

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA**

IGOR PEREIRA

**INTEGRAÇÃO DE UM MÓDULO DE MOVIMENTAÇÃO LINEAR E
SISTEMA DE VISÃO NO CONTEXTO DE UMA BANCADA DE
INSPEÇÃO**

Florianópolis, Dezembro 2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

IGOR PEREIRA

**INTEGRAÇÃO DE UM MÓDULO DE MOVIMENTAÇÃO LINEAR E
SISTEMA DE VISÃO NO CONTEXTO DE UMA BANCADA DE
INSPEÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia de Mecatrônica do campus Florianópolis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: Aurélio da Costa Sabino Netto

Florianópolis, Dezembro 2018

Igor Pereira

INTEGRAÇÃO DE UM MÓDULO DE MOVIMENTAÇÃO LINEAR E SISTEMA DE VISÃO NO CONTEXTO DE UMA BANCADA DE INSPEÇÃO/ Igor Pereira. – Florianópolis, Dezembro 2018-

72 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Aurélio da Costa Sabino Netto

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC
Campus Florianópolis
Engenharia Mecatrônica, Dezembro 2018.

1. Bancada de inspeção. 2. CLP. 3. Sistema de visão. 4. Movimentação linear. 5. Integração. I. Aurélio da Costa Sabino Netto. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Campus Florianópolis.

IGOR PEREIRA

INTEGRAÇÃO DE UM MÓDULO DE MOVIMENTAÇÃO LINEAR E SISTEMA DE VISÃO NO CONTEXTO DE UMA BANCADA DE INSPEÇÃO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Florianópolis, Dezembro de 2018:

Aurélio da Costa Sabino Netto

Orientador

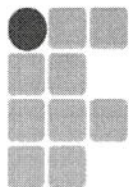
Instituto Federal de Santa Catarina

Maurício Edgar Stivanello

Instituto Federal de Santa Catarina

Francisco Rafael Moreira da Mota

Instituto Federal de Santa Catarina



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **IGOR PEREIRA**, matrícula nº **32004281-3**, do Curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **INTEGRAÇÃO DE UM MÓDULO DE MOVIMENTAÇÃO LINEAR E SISTEMA DE VISÃO NO CONTEXTO DE UMA BANCADA DE INSPEÇÃO**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Florianópolis, 12 de dezembro de 2018.

Prof. Orientador do TCC: Aurélio da Costa Sabino Netto

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família pelo apoio em toda minha caminhada, com muito amor e carinho.

Aos meus amigos e colegas de curso, pois sem eles o caminho seria muito mais árduo e desgastante. Agradeço aos meus companheiros de projeto integrador pelos semestres de sofrimento e diversão.

À empresa Litma Tecnologia, por me oferecer a oportunidade e disponibilizar os recursos necessários para a execução do trabalho.

Ao meu orientador Aurélio, pelos ensinamentos não somente neste trabalho, mas também no decorrer do curso.

‘A jornada de mil quilômetros começa com o primeiro passo’

RESUMO

Na área de controle de qualidade de produtos da indústria, as inspeções automatizadas cresceram muito a partir da difusão da visão computacional, onde técnicas de processamento e análise de imagens são utilizadas para fazer a inspeção de qualidade do produto a partir de sistemas que fazem o reconhecimento de padrões. A proposta trata da integração de um módulo de movimentação linear com um sistema de câmeras de visão computacional no contexto de uma bancada de inspeção de peças do setor automotivo. Foi feita a seleção do tipo de movimentação linear adequado para o sistema utilizando alguns requisitos do sistema de visão como velocidade de movimentação e precisão de posicionamento. Um CLP foi utilizado para fazer a integração entre o módulo de movimentação com o sistema de visão computacional, além de comandar todas as lógicas de inspeção do sistema. Ao fim do projeto também foi avaliado a viabilidade técnica e econômica da implementação do sistema de movimentação no contexto de uma bancada de inspeção. A integração entre os dispositivos apresentou resultados positivos e a configuração do sistema proposto no trabalho atendeu as expectativas, bem como se mostrou uma alternativa para reduzir os custos de uma bancada de inspeção por visão computacional de peças que demandam mais de uma câmera.

Palavras-chave: Bancada de inspeção. CLP. Visão computacional. Movimentação linear. Integração.

ABSTRACT

In the area of product quality control in the industry, automated inspections have grown greatly from the diffusion of computer vision, where image processing and analysis techniques are used to perform product quality inspection from recognition systems of standards. The proposal deals with the integration of a linear drive module with a computer vision camera system in the context of an automotive parts inspection stand. It was made the selection of the type of linear movement a suitable for the system using some requirements of the system of vision as speed of movement and positioning precision. A PLC was used to integrate the movement module with the computer vision system, and commanded all system inspection logics. At the end of the project, the technical and economic viability of the implementation of the movement system in the context of an inspection bench was also evaluated. The integration between the devices presented positive results and the configuration of the system proposed in the work met the expectations, as well as being an alternative to reduce the costs of a bench of inspection by computer vision of parts that require more than one camera.

Keywords: Inspection bench. PLC. Computer vision. Linear drive. Integration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de inspeção por visão computacional	19
Figura 2 – Componentes pertencentes ao sistema de visão	20
Figura 3 – Exemplo de um controlador lógico programável (CLP)	21
Figura 4 – Exemplo de lógica de programação Ladder no software TIA PORTAL	22
Figura 5 – Exemplo de aplicação de redes industriais	23
Figura 6 – Exemplos comunicação Modbus com dispositivos	24
Figura 7 – Sistema de comunicação PROFINET	25
Figura 8 – Transmissão de movimento por parafuso de potência	26
Figura 9 – Transmissão de movimento por pinhão-cremalheira	27
Figura 10 – Transmissão de movimento por correia e polia	27
Figura 11 – Motor de Passo unipolar	29
Figura 12 – Motor de Passo bipolar	29
Figura 13 – Gráfico da relação de torque e velocidade do motor de passo	30
Figura 14 – Controle de um motor de passo	30
Figura 15 – Encoder acoplado ao motor de passo	31
Figura 16 – Fluxo das atividades do trabalho	32
Figura 17 – CPU Siemens 1212C DC/DC/DC	38
Figura 18 – Comunicação entre os dispositivos no software TIA Portal	39
Figura 19 – Blocos de dados utilizados nas lógicas do software	39
Figura 20 – Controlador de câmeras XG-7000	40
Figura 21 – Sistema mecânico Festo ELGC-TB KF	41
Figura 22 – Motor Festo EMMS-ST-57-M	42
Figura 23 – Gráfico de torque por frequência do motor	46
Figura 24 – Desenho do projeto do módulo mecânico de movimentação	46
Figura 25 – Controlador Festo CMMO-ST-LKP	47
Figura 26 – Seleção de dispositivos do software FCT	48
Figura 27 – Interface de configuração e parametrização	48
Figura 28 – Comunicação entre os dispositivos	49
Figura 29 – Troca de sinais entre os componentes do sistema	50

Figura 30 – Blocos de comunicação Modbus (a) e de controle (b)	51
Figura 31 – Envio de comandos de posicionamento para o sistema de movimentação	54
Figura 32 – Comando de trigger para o sistema de visão	55
Figura 33 – Sistema acoplado à uma bancada.	56
Figura 34 – Sistema de movimentação fixado na estrutura da bancada	61
Figura 35 – Imagens da bancada de inspeção com o sistema proposto do no trabalho	61
Figura 36 – Imagens da bancada de inspeção com o sistema proposto do no trabalho	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos de seleção do CLP	35
Tabela 2 – Requisitos de seleção do sistema de movimentação linear	37
Tabela 3 – Valores de momento de inércia do sistema de movimentação (kg.m ²)	45
Tabela 4 – Sinais de entrada	52
Tabela 5 – Sinais de saída	53
Tabela 6 – Intervalos de tempo medidos para as configurações de sistema . .	57
Tabela 7 – Apresentação dos custos das configurações do sistema de visão . .	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP Controlador Lógico Programável

m Metros

mm Milímetros

s Segundos

V Volts

kg Kilograma

rad Radiano

rpm Rotações por Minuto

TCP Transmission Control Protocol

FCT Festo Configuration Tool

TIA Totally Integrated Automation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivos Gerais	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Inspeção de qualidade na indústria	18
2.2	Inspeção de qualidade por sistema de visão computacional	18
2.3	Controlador Lógico Programável	20
2.3.1	Linguagem de programação Ladder	21
2.4	Redes Industriais	22
2.4.1	Modbus	23
2.4.2	PROFINET	24
2.5	Sistemas de transmissão de movimento	25
2.5.1	Parafuso de potência	26
2.5.2	Mecanismo pinhão-cremalheira	26
2.5.3	Correia e polia	27
2.6	Motores	28
2.6.1	Motor de Passo	28
2.6.1.1	Motor de Passo Unipolar	28
2.6.1.2	Motor de Passo Bipolar	28
2.6.1.3	Relação de torque e velocidade do motor de passo	29
2.6.2	Motor de passo com realimentação para correção de posicionamento	30
2.6.3	Servo Motores de corrente contínua	31
3	DESENVOLVIMENTO	32
3.1	Metodologia	32
3.2	Requisitos de seleção dos componentes	34

3.2.1	Requisitos de seleção do controlador lógico programável	34
3.2.2	Requisitos de seleção do hardware de sistema de visão	35
3.2.3	Requisitos de seleção do sistema de movimentação linear	36
3.3	Seleção dos componentes	37
3.3.1	Seleção do controlador lógico programável	37
3.3.2	Seleção do hardware de sistema de visão	40
3.3.3	Seleção do sistema de movimentação linear	40
3.3.3.1	Seleção do conjunto mecânico	41
3.3.3.2	Seleção do motor	41
3.3.4	Dimensionamento do acionamento do sistema mecânico	42
3.3.5	Definição da mecânica do sistema de movimentação	45
3.3.6	Seleção do controlador do motor	45
3.4	Comunicação entre os componentes da bancada de inspeção .	48
3.4.1	Troca de informações entre os componentes da bancada com o CLP	49
3.5	Planejamento do programa	52
3.5.1	Fluxo do programa	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	Incorporação do módulo de movimentação na bancada de inspeção	56
4.2	Análise do tempo de ciclo da solução proposta	57
4.3	Análise de custos	58
4.3.1	Comparação entre as configurações A e B	59
4.3.2	Comparação entre as configurações A e C	60
4.4	Utilização do sistema desenvolvido em uma bancada de inspeção	60
5	CONCLUSÃO	63
6	TRABALHOS FUTUROS	64
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXOS	67
	ANEXO A – FOLHA DE DADOS CPU SIEMENS 1212C DC/DC/DC	68

ANEXO B – FOLHA DE DADOS FESTO ELGC-TB-KF	70
ANEXO C – FOLHA DE DADOS FESTO EMMS-ST	72

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, o sistema de produção de bens de consumo passou por severas mudanças, desde o processo manual ou artesanal até a manufatura seriada permitida pela indústria na qual os operadores vêm sendo substituídos pelas máquinas principalmente em processos que exigem mais velocidade e exatidão. O crescimento industrial procura encontrar soluções para diminuir o tempo de produção e aumentar os lucros. Nesta vertente, a automação dos processos é aplicada para aumentar e uniformizar a produção, buscando sempre a melhor qualidade final dos produtos. A vigilância da qualidade dos produtos pode ser realizada de diversas maneiras, uma delas é a instalação de bancadas de inspeção ao final das linhas de produção no intuito de detectar possíveis imprecisões em peças para corrigir problemas de produção. A inspeção de qualidade feita pelo operador é muito utilizada nas fábricas no mundo, porém não é a solução ideal pela suscetibilidade de erros no julgamento do ser humano, neste contexto a inspeção de produtos, e o controle de qualidade podem ser realizados a partir de técnicas de processamento e análise de imagens (PEDRINI, 2008).

A automatização dos processos requer uma integração uniforme entre as diversas estações de um sistema de manufatura, por isso em uma aplicação de automação fabril, diversos controladores lógico programáveis CLP e controladores de movimento programáveis podem ser utilizados para controlar todo o processo (CENTINKUNT, 2008). Os CLPs permitem a implementação de lógicas flexíveis, independente da complexidade dos eventos da sequência de manufatura, além de possibilitarem uma integração com sistemas externos através de trocas de informações permitidas pelas redes industriais. As redes industriais são constituídos por um arranjo topológico, interligando os vários módulos processadores através de enlaces físicos (meios de transmissão) e de um conjunto de regras com a finalidade de organizar a comunicação (protocolos), a grande maioria dos exemplos de aplicações destas tecnologias está destacado a integração de vários sistemas, projetados de forma a executar a função que se destina, permitindo a intercambiabilidade e a interoperabilidade destes sistemas. (ALBUQUERQUE, 2009).

O custo das câmeras e sensores de visão é um empecilho para implementar tal tecnologia nas bancadas de inspeção da indústria, por isso existem técnicas para diminuir a quantidade de componentes do sistema. Uma das técnicas para diminuir o custo da bancada é implementar a movimentação das câmeras e sensores para cobrir uma área maior, além de possibilitar a inspeção de peças maiores. O deslocamento do sistema de visão se torna possível através da implementação de um módulo de movimentação composto por sistemas de movimentação mecânica que podem ser feitos de diferentes formas e normalmente transformam o movimento oriundo de um motor. O mecanismo de movimentação deve ser selecionado e controlado para a os requisitos da sua aplicação e transmitir o movimento gerado. (CENTINKUNT, 2008).

O uso de câmeras móveis pode trazer flexibilidade para o sistema de visão, visto que é possível configurar a quantidade de fotos que serão inspecionadas, e aumentar as resolução das mesmas para assegurar a precisão e confiabilidades dos testes de visão computacional.

1.1 Justificativa

Uma das barreiras da implementação de visão computacional nas bancadas de inspeção industrial é o custo que estes equipamentos apresentam, por isto, este trabalho busca adicionar uma movimentação do sistema para diminuir a quantidade de câmeras e sensores do sistema. A movimentação do sistema pode ser selecionado de diferentes formas, os sistemas mecânicos dispõem de diferentes configurações para trasmitir o movimento gerado por motores e atuadores.

