possível fazer a integração com a solução mecânica. Os periféricos que devem ser alocados na parte mecânica são os servos motores, motores trifásicos de indução, sensores óticos, chave fim de curso e o sistema pneumático. Os servos motores são acoplados no carro do carregador de fitas que utiliza o princípio de correia e polia para realizar o deslocamento do carro no eixo x e eixo z. Além da integração dos motores de indução trifásico no eixo das esteiras, conforme mostrado na figura 8.

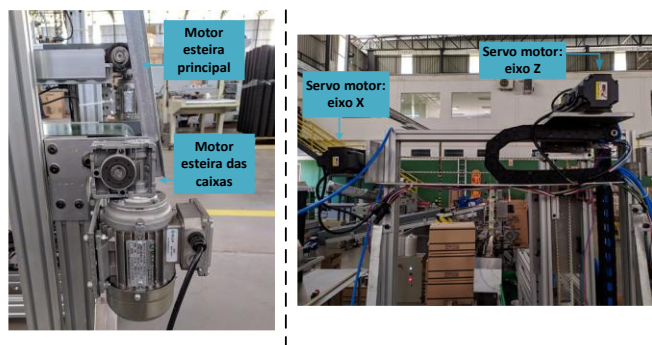


Figura 8– Instalação de motor trifásico e servo motores.

Próximo passo consiste na alocação dos sensores, iniciando com os dois sensores que detectam quando o gabarito guia está completo. Além disso, a chave fim de curso é outro dispositivo que deve ser instalado na estrutura mecânica, ele fica localizado ao final do trilho do carro do carregador de fitas para sinalizar o limite da operação dos servos motores e indicar a posição *homing*. Esses elementos podem ser visualizados na figura 9.

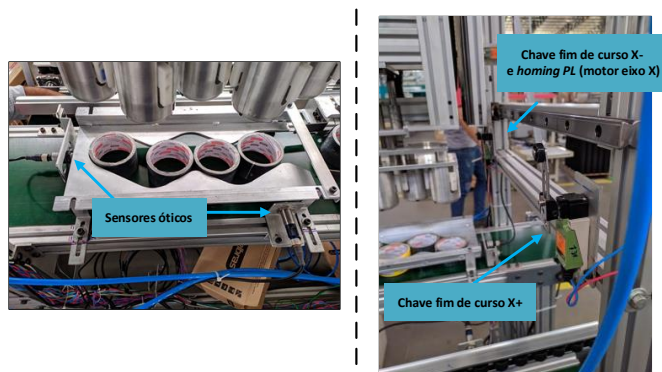


Figura 9– Instalação de sensores óticos e chave de fim de curso.

Por fim, é instalado o sistema pneumático que consiste na integração do atuador pneumático com a válvula solenoide e o circuito pneumático. Na Figura 10, observa-se a saída dos cabos dos sensores que indicam o estado do atuador pneumático, além de permitir comandos de avanço e retorno do ar comprimido por meio dos comandos da válvula solenoide.

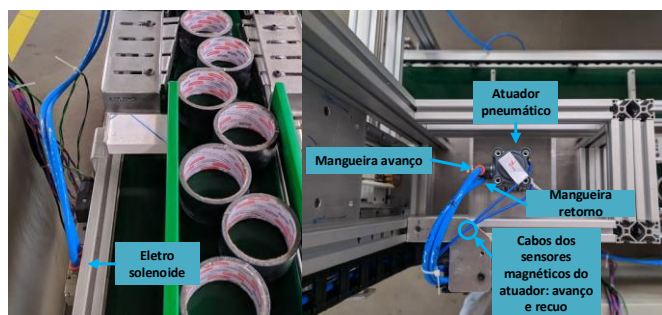


Figura 10– Instalação de circuito pneumático

Após todo processo de implementação é possível obter todo o sistema elétrico estruturado na embaladora Guzzeti, conforme ilustra a figura 11.



Figura 11– Embaladora Guzzeti montada.

4. RESULTADOS

Para ressaltar a relevância do impacto dos resultados do maquinário da embaladora Guzzeti é necessário compreender a operação manual para o empacotamento de fitas utilizada antes da instalação da solução. O operador possuía uma pilha de caixa na sua estação de trabalho e uma rampa na saída da máquina Guzzeti, então o operador alocava as fitas nas caixas de papelão padrão. Após completar a caixa, ele deslocava para sua esquerda para o processo de fechamento e então recomençava o ciclo de empacotamento, conforme ilustrado na figura 12.



