



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Mateus Samuel Pelegrini

***AUTOMAÇÃO E APERFEIÇOAMENTO DE UMA PLANTA DE
MANUFATURA FLEXÍVEL PARA ATIVIDADES ACADÊMICAS***

Lajeado, novembro de 2014

Mateus Samuel Pelegrini

***AUTOMAÇÃO E APERFEIÇOAMENTO DE UMA PLANTA DE
MANUFATURA FLEXÍVEL PARA ATIVIDADES ACADÊMICAS***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Área de concentração: Automação

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Hüsemann

Lajeado, novembro de 2014

Mateus Samuel Pelegrini

***AUTOMAÇÃO E APERFEIÇOAMENTO DE UMA PLANTA DE
MANUFATURA FLEXÍVEL PARA ATIVIDADES ACADÊMICAS***

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação do CETEC e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Ronaldo Hüsemann, UNIVATES

Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Henrique Worm, UNIVATES

Mestre pela PPGSPI/UNISC – Santa Cruz do Sul, Brasil..

Prof. Anderson Antônio Giacomolli, UNIVATES

Mestre pelo PPGEE/UFRGS – Porto Alegre, Brasil.

Coordenador do Curso de Engenharia de Controle e Automação:

Prof. Rodrigo Wolff Porto

Lajeado, novembro de 2014



Dedico este trabalho a minha noiva
Eliege, em especial pela dedicação e apoio
em todos os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador pela oportunidade de realização de um trabalho focado em nossa área de pesquisa e pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais que de todas as maneiras me auxiliaram nesta trajetória.

Aos amigos que auxiliaram em dúvidas e compartilharam este momento comigo.

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se o aperfeiçoamento e automação de uma planta de manufatura flexível, com inclusão de estações de trabalho que possam simular o ambiente industrial, sendo o principal objetivo auxiliar os estudantes dos cursos de engenharia em suas práticas acadêmicas. Esta planta é composta por três esteiras transportadoras para o deslocamento de produtos, interligadas por mesas giratórias, tornando as esteiras independentes, além de duas esteiras que servem para a pesagem de produtos. Foram adicionados neste processo três módulos de automação, sendo cada módulo controlado por um Controlador Lógico Programável (CLP) e dispositivos que atuam no processo, para que o aluno tenha interface prática com acionamentos cotidianos da indústria. Além disto, foram projetados e implementados um sistema de alimentação de potes e um sistema de fechamento de tampas. Com estas alterações, propõe-se criar um supervisor para uma Interface Homem-Máquina (IHM) para testes destas funcionalidades.

Palavras-chave: Planta flexível de manufatura didática. Interface homem-máquina (IHM). Controlador lógico programável (CLP).

ABSTRACT

In this work, is presented the improvement and automation of a flexible manufacturing plant, with the inclusion of workstations that can simulate the industrial environment, being the main objective of assisting students of courses of engineering in their academic practices. This plant consists of three conveyors belts for displacement of products, joined by rotary tables, making the conveyors independents, beyond of two conveyor that serve for weighing products. Three automation modules have been added in this process, being each one controlled by a Programmable Logic Controller (PLC) and devices that operate in the process, so the student has practice interface with everyday actuation drives of the industry. Furthermore, have been designed and implemented a system for feeding pots and a system for closing covers. With these changes, it's proposed to create a supervisory for a Human-Machine Interface (HMI) for tests these functionalities.

Keywords: Flexible manufacturing didactic plant. Human-machine interface (HMI). Programmable logic controller (PLC).

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Planta de Manufatura Flexível Multidisciplinar | 16 |
| Figura 2 – Implementações do alimentador de potes e fechamento de tampas | 18 |
| Figura 3 – Causas da necessidade de flexibilidade no processo | 20 |
| Figura 4 - Sistema de Manufatura Flexível..... | 21 |
| Figura 5 – FMS do Laboratório de Automação da Manufatura da UDESC | 22 |
| Figura 6 – Laboratório FMS da Universidade de Southwest | 23 |
| Figura 7 – Estrutura física de um CLP | 25 |
| Figura 8 – Princípio de funcionamento sensor de barreira direta..... | 27 |
| Figura 9 – Princípio de funcionamento sensor retroreflexivo | 27 |
| Figura 10 – Princípio de funcionamento sensor difuso..... | 28 |
| Figura 11 – Sensor capacitivo detectando objeto..... | 29 |
| Figura 12 – Sensor indutivo detectando objeto | 30 |
| Figura 13– Sensor de cor detectando objeto | 31 |
| Figura 14 – Identificação de produtos com sensor de cor..... | 32 |
| Figura 15 – Esquema de confecção de extensômetros | 33 |
| Figura 16 – Alimentador rotativo | 35 |
| Figura 17 – Alimentador rotativo de baldes..... | 36 |
| Figura 18 – Alimentador de potes pneumático | 37 |
| Figura 19 – Levantador magnético de chapas | 38 |
| Figura 20 – Alimentador gravimétrico..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Figura 21 – Alimentador por fuso | 39 |
| Figura 22 – Sistema de fechamento pneumático de tampas | 40 |
| Figura 23 – Fechamento de tampas por pressão..... | 41 |
| Figura 24 – Fechamento de tampas por pressão e rosqueamento | 41 |
| Figura 25 - Exemplo de sistema supervisório..... | 42 |
| Figura 26 – Modelos de IHM's comerciais | 43 |
| Figura 27 – Divisão em módulos da planta de manufatura flexível | 45 |
| Figura 28 – Pote utilizado no projeto..... | 46 |
| Figura 29 - Protótipo do sistema de alimentação de potes | 47 |
| Figura 30 – Sistema de fusos para alimentação de potes..... | 48 |
| Figura 31 - Estrutura mecânica do alimentador de potes..... | 49 |
| Figura 32 – Protótipo do sistema de fechamento de tampas | 51 |
| Figura 33 – Sistema de fechamento de tampas montado | 52 |
| Figura 34 – Sistema de fusos do sistema alimentador de tampas | 53 |
| Figura 35 - Etapa de prensagem da tampa no pote | 54 |
| Figura 36 – Módulo 1 | 55 |
| Figura 37 – Módulo 2 | 57 |
| Figura 38 – Módulo 3 | 59 |
| Figura 39 – Quadro de comando do módulo 1 | 65 |
| Figura 40 – Quadro de comando do módulo 2 | 67 |
| Figura 41 – Quadro de comando do módulo 3..... | 69 |
| Figura 42 - IHM KTP700 | 71 |
| Figura 43 – Ângulo de percurso dos potes no buffer..... | 73 |
| Figura 44 – Fluxograma de funcionamento do sistema de fechamento de tampas .. | 79 |
| Figura 45 – Quadro de comando montado..... | 80 |
| Figura 46 – Supervisório Módulo 1..... | 81 |
| Figura 47 – Supervisório Módulo 2..... | 82 |
| Figura 48 – Supervisório Módulo 3..... | 82 |
| Figura 49 – Planta didática Univates..... | 83 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Descrição das variáveis do CLP do módulo 1 | 56 |
| Tabela 2 – Quantidade de entradas e saídas para o CLP 1 | 56 |
| Tabela 3 - Descrição das variáveis do CLP do módulo 2..... | 57 |
| Tabela 4 - Quantidade de entradas e saídas para o CLP 2 | 58 |
| Tabela 5- Descrição das variáveis do CLP do módulo 3..... | 59 |
| Tabela 6 - Quantidade de entradas e saídas para o CLP 3 | 60 |
| Tabela 7 - Tabela comparativa entre CLP's comerciais | 61 |
| Tabela 8- Lista de cargas módulo 1. | 63 |
| Tabela 9- Lista de cargas módulo 2. | 66 |
| Tabela 10- Lista de cargas módulo 3. | 68 |
| Tabela 11 – Lista ordenada de gargalos do processo..... | 84 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------|--|
| ABNT: | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AI: | Analog Input |
| AO: | Analog Output |
| CC: | Corrente Contínua |
| CLP: | Controlador Lógico Programável |
| CP: | Communications Processors |
| CV: | Cavalo Vapor |
| CPU: | Central Processing Unit |
| DI: | Digital Input |
| DO: | Digital Output |
| FM: | Function modules |
| FMS: | Flexible Manufacturing System |
| IES: | Instituição de Ensino Superior |
| IHM: | Interface Homem-Máquina |
| IM: | Interface Modules |
| I/O: | Módulo de entradas e saídas (<i>input/ output</i>) |
| NBR: | Norma Brasileira Regulamentadora |
| PLC: | Programmable Logic Controller |
| PS: | Power Source |
| SM: | Signal Modules |
| TIA: | Totally Integrated Automation |
| VAC: | Voltage alternating current |

VDC: Voltage Direct Current



SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 19 |
| 2.1 Sistemas Flexíveis de Manufatura | 19 |
| 2.2 Laboratórios didáticos de FMS | 21 |
| 2.3 Equipamentos de Automação | 23 |
| 2.3.1 Controlador Lógico Programável (CLP) | 23 |
| 2.3.2 Sensores | 25 |
| 2.3.3 Sensor ótico | 26 |
| 2.3.3.1 Sensor ótico de barreira direta | 26 |
| 2.3.3.2 Sensor retrorreflexivo | 27 |
| 2.3.3.3 Sensor difuso | 28 |
| 2.3.4 Sensor Capacitivo | 29 |
| 2.3.5 Sensor Indutivo | 29 |
| 2.3.6 Sensor de cor | 30 |
| 2.3.7 Strain Gauge | 32 |
| 2.4 Dimensionamento de condutores | 33 |
| 2.4.1 Norma de instalação elétrica | 33 |
| 2.5 Sistemas alimentadores de produtos | 35 |
| 2.5.1 Alimentador rotativo | 35 |
| 2.5.2 Alimentador pneumático | 36 |
| 2.5.3 Alimentador magnético | 37 |
| 2.5.4 Alimentador gravimétrico | 38 |
| 2.5.5 Alimentador por fuso ou rosca sem fim | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6 Sistema de fechamento de tampas..... | 40 |
| 2.7 Sistema Supervisório..... | 42 |
| 2.8 Interface Homem-Máquina (IHM)..... | 42 |
| 3 DESCRIÇÃO DO PROJETO | 44 |
| 3.1 Pesquisa de Plantas Didáticas..... | 44 |
| 3.2 Implementações da Planta de Manufatura Flexível..... | 45 |
| 3.2.1 Sistema de alimentação de potes | 46 |
| 3.2.2 Implementação do sistema alimentador de potes..... | 48 |
| 3.2.3 Sistema de fechamento de tampas..... | 50 |
| 3.2.4 Implementação do sistema de fechamento de tampas..... | 51 |
| 3.2.5 Características para definição do CLP..... | 54 |
| 3.2.6 Implementação dos módulos de controle..... | 62 |
| 3.2.6.1 Projeto dos quadros de comando..... | 62 |
| 3.2.6.2 Desenvolvimento da parte mecânica..... | 70 |
| 3.2.7 Definição da IHM | 71 |
| 3.2.8 Processo Produtivo..... | 72 |
| 4 RESULTADOS..... | 76 |
| 4.1 Validação do sistema de alimentação de potes | 76 |
| 4.2 Validação do sistema de fechamento de tampas | 77 |
| 4.2.1 Tempo de inserção de tampas | 77 |
| 4.2.2 Tempo de prensagem da esteira invertida..... | 77 |
| 4.2.3 Processo de fechamento de tampas | 77 |
| 4.3 Quadros de comando montados | 79 |
| 4.4 Automação do processo..... | 80 |
| 4.4.1 Gargalos do processo..... | 84 |
| 5 CONCLUSÃO | 85 |
| REFERÊNCIAS..... | 87 |
| APÊNDICE A - Identificação da régua de bornes do quadro de comando do módulo 1 | 94 |
| APÊNDICE B - Identificação da régua de bornes do quadro de comando do módulo 2 | 95 |
| APÊNDICE C - Identificação da régua de bornes do quadro de comando do módulo 3 | 96 |

APÊNDICE D – Diagrama elétrico de forças do quadro de comando do módulo
397



1 INTRODUÇÃO

Empresas que objetivam conquistar mercado devem buscar produtividade e qualidade para atingir competitividade e obter crescimento (ROMEIRO FILHO, 2011). Um dos caminhos para atingir a este objetivo, passa por investimentos na área da automação, como forma de redução de tempos de processo, aumento da qualidade do produto final (GASPARIN, 2010).

Conforme Morales (2009), os sistemas de manufatura vêm sofrendo reestruturações relevantes em relação à estratégia de produção, que incluem mudanças em como os bens e serviços são projetados, desenvolvidos, produzidos e distribuídos. O comportamento dos consumidores que buscam produtos personalizados e diferenciados motivou as empresas que focam na necessidade do cliente de reavaliar seus métodos produtivos, visando aumento da competitividade, seguindo a tendência do mercado.

Estas organizações adaptaram suas linhas produtivas para atender a este público alvo, sendo uma das alternativas, a utilização de sistemas de manufatura flexível, conhecido como Flexible Manufacturing System (FMS), de modo a dinamizar processos que possam ser destinados a mais de uma aplicação, e atender inclusive, o mercado sazonal. Conforme Nakamoto (2001), esta flexibilidade permite uma alocação mais rápida dos recursos existentes, mas incrementa a complexidade do controle do sistema.

Estes tipos de sistema são capacitados a produzir uma gama de produtos distintos, em que modificando a sua configuração, efetuando ajustes, promovendo a configuração de máquina, é possível fazer a linha de produção fabricar um produto diferente do que estava produzindo (SANTOS, 2008).

A formação do engenheiro geralmente se fundamenta por um modelo de ensino, em que a teoria está desvinculada à prática. Muitas vezes os problemas a

serem solucionados pelos alunos no período de graduação não condizem com o que vão encontrar no ambiente de trabalho (CASALE, 2013).

Em função disto, muitos cursos de Engenharia buscam aplicações práticas que coincidam com a realidade do mercado de trabalho, para propiciar aos acadêmicos, vivências reais deste ambiente, formando engenheiros que busquem soluções inovadoras e criativas (ESCRIVÃO FILHO; RIBEIRO, 2009; LIBÂNEO, 2011).

Os departamentos de engenharia das instituições de ensino superior buscam trazer ao seu corpo discente simulações práticas do cenário industrial, de forma a aproximar a didática com o ambiente industrial que o aluno vai enfrentar após a sua formação. Existem plantas de manufatura flexível instaladas em universidades a fim de proporcionar esta aproximação, como é o caso da UDESC em Joinville-SC, Southwest na China, entre outras (LEAL et al., 2013).

Na UNIVATES, existe uma Planta de Manufatura Flexível Multidisciplinar elaborada por (BILDHAUER, 2014). Esta planta é composta por três esteiras transportadoras para o deslocamento de produtos, interligadas por mesas giratórias, local em que ocorre o acúmulo dos produtos, tornando as esteiras independentes, além de duas esteiras com células de carga para a pesagem dos produtos e um dosador. A Figura 1 ilustra a planta.

Figura 1 – Planta de Manufatura Flexível Multidisciplinar



Fonte: (BILDHAUER, 2014).

O trabalho realizado por BILDHAUER (2014) foi projetar e automatizar três esteiras transportadoras, que efetuam o transporte de recipientes plásticos contendo bolas maciças de vidro brancas, simulando produtos fabricados. Duas balanças são utilizadas para efetuar a pesagem dos produtos. Também efetuou o projeto e automação de duas mesas giratórias, para transferir os produtos de uma esteira a outra e acumulá-los quando estas estiverem em com excesso na linha.

Além disto, foi desenvolvido um sistema dosador de produtos, para efetuar o enchimento dos potes. Por fim, efetuou um programa no CLP e criou um sistema supervisório simples para testes e demonstração do funcionamento deste FMS (BILDHAUER, 2014).

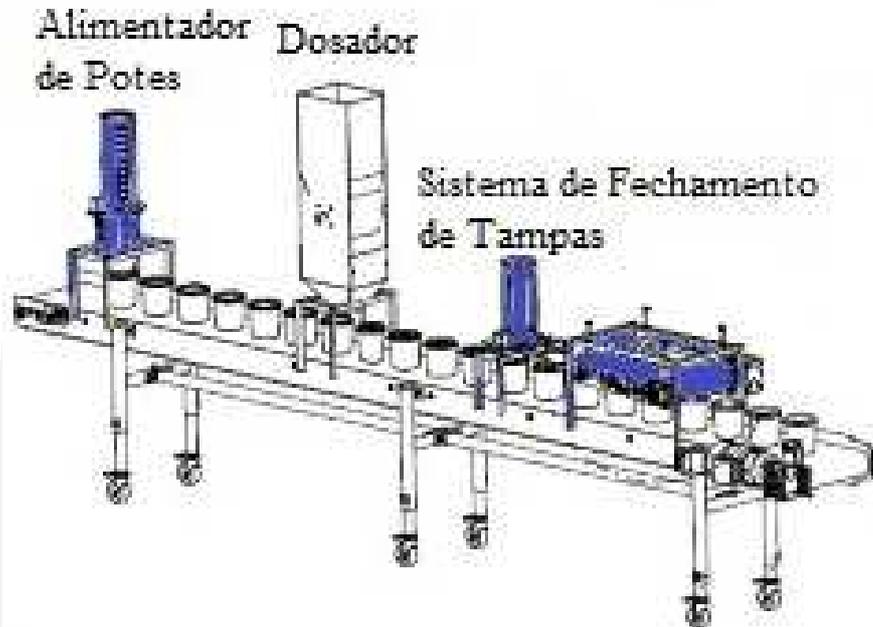
A proposta deste trabalho é aperfeiçoar e automatizar aquele trabalho (BILDHAUER, 2014) para fins de atividades didáticas multidisciplinares aos acadêmicos de Engenharia, nas disciplinas de Automação, Acionamentos, Sensores e Transdutores e sistemas produtivos. O FMS vai foi dividido em três módulos de acionamento, alocados em quadros de comando. Cada quadro de comando possui um CLP, o qual foi definido na proposta, permitindo que o aluno possa gravar e testar programas e interagir com o sistema. Cada módulo recebeu uma Interface Homem-Máquina (IHM), para que o aluno possa ter o contato com o desenvolvimento do supervisório para este equipamento e efetuar implementações na planta.

No primeiro módulo realizou-se a automação da primeira esteira transportadora, composta pelo sistema alimentador de potes desenvolvido e o sistema dosador existente. No segundo módulo realizou-se a automação da esteira giratória 1, da esteira de pesagem 1 e da esteira transportadora 2. Por fim, no terceiro módulo realizou-se a automação da esteira giratória 2, da esteira de pesagem 2 e da esteira transportadora 3, composta por um sistema de fechamento de tampas desenvolvido neste trabalho.

No trabalho de (BILDHAUER, 2014), a entrada e saída de potes, assim como o fechamento das tampas é feito de maneira manual. Portanto, conforme mencionado no parágrafo anterior, foram desenvolvidos o sistema alimentador de potes e o sistema de fechamento de tampas, conforme ilustra a Figura 2. Ambos os

sistemas foram destacados na imagem. O sistema dosador foi mantido na figura a fim de elucidar o fluxo do processo.

Figura 2 – Implementações do alimentador de potes e fechamento de tampas



Fonte: Elaborado pelo autor.

A interação do usuário com o processo vai ser realizado com a IHM, que vai estar conectada com o CLP de seu respectivo módulo. Os resultados alcançados foram a automação de todo o processo, a integração dos três módulos, sendo validados com a utilização das IHMs, que possuem botões de acionamento do processo e telas de indicação, como por exemplo, a indicação do peso do produto.