O trabalho procura integrar os sistemas, comunicando-os de forma sincronizada, com o intuito de tornar a bancada de inspeção por sistema de visão mais competitiva tecnologicamente e economicamente.

1.2 Objetivos

Os objetivos gerais abordados por este trabalho são anunciados nesta divisão, assim como os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivos Gerais

Integrar um módulo de movimentação linear com um sistema de visão computacional utilizando um controlador lógico programável para ampliar flexibilidade e diminuir os custos de uma bancada de inspeção.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Selecionar um módulo de movimentação linear baseado nos requisitos do sistema de visão computacional;
- b) Realizar comunicação dos componentes da bancada de inspeção com o CLP;
- c) Estabelecer programação do CLP para a integração dos componentes, com sensores e atuadores da bancada de inspeção;
- d) Validar o sistema desenvolvido através de um estudo de caso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Inspeção de qualidade na indústria

Com o crescimento do setor industrial a demanda de qualidade nos produtos produzidos vem crescendo muito, seguindo esta vertente, as organizações necessitam de algum tipo de estratégia para competir no mercado (GAITHER; FRAZIER, 2002). Uma das estratégias consiste na implementação de métodos de inspeção após a produção das mercadorias para garantir a qualidade dos produtos em todas as etapas do processo, além de evitar a quantidade de retrabalhos e otimizar os orçamentos de controle de qualidade.

Embora a automação de processos industriais venha crescendo, o tipo de inspeção mais utilizado nas linhas de produção ainda é a feito por operadores humanos. Entretanto, este método pode se demonstrar falho por se tratar de um processo repetitivo onde o ser humano está sujeito à erros por diversos motivos como cansaço, perda de atenção e falta de qualificação para fazer certa verificação.

2.2 Inspeção de qualidade por sistema de visão computacional

Para evitar erros causados por reações muitas vezes naturais do ser humano, muitas empresas estão investindo em sistemas de inspeção feitos por câmeras, também chamados visão computacional. Os sistemas de visão computacional são disponíveis em diversas configurações e aplicáveis em diferentes situações industriais (Figura 1), estes sistemas têm como principal objetivo auxiliar e, em alguns casos, substituir a visão humana no ambiente industrial (STIVANELLO, 2004).

Sistemas de visão possibilitam realizar inspeções não antes possíveis com precisões relevantes, ou medições em lugares insalubres nos quais o operador humano não poderia estar presente. Segundo Pedrini (2008), algumas das aplicações destes

sistemas são a verificação de falhas em circuitos impressos, separação de peças por robôs em linhas de montagem e classificação de defeitos em processos de soldagem.

Figura 1 – Exemplo de inspeção por visão computacional



Fonte: Adaptado de Sippel e Traxler (2004)

Para assegurar a precisão e confiabilidade da análise das imagens, existem alguns componentes básicos e fundamentais para os sistemas de visão em geral (FELIZARDO, 2018). Stivanello (2004) aponta alguns componentes relevantes para o processo de inspeção por visão computacional.

1. Câmeras e lentes, para fazer a aquisição e adequação das imagens;
2. Iluminação, para realçar os componentes à serem inspecionados;
3. Processador de imagens;
4. Software de processamento de imagens
5. Dispositivos para a integração com partes mecânicas e sistemas externos;

A Figura 2 ilustra a estrutura dos componentes integrantes de um sistema de visão básico, além de apontar o fluxo de atividades para tornar possível um processo de inspeção de qualidade.

A visão computacional requer integração de uma série de tecnologias diferentes em uma única solução, permitindo grande flexibilidade no desenvolvimento

Figura 2 – Componentes pertencentes ao sistema de visão



Fonte: Adaptado de Deschamps (2004).

das soluções, além de utilizar ciências distintas para desenvolvê-las (STEMMER et al., 2005).

2.3 Controlador Lógico Programável

Para fazer a integração entre os componentes que compõem uma bancada de inspeção, é preciso adicionar um ponto central onde as informações provenientes de cada módulo do sistema possa ser interpretada e incorporada em lógicas para o funcionamento da máquina.

Os CLPs (Figura 3) foram desenvolvidos para integrar arranjos de entradas e saídas com robustez para aguentar temperaturas adversas, além de choques mecânicos e ruídos elétricos. A reunião destas características faz com que o CLP seja hoje, a alternativa mais utilizada para controlar processos industriais (PETRUZELLA, 2013).

O primeiro CLP foi criado em 1968 na divisão de hidramáticos da General Motors. A criação veio como evolução aos antigos painéis elétricos, cuja lógica fixa tornava impraticável qualquer mudança extra do processo (SILVA, 2004). Esta invenção revolucionou o ambiente industrial devido a uniformização e simplicidade que os CLPs proporcionaram aos processos de uma fábrica substituindo painéis de relés baseados em lógica fixa. Segundo Centinkunt (2008), a tendência atual é a utilização de redes

em larga escala entre os CLP da fábrica e os níveis empresariais, que podem estar fisicamente distribuídos pelo mundo.

Figura 3 – Exemplo de um controlador lógico programável (CLP)



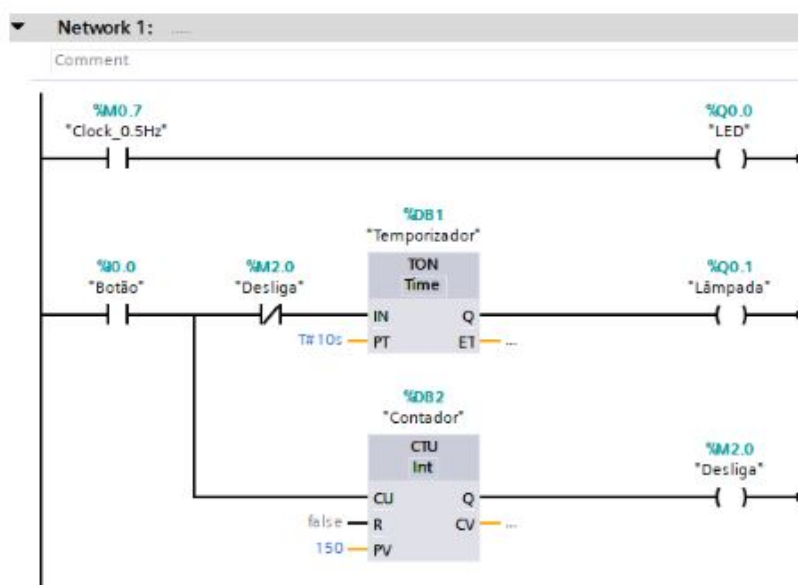
Fonte: Adaptado de Siemens.

2.3.1 Linguagem de programação Ladder

A linguagem Ladder, ou diagrama de contatos, é a mais comum utilizada em um CLP. A linguagem, de forma gráfica, foi uma das primeiras a surgir, pois se assemelhava muito aos diagramas elétricos, facilitando assim o entendimento dos técnicos e engenheiros da época. (SILVA, 2004)

Os diagramas em Ladder (Figura 4) utilizam lógicas com contatos e bobinas, e são compostas por circuitos horizontais. As lógicas de programação são muito flexíveis e contam com alguns blocos de operação lógica como contadores e temporizadores que tornam a linguagem Ladder uma linguagem largamente utilizada para programação de máquinas.

Figura 4 – Exemplo de lógica de programação Ladder no software TIA PORTAL



Fonte: Próprio autor.

2.4 Redes Industriais

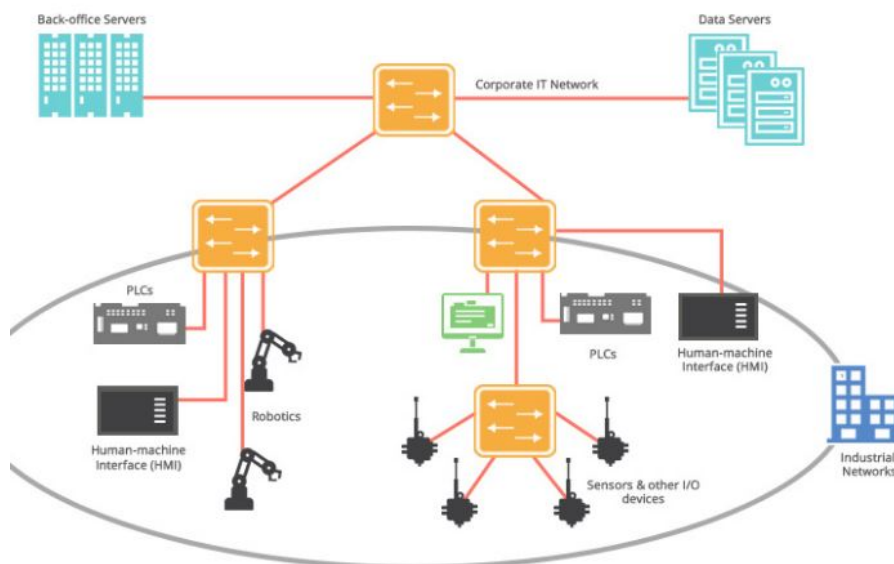
Algumas soluções em sistemas de automação industrial utilizam diferentes dispositivos que precisam se comunicar para garantir o êxito do processo. Os componentes deste processo precisam ser integrados de uma forma que não haja perda de informação, por isso foi importante a criação de padrões de comunicação e conexão entre dispositivos industriais no contexto de uma aplicação integrada. (NOGUEIRA, 2009)

As redes industriais surgiram da necessidade de estabelecer a comunicação entre componentes industriais e CLPs. A possibilidade de troca de informação impulsionou o desenvolvimento de diferentes redes industriais, além da redução de cabos para otimizar o espaço físico das fábricas. (AZEVEDO; SOUZA, 2014)

De acordo com Albuquerque (2009), a grande maioria dos exemplos de aplicações destas tecnologias está destacado na integração de vários sistemas, projetados de forma a executar a função que se destina, permitindo a intercambiabilidade, interoperabilidade e a expansividade destes sistemas. Os sistemas de comunicação das redes industriais, (Figura 5), são constituídos por diferentes módulos, partindo dos enlaces físicos (meios de transmissão), até o conjunto de regras para organizar e estabelecer

comunicação (protocolos).

Figura 5 – Exemplo de aplicação de redes industriais



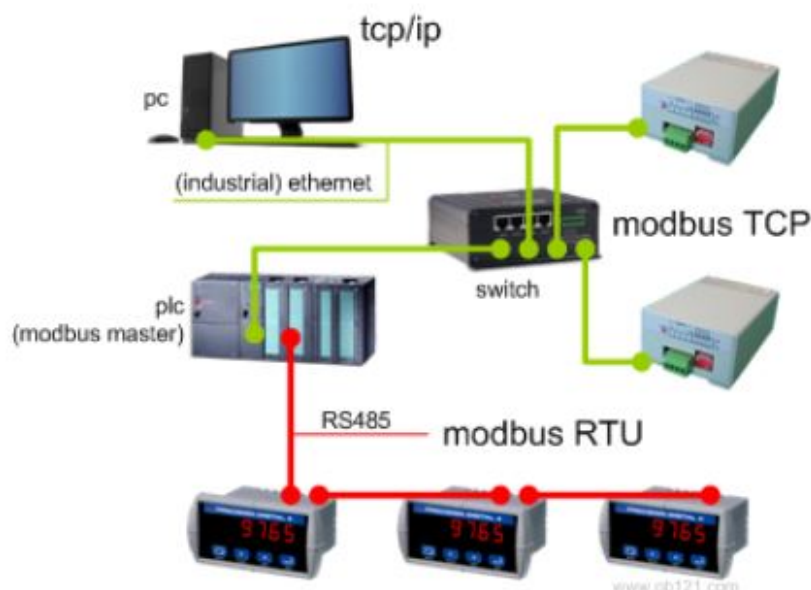
Fonte: Adaptado de Veryx Tech.

Existem diferentes tipos de comunicação entre os dispositivos e controladores, estes tipo de comunicação são determinados pelo tipo de aplicação, velocidade de transmissão e fabricante do dispositivo. Estes tipos de comunicação são chamados de protocolos e fica assim definido como o conjunto de convenções e procedimentos que regulamentam a transmissão de dados entre diferentes equipamentos. (ALBUQUERQUE, 2009)

2.4.1 Modbus

O protocolo Modbus é uma estrutura de mensagem aberta desenvolvida pela Modicon na década de 70. Utilizado para comunicação entre dispositivos, o Modbus (Figura 6) é um dos protocolos mais utilizados em automação industrial. Dada à sua simplicidade e facilidade de implementação, pode ser utilizado em diferentes meios físicos de comunicação, tal como, Ethernet ou RS-232. De acordo com Teixeira (2009), o funcionamento do Modbus baseia-se numa arquitetura mestre-escravo, em que o mestre envia um código de uma função e os dados necessários para a execução da mesma e recebe uma resposta da parte do escravo.

Figura 6 – Exemplos comunicação Modbus com dispositivos



Fonte: Adaptado de Mesta Automation.