Figura 12 – Operação manual do empacotamento de fitas adesivas

Após a implementação do sistema elétrico e a integração com sistema mecânico, foram feitos ajustes técnicos para calibrar as posições dos servos motores e a validação de todas as rotinas do sistema. Além de testes de confiabilidade, visando validar o sistema em eventuais sinistros para atestar a robustez do programa do CLP, como cenários de operação errada e interrupção de energia elétrica durante as principais rotinas de *pick-up* de fitas.

Contudo, após a máquina está apta em todas os testes, foi possível obter o funcionamento desejado da embaladora, permitindo empacotar as fitas de forma automática, conforme

a arquitetura da figura 3. Todas as principais rotinas da embaladora Guzzetti podem ser visualizadas na figura 13.

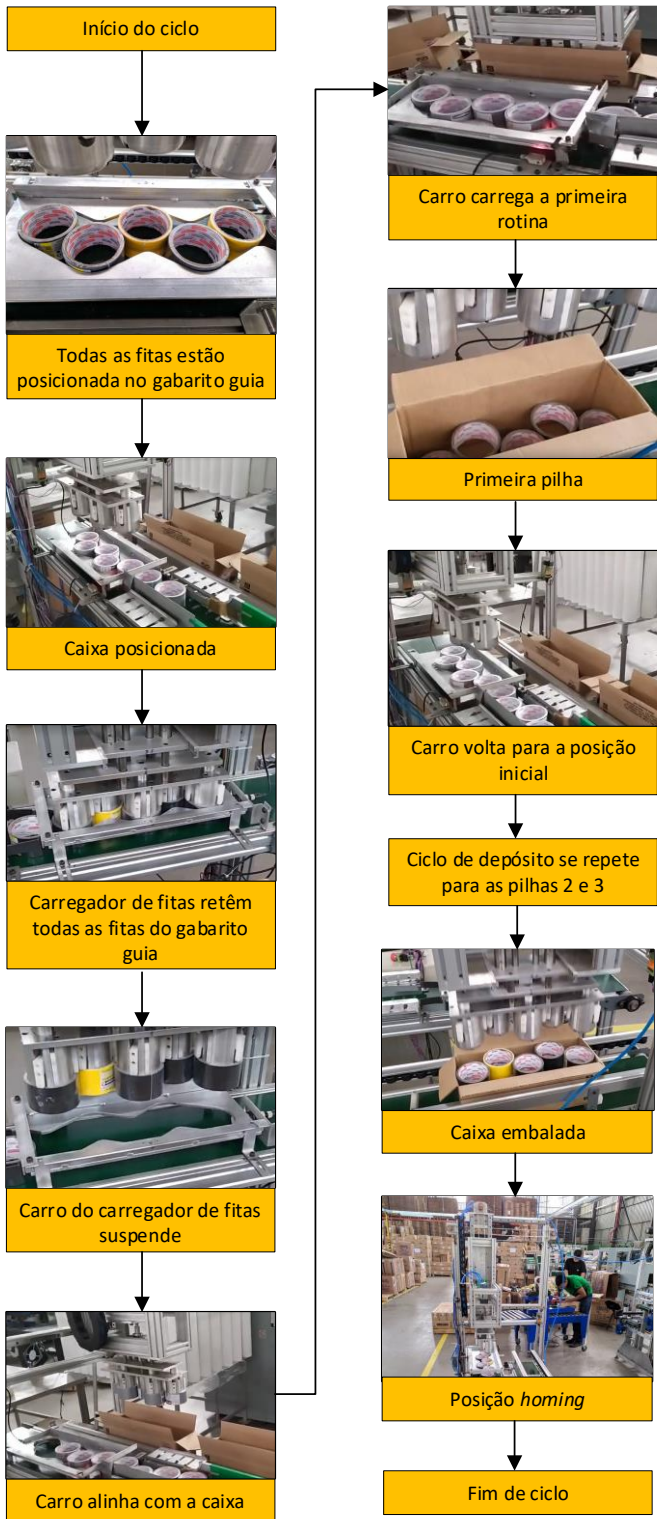


Figura 13 – Principais rotinas da embaladora Guzzetti.

Entretendo, ainda é necessária uma atividade manual, que consiste em montar a caixa e posicionar-la na esteira, conforme a figura 14.