O capítulo 2 deste trabalho apresenta a fundamentação teórica dos conceitos envolvidos na implementação da proposta. No capítulo 3 é detalhada a descrição do projeto, composto pelos projetos das estações de trabalho a serem construídas, elaboração dos quadros de comando, levantamento de dados técnicos para a definição dos CLP's apropriados para a automação do sistema. No capítulo 4 apresentam-se os resultados e validação da proposta. Por fim, ao capítulo 5 compete a conclusão do trabalho e propostas de aplicações futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

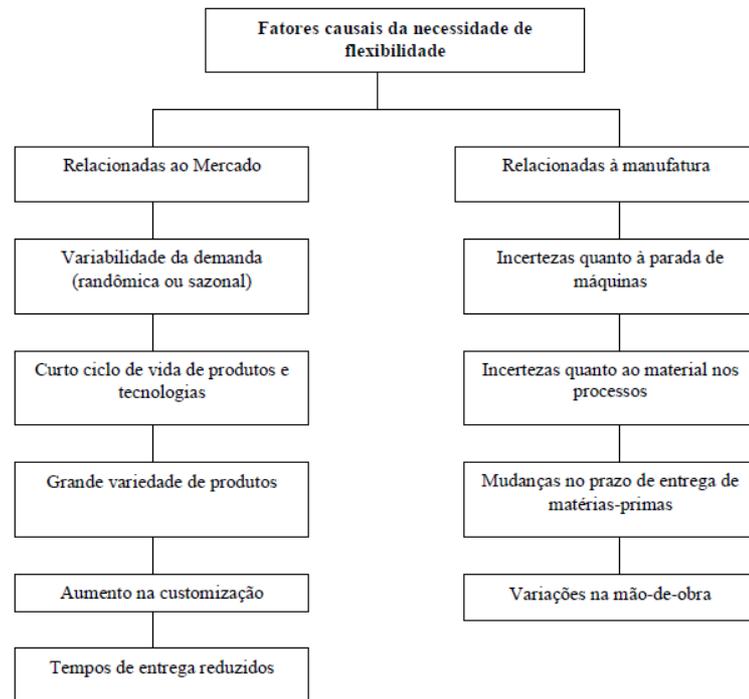
Neste capítulo apresenta-se o levantamento bibliográfico para o desenvolvimento da automação do sistema flexível de manufatura, no qual será abordado o sistema de manufatura já existente na Univates (BILDHAUER, 2014). Para tanto, realizaram-se pesquisas referentes a aplicações semelhantes existentes em laboratórios de ensino superior e Sistemas Flexíveis de Manufatura. Também vão ser realizadas pesquisas sobre os itens que vão compor o sistema de automação: CLP, sistema de alimentação de produto, sistema de fechamento de tampa, sensores e acionamento elétrico.

2.1 Sistemas Flexíveis de Manufatura

O conceito de Sistema Flexível de Manufatura (FMS) foi criado pelo engenheiro britânico David Williamson em meados da década de 60 e patenteado por Molins em 1965. O conceito ficou conhecido na época por System 24, pois achava-se que o sistema poderia funcionar 24 horas por dia (BORCHARDT; LINO, 2012).

A ideia da concepção do FMS representa uma nova tendência que o mercado propõe no que se refere à flexibilidade, que é a capacidade de responder a mudanças do mercado de forma rápida e eficaz (MORALES, 2009). A Figura 3 aponta os fatores que geram a necessidade da flexibilidade.

Figura 3 – Causas da necessidade de flexibilidade no processo



Fonte: (KARA; KAYIS, 2004).

O FMS é um tipo de sistema que possibilita a produção de itens distintos, tendo flexibilidade para alteração de produtos, mantendo velocidade e qualidade no processo. Geralmente, o sistema é composto por estações de trabalho autônomas controladas por equipamentos programáveis e interligadas por sistemas automáticos (GROOVER, 2008).

Em aspecto semelhante (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002), referem-se a um FMS como uma configuração controlada por computador e estações de trabalho conectadas por máquinas automatizadas.

As necessidades de produção diversificadas aumentaram e as empresas de manufatura vêm se adequando a esta nova realidade por intermédio de implantação de FMS's e *layouts* que permitam que um sistema seja compartilhado por mais de um tipo de processo produtivo (PEIXOTO, 2012). A Figura 4 ilustra um modelo de FMS, em que produtos distintos são manipulados em uma mesma planta industrial. Neste exemplo, os produtos das esteiras podem ser alterados por outros, e efetuando alterações na máquina que une as três esteiras, é possível gerar outro produto, tornado o sistema flexível.

Figura 4 - Sistema de Manufatura Flexível



Fonte: (USP, 2014).

Segundo Campos (2010), para que o FMS possa atender aos critérios de variedade de produtos, níveis produtivos, prazos de entrega e qualidade dos produtos, deve apresentar algumas características fundamentais:

- Flexibilidade na troca de peças em produção;
- Flexibilidade nas mudanças de produto;
- Flexibilidade nas montagens de máquinas (set-up);
- Flexibilidade nas flutuações no volume;
- Flexibilidade nas falhas de funcionamento.

2.2 Laboratórios didáticos de FMS

Como a proposta deste trabalho consiste na automação de uma planta de manufatura didática, foi realizada uma pesquisa acerca de plantas disponíveis em outras Instituições de Ensino Superior (IES), para fins de observação de trabalhos já

contemplados. Na UDESC de Joinville-SC, está montado um Sistema Flexível de Manufatura, denominado de LAMAN (Figura 5). Este sistema é composto por quatro estações de trabalho, uma esteira transportadora e um software de gerenciamento.

A primeira estação de trabalho é constituída de uma estação de armazenagem e reposição automática de peças. A segunda estação representa uma estação de usinagem. Já a terceira estação corresponde à etapa de montagem e, por fim, a última estação de trabalho faz uma aproximação ao processo de controle de qualidade. Os módulos são compostos por braços robóticos e sistemas automáticos (LEAL et al., 2013).

Figura 5 – FMS do Laboratório de Automação da Manufatura da UDESC



Fonte: (LEAL et al., 2013).

Segundo Leal et al. (2013), o desenvolvimento de um FMS tem por proposta o ensino integrado de diversas disciplinas em uma única plataforma. Na disciplina de Automação, são tratados conhecimentos para automação de processos, utilizando hardware e software. Na disciplina de Redes de Computadores e Barramentos Industriais são abordadas tecnologias de comunicação de dados, ruídos, protocolos e meios físicos utilizados. Já na disciplina de Robótica é feita a introdução à disciplina mostrando aplicações de robôs e seu modo de programação. Nas disciplinas de processo produtivo são estudados aspectos de otimização da linha de produção.

A Figura 6 apresenta outra planta didática de FMS, situada na Universidade de Southwest, na China. Esta planta é composta de esteiras transportadoras e é gerenciada por um dispositivo de controle, que possui um supervisor em um computador, situado ao lado da planta.

Figura 6 – Laboratório FMS da Universidade de Southwest



Fonte: (SOLUTIONS4U, 2014).

No Centro Universitário UNIVATES, está montada a planta didática de FMS, desenvolvida por BILDHAUER (2014). Esta planta existente, composta por três esteiras transportadoras, duas esteiras de pesagem, duas esteiras giratórias e sistema de dosagem foi apresentada na introdução.

2.3 Equipamentos de Automação

Neste módulo são apresentados equipamentos de automação, utilizados para automatizar plantas industriais, de modo a contextualizar o assunto.

2.3.1 Controlador Lógico Programável (CLP)

Na história da indústria, o CLP vem apresentando um papel fundamental no controle de processos industriais. Cita-se a título de exemplo a indústria automobilística, em que o CLP foi desenvolvido na década de 60 e aperfeiçoou os modelos produtivos existentes, substituindo inúmeros painéis de controle que possuíam centenas de relés e contadores, que ocasionavam manutenção complexa e demandavam muito tempo tendo um custo extremamente elevado, pois deixavam

as máquinas inoperantes durante horas. Grande parte das empresas que visam alta produtividade utiliza o CLP para automatização de seus processos (SILVA, 2006; UERJ, 1999).

O Controlador Lógico Programável (CLP), também conhecido por *Programmable Logic Controller* – PLC é um computador específico, diferente dos computadores convencionais. Em geral, devido ao seu pequeno tamanho possui baixo consumo de energia, é resistente a impactos e suporta condições ambientais extremas, como situações de ruídos externos, vibrações e locais onde acumulam pó e outros resquícios de produção, como por exemplo, farelos e grãos de polietileno, sendo por esta robustez, equipamento ideal para operação em ambiente industrial (LANGBECK; COSTA; SHIMIZU, 2012).

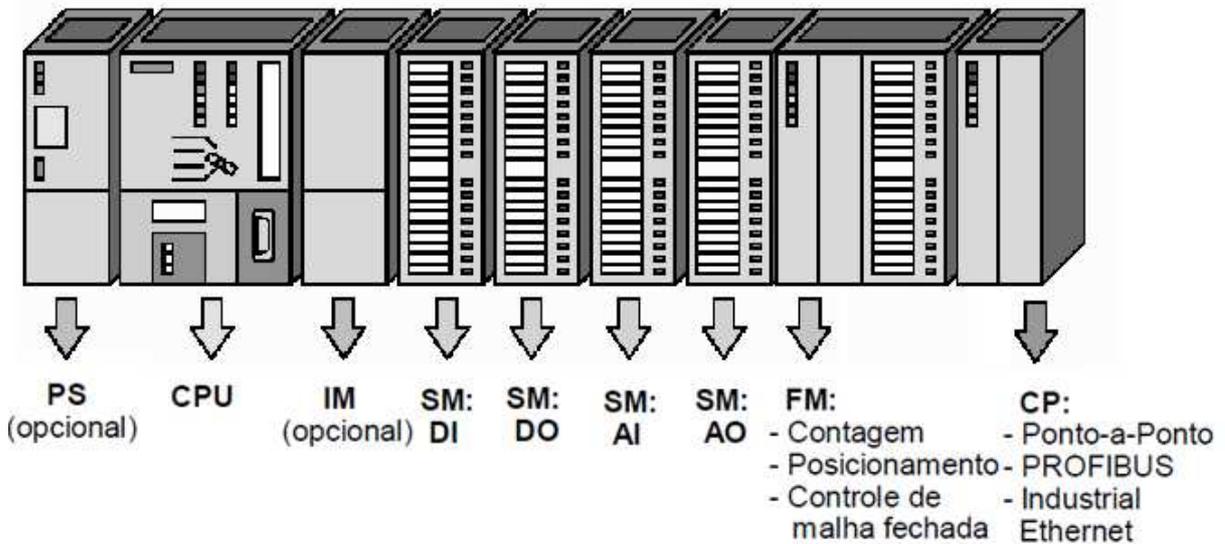
O CLP é um dispositivo eletrônico que controla máquinas e processos. Utiliza memória programável para armazenar internamente instruções e implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem, operações matemáticas e manipulação de dados, controlando o sistema em que está instalado por meio de módulos de entradas e saídas (I/O) (CAMPOS, 2008).

O CLP é o controlador indicado para lidar com sistemas discretos e conquistou mercado por poder operar funções com variáveis analógicas definidas por intervalos de corrente ou tensão elétrica. A grande vantagem deste dispositivo é a possibilidade de reprogramação, sem necessidade de modificações de hardware (MELLO, 2011).

A Figura 7 apresenta a estrutura física de um CLP. A *Power Source* (PS) é a fonte de energia que disponibiliza tensão e corrente para os demais módulos de expansão do CLP. A *Central Processing Unit* (CPU) contém o processador e a memória onde é realizado o armazenamento do programa do usuário. O *Interface Modules* (IM) é um módulo opcional que permite a configuração entre racks, a qual é possível conectar um barramento a outro. Os *Signal Modules* (SM) são os módulos de entrada e saída de sinal, dividindo-se em *Digital Input* (DI), módulo de entradas digitais, *Digital Output* (DO), módulo de saídas digitais, *Analog Input* (AI), módulo de entradas analógicas e *Analog Output* (AO), módulo de saídas analógicas. Os *Function modules* (FM) representam módulos especiais como contagem rápida e

posicionamento. Os *Communications Processors (CP)* representam módulos de comunicação de rede, que podem ser utilizados caso exista a necessidade de comunicação do CLP com outros tipos de comunicação que não esteja incorporado internamente (HUGHES, 2004).

Figura 7 – Estrutura física de um CLP



Fonte: (UNICONTROL, 2007).

Uma característica importante do CLP é o ciclo de varredura, que pode ser dividido em três etapas: leitura do registro de entradas, leitura e processamento do programa e atualização dos registros de saída. Na última etapa também é realizada a atualização das variáveis com lógica aritmética e contagem dos temporizadores. Após isto, o ciclo reinicia-se. O tempo utilizado pelo CLP para execução de cada ciclo de varredura denomina-se tempo de varredura (do inglês - *scan time*) e deve ser considerado no momento de definição de uma nova máquina (NAPOLI, 2013).

2.3.2 Sensores

Quando o processo de manufatura é monitorado por seres humanos, os recursos utilizados para tal são os órgãos dos sentidos, sendo que às vezes, as informações obtidas por meio de vários destes órgãos são usadas para atingir a tomada de decisão. A fim de conseguir a monitorização automática, esses órgãos dos sentidos devem ser substituídos por sensores, para agregar confiabilidade ao processo produtivo, devido a alguns sensores poderem detectar sinais que não

podem ser detectados com os órgãos dos sentidos humanos e reduzir significativa a possível falha humana (TÖNSHOFF; INASAKI, 2001).

Sensores são dispositivos que convertem um estímulo, representado por uma grandeza física, em um sinal elétrico que indica esta grandeza (FRADEN, 2004; FRANÇOSO; DAMASCENO, 2010).

O uso de sensores é importante para monitorar processos de manufatura, além de assegurar a segurança do equipamento e do operador. É mais eficiente, exato e preciso do que pessoas (FRANÇOSO; DAMASCENO, 2010). A seguir são apresentados alguns sensores comuns utilizados em ambientes industriais.

2.3.3 Sensor ótico

Segundo Thomazini e Albuquerque (2005), os sensores óticos são componentes eletrônicos de sinalização e comando que executam detecção de qualquer material sem que haja contato mecânico entre eles. O princípio de funcionamento do sensor ótico baseia-se na existência de um emissor e um receptor. A luz gerada pelo emissor deve atingir o receptor com intensidade suficiente para fazer com que o sensor altere seu sinal de saída.

2.3.3.1 Sensor ótico de barreira direta

O princípio de funcionamento deste sensor consiste na interrupção do feixe de luz, uma vez em que o emissor e o receptor são construídos de forma separada. Ao serem alinhados, os dois componentes criam entre si uma barreira de luz. A presença de um objeto interrompendo essa barreira faz com que o sensor seja ativado (CAPELLI, 2006; THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005). A Figura 8 ilustra o princípio de funcionamento deste sensor.

Figura 8 – Princípio de funcionamento sensor de barreira direta



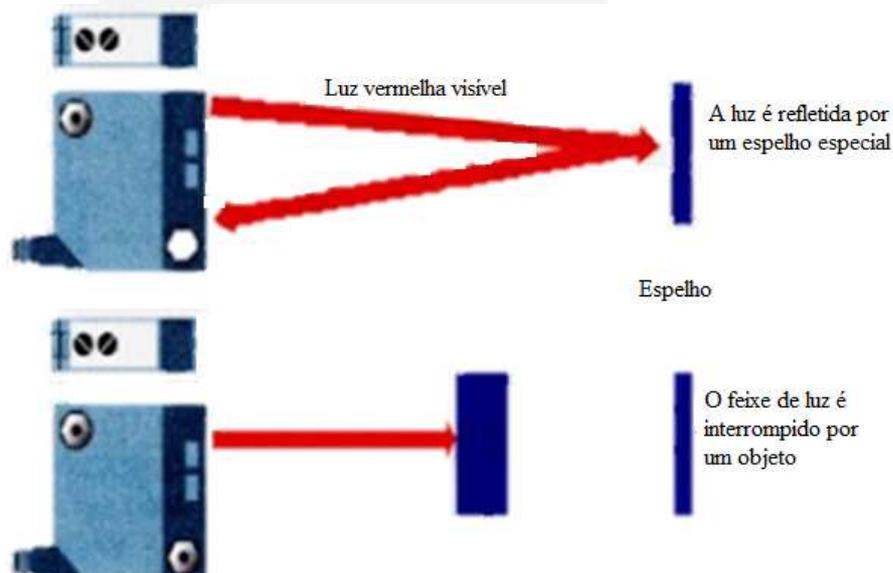
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Este tipo de sensor apresenta como vantagens a grande faixa de operação, detecção de pequenos objetos, mesmo a longas distâncias, e boa precisão. Como desvantagens apresenta a necessidade de duas conexões elétricas separadas, devido ao sensor ser dividido em duas partes, não pode ser utilizado para objetos transparentes, devido à passagem de luz e possíveis erros, e a alta sensibilidade a sua sujeira (CAPELLI, 2006).

2.3.3.2 Sensor retrorreflexivo

Neste tipo de sensor, o emissor e o receptor estão montados no mesmo corpo. O seu princípio de funcionamento consiste em um feixe de luz que é estabelecido entre o emissor e o receptor por intermédio da existência de um refletor. O sensor é ativado quando o objeto interrompe o feixe de luz (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005). A Figura 9 ilustra o princípio de funcionamento deste sensor.

Figura 9 – Princípio de funcionamento sensor retrorreflexivo



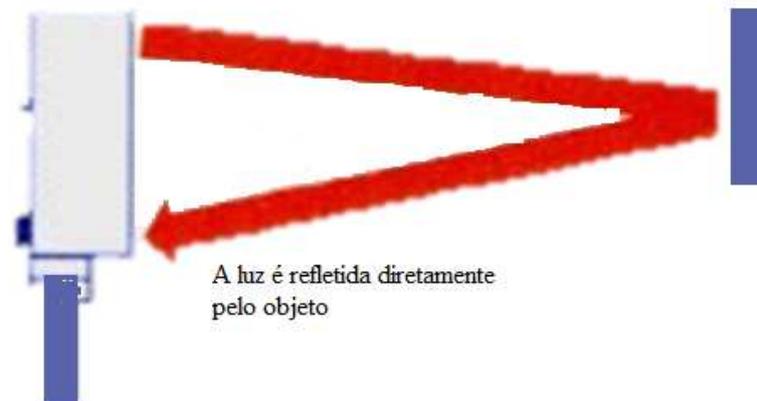
Fonte: (DANTAS, 2010).

Este tipo de sensor apresenta como vantagens a instalação simples, o objeto pode ter certo grau de transparência, desde que haja suficiente absorção de luz. Na maioria das situações, a faixa de resposta é maior se comparada com a faixa do sensor de barreira direta. Como desvantagens, pode-se mencionar a necessidade de um refletor externo e objetos totalmente transparentes não são detectados (CAPELLI, 2006).

2.3.3.3 Sensor difuso

Da mesma forma que o sensor retrorreflexivo, este sensor também é construído no mesmo encapsulamento. A diferença é que o sensor difuso não utiliza um refletor externo, pois o próprio objeto a ser detectado serve como refletor (CAPELLI, 2006; THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2005). A Figura 10 ilustra o princípio de funcionamento deste sensor.

Figura 10 – Princípio de funcionamento sensor difuso



Fonte: (DANTAS, 2010).