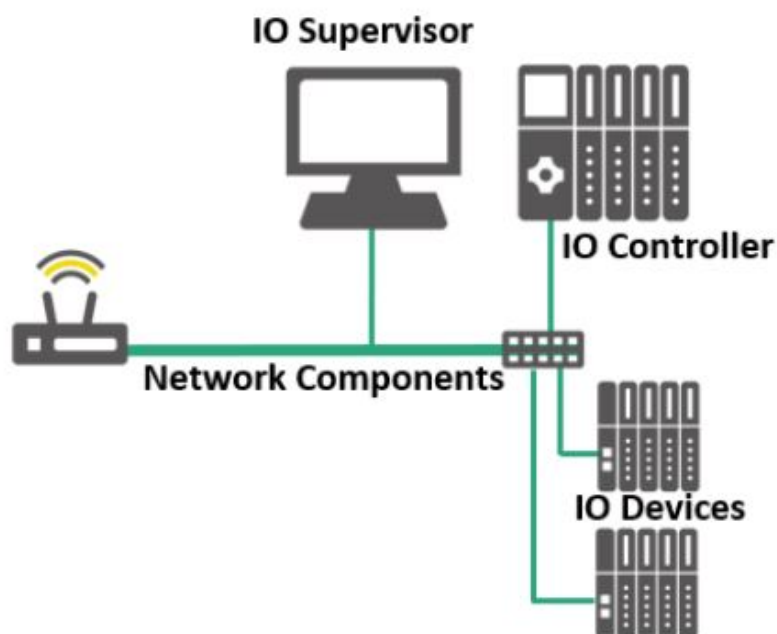
2.4.2 PROFINET

O PROFINET é um protocolo baseado em Ethernet para conectar dispositivos de processo a sensores, atuadores e similares. Ele utiliza o TCP / IP e padrões de TI com transmissão de dados em tempo real. A rede PROFINET (Figura 7) é dividida em partes, sendo uma delas a parte central do processo. Kleines et al. (2008) e Fernandes (2015), apontam as partes fundamentais do sistema de comunicação PROFINET:

1. IO-Controller: Representa a estação central, responsável por gerenciar e controlar todo o processo de transferência de dados. Além disso, o IO-Controller é o dispositivo que realiza toda configuração e parametrização associada aos dispositivos de campo. Ex.: Controlador Lógico Programável;
2. IO-Device: Representa o dispositivo de campo, semelhante a uma unidade de entrada. Os dispositivos de campo trocam informações ciclicamente com IO-Controller, recebendo-as e enviando posteriormente os dados de saída do processo. É sua responsabilidade também providenciar diagnósticos e alarmes para o IO-Controller. Ex.: Sensores, atuadores, módulos de entrada e saída;
3. IO-Supervisor: Representa a estação de engenharia. Sua função é programar,

configurar e realizar diagnósticos em toda rede. Ex.: Ferramenta de programação do CLP ;

Figura 7 – Sistema de comunicação PROFINET



Fonte: Adaptado de PI North America.

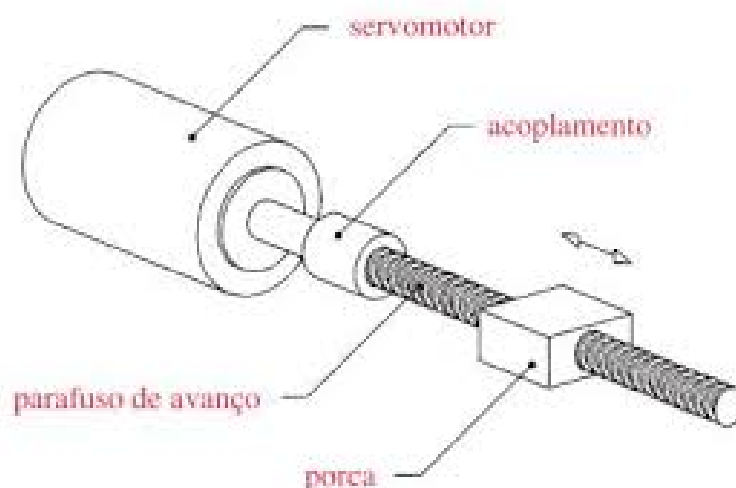
2.5 Sistemas de transmissão de movimento

Segundo Centinkunt (2008), os sistemas mecânicos controlados por computador que envolvem movimento são construídos em torno da estrutura básica de um mecanismo que é utilizado para transmitir o movimento gerado pelos atuadores para a ferramenta desejada. A transformação ou transmissão de movimento entre componentes de um sistema com um motor é realizada por elementos comumente chamados de transmissores mecânicos. Existem diversos tipos de elementos de transmissão que transformam o movimento rotativo gerado por um eixo de entrada (motor), para um movimento de translação, também chamado de movimento linear.

2.5.1 Parafuso de potência

O mecanismo parafuso de potência ou avanço é um método de transformar movimento angular em linear. Este tipo de transmissão é utilizada em aplicações que demandam precisão e torque elevados, por isso são muito utilizados em máquinas operatrizes. Este tipo de transmissão de movimento (Figura 8) possibilita o uso de diferentes tipos de fuso, selecionados pela aplicação e custo. Os parafusos de potência são utilizados juntamente com porcas ou castanhas que transmitem o movimento para a aplicação. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)

Figura 8 – Transmissão de movimento por parafuso de potência



Fonte: Adaptado de Norton (2004).

2.5.2 Mecanismo pinhão-cremalheira

O mecanismo pinhão cremalheira transforma o movimento angular em linear através da transmissão de movimento em que uma engrenagem (pinhão) aplica por atrito no componente de translação (cremalheira). O pinhão refere-se à menor roda dentada pertencente a um par de engrenagens enquanto a cremalheira representa uma engrenagem reta. (NORTON, 2004)

Este mecanismo (Figura 9) é aplicado em soluções que não demandam muita precisão de movimento, além de garantir um torque elevado.

Figura 9 – Transmissão de movimento por pinhão-cremalheira



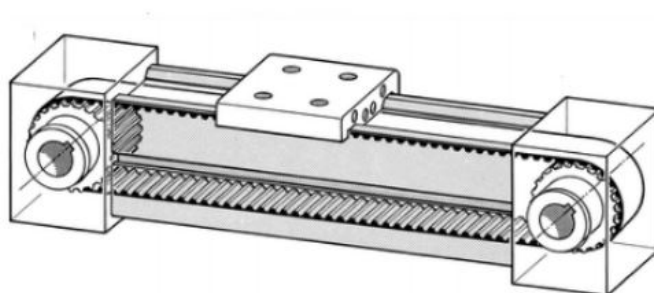
Fonte: Adaptado de Norton (2004).

2.5.3 Correia e polia

Os mecanismos de correia e polia são muito flexíveis e podem ser utilizados tanto em transmissões de rotação para rotação quanto para mecanismos de conversão de movimento de rotação para movimento linear (CENTINKUNT, 2008).

A transmissão de movimento por polia (Figura 10) e correia é muito utilizada, pois apresenta uma alta eficiência e custos relativamente baixos, porém não é indicada para aplicações que demandam altos torques de operação.

Figura 10 – Transmissão de movimento por correia e polia



Fonte: Adaptado de Perneder Raimund ans Osborne (2012).

2.6 Motores

Os motores elétricos têm a função de converter energia elétrica em energia mecânica, esta energia mecânica é transmitida para o sistema através de movimento ângulo para ser transformado pelos transmissores de movimento.

2.6.1 Motor de Passo

Os motores de passo são dispositivos que convertem os pulsos elétricos em movimentação angular através de pequenos incrementos que são chamados de passos. A velocidade e sentido do movimento do motor é comandado pela energização dos solenóides internos, além de determinar o número de passos do motor para fazer uma revolução. (BRITES; SANTOS, 2008)

Este tipo de motor é muito utilizado em aplicações que necessitam de precisão de posicionamento, porém não é recomendado para operações que requerem torque ou altas velocidades. O motor de passo apresenta dois tipos de operação, unipolar e bipolar.

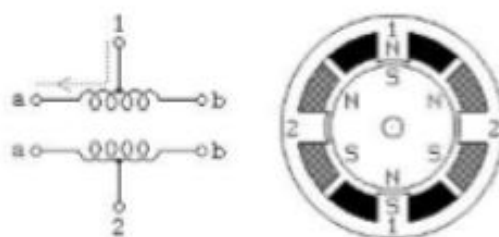
2.6.1.1 Motor de Passo Unipolar

Os motores de passo unipolares mais comuns possuem 2 bobinas com 6 fios. Cada bobina tem 2 fases (A e B), juntamente com uma derivação central (Figura 11). Ao aplicar tensão em umas das bobinas, o campo magnético induzido gera um movimento de rotação no eixo do motor até atingir um ponto de equilíbrio, a movimentação do motor acontece pela ordem de comutação das fases das bobinas. (QUEIROZ,)

2.6.1.2 Motor de Passo Bipolar

Motores de passo bipolares apresentam normalmente 4 fios, pois suas bobinas são disponibilizadas de forma separada (Figura 12). Este tipo de motor requer um controle mais complexo pois o circuito têm que ser capaz de inverter a polaridade de tensão, para isso são usados circuitos chamados “ponte H”.

Figura 11 – Motor de Passo unipolar



Fonte: Adaptado de Brites e Santos (2008).

Os motores de passo bipolares apresentam uma boa relação tamanho/torque. (QUEIROZ,)

Figura 12 – Motor de Passo bipolar



Fonte: Adaptado de Brites e Santos (2008).

2.6.1.3 Relação de torque e velocidade do motor de passo

Os motores de passo são máquinas de potência constante, o que significa que a sua velocidade é proporcional à sua potência multiplicada pelo inverso do torque. Na Figura 13 é possível observar que o torque sofre uma queda acentuada ao aumentar a velocidade de operação do motor de passo. (BORTOLAN, 2017)

Figura 13 – Gráfico da relação de torque e velocidade do motor de passo

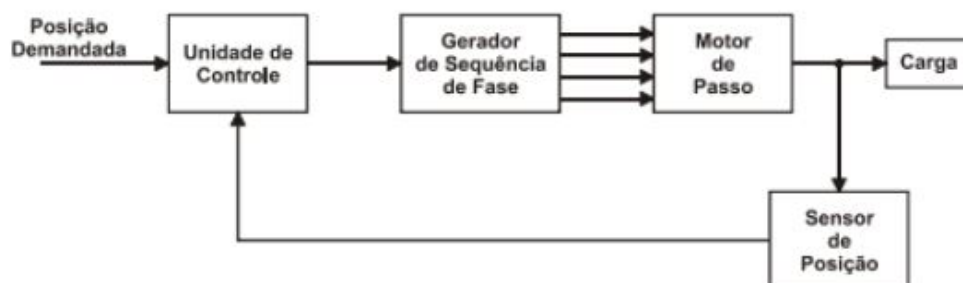


Fonte: Adaptado de Kalatec.

2.6.2 Motor de passo com realimentação para correção de posicionamento

O controle do posicionamento do motor de passo é feito através da realimentação das suas bobinas com o intuito de corrigir o posicionamento do eixo do seu rotor (CARDOZO, 2012). A correção de posicionamento do motor é o produto final de uma malha de controle, onde a unidade controladora recebe sinais da posição atual do motor provenientes de um sensor, para saber quando energizar cada fase do motor. O controle é feito para atender uma demanda de posicionamento. A figura 14 ilustra uma malha genérica de controle de um motor de passo.

Figura 14 – Controle de um motor de passo



Fonte: Adaptado de Cardozo (2012).

Para fazer a correção do posicionamento de um motor de passo é preciso incluir no sistema um sensor que sinaliza a posição do eixo do motor. O encoder é

um sensor frequentemente utilizado para tal aplicação, ele retorna pulsos que quando interpretados, quantificam as rotações do motor. A Figura 13 demonstra o acoplamento de um encoder em um motor de passo, normalmente ligado ao seu eixo.

Figura 15 – Encoder acoplado ao motor de passo



Fonte: Adaptado de RTA Control Systems.

2.6.3 Servo Motores de corrente contínua

O servo motor é um atuador rotativo utilizado em aplicações que demandam controle de movimento e posicionamento, além de apresentar a característica de torques constantes em grandes faixas de velocidade.

Os servo motores são utilizados em circuitos de malha fechada, onde são utilizados sensores para enviarem sinais para o controlador, que faz a realimentação do motor. Está realimentação é feita com o intuito de regular a velocidade do motor, além de possibilitar posicionamentos precisos.(INDRAMAT, 1997)

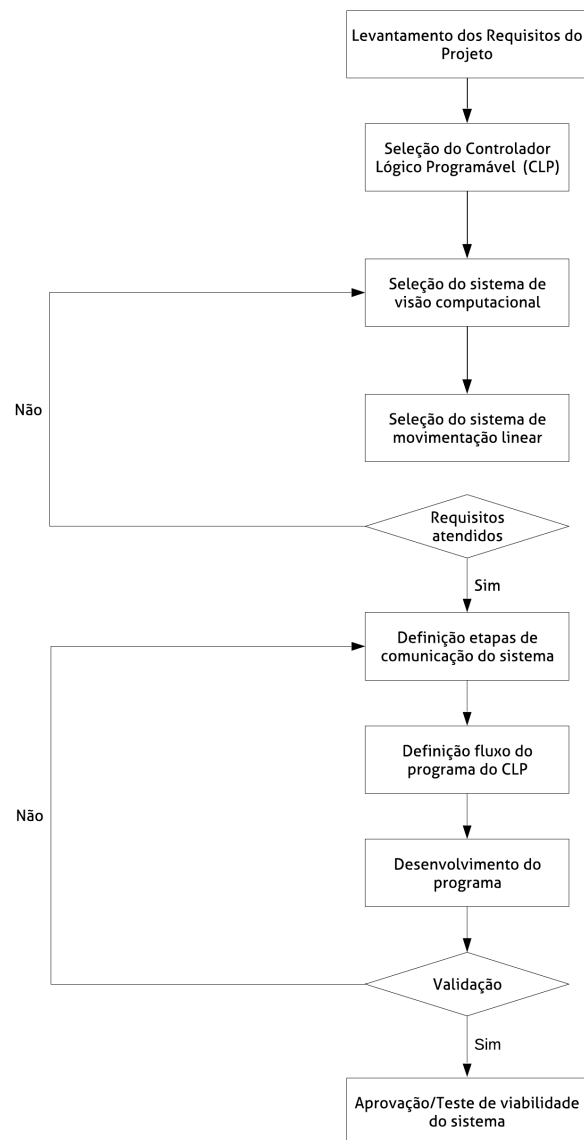
A utilização de um servo motor possibilita um controle de velocidade e posicionamento rigoroso, por isso são indicados para diversas aplicações e necessidades, porém este sistema não é recomendado para aplicações simples devido ao seu alto custo. Outro ponto fraco da aplicação de servomotor é a necessidade de empregar um controlador no sistema, para fechar a malha e ter confiabilidade nos valores de velocidade e posição.(TOMASCHITZ, 2013)

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

A Figura 16 apresenta a sequência metodológica adotada no trabalho.

Figura 16 – Fluxo das atividades do trabalho



Fonte: Próprio autor.