Figura 14 – Operação de montagem e depósito das caixas

Outro resultado avaliado foram os dados de produção relacionado a quantidade de ciclo realizado no turno de trabalho e o intervalo entre os ciclos da operação manual de empacotamento de fitas da figura 10 para a operação de depósito da caixa da figura 12, segundo a tabela 5.

Tabela 5. Número e intervalo de ciclo de operação

Tipo de operação	Número de ciclos p/ dia	Intervalo entre ciclos (s)
Operação manual de depósito de fitas	10800	0
Operação manual de abrir a caixa	720	14

O tempo de ciclo relacionando a operação manual com a operação automática da embaladora Guzzetti foi outro dado de produção analisado, como pode ser visto na tabela 6.

Tabela 6. Tempo de ciclo

Tempo de ciclo com operação manual (s)	19
Tempo de ciclo com a Embaladora Guzzetti (s)	23

Observa-se que a implementação da embaladora Guzzetti automatizou o posto de embalagem de fitas, de forma que a operação manual de empacotamento de fitas foi substituída por um maquinário apto para transportar três pilhas de fitas, de forma sequencial, para caixas de papelão padrão disposta em uma esteira paralela. Conforme ilustrado, ainda há necessidade de um operador para realizar a atividade de montagem da caixa e deposito na esteira, porém essa atividade possui uma frequência 93% menor que a operação manual de empacotamento de fitas e o intervalo entre os ciclos passou de nulo para 14s, resultando em duas melhorias.

A primeira melhoria consiste em uma otimização na ergonomia da atividade de embalagem, visto que há menos repetições durante o turno de trabalho. A segunda melhoria foi observada no intervalo entre ciclos, pois durante esse intervalo é possível o colaborador operar a máquina Guzzetti. Dessa forma, anteriormente necessitava de dois operadores, um para operar a máquina Guzzetti (figura 2) e outro para empacotar as

fitas manualmente. Com o advento da embaladora Guzzetti apenas um operador consegue realizar as duas atividades, tornando a manufatura mais enxuta.

Entretanto, apesar das melhorias, houve um aumento no tempo de ciclo com advento da automação do posto, conforme a tabela 6. Isso se deve ao aumento do tempo das rotinas dos servos motores, visando a precisão do movimento e a manutenção da qualidade das fitas. Porém, esse fato não se mostrou prejudicial para a empresa, visto que o posto de embalagem possui o tempo de ciclo menor que os outros postos do processo e bem abaixo *takt time*. Sendo assim, havia margem para aumento do tempo de ciclo.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos no desenvolvimento desse trabalho, foi possível desenvolver e implementar o sistema elétrico de um maquinário que possibilite a embalagem de fitas adesivas de forma automatizada. A solução denominada Embaladora Guzzetti estava funcional para deslocar as fitas de fim de produção em caixas de papelão padrão de forma autônoma. Após a implementação e todos os testes de validação e ajustes necessários, a máquina estava apta para trabalhar em alto volume de produção e substituir a operação manual de forma gradual. Com a máquina embaladora Guzzetti foi possível deixar a produção mais eficiente e melhorar a qualidade de trabalho do operador do posto de embalagem.

AGRADECIMENTOS

A todos os autores que auxiliaram no desenvolvimento da solução. À empresa do segmento de fitas pela confiança, parceria e disponibilidade. Ao instituto HUB: Tecnologia e Inovação pelo suporte e o ambiente propício para o desenvolvimento de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia.

REFERÊNCIAS

Hedelind, M., Jackson, M. (2011). "How to improve the use of industrial robots in lean manufacturing systems". *Journal of Manufacturing Technology*.

Schwarzstein, F. V. D. A. (2014). Fatores críticos de sucesso na implementação e gerenciamento do pensamento enxuto: um estudo na manufatura de fitas acrílicas.

Regulamentadora, Norma. "NR 17. Ergonomia." *Segurança e medicina do trabalho* 70 (1990): 321-334.

QElectroTech. (2019). <https://www.qelectrotech.org/>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.

ISPSoft V3.09. (2019). "PLC programming software". Delta Services and Support.

DELTA. (2014). "ASDA-Soft User Manual". Delta Electronics.

Freire, M. (2020, maio 30). Balanceamento de tempo em linha de montagem de máquinas pesadas. *Revista Pesquisa E Ação*, 6(1), 38-49.