Este tipo de sensor apresenta como vantagens que objetos translúcidos podem ser detectados e não necessita de refletor externo. Como desvantagem pode-se citar que o sensor possui menor exatidão e precisão devido às diferentes composições dos materiais (CAPELLI, 2006; THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

2.3.4 Sensor Capacitivo

O princípio de funcionamento do sensor capacitivo baseia-se na geração de um campo elétrico desenvolvido por um oscilador controlado por capacitor. O lado sensível do sensor é formado por dois eletrodos metálicos dispostos paralelamente, equivalendo-se a um capacitor. Quando um objeto se aproxima da face ativa do sensor, ele entra no campo elétrico, sob a superfície do eletrodo e provoca uma mudança na capacitância do conjunto, ocorrendo uma oscilação com amplitude que seja detectada por um circuito (CAPELLI, 2006). A Figura 11 ilustra este efeito.

Figura 11 – Sensor capacitivo detectando objeto



Fonte: (LINO, 2014).

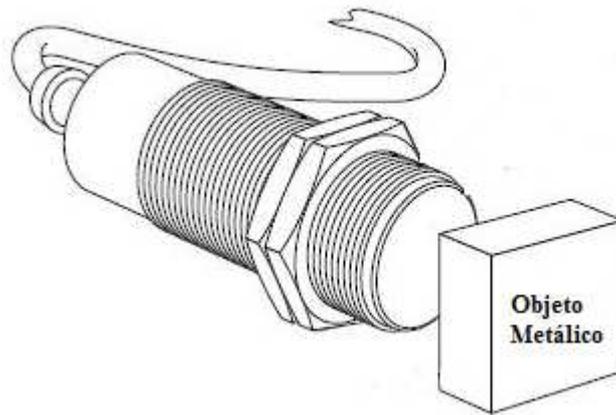
As partes internas do detector consistem em uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um filtro e um circuito de saída. Na ausência de um objeto, o oscilador está inativo. Quando o objeto se aproxima da face do sensor ele aumenta a capacitância do circuito com a ponta de compensação até atingir um determinado valor, ativando o oscilador e o circuito de saída, fazendo com que o sensor comute seu estado. A capacitância é diretamente proporcional ao tamanho e a constante dielétrica do alvo e inversamente proporcional à distância entre o sensor e o alvo (CAPELLI, 2006; THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

2.3.5 Sensor Indutivo

São componentes eletrônicos que detectam a aproximação de um objeto sem a necessidade de contato físico entre o sensor e o objeto. Por não haver contato, este tipo de sensor possui uma vida mais longa do que chaves fim de curso. A principal aplicação é a detecção de objetos metálicos, pois o sensor indutivo utiliza um campo eletromagnético, que sofre variação quando um objeto metálico se aproxima da face do sensor (LIMA, 2008).

O sensor consiste de uma bobina, um oscilador, um detector de níveis de sinais de disparo e um circuito de saída. Quando ocorre passagem de uma corrente elétrica através da bobina na ponta do sensor, gera-se um campo eletromagnético em torno da extremidade do dispositivo. Quando um objeto metálico é posicionado dentro do fluxo do campo magnético, ele absorve uma parte do campo, ocasionando uma variação (queda de tensão), que é detectada pelo circuito de saída, que altera o estado do sensor (WILSON, 2005). A Figura 12 ilustra o sensor indutivo.

Figura 12 – Sensor indutivo detectando objeto



Fonte: Adaptada de (GENIUS DEVILS, 2013).

Os sensores indutivos são utilizados para controle de presença, fim de curso, detecção de passagem, contagem de peças. É recomendado o uso em necessidade de velocidade de processo elevada, condições ambientais severas: poeira, umidade, vapores, agentes químicos (WILSON, 2005).

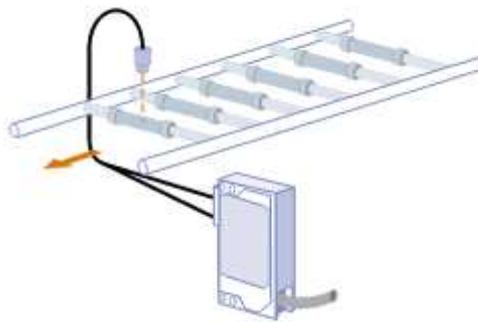
2.3.6 Sensor de cor

O sensor de cor tem a função de detectar a cor de objetos a uma distância pré-determinada. Seu princípio de funcionamento baseia-se no princípio da difusão em que o emissor e o receptor estão montados no mesmo encapsulamento (dispositivo chamado de fotoacoplador). O emissor envia um feixe de luz por intermédio de um fotodiodo (LED's nas cores azul, vermelha e verde) para o receptor, podendo ser em pulsos de alta potência e curta duração, de maneira a

elevar o nível de sinal para que minimize a interferência da iluminação ambiente (RIBEIRO; JÚNIOR, 2006).

Com uma eletrônica mais complexa, o circuito eletrônico interno do sensor efetua cálculos de comparação entre os sinais lidos e os sinais de referência armazenados, ativando sua saída de acordo com o resultado da comparação. Este tipo de sensor possui aplicação específica, e geralmente é configurado para efetuar a leitura de uma única cor (CAPELLI, 2012). A Figura 13 apresenta um sensor de cor efetuando a leitura de um objeto, sendo que caso a cor detectada seja igual a cor configurada em seu circuito interno, o sensor ativa seu sinal de saída.

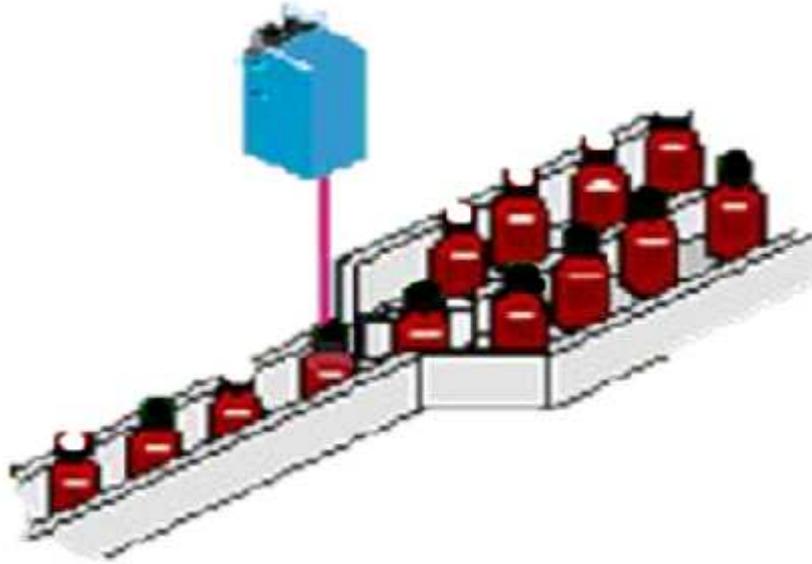
Figura 13– Sensor de cor detectando objeto



Fonte: (CAPELLI, 2012).

As dificuldades encontradas nos sensores de cor são: distância sensora, rugosidade, tonalidade, iluminação ambiente, objetos com brilho intenso. É muito utilizado para distinção de produtos, como por exemplo, a Figura 14, em que o sensor identifica garrafas com tampas pretas para efetuar a divisão de produtos em um sistema produtivo automatizado.

Figura 14 – Identificação de produtos com sensor de cor

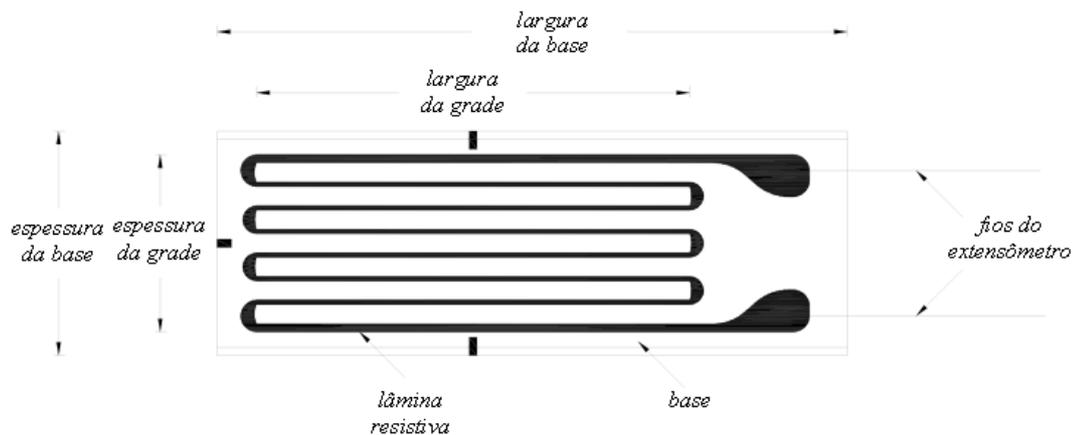


Fonte: (RIBEIRO; JÚNIOR, 2006).

Este sensor, também conhecido como célula de carga, baseia-se no fato de que os metais mudam sua resistência quando sofrem uma deformação. Ao se deformar longitudinalmente, a resistência elétrica sofre variação, devido à alteração do comprimento de suas trilhas (PACIORNIK, 2003).

Um tipo de extensômetro é mostrado na Figura 15, em que um fio metálico resistivo, ou lâmina resistiva, de espessura na ordem de micrômetros é fixado em material isolado eletricamente. Quando o material em que o extensômetro está aplicado sofre a aplicação de um esforço mecânico, provoca-se alteração no comprimento do seu fio, alterando sua resistência elétrica (ANDOLFATO et al., 2004).

Figura 15 – Esquema de confecção de extensômetros



Fonte: (ANDOLFATO et al., 2004).

2.4 Dimensionamento de condutores

A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5410 estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão¹, a fim de garantir a segurança das pessoas e animais e o funcionamento adequado da instalação (ABNT, 2004).

Para o funcionamento adequado de um circuito de uma instalação elétrica é necessário seguir alguns critérios, como determinação da corrente de projeto, definição do tipo de linha elétrica, aplicação do critério de capacidade de condução de corrente, limites de queda de tensão, escolha dos dispositivos de proteção contra curto-circuitos e solicitações térmicas, proteção contra choques elétricos por seccionamento automático da alimentação, seções mínimas dos condutores fase, neutro e proteção (ABNT, 2004).

2.4.1 Norma de instalação elétrica

O dimensionamento da seção mínima dos condutores deve garantir que eles suportem de forma satisfatória as seguintes condições (ABNT, 2004):

¹ Baixa tensão segundo as normas brasileiras são os níveis de tensão de até 1000 V (GONÇALVES, 2012).

- Limite de temperatura, determinado pela capacidade de condução de corrente;
- Limite de queda de tensão;
- Capacidade dos dispositivos de proteção contra sobrecargas;
- Capacidade de condução da corrente de curto-circuito por tempo limitado.

Inicialmente, determinam-se as seções pelos critérios de capacidade de corrente e limites de queda de tensão. Então adota-se o condutor padronizado comercialmente com uma seção nominal maior ou igual à seção calculada. As tabelas enumeradas de 36 a 39, da NBR 5410, de capacidade de condução de corrente, são utilizadas para avaliar o condutor mais indicado para a aplicação de acordo com o tipo de isolamento dos cabos (ABNT, 2004).

A norma também determina as seções mínimas dos condutores, sendo utilizado 1,5 mm² para circuitos de iluminação, 2,5 mm² para circuitos de força e condutores de 0,5 mm² para circuitos de comando, sendo cobre o material do condutor (ABNT, 2004).

O critério do limite da queda de tensão considera que o valor da tensão no terminal de utilização não é o mesmo do circuito de alimentação de energia, pois ocorrem quedas de tensão no percurso em elementos como interruptores, condutores e conexões. Essas quedas de tensão podem provocar desde redução na vida útil até queima (falha) dos equipamentos (ABNT, 2004).

Em seguida, no momento do dimensionamento dos dispositivos de proteção, verifica-se a capacidade dos condutores com relação às sobrecargas e curto-circuitos, avaliando os critérios de tempo de atuação dos dispositivos de proteção e possíveis sobrecargas para os níveis de curto-circuito. O dimensionamento deve ser estabelecido de forma a garantir que as temperaturas admissíveis para os condutores não sejam ultrapassadas (ABNT, 2004).

2.5 Sistemas alimentadores de produtos

A seguir são apresentados alimentadores de produtos para sistemas produtivos, de maneira a pesquisar sistemas existentes, que podem ser utilizados tanto para alimentação de tampas, produtos, potes.

2.5.1 Alimentador rotativo

Alimentador rotativo ou centrífugo é um sistema desenvolvido para adição de materiais a granel em um processo produtivo. São geralmente utilizados com grande quantidade de adição de material sólido, em processos automatizados que buscam alta produtividade, sem a intervenção humana (GOUVEIA, 2012). A Figura 16 apresenta um alimentador rotativo utilizado para introduzir tampas no sistema. As tampas são dispostas na mesa circular, em que elementos separadores posicionam as tampas automaticamente e as enfileiram para entrarem no sistema produtivo. Alguns sistemas são vibratórios para garantir que o objeto fique sempre na mesma posição.

Figura 16 – Alimentador rotativo



Fonte: (PROYECMA, 2014).

A Figura 17 apresenta um alimentador rotativo para baldes em uma linha produtiva. Os baldes são dispostos manualmente na esteira giratória que

desempenha a função de alimentador desta embalagem. O movimento giratório alinha os baldes nas guias laterais, que os direcionam para a esteira onde vai ser realizada a dosagem do produto. É um sistema simples, mas requer uma área maior para sua instalação.

Figura 17 – Alimentador rotativo de baldes

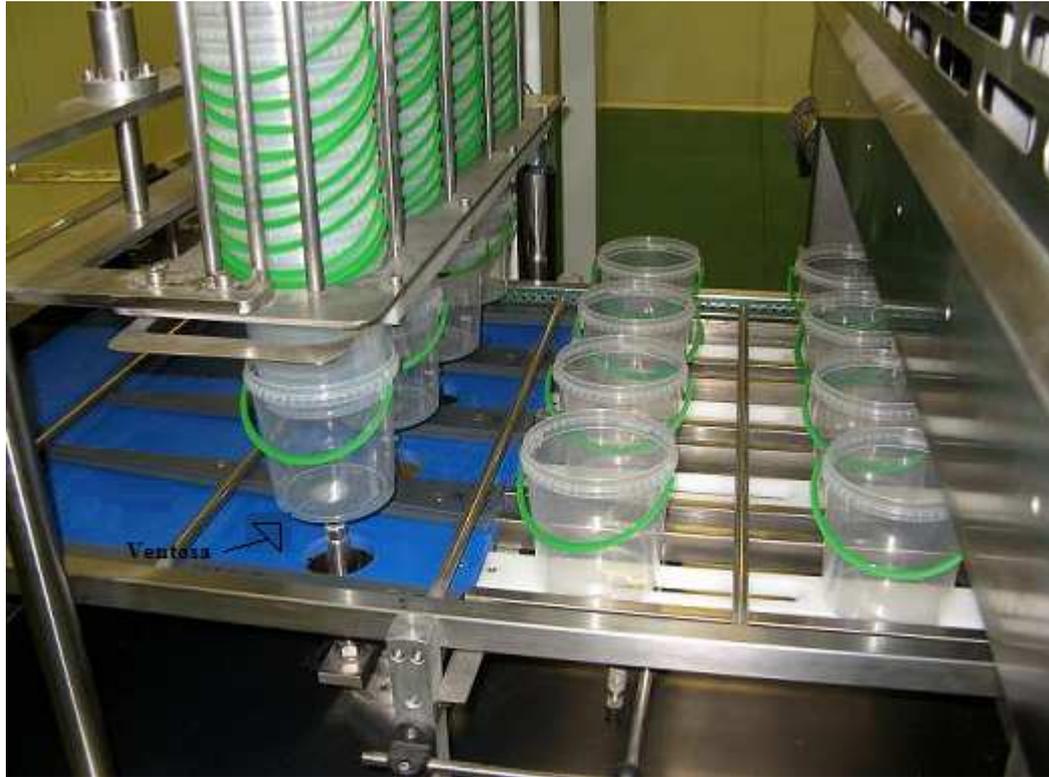


Fonte: (MECATRÔNICA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 2014).

2.5.2 Alimentador pneumático

O alimentador pneumático utiliza atuadores para captura de produtos. É muito utilizado para embalagens plásticas como potes e tampas. A Figura 18 apresenta um alimentador de potes com este princípio de funcionamento. Este sistema possui quatro ventosas que efetuam movimento vertical, capturando os potes por vácuo.

Figura 18 – Alimentador de potes pneumático



Fonte: (T-PACK, 2014).

2.5.3 Alimentador magnético

Os alimentadores magnéticos são utilizados para efetuarem a alimentação de chapas e outros produtos metálicos em uma linha produtiva. Possuem conjunto magnético feito por ímãs de alta densidade de fluxo. Os componentes magnéticos são protegidos por chapas de aço inoxidável não magnético (BRAMIS, 2014). A Figura 19 apresenta um levantador magnético de chapas metálicas, que pode ser utilizado para introduzir um produto em uma linha produtiva.

Figura 19 – Levantador magnético de chapas

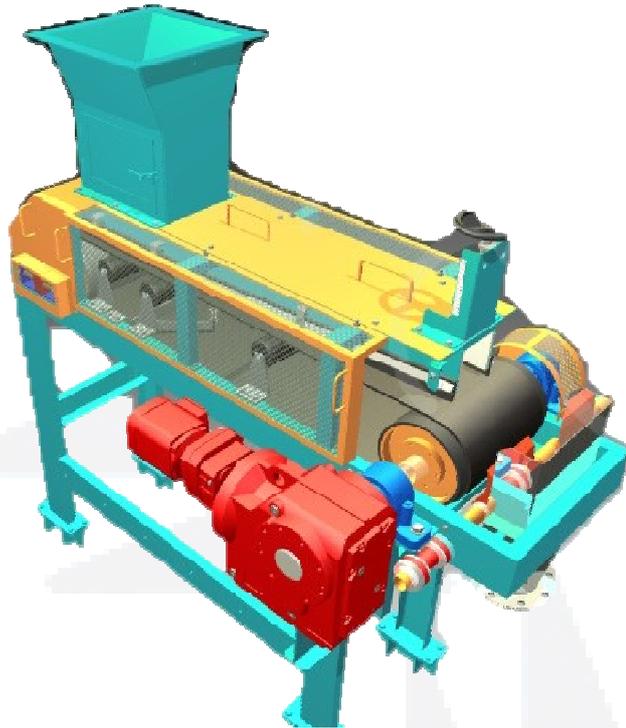


Fonte: (BRAMIS, 2014).

2.5.4 Alimentador gravimétrico

Os alimentadores gravimétricos proporcionam vazão e peso constante ao produto quando direcionado para a esteira. Os produtos são abastecidos em sua parte superior, sendo que o sistema, por gravidade e um sistema separador interno, geralmente constituído por um parafuso helicoidal, provocam a saída constante dos produtos na linha produtiva (METALÚRGICA SANTA RITA, 2014). A Figura 20 apresenta um alimentador gravimétrico de produto. Neste sistema, os produtos são descarregados a granel em sua extremidade superior e saem na esteira de forma constante.

Figura 20 – Alimentador gravimétrico

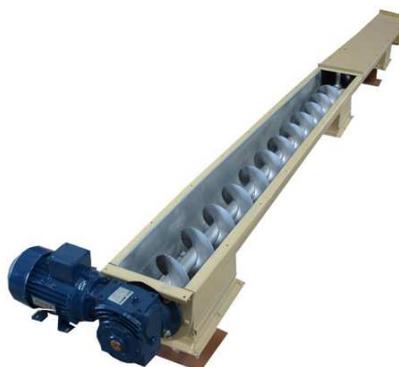


Fonte: (ENGENDRAR, 2014).