O fluxo de atividades do trabalho foi dividido em três partes: Seleção de componentes, integração e resultados. A etapa de início do projeto foi a definição dos requisitos técnicos para os componentes do sistema de inspeção, eles foram estipulados juntamente com a empresa Litma Tecnologia e levaram em consideração as diferentes aplicações, além das limitações financeiras e tecnológicas do projeto. Alguns requisitos foram levantados para aproveitar os recursos oferecidos pela empresa e utilizar itens testados e validados. Outros requisitos pertencem ao conjunto de condições para garantir o bom funcionamento de uma bancada de inspeção por sistema de visão. Outro atributo levado em consideração que limitou a seleção dos componentes foi a lista de fornecedores homologados pelos clientes da empresa.

A seleção dos componentes foi possibilitada após levantar os requisitos, e esta atividade definiu muitas diretrizes tomadas no projeto como o tipo de comunicação de cada componente com o controlador lógico programável e os blocos de dados que constituirão o programa que definirá o fluxo de atividades da bancada. Na etapa de seleção dos componentes do módulo de movimentação fez-se necessário cálculos de dimensionamento para comprovar a viabilidade de emprego dos componentes na aplicação desejada.

O estágio de integração iniciou-se estabelecendo algumas etapas e características da comunicação entre os elementos do projeto, os protocolos de comunicação de cada componente foram mapeadas, junto com suas variáveis de configuração e controle. Para iniciar esta fase foi preciso pesquisar a documentação disponibilizada pelos fabricantes de cada dispositivo. Esta etapa facilitou muito a continuidade do projeto, pois esquematizou algumas variáveis utilizadas no trabalho, além de detectar alguns eventuais possíveis problemas de incompatibilidade de comunicação entre dispositivos.

Antes de começar a programação do controlador lógico programável foi preciso definir um fluxo de informação do programa para definir a sequência de atividades realizadas no processo e configurar a interdependência entre os dispositivos controlados pelo CLP. Nesta etapa foram definidas as funções do projeto utilizadas, além dos blocos de variáveis e entradas e saídas digitais utilizadas.

Após definir variáveis e parâmetros de configuração partiu-se para a elaboração do programa executado e simulado no software do fabricante do CLP. Nesta etapa foram

configurados alguns parâmetros de velocidade e do sistema de movimentação linear para se adequar entre a velocidade necessária para o processamento de imagens do sistema de visão e o tempo de ciclo especificado nos requisitos.

O trabalho foi concluído após realizar a validação do sistema projetado e executado a partir da análise do tempo de ciclo de inspeção após adicionar o sistema de movimentação linear e abolir o uso de mais câmeras. Outro atributo julgado foi a relevância financeira deste trabalho no contexto da solução de uma bancada de inspeção por visão computacional.

3.2 Requisitos de seleção dos componentes

Inicialmente foi preciso levantar requisitos necessários para que cada elemento ou módulo selecionado no trabalho consiga atingir os objetivos de operação. Para fazer o levantamento dos requisitos necessários, alguns pontos foram levados em consideração como:

1. Necessidades técnicas para que uma bancada de inspeção por sistema de visão funcione de forma correta e confiável;
2. Conformidade com os recursos disponibilizados pela empresa;
3. Conformidade com exigências de clientes da empresa;

3.2.1 Requisitos de seleção do controlador lógico programável

O controlador lógico programável CLP funcionou como o cérebro que comanda as ações da bancada e o fluxo de ações para realizar a inspeção. O controlador selecionado precisaria ter compatibilidade com redes industriais através de uma entrada ethernet para estabelecer comunicação com diferentes tipos de protocolos.

Ao levantar algumas necessidades do projeto, identificou-se o número de entradas e saídas digitais no CLP que seriam utilizadas. As entradas digitais serão utilizadas para receber sinais provenientes de botões ou chaves que servirão para auxiliar o

Tabela 1 – Requisitos de seleção do CLP

Requisito	
Tensão de Alimentação	24V
Tensão de entrada e saída	24V
Quantidade de entradas digitais	5
Quantidade de saídas digitais	5
Comunicação Ethernet	Sim
Fabricante	<i>Siemens</i>

Fonte: Próprio autor.

operador a realizar ações na máquina, além de permitir a entrada de sinais externos de sensores que auxiliam no funcionamento da bancada de inspeção.

As saídas digitais desempenham o papel de enviar sinais para dispositivos externos, acionar válvulas pneumáticas ou hidráulicas, além de energizar sinais sonoros ou visuais que contribuem para o funcionamento da bancada, emitindo sinais de inspeção correta ou erro de operação. A tensão de alimentação e uso do equipamento selecionada deve ser de 24 V para se adequar a um padrão de dispositivos industriais que utilizam esta faixa.

Outra condição levada em consideração, foi a lista de fabricantes de componentes homologados pelos clientes da empresa Litma Tecnologia. Os controladores lógicos programáveis do fabricante Siemens são referência mundial no ramo de controle de processos industriais e se mostram uma escolha confiável para comandar o fluxo de ações de uma bancada de inspeção. A tabela 1 sintetiza os requisitos necessários para a escolha do tipo de controlador lógico programável:

3.2.2 Requisitos de seleção do hardware de sistema de visão

A escolha do sistema de visão utilizado na bancada de inspeção partiu de alguns requisitos e conformidades impostas pela Litma Tecnologia. As soluções feitas pela empresa apresentam um conhecimento tecnológico avançado em produtos distribuídos pelo fabricante Keyence, por isso, foi selecionado um sistema de câmeras Keyence que tornasse possível:

1. Identificação da presença/ausência de componentes de montagem;

2. Análise de padrões de formas e cores;
3. Comunicação via rede industrial com o CLP;

3.2.3 Requisitos de seleção do sistema de movimentação linear

O sistema de movimentação linear tem o objetivo de movimentar as câmeras da bancada de inspeção. Os requisitos técnicos foram levantados (Tabela 2) para garantir que o módulo selecionado seja qualificado para atender as condições necessárias para fazer a movimentação do sistema de câmeras de forma apta para atender algumas variáveis como: carga, precisão de posicionamento, velocidade de movimentação, e facilidade na configuração e comunicação com os outros dispositivos presentes na bancada.

Antes de selecionar as características mecânicas necessárias para selecionar o módulo de movimentação, partiu-se da premissa que ele precisa ter a capacidade de se comunicar com os demais dispositivos da bancada através de alguma rede industrial, via algum protocolo utilizando cabo ethernet. Este requisito foi definido a partir da necessidade de diminuir a quantidade de fios no quadro de automação e diminuir o uso de entradas e saídas do controlador lógico programável, facilitando o recebimento de dados e controle das ações feitas pelo sistema de movimentação. A centralização das informações torna possível a integração com o sistema de câmeras para sincronizar os movimentos com a aquisição de imagens que serão inspecionadas.

Carga e velocidade são duas características do sistema mecânico e de acionamento que se relacionam e importantes na especificação de um módulo de movimentação. O sistema especificado precisa ter a capacidade de movimentar uma câmera juntamente com suas peças de fixação, este conjunto não deverá ultrapassar uma carga de 2 kg. A velocidade de movimentação entre os locais de inspeção é um atributo do sistema que implica diretamente na velocidade de ciclo da bancada de inspeção. A rapidez do sistema foi definida após associar a tempo de ciclo da máquina com a capacidade de processamento de imagens do sistema de visão utilizado. Após levar estes atributos em consideração adotou-se 500mm/s como uma velocidade satisfatória para atender a demanda de inspeção por visão computacional para esta aplicação. O tempo de aceleração para chegar na velocidade citada foi adotada em 1s. Este dado é

Tabela 2 – Requisitos de seleção do sistema de movimentação linear

Requisito	
Comunicação Ethernet	Sim
Carga	2kg
Velocidade	500mm/s
Tempo de Aceleração	1s
Precisão	0,5mm
Fabricante	Festo

Fonte: Próprio autor.

importante para fazer o dimensionamento do motor que transmitiria movimento para o sistema.

A precisão de posicionamento é um requisito importante para garantir a confiabilidade do sistema de visão, porém no caso de uma bancada de inspeção existem tolerâncias que fazem com que não seja necessária uma precisão menor que 0,5mm. O sistema de câmeras conta com configurações de referência que se ajustam caso o posicionamento dos sensores sofra alguma pequena alteração. Isso faz com que pequenas variações na repetibilidade dos movimentos não sejam tão impactantes no resultados dos testes de inspeção. Assim como citado na escolha do controlador lógico programável, a seleção do módulo de movimentação foi afetada pela lista de fabricantes homologados pelos clientes da Litma Tecnologia.

3.3 Seleção dos componentes

Após traçar os requisitos necessários para selecionar os elementos componentes da bancada de inspeção, iniciou-se a etapa de especificação dos mesmos. O processo de escolha dos dispositivos foi feita de de uma forma regulada para reduzir os custos do projeto e, se possível, utilizar os recursos já disponíveis na empresa.

3.3.1 Seleção do controlador lógico programável

A empresa Siemens conta com uma gama de controladores lógicos programáveis que atendem aos requisitos antes apresentados, sendo que os dispositivos se apresentam de forma modular, com a possibilidade de adicionar expansões de entradas e

saídas ou interfaces de redes de comunicação variadas. O CLP escolhido foi o modelo CPU 1212c DC/DC/DC da série S7 1200 (Figura 17). Este controlador é um dos mais básicos entre as opções, porém atende todos os requisitos traçados anteriormente. Algumas informações importantes e dados técnicos do CLP são mostrados no ANEXO A.

Figura 17 – CPU Siemens 1212C DC/DC/DC



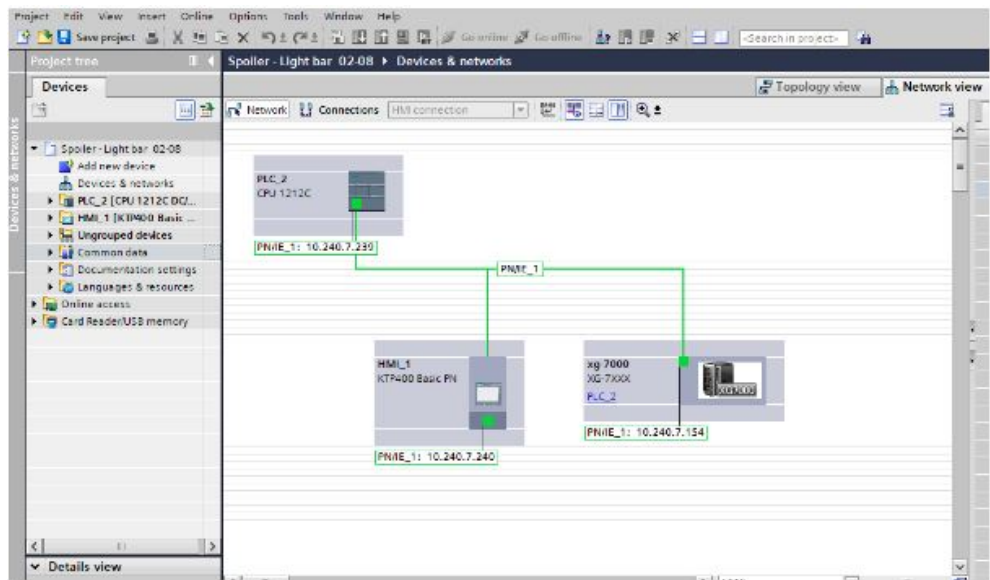
Fonte: Adaptada de Siemens.

O item escolhido requer uma alimentação de 24V e disponibiliza 6 entradas digitais, 2 entradas analógicas e 5 saídas digitais transistorizadas, com a possibilidade de adição de módulos de entradas e saídas para eventuais situações em que outros sinais forem adicionados ao projeto. O controlador possui uma entrada para estabelecer a conexão via ethernet, utilizando protocolos de comunicação.

O CLP requer um software de programação e supervisionamento para idealizar as lógicas, traçar as comunicações e enviá-las para a sua memória. Os dispositivos da empresa Siemens utilizam o programa Totally Integrated Automation (TIA) Portal para esta finalidade (Figura 18).

O software TIA Portal permite ao usuário a elaboração de projetos de engenharia complexos através da integração entre sistemas de forma que estes diferentes sistemas possam ser manipulados da mesma maneira. O software conta com blocos de dados

Figura 18 – Comunicação entre os dispositivos no software TIA Portal



Fonte: Próprio autor.

nos quais o programador pode definir variáveis que serão utilizadas em diferentes lógicas do programa, de uma forma simples e confiável. (Figura 19)

Figura 19 – Blocos de dados utilizados nas lógicas do software

Controle Guia									
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
1	Static								
2	Posição 1	Dint	...	947129	☒	☒	☒	☒	☐
3	Posição 2	Dint	...	654732	☒	☒	☒	☒	☐
4	Posição 3	Dint	...	414492	☒	☒	☒	☒	☐
5	Posição 4	Dint	...	42939	☒	☒	☒	☒	☐
6	posição homing	Dint	...	000500	☒	☒	☒	☒	☐
7	Habilita Posição 1	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
8	Habilita Posição 2	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
9	Habilita Posição 3	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
10	Habilita Posição 4	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
11	Enable	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
12	test mode	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
13	Habilita Homing	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
14	Jog Positivo	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
15	Jog Negativo	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
16	Reset Fault	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐
17	Conexão	Bool	...	false	☒	☒	☒	☒	☐

Fonte: Próprio autor.

A empresa Litma Tecnologia detém a licença do TIA Portal e disponibilizou-a para a execução do projeto.

3.3.2 Seleção do hardware de sistema de visão

O sistema responsável pela aquisição e inspeção das imagens foi escolhido baseado na experiência em soluções de visão computacional da Litma. Primeiramente foi levantada a hipótese de utilizar câmeras convencionais atreladas a um sistema openCV, porém esta solução demandaria o desenvolvimento de um software próprio, isto geraria um tempo de desenvolvimento muito grande, além de implicar em riscos ao projeto.

Assim sendo, a solução encontrada foi utilizar sistemas de câmeras comerciais Keyence XG-7000 (Figura 20). Este controlador de câmeras se encontra afirmado no mercado e disponibiliza diversas ferramentas de aquisição e análise de imagens. O XG-7000 apresenta em seu manual variados meios de comunicação para receber sinais e enviar os resultados das inspeções para um CLP, o que facilita a integração com sistemas externos.

Figura 20 – Controlador de câmeras XG-7000



Fonte: Adaptada de Keyence.

3.3.3 Seleção do sistema de movimentação linear

A seleção do módulo de movimentação foi feita a partir de uma pesquisa nos produtos existentes no mercado da fabricante Festo, e foram nomeados os itens que

atenderam aos requisitos de operação. A especificação de comprimento dos requisitos foi feita a partir de equações e relações que serão apresentadas posteriormente na seção de dimensionamento.

O sistema de movimentação linear foi separado em três partes para fazer a seleção, sistema mecânico, motor e driver de acionamento do motor.

3.3.3.1 Seleção do conjunto mecânico

A transmissão mecânica selecionada para a escolha do sistema de movimentação foi o mecanismo de polia e correia. Este tipo de transmissão apresenta características como repetibilidade, velocidade e torque satisfatórias para o projeto, além de ser uma opção com o custo um pouco mais baixo que outros tipos de transmissão como fuso de esferas com castanha.

O sistema mecânico comercial designado para o projeto é da série Festo ELGC-TB-KF, com 45mm de largura e 1500mm de comprimento (Figura 21) (Anexo B). Os dados técnicos do sistema mecânico estão listados no ANEXO B.

Figura 21 – Sistema mecânico Festo ELGC-TB KF



Fonte: Adaptada de Festo.

3.3.3.2 Seleção do motor

O motor é responsável por gerar o movimento para fazer a movimentação das câmeras do sistema de visão, então o item selecionado precisa fornecer o torque necessário para acelerar de forma linear a carga que vai estar acoplada ao sistema

mecânico. O motor foi selecionado para atingir os mínimos requisitos com um motor de baixo custo.

Um motor de passo foi selecionado como uma solução de compromisso já que o sistema não demanda um alto torque de operação a altas velocidades e tem custo inferior aos servomotores. O modelo escolhido foi o Festo EMMS-ST-57-M que conta com uma realimentação via encoder e fornece um torque máximo de 1.4 N.m (Figura 22). Os dados técnicos no motor podem ser vistos no ANEXO C.

Figura 22 – Motor Festo EMMS-ST-57-M



: Adaptada de Festo.

3.3.4 Dimensionamento do acionamento do sistema mecânico

Para comprovar o emprego do sistema mecânico juntamente com o motor selecionado, utilizando os requisitos técnicos anteriormente citados, fez-se necessário utilizar algumas equações para afirmar de forma quantitativa a competência do sistema para exercer a movimentação no contexto da bancada de inspeção por visão computacional. Os dados utilizados para comparação foram retirados das fichas técnicas dos componentes.

Primeiramente, a aceleração do sistema foi determinada a partir da Equação 3.1, onde foi utilizada a velocidade estabelecida anteriormente, juntamente com o tempo de

aceleração para atingir tal velocidade.

$$v = v_0 + a.t \quad (3.1)$$

Onde:

v = Velocidade (m/s)

v_0 = Velocidade inicial (m/s)

a = Aceleração (m/s^2)

t = Tempo (s)

Partindo do repouso, o sistema deve atingir a velocidade de 0,5 m/s no período de 1s segundos, sendo assim, a aceleração é de 0,5 m/s. O sistema de transmissão mecânica selecionado suporta uma aceleração máxima de 15 m/s.

Para movimentar o sistema mecânico a tal velocidade, o motor deve exercer uma quantidade de revoluções em um determinado período de tempo, este valor é denominado frequência. Para determinar a frequência do motor é preciso dividir a velocidade que o sistema mecânico é movimentado pelo passo do sistema de transmissão utilizado, como mostrado na Equação 3.2.

$$f = v \div p \quad (3.2)$$

Onde:

f = Frequência (rpm)

v = Velocidade (m/min)

p = Distância percorrida por revolução do motor (m/rev)

Segundo a ficha técnica da transmissão mecânica por polia e correia, o sistema desloca 60 milímetros por revolução do motor que está acoplado ao sistema. Aplicando tais valores na Equação 2, tem-se a frequência de 500 revoluções por minuto (rpm). O motor selecionado suporta uma rotação de 1940 rpm.

A frequência é uma grandeza inversamente proporcional ao tempo que o motor leva para efetuar uma revolução, este tempo é intitulado de período (Equação 3.3). O

período é utilizado para determinar a velocidade angular (ω) do motor (Equação 3.4). O período calculado para o eixo do motor realizar uma rotação é de 0,12 segundos.

$$T = 1 \div f \quad (3.3)$$

Onde:

T = Período (s)

f = Frequência (rpm)

Para ter a aceleração do eixo do motor, deve-se dividir a velocidade angular pelo tempo de aceleração estipulado no sistema (Equação 3.5), este valor de aceleração será utilizado posteriormente para determinar o torque máximo do motor exigido pelo sistema.

$$\omega = 2.\pi \div T = 52,36\text{rad/s} \quad (3.4)$$

$$\alpha = \Delta\omega \div \Delta t = 52,36\text{rad/s}^2 \quad (3.5)$$

Onde:

ω = Velocidade angular (rad/s)

T = Período (s)

α = Aceleração angular (rad/s²)

O valor mais alto de torque do motor ocorre durante as acelerações, por isso o cálculo de torque de operação para comprovar a capacidade do motor de movimentação da carga é feito utilizando a aceleração angular do eixo do motor.

Para determinar o torque do motor necessário para acelerar a carga no sistema de transmissão mecânica selecionado, é preciso indicar o momento de inércia total do sistema. Quanto maior for o momento de inércia, maior será a dificuldade de acelerar a carga até a velocidade definida, ou seja, o torque do motor exigido será maior.

O momento de inércia do sistema (I) é a soma do momento de inércia do rotor do motor com o momento do conjunto mecânico, levando em consideração o curso de

movimentação e a carga.

Foi considerado um comprimento de 1,5 metros, juntamente com a carga de 2kg especificada anteriormente. Os valores e relações para determinar o momento de inércia foram retirados das fichas técnicas dos itens (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de momento de inércia do sistema de movimentação (kg.m²)

Conjunto mecânico	Motor	Carga Total
4,416	0,048	4,464

Fonte: Próprio autor.

O torque exercido pelo motor para acelerar a carga no conjunto mecânico é determinado pela Equação 3.6

$$\tau = I.\alpha = 0,23N.m \quad (3.6)$$

Onde:

τ = Torque (N.m)

I = Momento de inércia (kg.m²)

α = Aceleração angular (m/s²)

O motor selecionado fornece um torque de até 1,4 N.m para um sistema estático, o fabricante disponibiliza um gráfico de torque em relação à frequência em rotações por minuto (Figura 23).

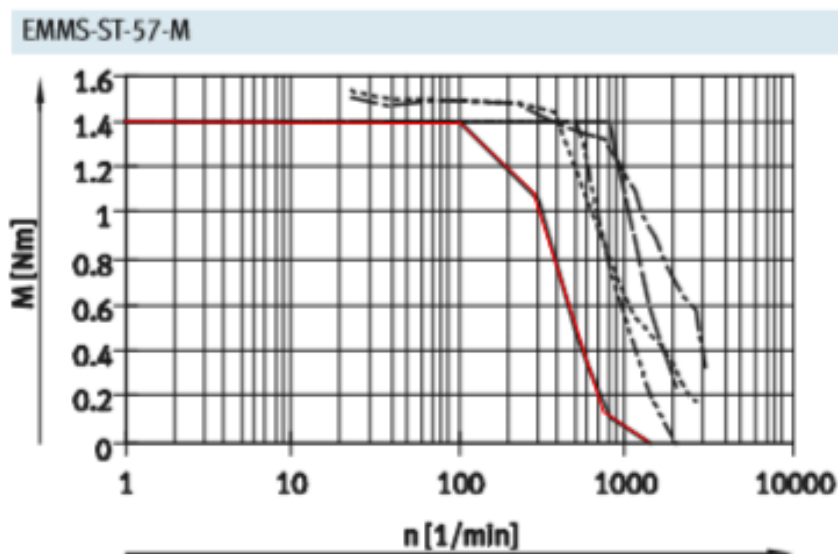
3.3.5 Definição da mecânica do sistema de movimentação

Após fazer a seleção do sistema mecânico e seu acionamento, juntamente com o sistema de visão, definiu-se o conjunto do sistema de movimentação acoplado à bancada de inspeção (Figura 24).

3.3.6 Seleção do controlador do motor

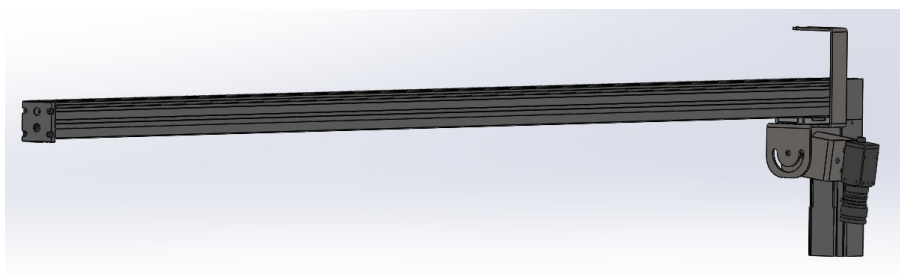
O controlador do motor é um dispositivo que faz o acionamento do motor de passo para realizar os movimentos necessários para diversas aplicações. O controlador

Figura 23 – Gráfico de torque por frequência do motor



Fonte: Adaptada de Festo.

Figura 24 – Desenho do projeto do módulo mecânico de movimentação



Fonte: Próprio autor.

recebe os comandos de um software construído no computador e realiza o chaveamento das fases do motor para movimentá-lo para a posição requisitada na velocidade configurada. Alguns controladores recebem sinais de posição de sensores acoplados ao motor para fechar a malha do sistema e auxiliar no posicionamento.

Seguindo os requisitos do projeto, o controlador selecionado deve disponibilizar a opção de estabelecer comunicação ethernet com o controlador lógico programável, por meio de uma rede industrial.

A fabricante Festo disponibiliza uma linha de controladores compatíveis com o motor de passo selecionado, o modelo selecionado foi o Festo CMMO-ST-LKP (Figura 25), o controlador é alimentado com uma tensão de 24V e disponibiliza entradas para

sensores de fim de curso e realimentação, além de comunicar-se com o CLP via protocolo Modbus/TCP.

Figura 25 – Controlador Festo CMMO-ST-LKP



Fonte: Adaptada de Festo.

As configurações do controlador são feitas por meio de um software gratuito disponibilizado pelo fabricante. O software Festo Configuration Tool (FCT) é uma plataforma de parametrização de sistemas de movimentação e ajustes de comunicação dos controladores da fabricante Festo.

O software se mostra uma opção completa, pois permite ao usuário selecionar os componentes que serão configurados (Figura 26), selecionar o tipo de comunicação imposto no sistema, definir configurações de referenciamento do motor, além de disponibilizar uma interface de movimentação e parametrização do motor (Figura 27).

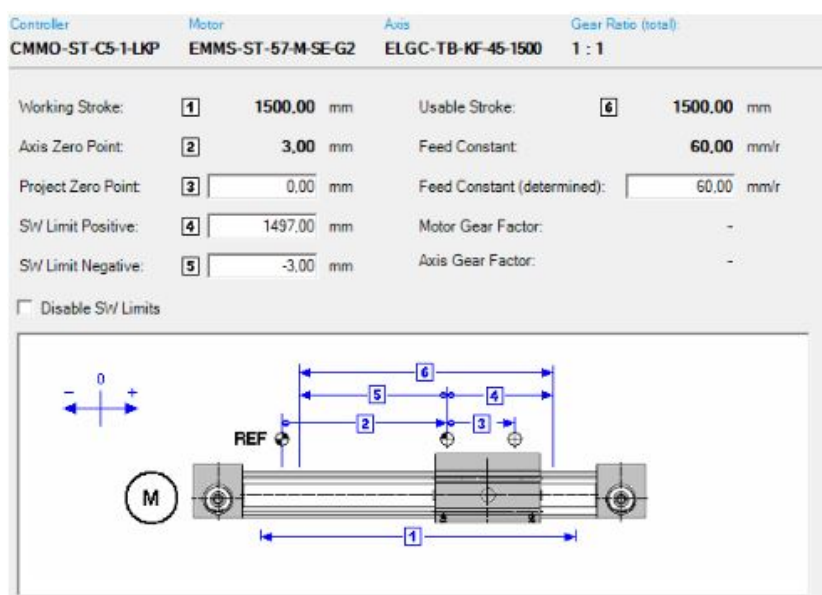
O controlador pode fazer estabelecer comunicação com o CLP via entradas e saídas, porém neste trabalho foi proposto a comunicação via rede ethernet. Os endereços de comunicação são definidos pelo software (FCT), via protocolo Modbus. Feita a configuração, o controlador pode enviar sinais e receber comandos do CLP, por meio de blocos de conexão Modbus inseridos no programa do software em Ladder, no software de programação TIA Portal.

Figura 26 – Seleção de dispositivos do software FCT



Fonte: Próprio autor.

Figura 27 – Interface de configuração e parametrização



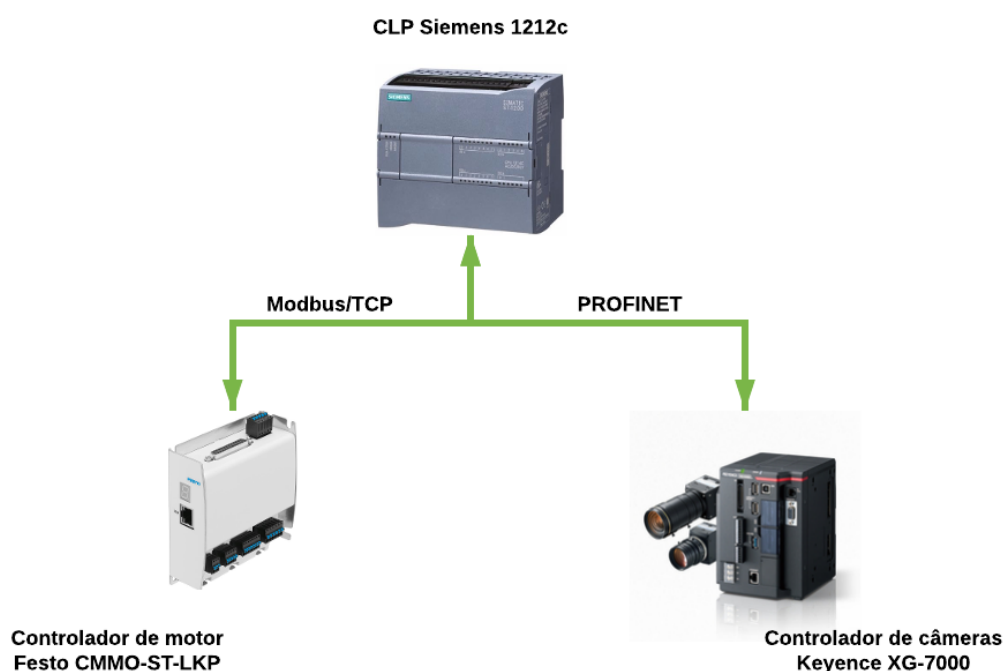
Fonte: Próprio autor.