2.5.5 Alimentador por fuso ou rosca sem fim

O alimentador por fuso ou rosca sem fim, também chamado de transportador helicoidal, pode ser utilizado para fazer a movimentação de materiais. Consiste em um helicóide com movimento rotativo e um condutor fixo (calha ou tubo). O transporte é realizado quando o material posto em uma das extremidades do condutor é deslocado ao longo deste por intermédio da rotação de helicóide, que ocorre pelo acionamento de um motor elétrico, conforme ilustra a Figura 21.

Figura 21 – Alimentador por fuso



Fonte: (CARMOMAQ, 2014).

2.6 Sistema de fechamento de tampas

Os sistemas de fechamento de tampas são específicos para cada aplicação. Existem métodos de fechamento de tampas por pressão aplicada em potes, como no trabalho de WORM (2009), em que foi desenvolvido um sistema mecânico com pistão com acionamento pneumático para fechamento de tampas em potes plásticos em uma esteira transportadora. Este tipo de sistema pode ser visualizado na Figura 22.

Figura 22 – Sistema de fechamento pneumático de tampas



Fonte: (T-PACK, 2009).

Além do acionamento pneumático é possível utilizar para este tipo de sistema acionamento elétrico. A Figura 23 apresenta um sistema de fechamento de tampas por pressão em que os potes são conduzidos por uma esteira transportadora. Com base na altura do pote, é disposta acima desta esteira outra, acionada por um motor elétrico de indução, que efetua a pressão da tampa no pote quando ambos passam por elas. Este sistema é semiautomático, pois as tampas devem ser colocadas de forma manual em cima do pote.

Figura 23 – Fechamento de tampas por pressão



Fonte: (TECNOENVASE, 2014).

Outro método de fechamento de tampas existente é o sistema para tampas que exigem rosqueamento ou pressão e rosqueamento. A Figura 24 apresenta a automação de um sistema para fechamento de tampas por pressão e rosqueamento composto por acionamento elétrico e pneumático. As tampas vêm em um alimentador giratório, quando passam embaixo de um pistão pneumático por vácuo que atua no processo, pressionando a tampa contra o pote efetuando seu fechamento (TECNOENVASE, 2014).

Figura 24 – Fechamento de tampas por pressão e rosqueamento



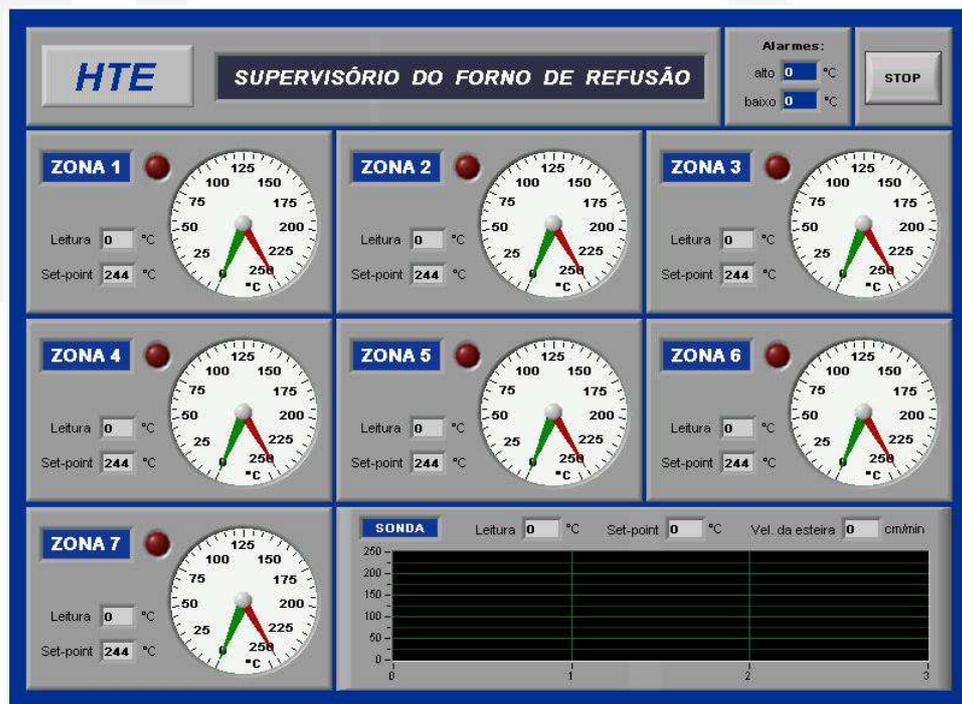
Fonte: (TECNOENVASE, 2014).

2.7 Sistema Supervisório

O Sistema supervisório tem por objetivo melhorar a interface entre a máquina e o homem, para que os operadores possam ter uma visão do processo que estão monitorando e os gestores possam ter uma visão global da planta fabril (CASILLO, 2010).

Os sistemas supervisórios são baseados em um computador que executa software específico de supervisão de processo industrial por intermédio de telas gráficas devidamente configuradas (CASILLO, 2010). A Figura 25 apresenta um exemplo de sistema supervisório, utilizado para leituras de pontos de temperatura de um processo.

Figura 25 - Exemplo de sistema supervisório



Fonte: (HUNSCHE, 2012).

2.8 Interface Homem-Máquina (IHM)

IHM são supervisórios que surgiram da necessidade de uma interface entre sistemas de automação e a equipe encarregada de sua operação. Devem possuir operação com o usuário de maneira a representar o processo real. No CLP, as IHM's podem ser configuradas para enviarem sinais de atuação, como por exemplo,

um botão de liga/desliga, substituindo por um botão manual no quadro de comando ou simplesmente monitorá-lo (MORAES, 2001).

De modo geral, as IHM's operam em dois modos. O primeiro denomina-se modo de desenvolvimento, para criação de telas gráficas e animações que representam o processo produtivo. O segundo é o modo *run time*, no qual a tela faz a interface com o usuário e mostra o acompanhamento do processo. Deve ser capaz de capturar e armazenar dados, gerar gráficos, alarmes entre outras funções que simulem o processo (MORAES, 2001). A Figura 26 apresenta alguns modelos de IHM's comerciais.

Figura 26 – Modelos de IHM's comerciais



Fonte: (GIGA EQUIPAMENTOS, 2012).

3 DESCRIÇÃO DO PROJETO

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada para o projeto e construção da presente proposta.

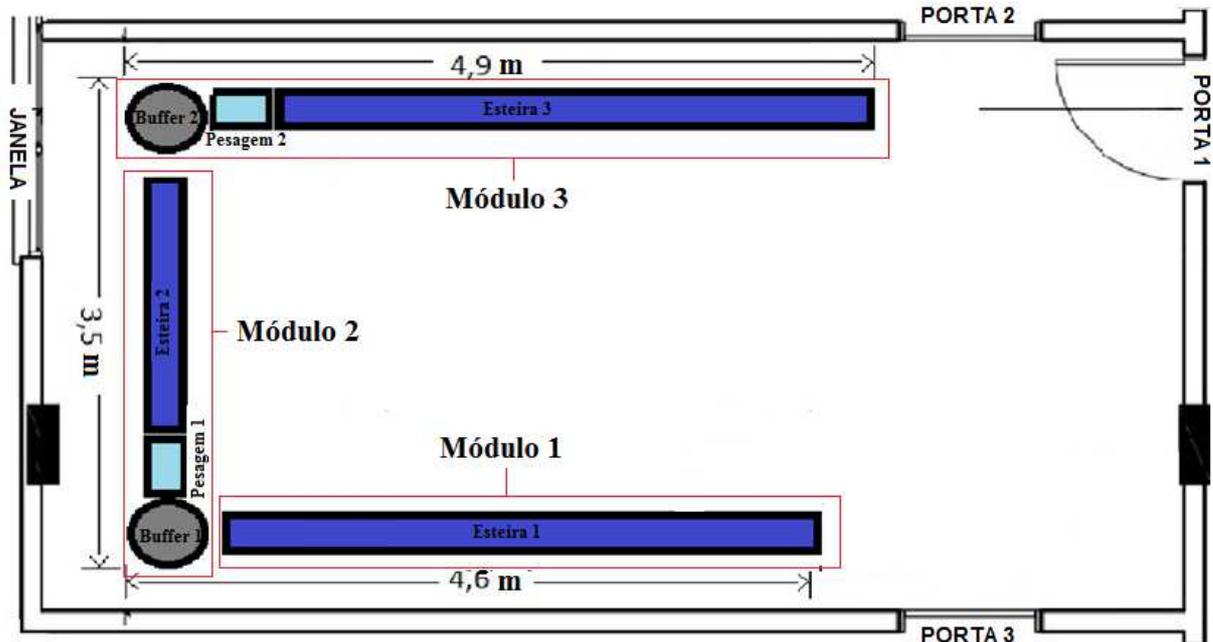
O presente projeto tem como objetivo implementar funcionalidades adicionais ao trabalho realizado por Bildhauer (2014). Esta planta de manufatura flexível é composta por três esteiras transportadoras, duas mesas giratórias, duas esteiras de pesagem, dois sistemas de envase de produtos, representando uma linha de produção.

3.1 Pesquisa de Plantas Didáticas

Efetuada pesquisas em outras IES, identificou-se que as plantas de manufatura flexível existentes destinadas a cursos de Engenharia, conforme Laboratório de Automação da Manufatura da Universidade do Estado de Santa Catarina (LEAL et al., 2013), Laboratório de Tecnologia de Manufatura do Centro Universitário da FEI (HILSDORF et al., 2005), são compostas de esteiras, software de gerenciamento relacionado com um CLP, manipuladores robóticos, sensores, atuadores e estações de trabalho específicas, como por exemplo, estação de usinagem, montagem, colocação de tampas.

O projeto proposto pretende otimizar a planta de manufatura flexível, efetuando a automação de todo o sistema, que vai ser dividido em três módulos. O módulo 1 é composto pela Esteira 1 e as estações de trabalho dispostas neste percurso. O módulo 2 é composto pela Esteira Giratória 1 (Buffer 1), Esteira de Pesagem 1, Esteira 2 e as estações de trabalho dispostas neste percurso. Por fim, o módulo 3 é composto pela Esteira Giratória 2 (Buffer 2), Esteira de Pesagem 2, Esteira 3 e as estações de trabalho dispostas neste percurso. A divisão dos módulos é ilustrada na Figura 27.

Figura 27 – Divisão em módulos da planta de manufatura flexível



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A divisão em três módulos provém da proposta de efetuar a automação da planta para fins de utilização em atividades acadêmicas, sendo cada um dos módulos gerenciados de forma isolada. Esta adequação foi realizada para utilização em trabalhos práticos em grupos de disciplinas de Engenharia, em que cada um pode trabalhar de forma isolada em cada módulo. A união dos trabalhos de cada módulo contempla a automação de toda a planta.

3.2 Implementações da Planta de Manufatura Flexível

As implementações adicionais sugeridas para a Planta de Manufatura Flexível existente contemplam a construção de duas estações de trabalho, sendo a primeira um sistema de alimentação de potes, e a segunda um sistema para fechamento das tampas destes potes. O sistema de envase do produto deste pote já foi desenvolvido por Bildhauer (2014). A Figura 28 apresenta a imagem do pote utilizado no projeto, referência 541 da fabricante Plasvale. Este pote é de polipropileno com capacidade de 750 gramas, entretanto outros potes também poderiam ser utilizados.

Figura 28 – Pote utilizado no projeto



Fonte: (PLASVALE, 2012).

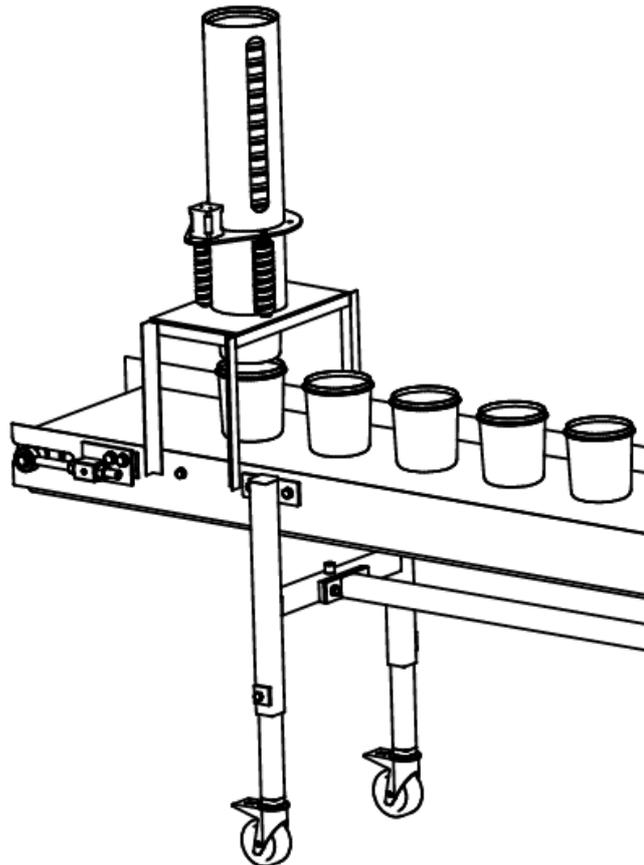
Além disto, o projeto contempla a utilização de três CLP's, sendo que cada um efetua o controle de cada módulo, tendo a comunicação com uma Interface Homem-Máquina (IHM). São dispostos sensores no processo para seu monitoramento. Além disto, foram desenvolvidos três quadros de comando, que efetuem o acionamento de cada módulo.

3.2.1 Sistema de alimentação de potes

O protótipo do sistema de alimentação de potes foi desenvolvido no Software Autodesk Inventor 2013 (AUTODESK, 2014). Consiste em um tubo cilíndrico onde são armazenados os potes por intermédio de sua abertura superior, encaixados um dentro do outro. Na outra extremidade, parte inferior do tubo, existem três roscas sem fim (fusos), que promovem o movimento rotativo de forma sincronizada, devido a existir um único motor que atua em uma estrutura mecânica com polia e correia dentada que efetua a rotação das roscas uniformemente.

Com este movimento rotativo, os potes são conduzidos pelas guias das roscas verticalmente, no sentido de cima para baixo, se aproximando ao fim da rosca, saindo do alimentador de potes e entrando na esteira transportadora, que faz seu deslocamento horizontal. O protótipo deste sistema de alimentação de potes é apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Protótipo do sistema de alimentação de potes



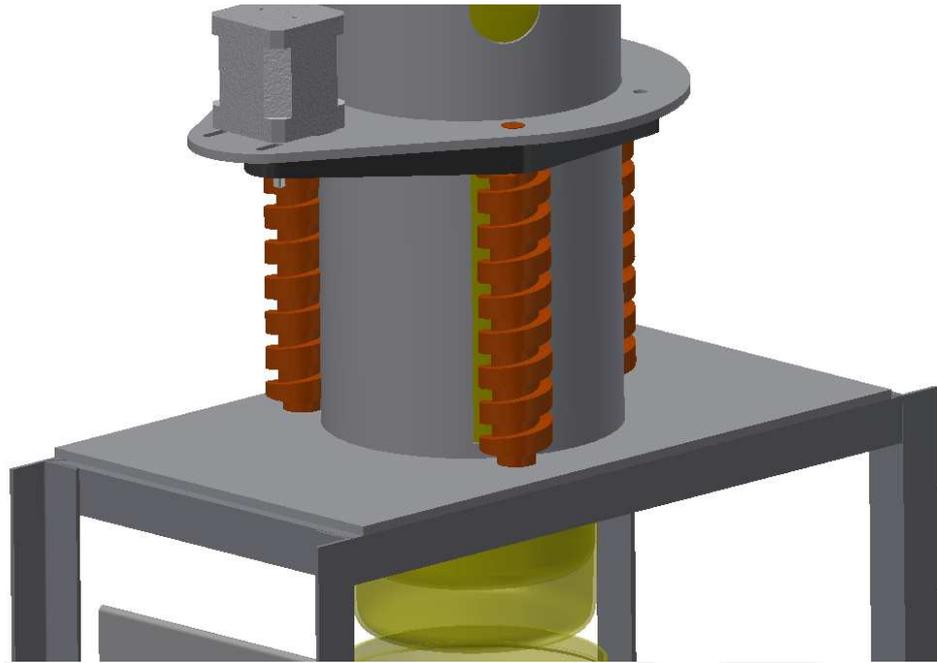
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Existe um sensor fotoelétrico difuso, posicionado abaixo do alimentador de potes. Quando identifica um pote em sua faixa de medição, envia um sinal digital ao CLP que vai desligar o motor do alimentador até que o pote seja movimentado pela esteira, reativando o acionamento do motor. Esta estação de trabalho possui regulagem de altura, de modo à flexibilização de ajustes necessários no processo.

O sistema de fusos projetado para o sistema de alimentação de potes é apresentado de forma ampliada na Figura 30. O sistema consiste em um motor de Corrente Contínua (CC), que possui conectado no eixo uma engrenagem, em que é encaixada uma correia dentada, que passa por três engrenagens conectadas acima

de cada rosca sem fim (fuso). Quando o motor é acionado, faz com que a engrenagem acoplada no eixo do motor gire, e por consequência giram as três engrenagens, fazendo com que os fusos girem de forma sincronizada, deslocando o pote no sentido da esteira transportadora, caindo até ela por gravidade quando terminam as roscas.

Figura 30 – Sistema de fusos para alimentação de potes.

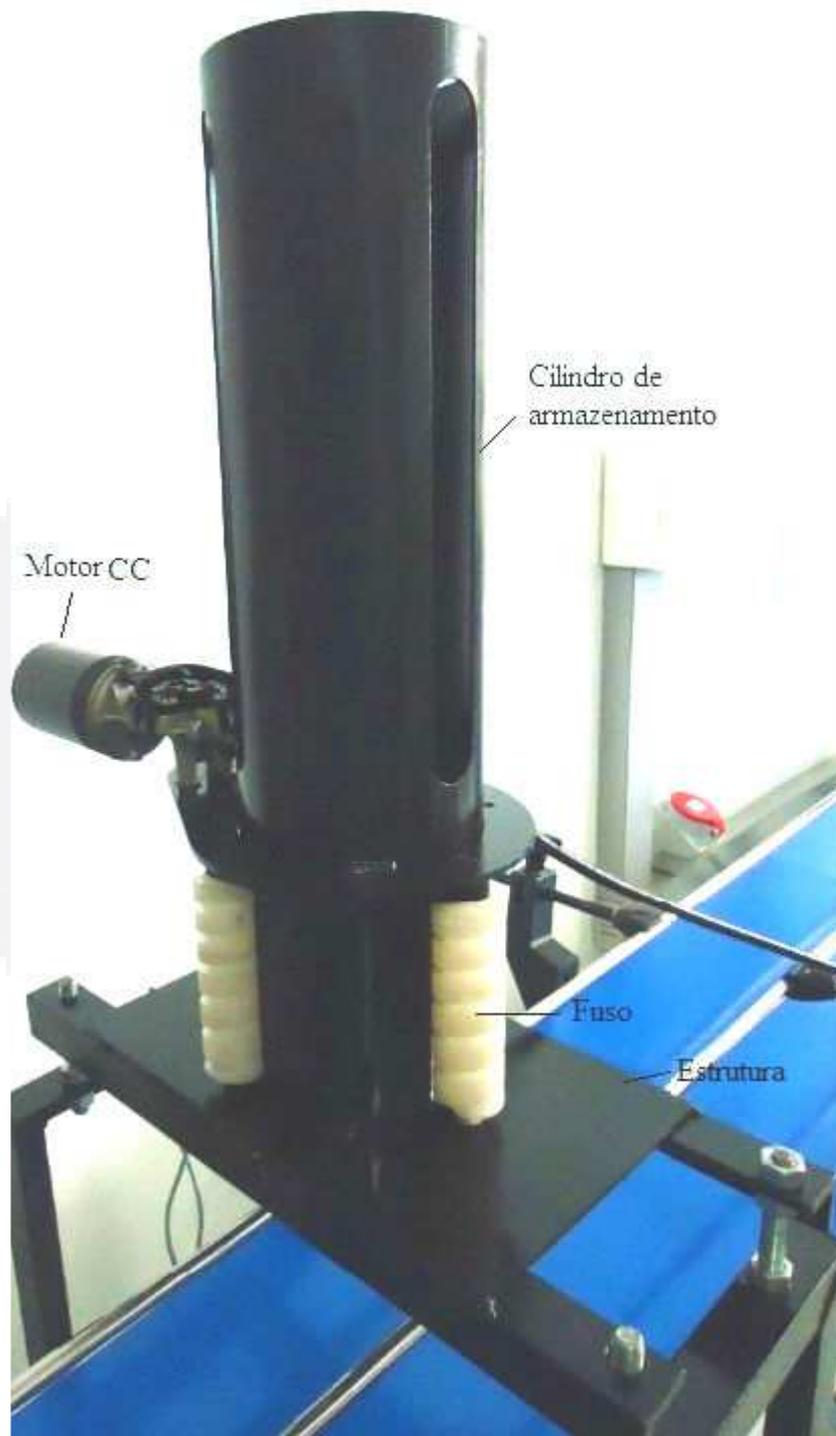


Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

3.2.2 Implementação do sistema alimentador de potes

O projeto desenvolvido foi enviado a uma torneria para produzir as peças e executar a montagem mecânica. Na Figura 31 é apresentada a estrutura pronta.

Figura 31 - Estrutura mecânica do alimentador de potes



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A estrutura deste sistema foi produzida em chapas metálicas. O cilindro de armazenamento possui capacidade para 14 potes. Este sistema é composto por três fusos de Tecnil de 40 mm de diâmetro e 135 mm de altura, que se movimentam ao mesmo tempo, devido à utilização de uma correia que passa por uma engrenagem

acoplada no eixo de um motor CC e por cada uma das engrenagens localizadas na parte superior de cada fuso.

As três engrenagens dos fusos e a engrenagem do motor possuem passo de 2 mm para estabelecer o sincronismo. Os fusos, a engrenagem com a correia sincronizada de 530 mm de comprimento, 15 mm de largura e passo de 2 mm utilizada na aplicação. A correia possui 265 dentes.

O sincronismo neste sistema é fundamental, pois caso ocorra um escorregamento da correia em uma das engrenagens dos fusos, provocado por falta de tracionamento da correia, os potes podem ficar trancados dentro dos fusos.

Os potes podem ser alimentados no cilindro um dentro do outro e quando o motor é ativado, a correia movimenta-se fazendo com que os três fusos também se movimentem, fazendo com que os potes desçam em direção à esteira de transporte 1. Devido ao passo variante, no fim do percurso dos fusos, o último pote separa-se dos demais, sendo liberado por gravidade para a esteira.

A fim de viabilizar este sistema para embalagens de tamanhos distintos e também possibilitar ajustes no processo, foi desenvolvida uma regulagem de altura por rosca de 10 cm. Esta regulagem é fixada na estrutura do sistema alimentador de potes, desenvolvido com cantoneiras, dando mobilidade ao sistema para alocá-lo em qualquer ponto das esteiras de transporte.

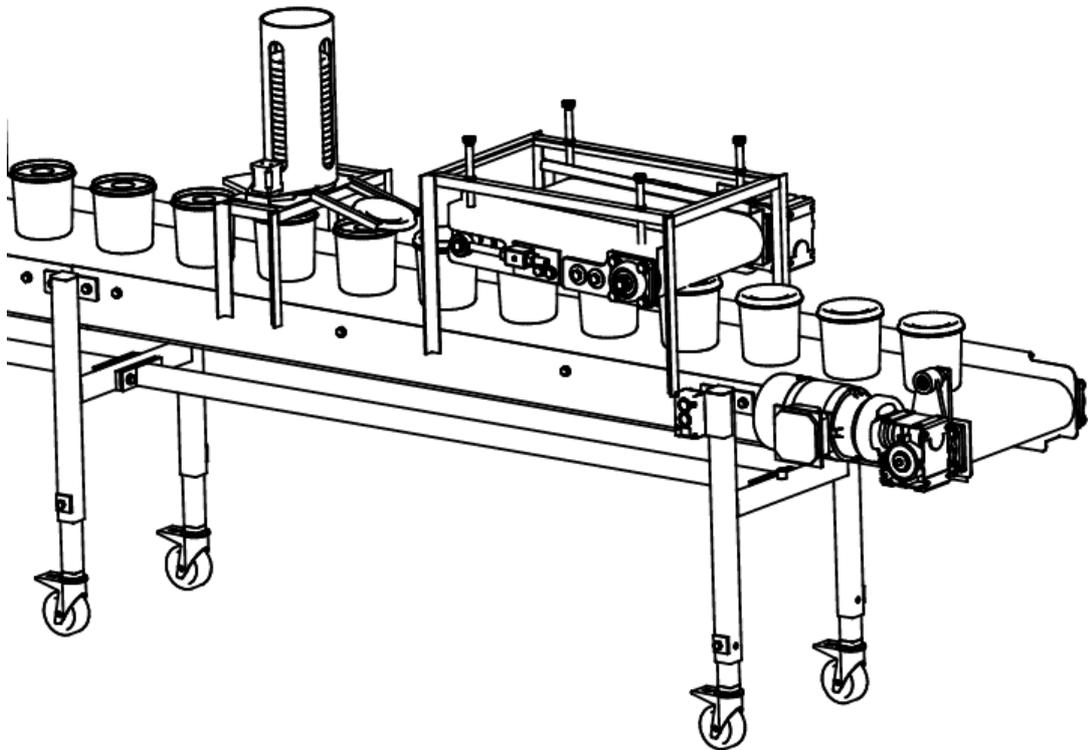
3.2.3 Sistema de fechamento de tampas

O sistema de fechamento de tampas foi desenvolvido no Software Autodesk Inventor 2013 (AUTODESK, 2014). Consiste em um tubo cilíndrico onde serão armazenadas as tampas. No fim do tubo vai existir um orifício por onde vai passar somente uma tampa, que vai ser empurrada por um atuador caindo em um condutor que vai alocar a tampa em duas hastes posicionadoras, que possuem uma inclinação de 72° em relação à esteira 3. A posição que a tampa vai ficar no fim destas hastes fica distante de 1 cm na parte superior do pote que está sendo conduzido pela esteira transportadora. Quando o pote está passando por baixo da tampa, a mesma sai das hastes posicionadoras e fica em cima do pote, ocorrendo

sua pressão no pote logo em seguida, quando passa entre a esteira invertida e a esteira de transporte, ocasionando o fechamento da tampa. O protótipo deste sistema de fechamento de tampas é apresentado na Figura 32.

Tanto o módulo de armazenagem das tampas como o módulo da esteira de prensagem possuem regulagem de altura, de modo à flexibilização de ajustes necessários no processo.

Figura 32 – Protótipo do sistema de fechamento de tampas

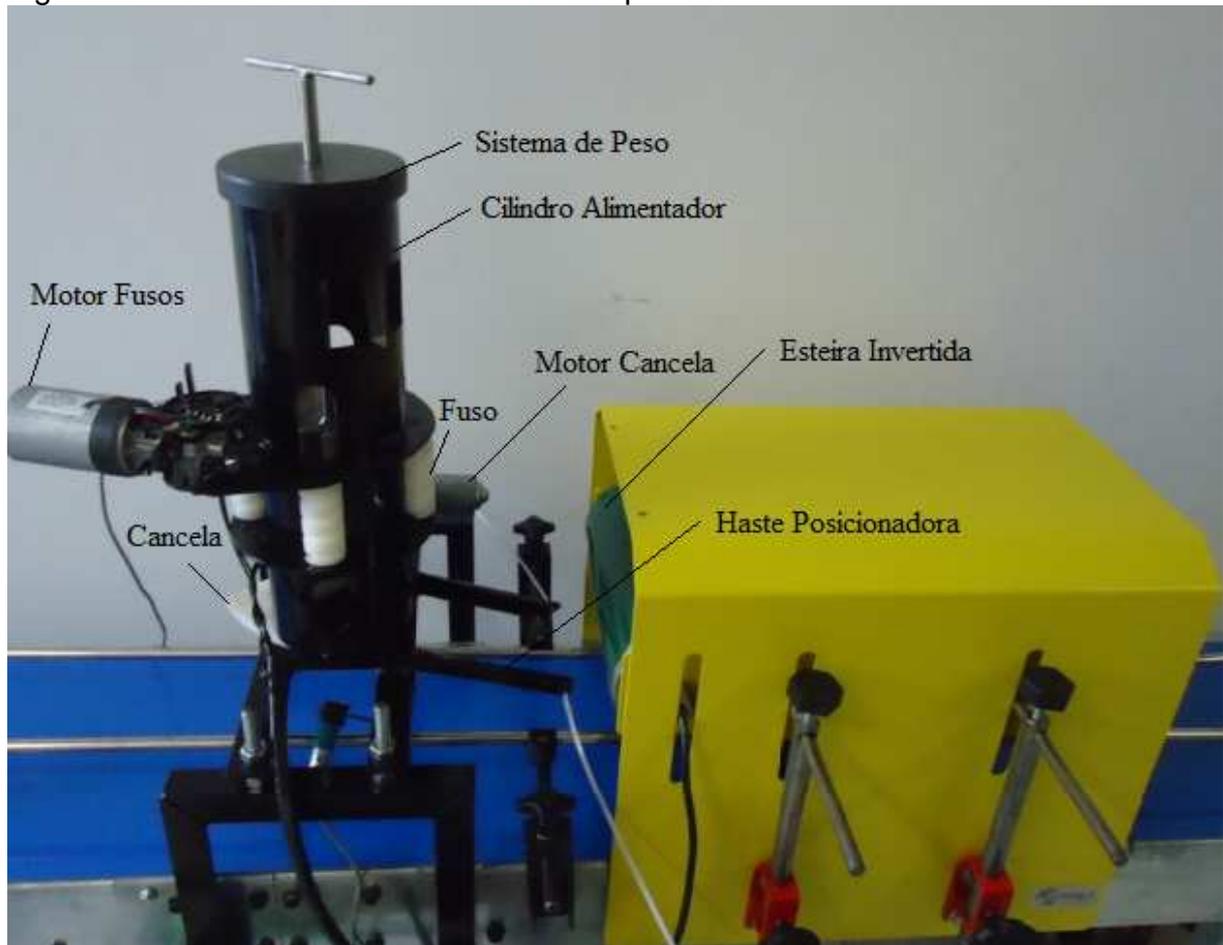


Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

3.2.4 Implementação do sistema de fechamento de tampas

O projeto desenvolvido foi enviado a mesma tornearia para produzir as peças e executar a montagem mecânica. Na figura 33 é apresentada a estrutura pronta.

Figura 33 – Sistema de fechamento de tampas montado



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A estrutura deste sistema foi produzida em chapas metálicas. O cilindro alimentador possui capacidade para 16 tampas. Possui um sistema de peso de 1 kg que é posto após a inclusão das tampas, para que as tampas sofram uma pressão para entrarem nos fusos. Este sistema é necessário devido à existência de espumas niveladoras de tampas na parte interna do cilindro, para que ao serem postas pelo operador, elas não caiam, passando diretamente pelo sistema de fusos. Estas espumas também evitam que a borda de uma tampa fique posicionada sobre a borda de outra, fazendo com que os fusos puxem duas tampas ao mesmo tempo.

O sistema é composto por quatro fusos de Tecnil de 40 mm de diâmetro e 90 mm de altura, que se movimentam sincronizadamente, devido à utilização de uma correia sincronizada. Estes fusos possuem passos variantes, iniciando em 10 mm e terminando em 15 mm.

De forma similar ao sistema de alimentação de potes, um motor CC é acionado, movimentando uma engrenagem de 30 mm de diâmetro, que movimenta a correia que passa pelos fusos. A correia é idêntica à utilizada no sistema de alimentação dos potes. A Figura 34 apresenta uma imagem ampliada dos fusos, engrenagem com a correia sincronizada.

Figura 34 – Sistema de fusos do sistema alimentador de tampas



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Este sistema de fusos com passo variante foi necessário devido à necessidade de separar as tampas, pois na parte inferior do cilindro alimentador, após a tampa percorrer os fusos, existe uma saída lateral para as tampas (que permite a passagem de somente uma tampa por vez), em que uma cancela acionada por outro motor, desloca a tampa por esta saída.

Esta saída, por sua vez, possui um sistema com duas hastes posicionadoras, que faz com que a tampa se movimente até uma posição próxima da esteira de transporte, local onde os potes passam e captam esta tampa, efetuando sua prensagem em uma esteira invertida, que pressiona a tampa no pote. Na posição de coleta da tampa pelo pote em movimento, foram alocadas duas hastes plásticas de 15 mm, fixadas na extremidade de cada haste posicionadora para garantir que a tampa fique alocada sempre na mesma posição, além de evitar que as tampas caiam na esteira antes que o pote passe, A figura 35 ilustra esta etapa do processo.

Figura 35 - Etapa de prensagem da tampa no pote



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O posicionamento das tampas na saída das hastes posicionadoras deve ser centralizado em relação ao local que o pote passa. Este procedimento é necessário para que a captura da tampa pelo pote seja realizada de forma correta, passando então pela esteira invertida efetuar a prensagem.

3.2.5 Características para definição do CLP

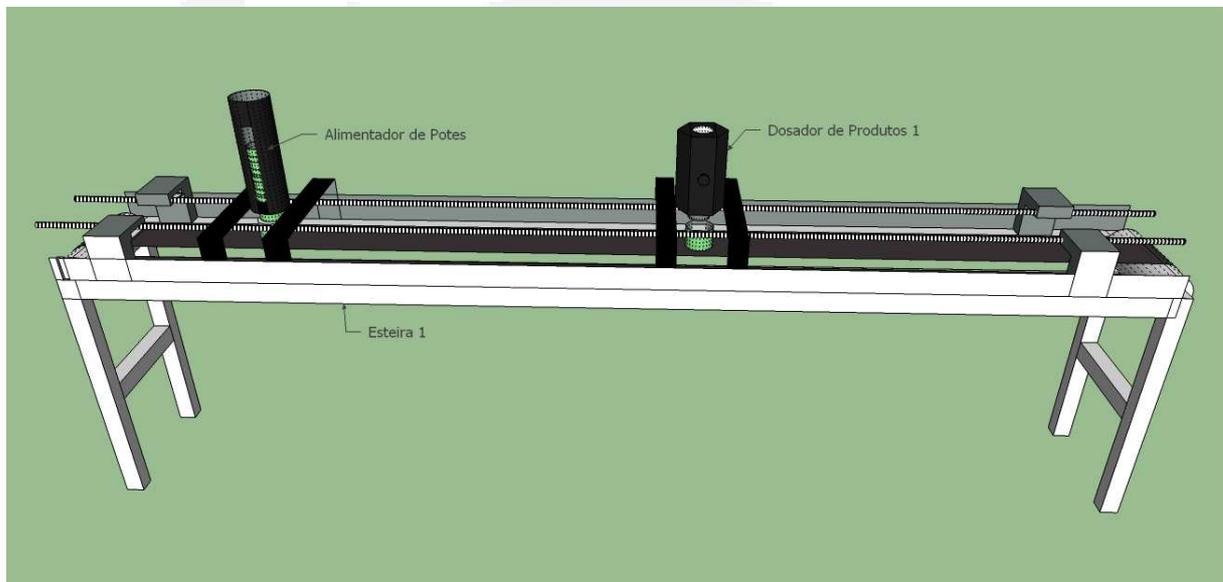
Como o sistema vai ser dividido em três módulos com funcionamento isolado, foi realizado o levantamento das entradas e saídas de cada módulo. Este detalhamento é necessário para selecionar o CLP adequado de acordo com sua quantidade de portas disponível, para receber os sinais de entrada e saída, analógicos e digitais, provenientes das variáveis existentes no processo.

O módulo 1 é formado pela Esteira 1, composta pelas estações de trabalho alimentador de potes e dosador de produtos 1. O sistema alimentador de potes possui um motor CC que movimenta de forma sincronizada três roscas sem fim paralelas que empurram o pote verticalmente para a esteira e um sensor que informa a presença de potes no fim dos fusos, responsável por enviar um sinal ao

CLP, que então desaciona o motor dos fusos por 100 ms até que o pote caia por gravidade até a esteira.

O dosador de produtos 1 é comandado por um motor de passo que gira uma eclusa, efetuando a passagem de bolas maciças brancas, que são a matéria prima utilizada na planta. Na saída do dosador um motor CC efetua a abertura de sua cancela, para despejar os produtos ao pote. A abertura ocorre quando um sinal é enviado por um sensor fotoelétrico localizado abaixo da cancela, para informar quando passa um pote. A Figura 36 ilustra os itens a serem controlados no módulo 1.

Figura 36 – Módulo 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Ainda no módulo 1, há um botão de emergência para o quadro de comando. Também foram previstas variáveis de entrada e saída para controle de velocidade da esteira 1, com comandos para um inversor de frequência, e variáveis para comunicação entre o CLP do módulo 1 com os CLP's dos outros módulos. A Tabela 1 apresenta os tipos de entradas e saídas existentes no módulo 1.

Tabela 1 – Descrição das variáveis do CLP do módulo 1

| <i>Descrição da variável</i> | <i>Tipo</i> | <i>Quantidade</i> |
|--|-----------------|-------------------|
| Motor de passo dosador | Saída Digital | 1 |
| Cancela saída de produto dosador | Saída Digital | 2 |
| Sensor indicando presença de pote dosador | Entrada Digital | 1 |
| Motor Alimentador de potes | Saída Digital | 1 |
| Sensor indicando presença pote alimentador potes | Entrada Digital | 1 |
| Botão de emergência | Entrada Digital | 1 |
| Inversor de frequência Esteira 1 – acionamento | Saída Digital | 1 |
| Inversor de frequência Esteira 1 – ajuste velocidade | Saída Analógica | 1 |
| Comunicação entre CLPs - Sinais de entrada | Entrada Digital | 2 |
| Comunicação entre CLPs - Sinais de saída | Saída Digital | 2 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A Tabela 2 apresenta a quantidade total de cada tipo de variável. A partir destes dados foi possível prever a quantidade e tipos de entradas e saídas que o CLP necessita para a aplicação.