3.4 Comunicação entre os componentes da bancada de inspeção

Após fazer a seleção dos componentes da bancada de inspeção partiu-se para a etapa de integração entre os mesmos. Este estágio foi iniciado ao levantar as

características para estabelecer comunicação entre o sistema de visão, módulo de movimentação, e o controlador lógico programável. Como os protocolos de comunicação do sistema já estão pré-definidos (Figura 28), esta foi a etapa do projeto em que as variáveis de comunicação foram mapeadas para facilitar a definição do fluxo do programa que comandará as ações da bancada de inspeção.

Figura 28 – Comunicação entre os dispositivos



Fonte: Próprio autor.

3.4.1 Troca de informações entre os componentes da bancada com o CLP

A troca de informação entre os componentes do sistema é centralizada pelo CLP, onde são reunidas todas as informações para organizá-las, e estabelecer lógicas e comandos que são importantes para o funcionamento da máquina. (Figura 29)

O controlador de cameras utiliza o protocolo de redes industriais Profinet para trocar dados e receber comandos do CLP, e a sua documentação (KEYENCE, 2017)

Figura 29 – Troca de sinais entre os componentes do sistema



Fonte: Próprio autor.

disponibiliza as instruções e endereços para ter acesso às informações do sistema de visão, além de dispor variáveis de controle.

As variáveis de comunicação do sistema de visão são separadas em enviar dados e receber comandos. O envio de dados para o CLP é utilizado para verificar o status do controlador, a fim de dar seguimento às ações feitas na bancada de inspeção, e após inspecionar a peça disposta na bancada, entregar os dados provenientes dos resultados da aquisição das imagens.

O controlador de câmeras disponibiliza variáveis via Profinet que exercem comandos que interferem diretamente no funcionamento do sistema de visão, como a ação de bater as fotos que serão inspecionadas. O CLP é o responsável por informar o tipo de teste que será feito pelo sistema de visão, além de certificar-se que a câmera está na posição correta de inspeção para disparar o trigger e aguardar os resultados.

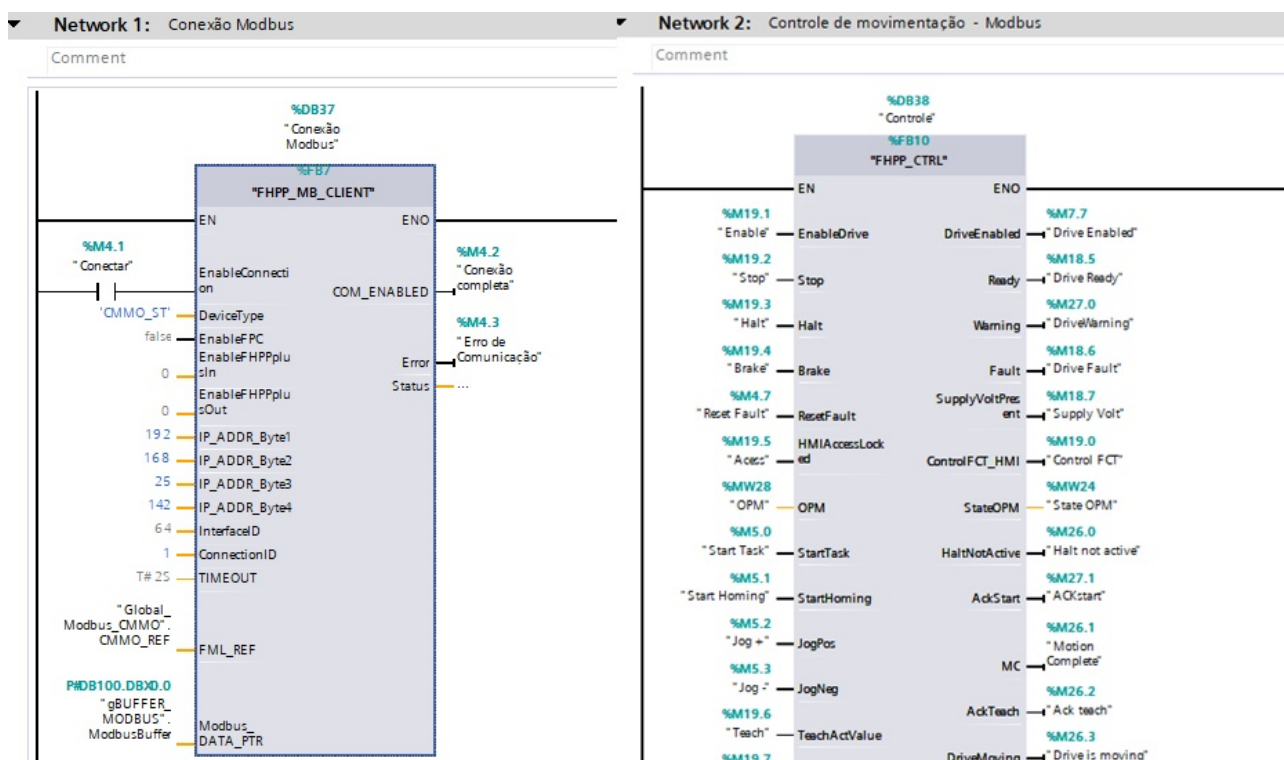
O módulo de movimentação é comandado pelo controlador de motores Festo CMMO-ST-LKP. O dispositivo comunica-se com o CLP pelo protocolo Modbus/TCP através de blocos de comunicação e bibliotecas disponibilizados no site do fabricante. Para manter contato e enviar comandos para o controlador do motor é necessário configurar dois blocos, um de conexão Modbus e outro de controle sobre os comandos que são feitos no controlador. Os blocos e bibliotecas disponibilizados são compatíveis com o software de programação e monitoramento do CLP TIA Portal.

A comunicação é instaurada a partir do bloco de conexão, Figura 30 (a), onde o usuário indica o número de identificação do controlador da rede (endereço de IP),

informa o tipo de controlador Modbus e estabelece conexão. O bloco apresenta um retorno de dados para informar ao usuário se o dispositivo está pronto para receber comandos ou houve algum problema ao iniciar a comunicação.

O bloco de controle, Figura 30 (b), é responsável por enviar os comandos e parâmetros de movimentação para o controlador e receber as respostas para os comandos, além de indicar os estados do motor e apresentar a atual posição do módulo de movimentação linear. O uso do bloco inicia-se ao mandar o sinal de enable para o controlador, que responde se o motor foi energizado ou existe algum erro nas configurações de inicialização do movimento. Os comandos de Homing e posicionamento também são enviados pelo bloco, porém as configurações de movimento são pré-configuradas no software de comissionamento Festo Configuration Tool citado anteriormente no texto.

Figura 30 – Blocos de comunicação Modbus (a) e de controle (b)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 4 – Sinais de entrada

Controlador Motor	
Drive is Moving	Informa se o motor está em movimento
Motion Complete	Informa se o movimento selecionado foi finalizado
Actual Position	Atual posição do sistema mecânico
Controlador do Sistema de Visão	
Busy	Disponibilidade do controlador para receber comandos
Resultado	Resultado final do programa de inspeção

Fonte: Próprio autor.

3.5 Planejamento do programa

A sequência dos processos da bancada de inspeção é definido pelo fluxo do programa do CLP, que foi construído com base em uma máquina de estados na qual há uma interdependência de sinais para dar continuidade às ações da bancada. O CLP é o ponto central do sistema e recebe sinais dos dispositivos, bem como executa comandos que resultam em ações da bancada.

Os sinais recebidos pelo controlador do motor que movimenta o sistema mecânico é proveniente do bloco de comunicação Modbus e estão dispostos na Tabela 4. Estes sinais citados são utilizados para fazer um acompanhamento do estado do motor e da posição da câmera na bancada de inspeção.

Os sinais recebidos pelo controlador do sistema de visão são enviados via Profinet em endereços pré-definidos pelo fabricante, esses sinais são utilizados no fluxo do programa para verificar a disponibilidade a acessibilidade do sistema de visão para receber comandos, e no final dos teste, entregar o resultados das inspeções. (Tabela 4).

Os sinais de saída do CLP são utilizados para configurar e selecionar instruções, assim como enviar comandos para para os dispositivos.

Conforme é mostrado na Tabela 5, os sinais enviados para o controlador do motor funcionam para configurar a posição que o módulo de movimentação deve atingir e exercer o comando para habilitar o movimento. Os parâmetros do comando de homing são configurados no software Festo Configuration Tool, assim como os valores de velocidade e aceleração.

Tabela 5 – Sinais de saída

Controlador Motor	
Position	Posição pretendida
Start Task	Inicia a movimentação para a posição pretendida
Start Homing	Inicia o processo de referenciamento do sistema
Controlador do Sistema de Visão	
Program Number	Número do programa
Trigger	Comando para disparar as fotos

Fonte: Próprio autor.

O sistema de visão aguarda os comandos provenientes do CLP para definir os testes e adquirir as fotos que serão inspecionadas. O controlador do sistema de visão recebe uma variável definida pelo tipo de peça que será inspecionada, para fazer a seleção das ferramentas e padrões de comparação, e no final dos testes, informar se a inspeção peça está correta ou incorreta.

Outro comando aguardado pelo controlador do sistema de visão são os triggers das fotos que serão inspecionadas. O CLP é responsável por enviar estes sinais pois ele é o dispositivo que recebe os sinais de posição do sistema de movimentação e, dessa forma, é capaz de identificar as posições pré-estabelecidas para executar a aquisição das fotos.

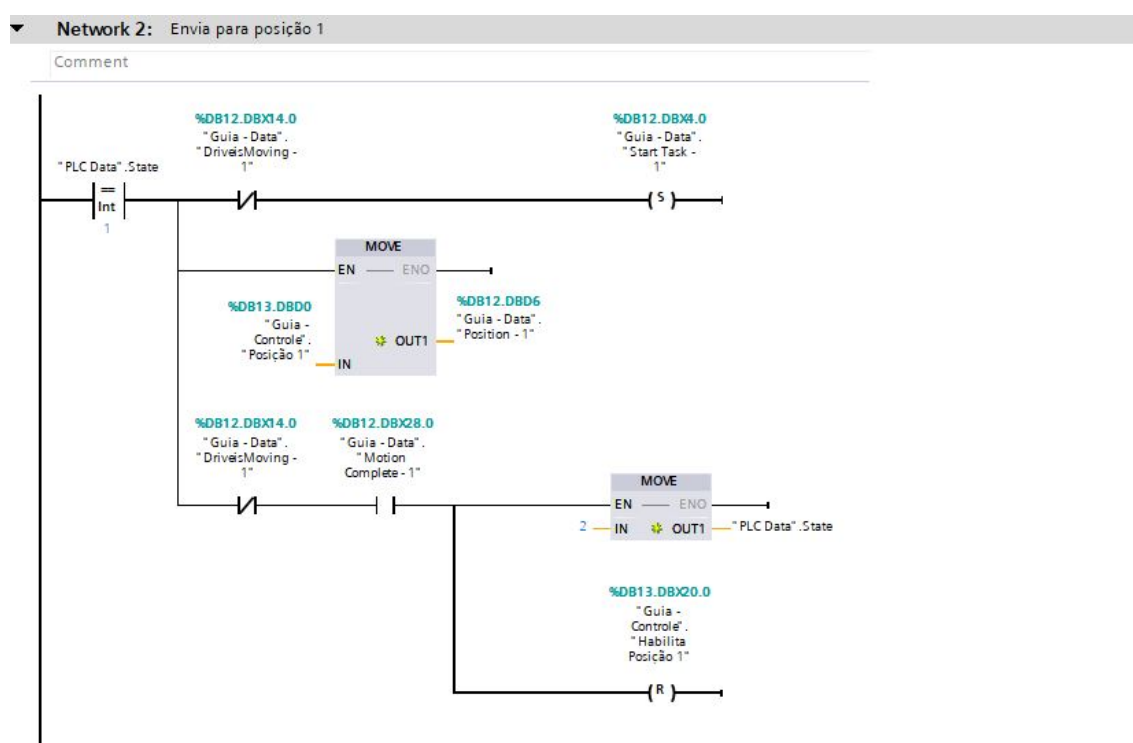
3.5.1 Fluxo do programa

O fluxo do programa foi desenvolvido com base em uma máquina de estados, pois a sequência das ações da máquina depende de uma combinação de fatores. Ao iniciar os testes de inspeção, o CLP envia o módulo de movimentação linear para a primeira posição de aquisição de fotos, e após o sistema alcançar tal posição, envia o comando de trigger para o controlador do sistema de visão.

O envio de posicionamento para o sistema de movimentação (Figura 31) inicia-se ao transferir o valor da posição pretendida para a variável “position” do bloco de comunicação Modbus e energizar o comando “start task”. Este comando inicia o processo de posicionamento do módulo de movimentação. Para enviar a instrução de início do posicionamento o motor deve estar imóvel. O sinal atribuído pela variável “DriveisMoving” assegura tal condição de operação.

Após enviar o comando de posicionamento o programa aguarda algumas condições para passar para o próximo estado. Assim como na primeira etapa do posicionamento, o motor deve estar estático para dar sequência ao programa. O sinal “Motion Complete” indica se o processo de posicionamento requisitado ao controlador do motor foi concluído, o controlador deixa este sinal energizado quando estiver pronto para receber outro comando de posicionamento. O programa assegura que o posicionamento foi feito de forma correta ao comparar a atual posição do motor com a posição requisitada ao iniciar o movimento.