Tabela 2 – Quantidade de entradas e saídas para o CLP 1

| CLP 1 - Levantamento E/S | Qtde I/O |
|---------------------------------|-----------------|
| Entrada Digital | 5 |
| Entrada Analógica | 0 |
| Saída Digital | 7 |
| Saída Analógica | 1 |

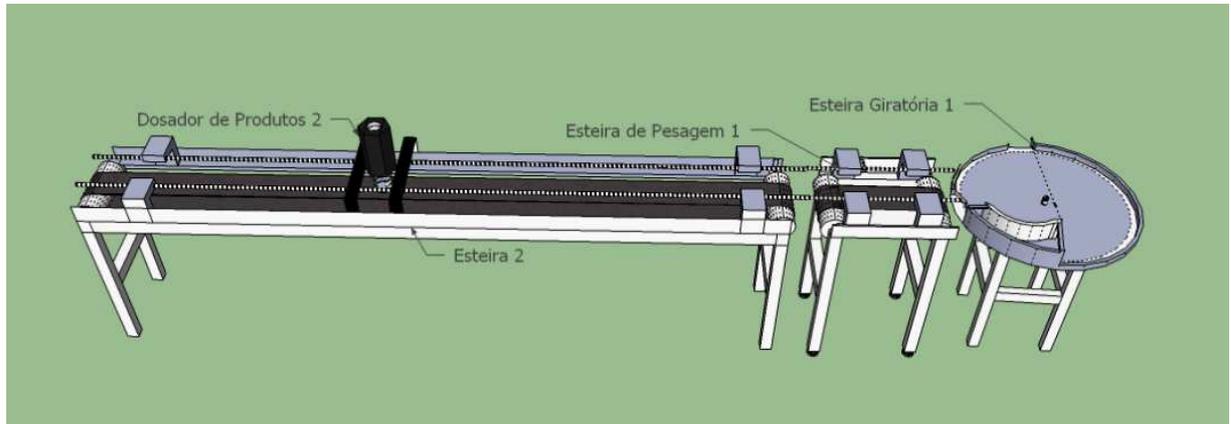
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O módulo 2 é composto pela esteira giratória 1, esteira de pesagem 1 e esteira 2, na qual está previsto o dosador de produtos 2. A esteira giratória tem a funcionalidade de transferir os potes da esteira 1 para o módulo 2. Em sua saída, existe uma cancela movimentada por um motor CC, com função de acumular os potes quando houver necessidade. Neste sistema é utilizado um sensor fim de curso para controle de posição do ponto da cancela aberta e fechada. A esteira de pesagem 1 é utilizada para informar o peso do produto, que é fornecido pela leitura de uma entrada analógica do CLP, que efetua a média das leituras a partir da passagem do pote por um sensor fotoelétrico, posicionado no início desta esteira. A esteira de pesagem possui um motor embutido para funcionamento.

O sistema de dosagem 2 (este sistema está previsto para ser construído, sendo uma réplica do sistema de dosagem 1) possui o mesmo princípio de funcionamento do sistema de dosagem 1, comandado por um motor de passo para girar a eclusa, e cancela de saída com motor CC que efetua a sua abertura, para

despejar a matéria prima ao pote. A abertura ocorre quando um sinal é enviado por um sensor fotoelétrico localizado abaixo da cancela, para informar quando passa um pote. A Figura 37 ilustra os itens a serem controlados no módulo 2.

Figura 37 – Módulo 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Ainda no módulo 2, há um botão de emergência para o quadro de comando. Também foram previstas variáveis de entrada e saída para controle de velocidade da esteira 2, com comandos para um inversor de frequência, e variáveis para comunicação entre o CLP do módulo 2 com os CLP's dos outros módulos. A Tabela 3 apresenta os tipos de entradas e saídas existentes no módulo 2.

Tabela 3 - Descrição das variáveis do CLP do módulo 2

| <i>Descrição da variável</i> | <i>Tipo</i> | <i>Quantidade</i> |
|--|-------------------|-------------------|
| Inversor de frequência Esteira 2 – acionamento | Saída Digital | 1 |
| Inversor de frequência Esteira 2 – ajuste velocidade | Saída Analógica | 1 |
| Sensor fim de curso cancela Buffer 1 | Entrada Digital | 1 |
| Motor Buffer 1 | Saída Digital | 1 |
| Motor cancela Buffer 1 | Saída Digital | 1 |
| Sensor identificador de pote Buffer 1 | Entrada Digital | 1 |
| Sensor início amostragem leituras Esteira de Pesagem 1 | Entrada Digital | 1 |
| Motor Esteira de Pesagem 1 | Saída Digital | 1 |
| Célula de carga Esteira de Pesagem 1 | Entrada Analógica | 1 |
| Motor de passo dosador | Saída Digital | 1 |
| Cancela saída de produto dosador | Saída Digital | 2 |
| Sensor indicando presença de pote dosador | Entrada Digital | 1 |
| Botão de emergência | Entrada Digital | 1 |
| Comunicação entre CLPs - Sinais de entrada | Entrada Digital | 2 |
| Comunicação entre CLPs - Sinais de saída | Saída Digital | 2 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A Tabela 4 apresenta a quantidade total de cada tipo de variável. A partir destes dados foi possível prever a quantidade e tipos de entradas e saídas que o CLP necessita para a aplicação.

Tabela 4 - Quantidade de entradas e saídas para o CLP 2

| CLP 2 - Levantamento E/S | Qtde I/O |
|---------------------------------|-----------------|
| Entrada Digital | 7 |
| Entrada Analógica | 1 |
| Saída Digital | 9 |
| Saída Analógica | 1 |

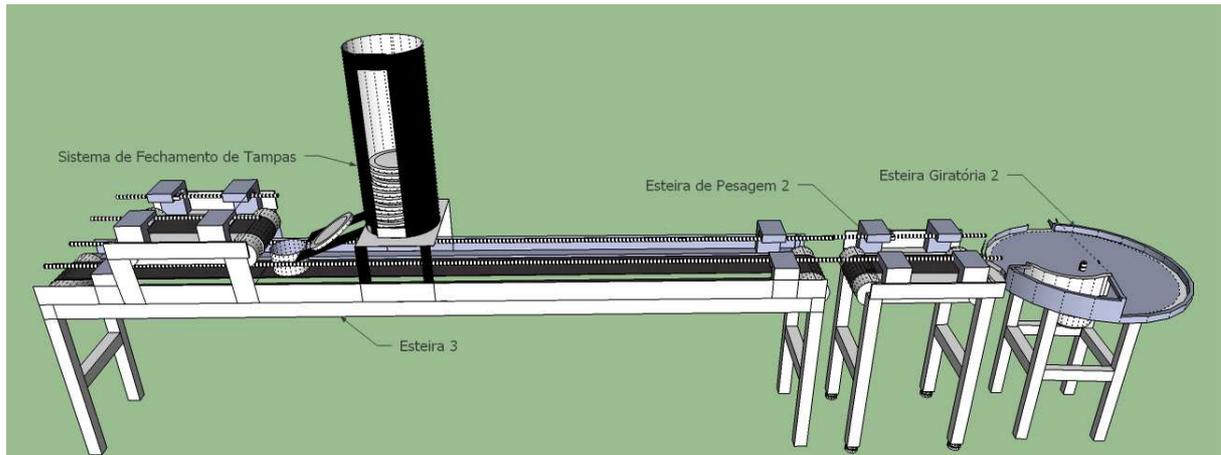
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O módulo 3 é composto pela esteira giratória 2, esteira de pesagem 2 e esteira 3, na qual está alocado o sistema de fechamento de tampas. A esteira giratória tem a funcionalidade de transferir os potes da esteira 2 ao módulo 3. Apresenta o mesmo princípio de funcionamento do que a esteira giratória 1, tendo em sua saída uma cancela movimentada por um motor CC, com função de acumular os potes e dois sensores fim de curso para controle de posição do ponto da cancela aberta e fechada.

Da mesma forma, a esteira de pesagem 2 possui o mesmo princípio de funcionamento do que a esteira de pesagem 1, sendo utilizada para informar o peso do produto, que é fornecido pela leitura de uma entrada analógica do CLP, que efetua a média das leituras a partir da passagem do pote por um sensor fotoelétrico, posicionado no início desta esteira.

O sistema de fechamento de tampas contempla um alimentador de tampas com sistema de fuso comandado por um motor CC, que aloca uma tampa em uma posição para que outro motor CC movimente uma cancela que desloca a tampa até um trilho inclinado, que a direciona, até uma posição que pode ser puxada pelo pote. Neste sistema, há um sensor detector de presença de tampas no alimentador, um sensor de nível de tampas e um sensor de detecção de potes para acionamento do sistema. O sistema de fechamento de tampas também possui uma esteira invertida, movimentada por um motor embutido, com função de prensar a tampa no pote. A Figura 38 ilustra os itens a serem controlados no módulo 3.

Figura 38 – Módulo 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Ainda no módulo 3 há um botão de emergência para o quadro de comando. Também foram previstas variáveis de entrada e saída para controle de velocidade da esteira 3, com comandos para inversor de frequência, e variáveis para comunicação entre o CLP do módulo 3 com os CLP's dos outros módulos. A Tabela 5 apresenta os tipos de entradas e saídas existentes no módulo 3.

Tabela 5- Descrição das variáveis do CLP do módulo 3

| Descrição da variável | Tipo | Quantidade |
|--|-------------------|-------------------|
| Inversor de frequência Esteira 3 – acionamento | Saída Digital | 1 |
| Inversor de frequência Esteira 3 – ajuste velocidade | Saída Analógica | 1 |
| Sensor fim de curso cancela Buffer 2 | Entrada Digital | 2 |
| Motor Buffer 2 | Saída Digital | 1 |
| Motor cancela Buffer 2 | Saída Digital | 2 |
| Sensor identificador de pote Buffer 2 | Entrada Digital | 1 |
| Sensor início amostragem leituras Esteira de Pesagem 2 | Entrada Digital | 1 |
| Motor Esteira de Pesagem 2 | Saída Digital | 1 |
| Célula de carga Esteira de Pesagem 2 | Entrada Analógica | 1 |
| Botão de emergência | Entrada Digital | 1 |
| Comunicação entre CLPs - Sinais de entrada | Entrada Digital | 2 |
| Comunicação entre CLPs - Sinais de saída | Saída Digital | 2 |
| Sensor detector de tampas alimentador | Entrada Digital | 1 |
| Sensor detector de tampas para acionamento da cancela | Entrada Digital | 1 |
| Sensor detector de potes abaixo fechamento de tampas | Entrada Digital | 1 |
| Motor fusos sistema fechamento de tampas | Saída Digital | 1 |
| Motor cancela sistema fechamento de tampas | Saída Digital | 1 |
| Motor esteira invertida | Saída Digital | 1 |
| Sistema de saída de potes esteira (estimativa) | Saída Digital | 4 |
| Sistema de saída de potes esteira (estimativa) | Entrada Digital | 4 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A Tabela 6 apresenta os tipos de entradas e saídas existentes no módulo 3. A partir destes dados foi possível prever a quantidade e tipos de entradas e saídas que o CLP necessita para a aplicação.

Tabela 6 - Quantidade de entradas e saídas para o CLP 3

| CLP 3 - Levantamento E/S | Qtde I/O |
|---------------------------------|-----------------|
| Entrada Digital | 14 |
| Entrada Analógica | 1 |
| Saída Digital | 14 |
| Saída Analógica | 1 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Como o uso do CLP é destinado a atividades práticas acadêmicas, optou-se por adquirir três idênticos, efetuando a análise pela situação mais crítica de entradas e saídas, ou seja, analisou-se o CLP 3 referente ao terceiro módulo, que possui mais variáveis de entrada e saída. Outros fatores também devem ser considerados para a definição do CLP, como o tempo de varredura (*Scan*), capacidade de memória e alimentação e redes de comunicação (SCHNEIDER ELECTRIC, 2012).

A Tabela 7 apresenta uma comparação entre alguns CLP's do mercado.

Tabela 7 - Tabela comparativa entre CLP's comerciais

| <i>Fabricante Família Modelo</i> | <i>ED</i> | <i>SD</i> | <i>EA</i> | <i>SA</i> | <i>Memória Dados</i> | <i>Scan</i> | <i>Módulo Expansão</i> | <i>Atende</i> |
|---|-----------|-----------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------|---|---------------|
| Allen-Bradley Micro800 Micro830 24P | 14 | 10 | Plug-in | Plug-in | 20 kB | ≥ 1 ms | 3. Até 48 E/S | Não |
| Allen-Bradley Micro800 Micro850 24P | 14 | 10 | Expansão ou Plug-in | Expansão ou Plug-in. | 20 kB | ≥ 1 ms | 3 plug-in e 4 expansões. Até 132 E/S | Não |
| Allen-Bradley Micrologix Micrologix1100 | 10 | 6 | 2 | Módulo expansão | 4 kB | ≥ 1,5 | 4 expansões. Até 80 E/S discreta. | Sim |
| Allen-Bradley Micrologix Micrologix1200 | 10 | 10 | Módulo expansão | Módulo expansão | 6 kB | ≥ 1,5 | 6. Até 136 E/S discretas. | Sim |
| Allen-Bradley Micrologix Micrologix1400 | 12 | 12 | Módulo expansão | Módulo expansão | 10 kB | ≥ 1,5 | Até 144 E/S discretas. | Sim |
| Schneider Electric Modicon M218 | 14 | 10 | Módulo expansão | Módulo expansão | 2 MB | ≥1 ms | 4 expansões. Até 152 I/O's | Sim |
| Schneider Electric Modicon M238 | 14 | 10 | Módulo expansão | Módulo expansão | 500 kB | ≥1 ms | 7 expansões. Até 136 ES discretas | Sim |
| Siemens S7-1200 1212C | 8 | 6 | 2 | Módulo expansão | 1 MB | 1 ms | 2 expansões. Até 82 E/S Digitais e 19 Analógicos | Sim |
| Siemens S7-1200 1214C | 14 | 10 | 2 | Módulo expansão | 4 MB | 1 ms | 8 expansões. Até 284 E/S Digitais e 67 Analógicos | Sim |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Onde:

ED = Entrada Digital; EA = Entrada Analógica; SD = Saída Digital;
SA = Saída Analógica; E/S = Entradas e Saídas.

Efetuada a análise das opções pesquisadas, verificou-se que mais de uma opção atende aos requisitos necessários para este projeto. A partir disto foram realizadas análises de custo e a opção definida foi o modelo 1214C da fabricante Siemens. Este modelo possui 14 entradas digitais 24 Voltage Direct Current (VDC), 10 saídas digitais relé e 2 entradas analógicas 0-10 V e possibilidade para até 8 expansões, sendo flexível caso haja a necessidade de controle de processos de maior porte. Conforme mencionado anteriormente, com base no CLP do módulo 3, de maior exigência de entradas e saídas, verifica-se que existe a necessidade de módulos de expansão para saídas analógicas e digitais. Portanto definiram-se dois módulos para o CLP:

- Módulo de expansão de 16 saídas digitais 24 VDC;
- Módulo de expansão de 2 saídas analógicas.

A alimentação deste CLP é 85 a 264 *Voltage alternating current* (VAC). Para energizar os módulos de expansão, sensores e atuadores do processo vai ser utilizada uma fonte de alimentação de 24 VDC. Como são três módulos vão ser adquiridos três CLP's, três módulos de expansão de entrada digital e saída analógica e três fontes de alimentação.

3.2.6 Implementação dos módulos de controle

Com base no capítulo anterior, foram desenvolvidos projetos e implementações de cada módulo. A seguir vai ser descrito o detalhamento técnico referente a cada um.

3.2.6.1 Projeto dos quadros de comando

Os quadros de comando dos três módulos foram projetados de acordo com a necessidade de controle prevista no capítulo 3.2.5, e em relação às cargas a serem ativadas. A relação das cargas deste módulo é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8- Lista de cargas módulo 1.

| Item 1 | Descrição da carga | Potência | Consumo da carga em (A) |
|--------|------------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1 | Motor esteira 1 | 0,5 CV | 2,1 |
| 2 | Fonte de alimentação | 120 W | 1,2 |
| 3 | Fonte de alimentação externa | 250 W | 2,8 |
| 4 | CLP | 14 W | 0,05 |
| | | Total de Cargas | 6,15 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A partir do dimensionamento das cargas do módulo, definiram-se os componentes. A esteira do módulo 1 é controlada por um inversor de frequência de 0,5 Cavalo Vapor (CV) que aciona um motor de mesma potência. Como sua corrente elétrica de consumo é 2,1 A, optou-se pela utilização de um disjuntor motor variável de 1,8 a 2,5 A para proteção do motor. Como o quadro de comando deste módulo inicialmente vai alocar a automação somente das máquinas instaladas no decorrer da esteira 1, este é o único acionamento trifásico.

Os sensores a campo, situados no dosador, alimentador de potes vão ser alimentados pela fonte do painel de 5 A, designada aos acionamentos em tensão contínua. Em sua saída, projetaram-se dois bornes fusíveis de 3 A, sendo um para os módulos de expansão do CLP e um para os sensores a campo. Os motores a campo vão ser alimentados por uma fonte externa de 10 A, com saída protegida por um borne fusível de 10 A, direcionado para o comum dos relés que acionam os motores a campo. Este procedimento foi realizado para proteger partes do painel de forma isolada e facilitar sua manutenção, acelerando a identificação do local de falha pela possível queima dos fusíveis.

A necessidade de colocar uma fonte externa adicional foi devido à necessidade de utilização de motores CC. Neste módulo existe um motor CC no sistema alimentador de potes que consome 2 A e outro no sistema de dosagem de produtos, na cancela de saída, que consome 2,5 A. Além disto, também no sistema de dosagem de produtos, tem-se um motor de passo, que consome aproximadamente 5 A. A placa de controle do motor de passo foi alocada dentro do quadro de comando.

Para atender a norma de dimensionamento de cabos de baixa tensão NBR-5410 que determina a utilização de cabos de, no mínimo, 2,5 mm² para circuitos de força, suportando uma corrente máxima de 21 A (ABNT, 2004). Devido a este requisito, optou-se pela instalação de um disjuntor tripolar de 20 A, de modo a atender a capacidade de condução do cabo e o total de cargas do módulo. Além de atender o total das cargas, permite a inclusão de novas cargas e componentes.

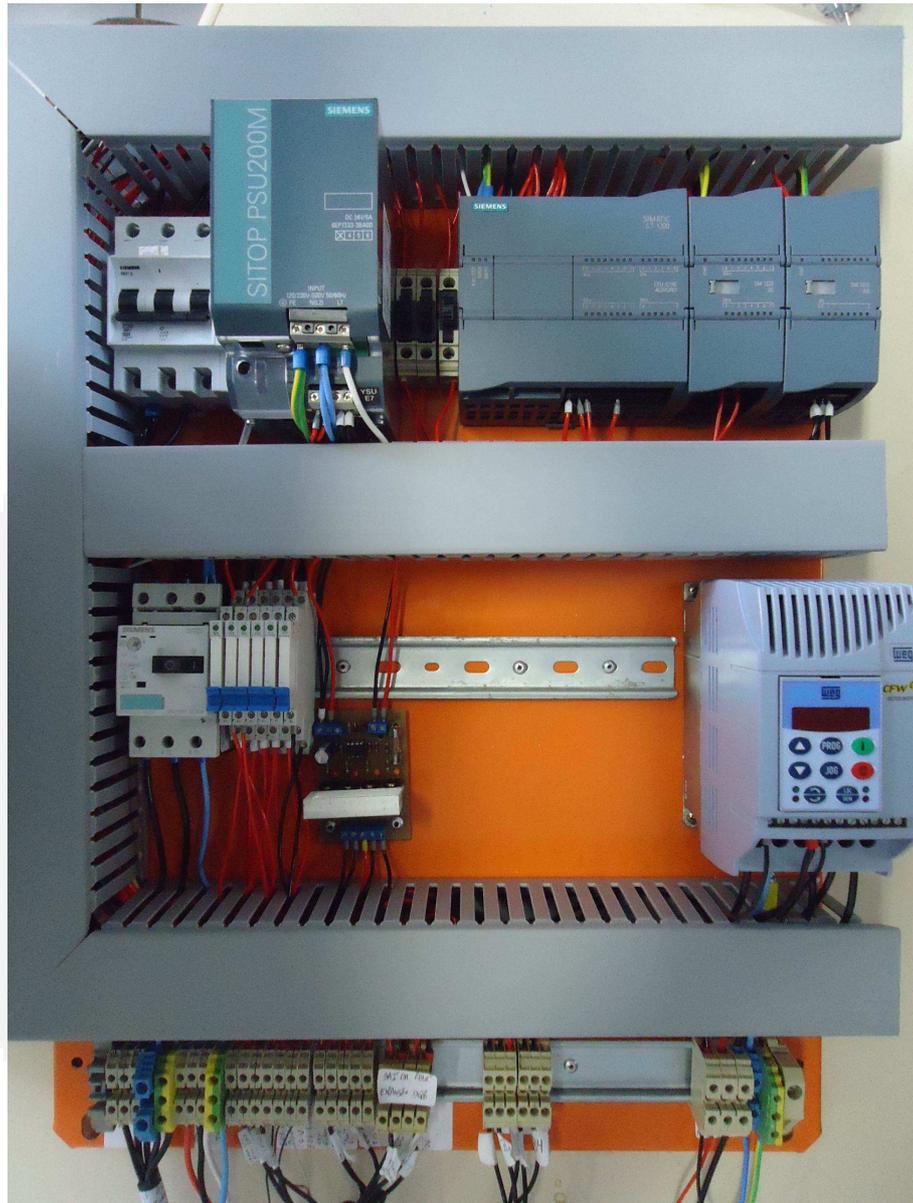
Para segurança do operador em caso de manutenção e proteção dos componentes do quadro, foi instalada uma chave seccionadora com capacidade para 25 A modelo LB225 Ace Schmersal, para desarmar toda a energia do quadro quando estiver inoperante e um botão de parada de emergência na porta do painel.