Figura 31 – Envio de comandos de posicionamento para o sistema de movimentação



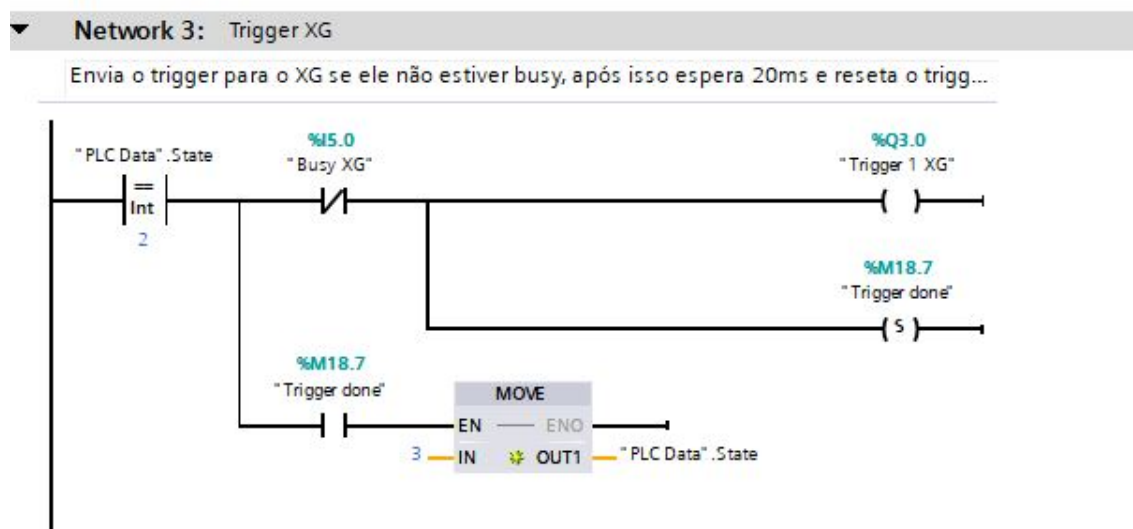
Fonte: Próprio autor.

Após posicionar a câmera do sistema de visão para a posição de inspeção correta, o programa passa para o estado em que o controlador recebe as instruções de “trigger”, que exercem a função de mandar sinais para a aquisição de fotos do sistema de visão. Estas fotos são armazenadas no controlador e são inspecionadas ao final do ciclo pelo processador de imagens, o resultado da inspeção de qualidade é transmitido para o CLP ao final do ciclo.

O envio da instrução de trigger (Figura 32) para o controlador do sistema de visão é transmitido na sequência do programa do CLP, após fazer o posicionamento da

câmera. Antes de enviar comandos para o sistema de visão, é feita uma verificação da disponibilidade do controlador para assegurar que o comando enviado será recebido e interpretado da maneira correta, por isso é utilizado o sinal “Busy”. Este sinal fica energizado quando o controlador está em processando algum dado, por isso a variável precisa estar em sinal baixo para enviar a instrução de trigger.

Figura 32 – Comando de trigger para o sistema de visão



Fonte: Próprio autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Incorporação do módulo de movimentação na bancada de inspeção

O sistema mecânico dimensionado e selecionado no trabalho foi integrado com a câmera pertencente ao sistema de visão, e o conjunto formado foi acoplado à bancada de inspeção. A Figura 33 apresenta a disposição da câmera fixada ao módulo de movimentação para realizar testes simulando o processo de inspeção.

Figura 33 – Sistema acoplado à uma bancada.



Fonte: Próprio autor.

Após realizar a integração entre os componentes do sistema e validar o funcionamento do programa, foi possível realizar a análise dos dados qualitativos e quantitativos para avaliar a viabilidade da implementação de tal sistema em uma bancada de inspeção por visão computacional.

4.2 Análise do tempo de ciclo da solução proposta

O tempo de ciclo dos testes de visão feitos pela bancada de inspeção é um aspecto importante para viabilizar a aplicação da mesma em uma linha de produção. Sabe-se que há uma diferença de tempo de ciclo entre um sistema de visão que utiliza câmeras estáticas e o sistema proposto no trabalho, que utiliza uma câmera deslocada por um módulo de movimentação linear.

O número de fotos feitas para o controlador do sistema de visão inspecionar os resultados depende do comprimento da peça disposta na bancada, e considerando o sistema de uma câmera móvel proposto no trabalho, quanto mais fotos e etapas no processo, maior será o tempo de ciclo do teste de visão computacional. Este aumento do tempo de ciclo deve-se ao acréscimo de paradas para fazer a aquisição de fotos, além das maiores distâncias de deslocamento que o sistema precisa percorrer para inspecionar a peça por completo.

Buscando quantificar este acréscimo no tempo de operação do sistema de visão, o trabalho buscou fazer a medição do tempo completo de inspeção de uma peça. Este tempo medido inclui os deslocamentos da câmera, além do tempo de processamento de imagens e entrega de resultados do sistema de visão.

Os tempos foram levantados após testes que foram feitos com duas disposições de sistemas diferentes: Um sistema de duas fotos, se deslocando em um comprimento de 900mm, e um sistema de três fotos, que se desloca em um comprimento de 1400mm.

Os intervalos de tempo medidos para as disposições de sistema citadas são mostradas na Tabela 6. Os testes foram realizados com valores dos atributos de movimentação de acordo com o desenvolvido no trabalho, velocidade de 500mm/s e tempo de aceleração de 1s.

Tabela 6 – Intervalos de tempo medidos para as configurações de sistema

Sistema com duas fotos (900mm)	Sistema com três fotos (1400mm)
4,40 segundos	6,10 segundos

Fonte: Próprio autor.

Os períodos de inspeção medidos são resultado do tempo que o sistema de

movimentação leva para acelerar a câmera até as posições das fotos, juntamente com o tempo de resposta do controlador do sistema de visão para receber os comandos, e enviar os resultados.

Este tempo de duração do processo de inspeção pode afetar diretamente em uma linha de produção. Se a aplicação onde a bancada de inspeção será aplicada se trata de uma manufatura seriada, o tempo de inspeção dos produtos torna-se a questão principal, pois pode influenciar diretamente na produtividade da linha.

4.3 Análise de custos

O alto custo dos componentes de um sistema de câmeras é o principal motivo da incorporação de uma estrutura de deslocamento em uma bancada de inspeção, por isso, levantou-se o custo total dos elementos de projeto para um sistema com câmeras estáticas, bem como para um sistema em que uma câmera se movimenta e inspeciona a peça por completo.

Os valores foram levantados para três configurações de sistema, as diferenças na configuração para os sistemas que utilizam câmeras estáticas decorrem da dimensão da peça que será inspecionado, ou seja, quanto maior a peça, mais câmeras são necessárias para adquirir as fotos que serão examinadas pelo processador de imagens do controlador do sistema de visão.

1. Configuração A - Sistema com uma câmera móvel, esta configuração utiliza o módulo de movimentação linear selecionado no trabalho ;
2. Configuração B - Sistema com duas câmeras estáticas;
3. Configuração C - Sistema com três câmeras estáticas, esta configuração requer a inclusão de um extensor de câmeras pois o controlador utilizado disponibiliza entrada para duas exemplares;

A tabela 7 apresenta os custos das três configurações citadas, sendo que os componentes pertencentes ao sistema de visão foram agrupados em um kit. Este kit

de sistema de visão engloba as câmeras, lentes, cabos de comunicação e alimentação, controlador, além de adicionais como o extensor de câmeras.

Tabela 7 – Apresentação dos custos das configurações do sistema de visão

	Configuração A	Configuração B	Configuração C
Kit Sistema de Visão	R\$30.165,00	R\$38.760,00	R\$51.595,00
Módulo de Movimentação	R\$5.320,00	R\$0,00	R\$0,00
Total	R\$35.485,00	R\$38.760,00	R\$51.595,00

Fonte: Próprio autor.

4.3.1 Comparação entre as configurações A e B

A configuração B utiliza duas câmeras estáticas, por isso apresenta um valor superior à configuração A, porém é importante levar em consideração o tempo de desenvolvimento e implementação da solução com um módulo de movimentação linear. A configuração A necessita um tempo maior de desenvolvimento, porém oferece uma flexibilidade para possíveis alterações no sistema de visão, além de permitir uma quantidade maior de fotos. Um sistema com uma quantidade maior de fotos possibilita a aquisição de dados em uma qualidade maior, fazendo com que os testes se mostrem mais confiáveis.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é o tempo de ciclo da máquina, já que a configuração A leva um tempo maior para fazer a aquisição das imagens nas posições configuradas, por outro lado que a configuração B faz a aquisição das imagens de forma quase imediata, o que diminui severamente o tempo de ciclo da bancada de inspeção.

A solução com duas câmeras estáticas se mostra mais propícia para aplicações que demandam um curto tempo de ciclo da máquina, ou seja, a bancada de inspeção têm uma demanda grande de peças. Enquanto isso, a solução com uma câmera guiada pelo módulo de movimentação revela-se propícia para aplicações com tempo de desenvolvimento e que não exigem baixos tempos de ciclo. Para selecionar qual das duas configurações é mais adequada para uma aplicação é preciso verificar o tempo de desenvolvimento e o tempo de ciclo requisitado.

Outro fato que deve ser levado em consideração é a capacidade do sistema

com uma câmera móvel de inspecionar peças maiores, levando em consideração que duas câmeras estáticas possam não ser suficientes para fazer a verificação de todas as regiões de uma peça com o comprimento maior.

4.3.2 Comparação entre as configurações A e C

A configuração C apresenta um custo acima dos padrões apresentados pois demanda a inclusão de um extensor de câmeras no controlador do sistema de visão, além de contar com três câmeras estáticas.

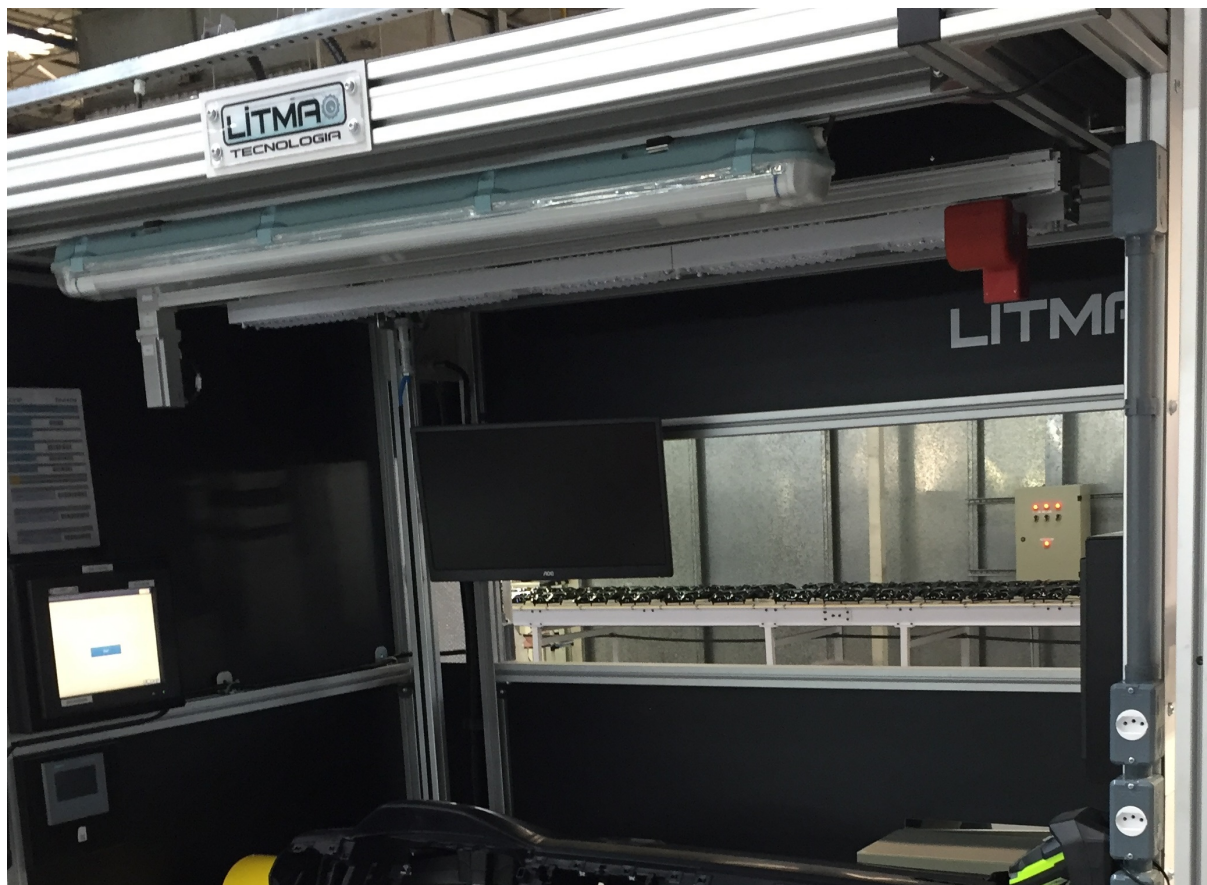
As comparações feitas anteriormente entre as configurações A e B se aplicam nesta divisão, porém este paralelo se torna mais importante pela notável diferença de custo entre as duas configurações.

A análise de custos entre as configurações A e C comprova a necessidade definição de requisitos de aplicação, para determinar o tempo de ciclo da bancada de inspeção, visto que o emprego da configuração A apresenta custos significativamente mais baixos.

4.4 Utilização do sistema desenvolvido em uma bancada de inspeção

O sistema dimensionado e desenvolvido foi agregado a uma bancada de inspeção por sistema de visão localizada em uma linha de produção de peças do setor automotivo, como mostrado na Figura 34. A bancada é umas das soluções dos oferecidas pela empresa Litma Tecnologia e faz a inspeção de painéis de instrumentos de carros.