Como o CLP e a fonte possuem alimentação em tensão alternada, também projetou-se um disjuntor monofásico de 6 A, para que suporte a condução elétrica dos cabos de 0,5 mm², neste caso na cor cinza, para circuitos de 220 V (ABNT, 2004).

A parte de lógica é composta por um CLP, um módulo de expansão de 16 saídas digitais e um módulo de 2 saídas analógicas. O CLP possui incorporado 10 saídas digitais a relé, enquanto o módulo de 16 saídas digitais possui saídas transistorizadas. Portanto para este módulo foram previstos relés de interface para proteção das saídas do módulo de expansão.

A comunicação do quadro de comando com os dispositivos a campo e a alimentação trifásica é realizada por intermédio da régua de bornes. A Figura 39 apresenta o quadro de comando do módulo 1 montado.

Figura 39 – Quadro de comando do módulo 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O quadro de comando do módulo 2 é similar ao do módulo 1, entretanto possui duas partidas diretas adicionais. A Tabela 9 apresenta a lista de cargas do módulo 2.

Tabela 9- Lista de cargas módulo 2.

| Item 1 | Descrição da carga | Potência | Consumo da carga (A) |
|-----------------|------------------------------|----------|----------------------|
| 1 | Buffer 1 | 0,33 CV | 0,955 |
| 2 | Esteira de Pesagem 1 | 0,08 CV | 0,29 |
| 3 | Esteira 2 | 0,5 CV | 2,1 |
| 4 | Fonte de alimentação | 120 W | 1,2 |
| 5 | Fonte de alimentação externa | 250 W | 2,8 |
| 6 | CLP | 14 W | 0,05 A |
| Total de Cargas | | | 7,395 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A partir do dimensionamento das cargas do módulo, definiram-se os componentes. O buffer 1 foi desenvolvido com uma partida direta de 0,33 CV, com corrente elétrica de consumo de 0,955 A, optando-se pela utilização de um disjuntor motor variável de 0,9 a 1,25 A para proteção do motor. Para seu acionamento, foi utilizada uma contatora de 7 A, com acionamento de 24 VDC, para ser acionada pelo CLP.

A esteira de pesagem 1 foi desenvolvida com uma partida direta de 0,08 CV com corrente elétrica de consumo de 0,29 A, utilizando um disjuntor motor variável de 0,28 A 0,4 A. Para seu acionamento, também foi utilizada uma contatora de 7 A, com acionamento de 24 VDC.

A esteira 2 é controlada por um inversor de frequência de 0,5 CV que aciona um motor da mesma potência. Como sua corrente elétrica de consumo é 2,1 A, optou-se pela utilização de um disjuntor motor variável de 1,8 a 2,5 A para proteção do motor.

Conforme o módulo 1 também utilizou-se uma fonte externa para os motores CC. Neste módulo é utilizado um motor CC com consumo de 2,5 A na cancela do buffer 1. Como está prevista a construção de um outro sistema de dosagem para ser alocado neste módulo, vai ter a inclusão de um motor CC e um motor de passo, tendo a fonte externa deste módulo um consumo similar à fonte do módulo 1.

O restante dos componentes do quadro de comando do módulo 2 são os mesmos do quadro de comando do módulo 1. A única alteração foi a inclusão destas

Tabela 10- Lista de cargas módulo 3.

| Item 1 | Descrição da carga | Potência | Consumo da carga (A) |
|-----------------|---|----------|----------------------|
| 1 | Buffer 2 | 0,33 CV | 0,955 |
| 2 | Esteira de Pesagem 2 | 0,08 CV | 0,29 |
| 3 | Esteira 2 | 0,5 CV | 2,1 |
| 4 | Esteira invertida Fechamento de Tampas | 0,15 | 0,35 |
| 5 | Fonte de alimentação | 120 W | 1,2 |
| 6 | Fonte de alimentação externa | 250 W | 2,8 |
| 7 | CLP | 14 W | 0,05 A |
| Total de Cargas | | | 7,745 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A partir do dimensionamento das cargas do módulo, definiram-se os componentes. O buffer 2 possui mesmas características do buffer 1, desenvolvido com uma partida direta de um motor de 0,33 CV, com corrente elétrica de consumo de 0,955 A, utilizando-se um disjuntor motor variável de 0,9 a 1,25 A para proteção do motor. Para seu acionamento, foi utilizada uma contatora de 7 A, com acionamento de 24 VDC.

A esteira de pesagem 2 foi desenvolvida com uma partida direta de 0,08 CV, com corrente elétrica de consumo de 0,29 A, utilizando um disjuntor motor variável de 0,28 A 0,4 A, da mesma forma do que a esteira de pesagem 1. Para seu acionamento, também foi utilizada uma contatora de 7 A, com acionamento de 24 VDC.

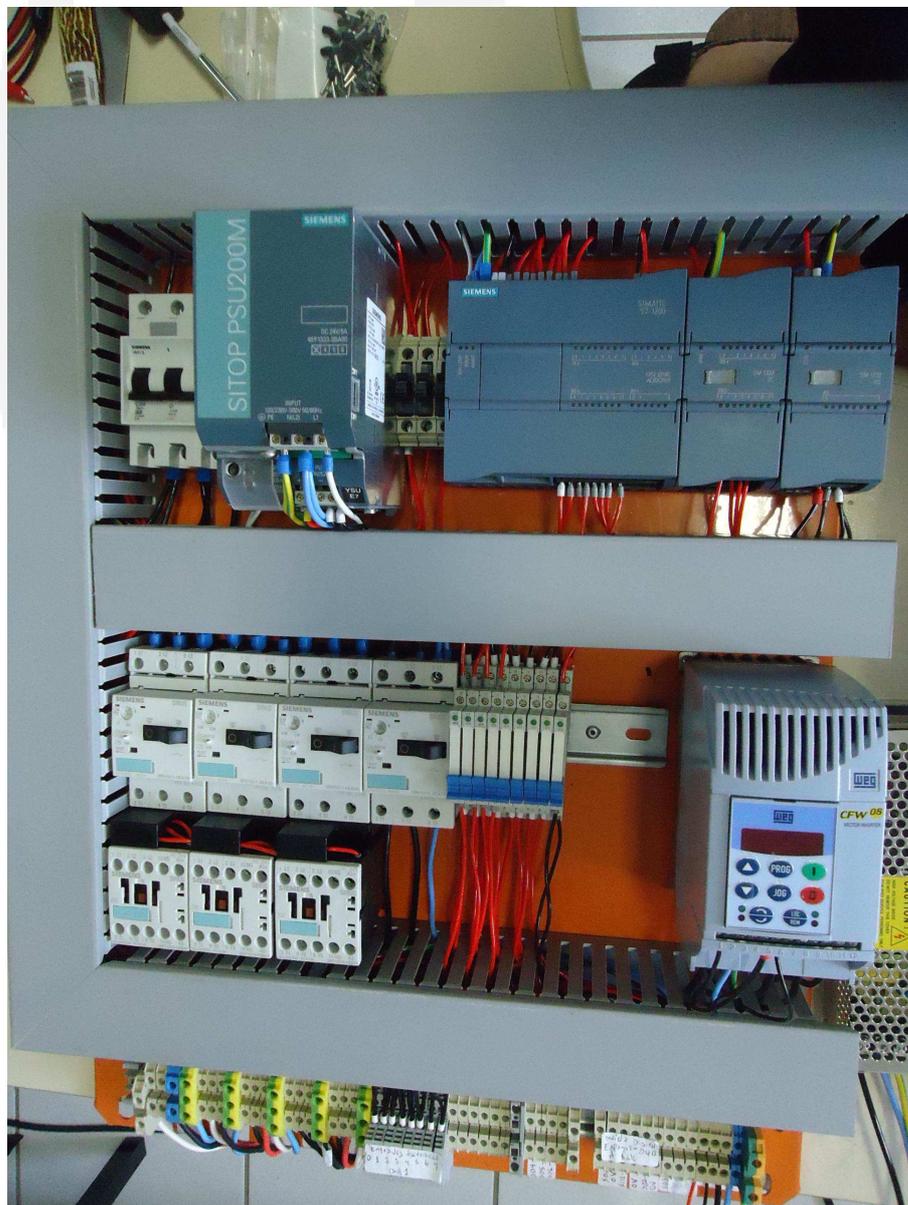
A esteira 3 é controlada por um inversor de frequência de 0,5 CV que aciona um motor da mesma potência, conforme as esteiras 1 e 2. Como sua corrente elétrica de consumo é 2,1 A, optou-se pela utilização de um disjuntor motor variável de 1,8 a 2,5 A, idêntico aos utilizados nas outras esteiras de transporte.

A esteira invertida do fechamento de tampas foi desenvolvida com uma partida direta de um motor de 0,15 CV, com corrente de consumo de 0,35 A, utilizando um disjuntor motor variável de 0,28 A 0,4 A. Para seu acionamento, também foi utilizada uma contatora de 7 A, com acionamento de 24 VDC.

Conforme os outros dois módulos também se utilizou uma fonte externa de 10 A para os motores CC. Neste módulo é utilizado um motor CC na cancela do buffer 2, e dois motores CC no sistema de fechamento de tampas. Cada um destes motores consome aproximadamente 2,5 A.

O restante dos componentes do quadro de comando do módulo 3 são os mesmos do quadro de comando do módulo 2. A única alteração foi a inclusão da partida direta da esteira invertida de fechamento de tampas. A Figura 41 apresenta o quadro de comando do módulo 3 montado.

Figura 41 – Quadro de comando do módulo 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

As identificações das três régua de borne dos quadros de comando estão detalhadas no apêndice deste trabalho (APÊNDICES A, B e C). Para efetuar esta identificação utilizou-se o software WEG de Régua de Bornes (SORB) versão 1.0.0.51 (WEG, 2014). O diagrama elétrico de forças do módulo 3 (foi montado somente do módulo 3, por ser o módulo mais complexo) é apresentado no Apêndice D. Para os demais módulos, foi utilizado o mesmo critério para a montagem dos painéis, alterando somente o dimensionamento dos dispositivos. O software em que o diagrama foi desenvolvido foi o CADdy ++ versão 3 revisão 82 (SOFTWARE, 2014).

3.2.6.2 Desenvolvimento da parte mecânica

O tamanho definido para os quadros de comando foi de 650 mm de altura, 480 mm de largura e 220 mm de profundidade, de modo a poderem ser fixados embaixo das esteiras, que possuem altura de 730 mm. Evidenciou-se a necessidade de fixação embaixo das esteiras para garantir a mobilidade da planta, caso existir a necessidade de substituir o local de instalação. Os 80 mm que restaram foram necessários para a entrada e saída de cabos do painel.

Os quadros de comando foram fixados nas esteiras por perfilados 38 mm x 38 mm. Cada quadro recebeu dois perfilados. Foi efetuada a furação em ambas as extremidades da parte superior do quadro e na estrutura da esteira, com a fixação por parafusos, para garantir a sustentação e estabilidade, enquanto a esteira estiver em funcionamento devido a sua vibração.

A parte mecânica da placa de montagem foi desenvolvida com canaletas de 50 mm de largura e 80 mm de altura, de maneira a ter um bom espaçamento para passagem de cabos.

A régua de bornes possui saída para a parte inferior do quadro de comando. Nela conectam-se os cabos instalados a campo. Para organizar suas passagens, foram efetuados quatro furos para prensa-cabos de 1" na parte inferior do quadro. Estes, por sua vez, sobem por uma caneleta da parte traseira do quadro, sendo distribuídos para os dispositivos pela estrutura inferior da lona das esteiras. Foram

efetuadas as furações para a seccionadora na lateral do quadro e a furação na porta do painel para o botão de emergência.

3.2.7 Definição da IHM

Após a definição do CLP 1214C da fabricante Siemens foi selecionada a IHM para o projeto. O modelo escolhido foi a KTP700 Basic também da fabricante Siemens. Os critérios considerados para sua definição foram a comunicação, a alimentação elétrica, dimensão e capacidade de memória. Referente à comunicação entre o CLP e a IHM, ambos possuem em comum o protocolo PROFINET e o meio físico Ethernet, garantindo a comunicação entre os dispositivos. A IHM também possui incorporado o protocolo Modbus TCP/IP e suporta o protocolo EtherNet/IP, podendo ser utilizada em outros projetos acadêmicos, flexibilizando sua operação.

A alimentação da IHM é 24 VDC, podendo ser alimentada diretamente na fonte, apresentada no capítulo anterior, para utilização nos módulos de expansão do CLP, sensores e atuadores do processo. Sua dimensão é de 7 polegadas, com 154,1 mm de largura e 85,9 mm de altura, sendo um tamanho adequado para boa visualização do supervisório. Possui tecnologia *touchscreen* e display colorido. Sua capacidade de memória é de 10 MB. A Figura 42 apresenta o modelo de IHM escolhido.

Figura 42 - IHM KTP700



Fonte: (SIEMENS, 2014).

O software para desenvolvimento do supervisor da IHM é o Totally Integrated Automation (TIA) Portal versão 13 (SIEMENS, 2013).

3.2.8 Processo Produtivo

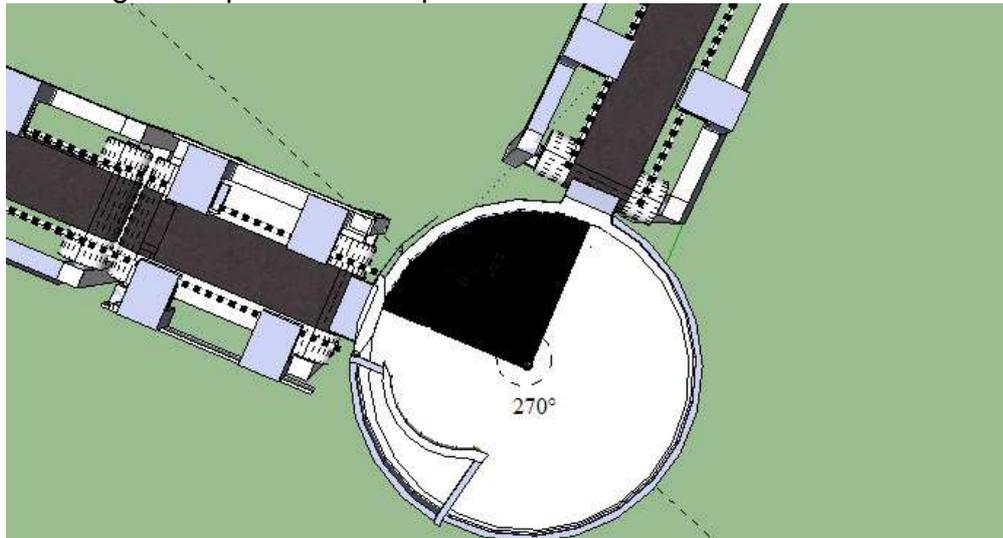
Esta planta industrial possui por finalidade efetuar a simulação de uma linha de produção. Uma automação de processos é realizada, em sua grande maioria, por razões de segurança ao trabalhador e otimização de processos produtivos, tendo este o papel fundamental na contribuição com a competitividade da empresa no mercado, minimizando seus custos e aumentando seus faturamentos (FERREIRA, 2010). A partir deste conceito, buscou-se considerar que as novas estações de trabalho não se tornassem pontos de restrição no processo.

O gargalo inicial do sistema é o dosador com o tempo de 4 s por pote. No decorrer deste trabalho vão ser apresentados os tempos de alimentação de potes e fechamento de tampas, fazendo comparativo com o tempo de processamento do dosador.

Pelo fato do gargalo inicial do processo ser o dosador de produtos, efetuaram-se cálculos para instalar um redutor apropriado para as duas mesas giratórias (buffers), visto que caso haja a necessidade de reduzir suas velocidades, efetua-se o controle pelas suas cancelas de saída acumulando potes, e não há a necessidade de aumentar sua velocidade, visto que o sistema está limitado ao tempo de processamento do dosador.

O trajeto do percurso do pote no buffer deve ser de igual ou menor do que o tempo do dosador, para que este não venha a ser o gargalo da planta. O ângulo de percurso dos potes no buffer é de 270° (Figura 43).

Figura 43 – Ângulo de percurso dos potes no buffer



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A partir disto, apresenta-se o cálculo de relação entre os ângulos do buffer, a fim de descobrir o período (T) (Equação 1).

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{360^\circ}{DA \cdot t} & (1) \\
 T &= \frac{360^\circ}{270^\circ \cdot 4} \\
 T &\cong 5,333 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Onde:

DA representa o deslocamento angular.

T representa o período, ou seja, o tempo de duração de uma rotação completa.

t representa o tempo ideal desde a entrada e saída do pote no buffer, utilizando como referência o tempo do processo de dosagem.

Sabendo o tempo do T em segundos, é possível efetuar o cálculo das rotações por minuto (RPM), conforme apresenta a equação 2.

$$RPM = \frac{60 RPS}{5,333 s} \quad (2)$$

$$11,25 RPM$$

Onde:

RPM representa a quantidade de rotações no tempo de 1 minuto.

RPS representa 1 RPM como 60 rotações por segundo.

Com a equação 1, conclui-se o T para deixar o mesmo tempo de processo entre o buffer e o dosador é de aproximadamente 5,33 segundos, pois subtraindo deste tempo 25%, obtém-se os 4 segundos que equivalem ao tempo do percurso que o pote percorre o buffer, ou seja, o deslocamento angular.

Com uma rotação de 11,25 RPM seria o suficiente para garantir o fluxo do processo, entretanto por intermédio de testes considerando as variáveis como abertura e fechamento da cancela, tombamento de potes, trancamento no momento de fechamento da cancela devido alta velocidade do buffer, verificou-se que o buffer pode atingir até 18 RPM. Efetuando o caminho inverso, com a equação 3, chega-se no novo T.

$$T = \frac{RPS}{RPM} \quad (3)$$

$$T = \frac{60}{18} \cong 3,33 s$$

Onde:

RPM representa a quantidade de rotações no tempo de 1 minuto.