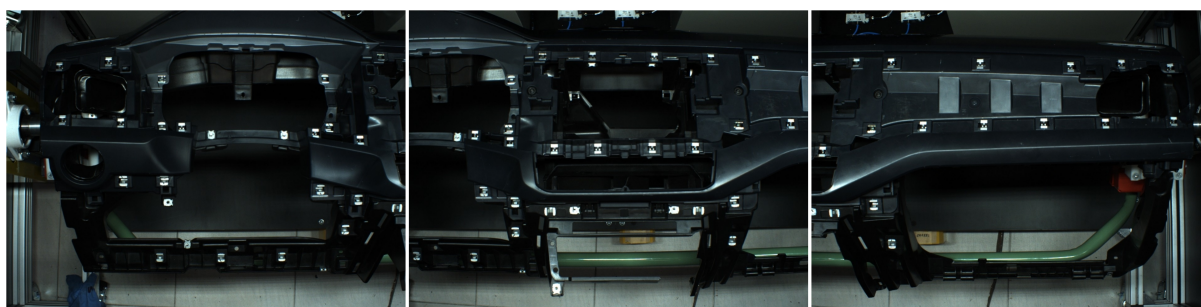
Figura 34 – Sistema de movimentação fixado na estrutura da bancada



Fonte: Próprio autor.

A bancada de inspeção testa a qualidade das peças através da análise de presença e ausência de componentes, e para analisar as peças da linha foi preciso três fotos, como é ilustrado nas figuras 35 e 36.

Figura 35 – Imagens da bancada de inspeção com o sistema proposto do no trabalho



Fonte: Próprio autor.

Figura 36 – Imagens da bancada de inspeção com o sistema proposto do no trabalho



Fonte: Próprio autor.

O tempo de inspeção estipulado pelo cliente nesta linha de produção foi de 12 segundos, por isso, o emprego da movimentação linear no sistema de visão foi benéfico, visto que as peças inspecionadas requerem três fotos para tornar possível a detecção de todos os componentes.

O sistema proposto realiza a inspeção das peças da bancada e entrega os resultados em um período medido de 7,3 segundos, o que se aplica dentro das especificações do cliente e não resulta em danos à linha de produção.

A flexibilidade da movimentação das câmeras tornou possível configurar diferentes posições de inspeção para peças distintas, esta funcionabilidade proporcionou a aquisição de fotos com mais qualidade para realizar o teste de qualidade das peças.

5 CONCLUSÃO

O resultado do trabalho traz a integração entre dispositivos que torna possível a movimentação de uma câmera no contexto de uma bancada de inspeção. O sistema de movimentação da câmera foi dimensionado e selecionado baseado em requisitos estipulados pela empresa Litma Tecnologia, e mostrou-se uma escolha flexível e confiável para contribuir no controle de qualidade de itens em uma linha de produção.

A utilização de um controlador lógico programável foi essencial para instituir a integração entre os componentes, pois tornou possível o envio e recebimento de sinais para controlar todo o sistema. O envio de comandos e recebimento de sinais fez-se mais simples após a escolha e configuração das redes industriais utilizadas pelos dispositivos. A interpretação dos sinais provenientes dos estados do processo de inspeção e posicionamento tornaram possível traçar uma interdependência entre os componentes da bancada, além de definir o fluxo do programa do CLP.

O integração do módulo de movimentação com o sistema de visão demonstrou flexibilidade no sentido de incluir novas fotos nos testes de visão, adaptar os testes para peças diferentes, além de trazer uma facilidade de correções de posicionamento.

O custo do sistema integrado foi levantado, avaliado e comparado com diferentes configurações que exercem a mesma função, e com isso, foi possível observar as vantagens financeiras da aplicação da movimentação linear na bancada de inspeção. Em contrapartida, o emprego do sistema com uma câmera móvel implica em um tempo de ciclo de inspeção maior que o sistema de câmeras estáticas, que é acrescentado ao adicionar mais fotos nos testes de visão.

O sistema proposto possibilita a inspeção de peças com comprimentos maiores sem a necessidade de adição de câmeras, além de garantir a posição correta das imagens que serão utilizadas nos testes de qualidade, resultado de uma integração que estabelece lógicas entre os componentes da bancada de inspeção.

6 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho pode abrir diversas oportunidades de evoluções, pois há a possibilidade de integrar o sistema proposto com outros dispositivos para enriquecer o funcionamento de uma bancada de inspeção. Entre as oportunidades recomenda-se:

- Estudo da incorporação de um eixo giratório para fazer a movimentação angular da peça que será inspecionada pelo sistema de câmeras;
- Substituição do módulo de movimentação linear por um robô articulado que conduziria a câmera para fazer a aquisição das imagens que seriam utilizadas para fazer o teste de qualidade da peça disposta na bancada;
- Utilização de guias lineares pneumáticas para fazer a movimentação do sistema de câmeras.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. U. B. d. *Redes Industriais*. 2. ed. [S.l.]: Editora Ensino Profissional, 2009. 15, 22, 23
- AZEVEDO, J. A. p.; SOUZA, A. B. d. Comparativo entre redes de automação industrial e suas características. n. 1, 2014. 22
- BORTOLAN, F. *Sistema de movimentação por pinhão e cremalheira para Router CNC de grande deslocamento e baixo custo, voltado ao corte de madeira*. 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - PR, Brasil. 29
- BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. d. A. *Motor de Passo*. 2008. Manual, Curso de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói- RJ, Brasil. Disponível em: <https://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>. Acesso em: 15 de Setembro 2018. 28, 29
- CARDOZO, W. S. *Controle de motores de passo aplicado a um manipulador robótico*. 140 p. Dissertação (Mestrado) — Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012. 30
- CENTINKUNT, S. *Mecatrônica*. [S.l.]: LTC, 2008. 15, 16, 20, 25, 27
- DESCHAMPS, F. *Contribuições para o Desenvolvimento de um Sistema de Visão aplicado ao Monitoramento do Desgaste de Ferramentas de Corte - O Sistema ToolSpy*. 2004. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis - SC, Brasil. 20
- FELIZARDO, C. E. *Desenvolvimento de uma bancada de inspeção da qualidade de montagem de peças do setor automotivo*. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica), Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, Brasil. 19
- FERNANDES, F. A. *Um estudo sobre o uso da topologia anel em redes profinet cp,p técnica de implementação de redundância*. 2015. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos - SP, Brasil. 24
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. *Administração da produção e operações*. 8. ed. [S.l.]: Thomsom, 2002. 18
- INDRAMAT. 1997. Manual Técnico GmbH Bgm.-Dr.-Nebel-Str.2. D-97816 Lohr Dept. ECD(RR/JR). 31
- KEYENCE, C. *XG-8000 Series Communication Manual*. 2017. 49
- KLEINES, H. et al. *Performance Aspects of PROFINET*. 8. ed. [S.l.]: IEEE Transactions on Nuclear Science, 2008. 24

- NOGUEIRA, T. A. *Redes de comunicação para sistemas de automação industrial*. 2009. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, Brasil. 22
- NORTON, R. *Projeto de Máquinas*. [S.l.]: Bookman, 2004. 26, 27
- PEDRINI, H. *Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações*. [S.l.]: Thomson, 2008. 15, 18
- PERNEDER RAIMUND ANS OSBORNE, I. *Handbook Timing Belts*. [S.l.]: Springer, 2012. 27
- PETRUZELLA, F. d. *Controladores Lógicos Programáveis*. [S.l.]: AMGH, 2013. 20
- QUEIROZ, R. A. d. A. *Motores de Passo*. Manual, Núcleo de Pesquisa em Redes de Computadores, Univesidade Salvador - Unifacs, , Brasil. Disponível em: <<https://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>>. Acesso em: 25 de Agosto 2018. 28, 29
- SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. *Projeto de Engenharia Mecânica*. 7. ed. [S.l.]: Bookman, 2005. 26
- SILVA, M. E. d. *Curso de Automação Industrial*. 2004. Apostila, Fundação municipal de ensino de Piracicaba, Piracicaba, Brasil. 20, 21
- SIPPEL, M.; TRAXLER, M. *Packagers Choose Machine Vision Inspection to Reduce Waste and Boost ROI*. 2004. Disponível em: <<https://www.automation.com/library/articles-white-papers/vision-sensors-systems/packagers-choose-machine-vision-quality-inspection-to-reduce-waste-and-boost-roil>>. Acesso em: 06 de Agosto 2018. 19
- STEMMER, M. R. et al. *Apostila de Sistema de Visão, Sistema Industriais Inteligntes*. [S.l.], 2005. 20
- STIVANELLO, M. E. *Inpeção industrial através de visão computacional*. 2004. Monografia (Bacharelado em ciências da computação), Universidade regional de Blumenau, Blumenau, Brasil. 18, 19
- TEIXEIRA, J. F. A. *Servidor Modbus Identificação e Servidor Modbus/TCP para Sistemas Identificação e Recolha de Dados Automáticos (AIDC)* . 70 p. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. 23
- TOMASCHITZ, F. R. S. *Controle e análise da velocidade de servo-motores de manipuladores cartesianos em uma linha automatizada de estamparia*. 2013. Trabalho de conclusão de curso - Especialização, Programa de pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - PR, Brasil. 31

Anexos

ANEXO A – FOLHA DE DADOS CPU

SIEMENS 1212C DC/DC/DC

SIEMENS

Data sheet

6ES7212-1AE40-0XB0

SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, compact CPU, DC/DC/DC, onboard I/O: 8 DI 24 V DC; 6 DO 24 V DC; 2 AI 0-10 V DC, Power supply: DC 20.4-28.8V DC, Program/data memory 75 KB



General information	
Product type designation	CPU 1212C DC/DC/DC
Firmware version	V4.2
Engineering with	
• Programming package	STEP 7 V14 or higher
Supply voltage	
Rated value (DC)	Yes
• 24 V DC	
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V

Digital inputs	
Number of digital inputs	8; Integrated
• of which inputs usable for technological functions	4; HSC (High Speed Counting)
Source/sink input	Yes
Number of simultaneously controllable inputs	
all mounting positions	
— up to 40 °C, max.	8
Input voltage	
• Rated value (DC)	24 V
• for signal "0"	5 V DC at 1 mA
• for signal "1"	15 V DC at 2.5 mA
Input delay (for rated value of input voltage)	
for standard inputs	
— parameterizable	0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
— at "0" to "1", min.	0.2 ms
— at "0" to "1", max.	12.8 ms
for interrupt inputs	
— parameterizable	Yes
for technological functions	
— parameterizable	Single phase: 3 @ 100 kHz & 3 @ 30 kHz, differential: 3 @ 80 kHz & 3 @ 30 kHz
Cable length	
• shielded, max.	500 m; 50 m for technological functions
• unshielded, max.	300 m; For technological functions: No
Digital outputs	
Number of digital outputs	6
• of which high-speed outputs	4; 100 kHz Pulse Train Output
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-48 V)

ANEXO B – FOLHA DE DADOS

FESTO ELGC-TB-KF

Toothed belt axes ELGC-TB-KF, with recirculating ball bearing guide

FESTO

Technical data

Function



-  Size
45 ... 80
-  Stroke length
200 ... 2000 mm
-  www.festo.com



General technical data				
Size		45	60	80
Design		Electromechanical axis with toothed belt		
Guide		Recirculating ball bearing guide		
Mounting position		Any		
Working stroke	[mm]	200, 300, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500	200, 300, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 1800, 2000	200, 300, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 1800, 2000
Max. feed force F_x	[N]	75	120	250
Max. no-load torque ¹⁾	[Nm]	0.075	0.194	0.413
Max. no-load resistance to shifting ¹⁾	[N]	7.8	15.6	24.7
Max. driving torque	[Nm]	0.716	1.49	4.178
Max. speed	[m/s]	1.2	1.5	1.5
Max. acceleration	[m/s ²]	15		
Repetition accuracy	[mm]	±0.1		

1) At 0.2 m/s

Operating and environmental conditions		
Ambient temperature ¹⁾	[°C]	0 ... +50
Degree of protection		IP40
Duty cycle	[%]	100
Maintenance interval		Life-time lubrication

Weight [g]			
Size	45	60	80
Basic weight with 0 mm stroke ¹⁾	760	1775	3500
Additional weight per 10 mm stroke	23	43	73
Moving load	169	482	901

1) Including slide

Toothed belt			
Size	45	60	80
Pitch [mm]	2	3	3
Expansion ¹⁾ [%]	0.187	0.124	0.200
Effective diameter [mm]	19.1	24.83	33.42
Feed constant [mm/rev.]	60	78	105

1) At max. feed force

Mass moment of inertia			
Size	45	60	80
J_0 [kg mm ²]	18.62	88.04	291.2
J_H per metre stroke [kg mm ² /m]	2.81	8.51	19.27
J_L per kg payload [kg mm ² /kg]	91.19	154.11	279.3

The mass moment of inertia J_A of the entire axis is calculated as follows:

$$J_A = J_0 + J_H \times \text{working stroke [m]} + J_L \times m_{\text{payload [kg]}}$$

ANEXO C – FOLHA DE DADOS

FESTO EMMS-ST

Stepper motors EMMS-ST

Technical data

FESTO



General technical data				
Size		28	42	
Motor				
Nominal voltage	[V DC]	48	48	
Nominal current	[A]	1.4	1.8	
Max. rotational speed ¹⁾	[rpm]	6,000	1,740	
Holding torque	[Nm]	0.09	0.5	
Stepper angle	[°]	1.8 ±5%	1.8 ±5%	
Winding resistance	[Ω]	2.3 ±15%	1.75 ±10%	
Winding inductance	[mH]	1.4	5.4	
Output mass moment of inertia	[kgcm ²]	0.018/0.025 ²⁾	0.082/0.095 ²⁾	
Radial load on shaft	[N]	20	20	
Axial load on shaft	[N]	7	7	
Mass moment of inertia of rotor	[kgcm ²]	0.018	0.082	
Brake				
Operating voltage	[V DC]	24 ±10%	24 ±10%	
Power	[W]	8	8	
Holding torque	[Nm]	0.2	0.4	
Mass moment of inertia	[kgcm ²]	0.007	0.013	
Response delay	[ms]	2/6	2/6	
Separation time	[ms]	10	10	

1) Theoretical max. rotational speed while idling at nominal voltage

2) With brake