RPS representa 1 RPM como 60 rotações por segundo.

T representa o novo período, ou seja, o tempo de duração de uma rotação completa.

A partir do T, a Equação 4 apresenta o cálculo do x.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{DA}{360} \cdot T \\
 x &= \frac{270^\circ}{360^\circ} \cdot 3,33 \text{ s} \\
 x &\cong 2,5 \text{ s}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Onde:

DA representa o deslocamento angular.

x representa o tempo entre a entrada e saída de potes no buffer, ou seja, o percurso do deslocamento angular dos potes no buffer.

A partir destes cálculos conclui-se que o tempo máximo para o buffer suprir o tempo de processamento da dosagem é de 5,33 s, com rotação de 11,25 RPM. Mas pensando em seus aspectos construtivos e técnicos, verifica-se que pode ser projetado com um T de 3,33 s, rotação de 18 RPM, diminuindo seu tempo de processo de 4 para 2,5 s. Desta forma caso haja uma futura otimização do processo de dosagem minimizando este tempo para 2,5 s ainda o buffer estaria atendendo a demanda.

A Equação 5 apresenta o cálculo do redutor adequado.

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{N_e}{N_s} \\
 I &= \frac{1720 \text{ RPM}}{18 \text{ RPM}} \\
 I &= 95,55
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Onde:

I = Redução Necessária

Ne = Rotação de entrada

Ns = Rotação de saída

Comercialmente utilizou-se um redutor de 1/100.

4 RESULTADOS

Com o objetivo de validar a proposta deste trabalho, neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a implementação dos sistemas citados na seção 3. Inicialmente será apresentada uma descrição sobre os experimentos práticos, e em seguida, apresenta-se os resultados obtidos com a montagem de cada sistema. Por fim, descreve-se o funcionamento final da planta.

4.1 Validação do sistema de alimentação de potes

Os testes realizados no sistema de alimentação de potes visaram avaliar o tempo de inserção de cada pote e a compatibilidade desta estação de trabalho em relação à esteira 1 e o dosador. O tempo foi avaliado para que a estação não se torne um gargalo no processo.

Primeiramente avaliaram-se as variações de velocidades dos motores do alimentador de potes e esteira 1 no momento da queda do pote para garantir que os potes não tombassem quando chegassem na esteira. Para tanto, variou-se a velocidade do inversor de frequência da esteira 1 na faixa de 0 a 60 Hz. Para todos os experimentos, não se registraram momentos de tombamento de potes, devido ao alinhamento das hastes móveis, situadas em cada lateral da esteira de acordo com a largura do pote.

Ao iniciar o monitoramento, mensurou-se o tempo de inserção de potes na esteira 1. Quando o alimentador de potes é ligado, existe um tempo de preparação até que o primeiro pote esteja entregue ao processo (este tempo decorre do período de passagem do pote pelo fuso até a queda à esteira). Este tempo foi de 5,8 s.

Após isto mensurou-se o tempo de inclusão de cada pote, com o sistema em funcionamento. O tempo foi de aproximadamente 1 s. Em relação ao tempo de processo do dosador ser de 4 s, foi implementada uma lógica no CLP para que cada pote do alimentador saia em 2 s, para efetuar uma separação dos potes na esteira.

Um sensor fotoelétrico posicionado na saída do fuso fornece um sinal para que o CLP deixe o fuso movimentar-se por mais 100 ms, para que o pote saia da rosca.

4.2 Validação do sistema de fechamento de tampas

Os testes realizados no sistema de fechamento de tampas foram o tempo de cada inserção, tempo de prensagem, e sincronismo com a esteira 3. O tempo foi avaliado para que a estação não se torne um gargalo no processo.

4.2.1 Tempo de inserção de tampas

Primeiramente foi realizada a medição do tempo para inserção da primeira tampa (tempo de preparação). O tempo desde o momento em que a tampa é alocada no cilindro alimentador e começa a descer os fusos até que fica alocada no final das hastes posicionadoras é de 5 s.

Após isto mensurou-se o tempo de inclusão de cada tampa, com o sistema em funcionamento. O tempo cíclico para a tampa descer a parte faltante dos fusos e ficar alocada nas hastes posicionadoras foi de 2 s. Este tempo compreende os tempos dos fusos para mover uma única tampa para fora das roscas (o sistema de fusos foi projetado para mover várias tampas em conjunto, de forma a deixar cada tampa a ponto de ser liberada uma por vez, próximo ao fim das roscas), o tempo para o sensor detectar uma tampa na posição de saída, o tempo da cancela deslocar uma tampa através dos trilhos e deixá-la alocada no fim das hastes posicionadoras para sua coleta pelo pote.

4.2.2 Tempo de prensagem da esteira invertida

Após isto verificou-se o tempo da prensagem da tampa no pote. O tempo do processo é de 2 s. Este tempo é o período para o pote percorrer toda a esteira invertida. Como este processo não exige que a esteira invertida pare, o tempo pode ser considerado zero, pois não afeta a velocidade do processo.

4.2.3 Processo de fechamento de tampas

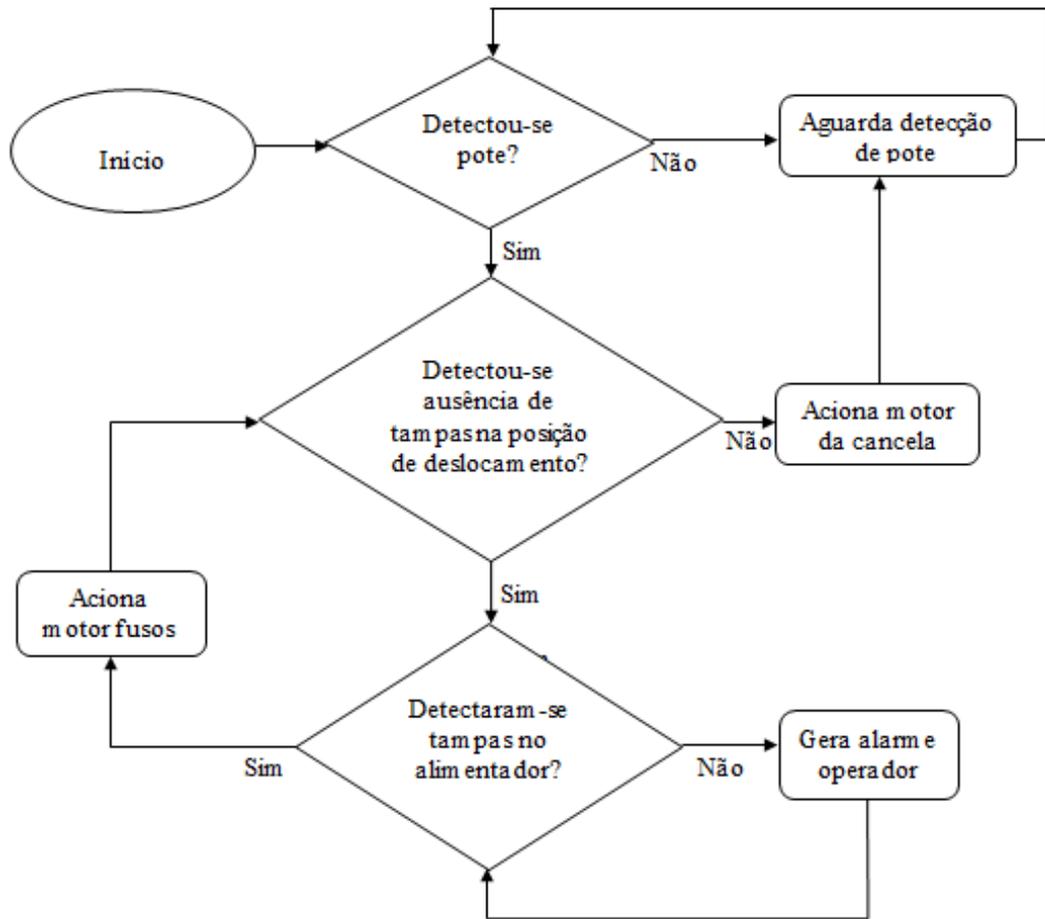
Para estabelecer o fechamento de tampas foram realizados alguns procedimentos. Inicialmente foi posicionado um sensor fotoelétrico difuso na guia lateral da esteira 3, posicionado aproximadamente a 30 cm antes do cilindro

alimentador de tampas. Quando o pote passa por este sensor, o CLP aciona a cancela para deslocar uma tampa até a extremidade das hastes posicionadoras, sendo que antes disto o motor dos fusos já entrou em funcionamento e deixou a tampa na posição de deslocamento. Na parte intermediária do alimentador, um sensor fotoelétrico monitora o nível de tampas, enviando um sinal ao CLP, quando as tampas terminam, gerando um alarme ao operador.

Esta distância de 30 cm é suficiente para que a tampa seja deslocada e posicionada no local de captura (fim das hastes posicionadoras, cerca de 5 cm da esteira invertida), considerando a velocidade constante da esteira 3. No momento em que a cancela desloca a tampa, o motor de fusos entra em funcionamento para liberar a próxima tampa. Este monitoramento é realizado por sensor fotoelétrico, que posicionado na extremidade inferior do alimentador detecta a tampa caindo do fuso, fazendo com que o CLP atue no processo.

O processo demora em média 2 s, pois quando a cancela empurra a tampa, já tem outro pote passando pelo sensor da esteira 3, repetindo o processo. Portanto quando tem um pote saindo da esteira invertida, outro pote está entrando nela. A figura 44 apresenta um fluxograma do processo.

Figura 44 – Fluxograma de funcionamento do sistema de fechamento de tampas

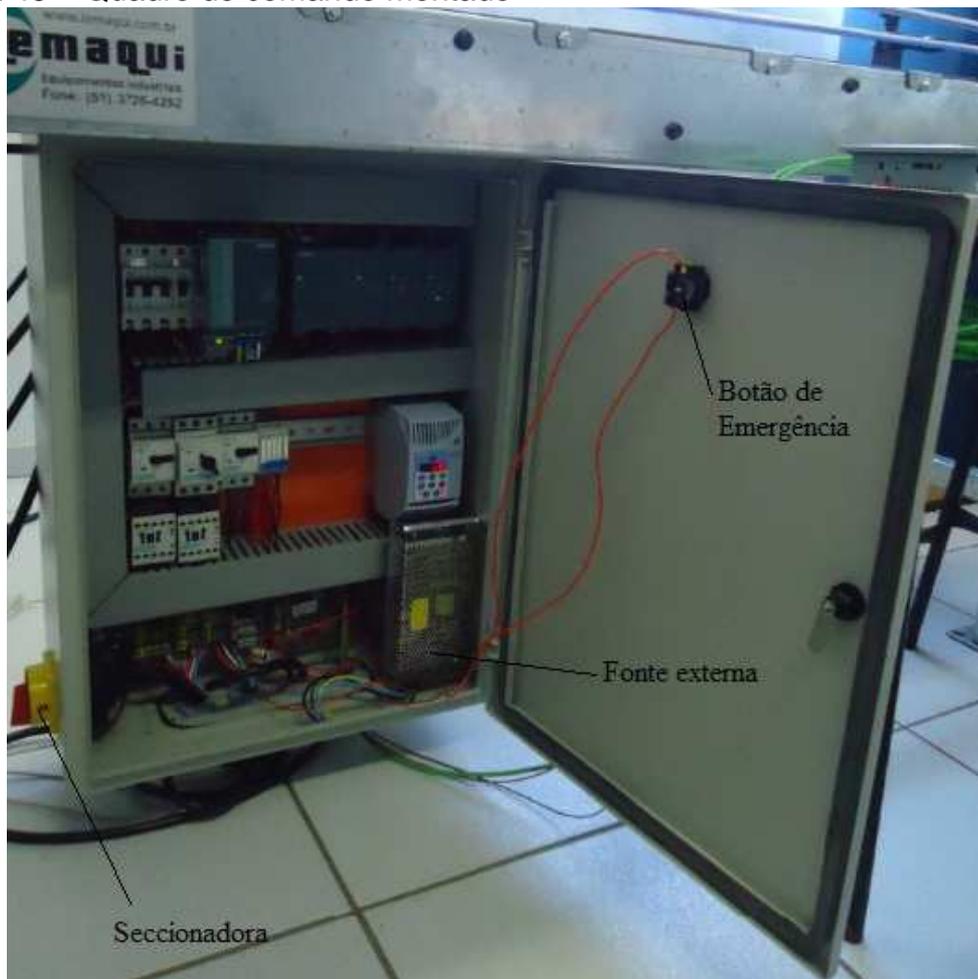


Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.3 Quadros de comando montados

Foi realizada a programação dos inversores. Foram instaladas as placas de montagem dentro dos quadros. Foram passados os cabos pelas quatro saídas de prensa-cabos na parte inferior do quadro, fixou-se a fonte externa na lateral interna do quadro. Efetuou-se a ligação da seccionadora e do botão de emergência, elementos de segurança para o processo. A Figura 45 apresenta um dos quadros montado.

Figura 45 – Quadro de comando montado



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.4 Automação do processo

A automação do processo foi realizada com auxílio do software TIA Portal versão 13 (SIEMENS, 2013). No software foram desenvolvidos a programação em ladder dos três CLPs e as telas do supervisor de cada IHM. Foi realizada a configuração no software estabelecendo a comunicação entre o CLP 1214C e a IHM KTP700 utilizando o meio físico Ethernet e o protocolo Profinet.

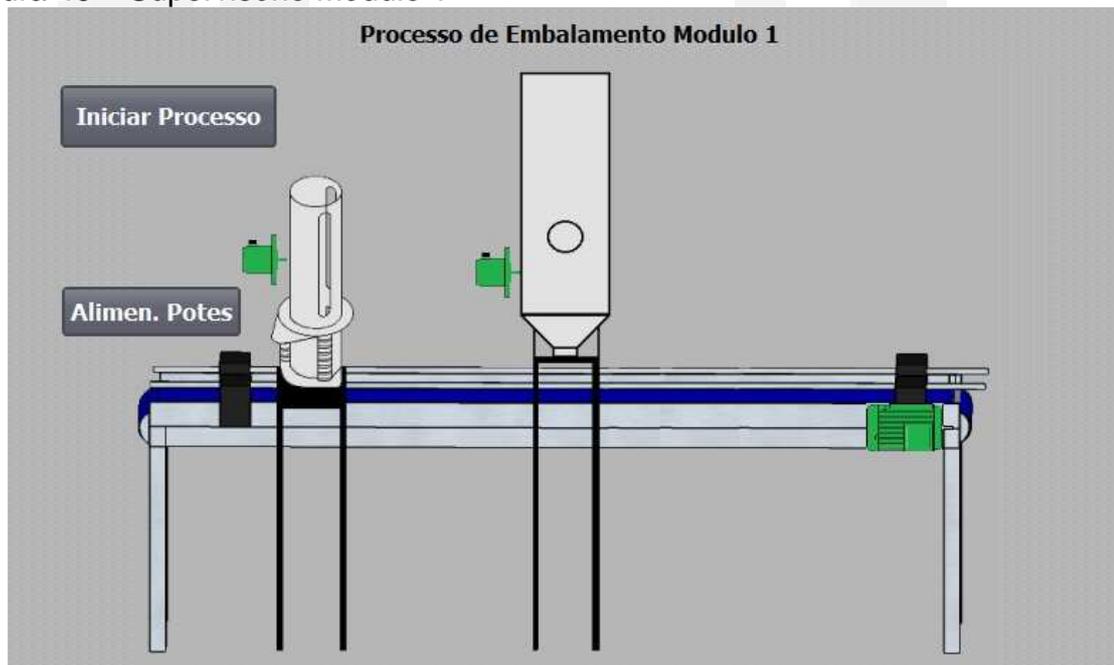
Como o cabo de programação utiliza também o barramento Profinet e o CLP possui somente uma porta de comunicação, foi utilizado um switch para cada módulo para interligar o CLP e IHM. O modelo do switch utilizado foi o XB005 Scalance (SIEMENS, 2014).

Os supervisórios para as IHMs foram desenvolvidos para permitir a interface gráfica do processo com o operador. Foi utilizada uma IHM por módulo, cada uma com uma tela gráfica própria, para fins de testes do funcionamento da planta.

O supervisório da IHM do módulo 1 (Figura 46) consiste em um botão de iniciar processo e um botão para ligar o sistema de alimentação de potes. Quando os motores estão ligados, aparecem com a cor verde na tela e quando desligados na cor cinza. Quando o botão de emergência é pressionado, aparece na tela um alerta de emergência.

A criação das telas no software Tia Portal baseou-se em animações e eventos utilizando as tags do programa em ladder. Após o botão de emergência ser pressionado, o processo se encerra e somente volta a funcionar se pressionado novamente o botão de iniciar processo.

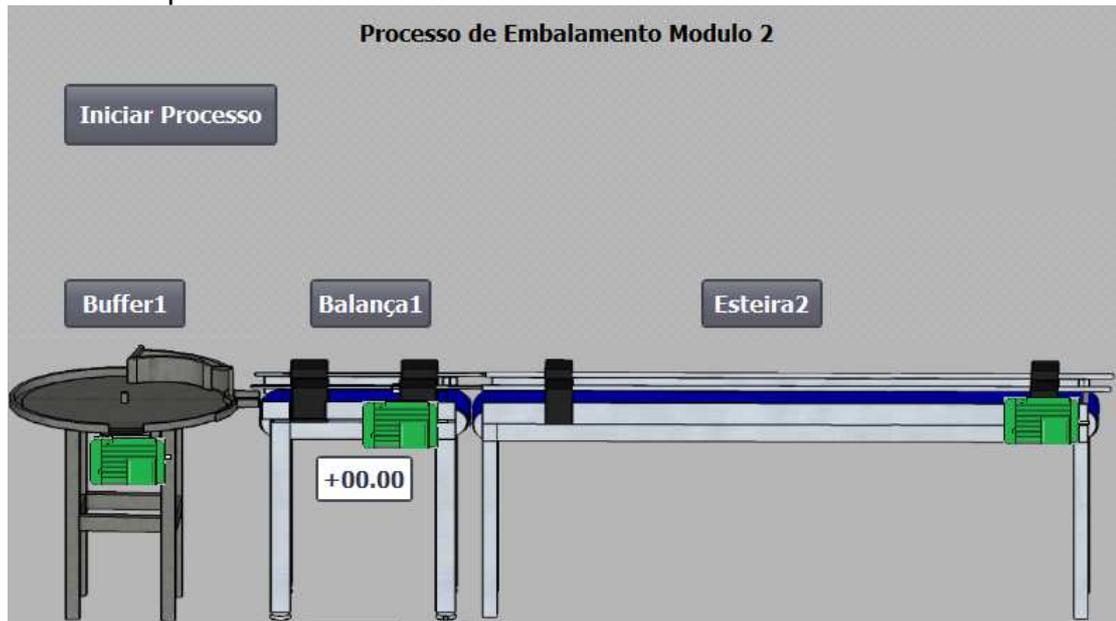
Figura 46 – Supervisório Módulo 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O supervisório da IHM do módulo 2 (Figura 47) consiste em quatro botões, sendo um para iniciar processo, um para ligar o buffer 1, um para ligar a balança 1 e outro para ligar esteira 2. Além disto, possui o indicador de peso da balança. Da mesma forma que o módulo 1, possui a alteração das cores dos motores vinculada a eventos e função do botão de emergência.

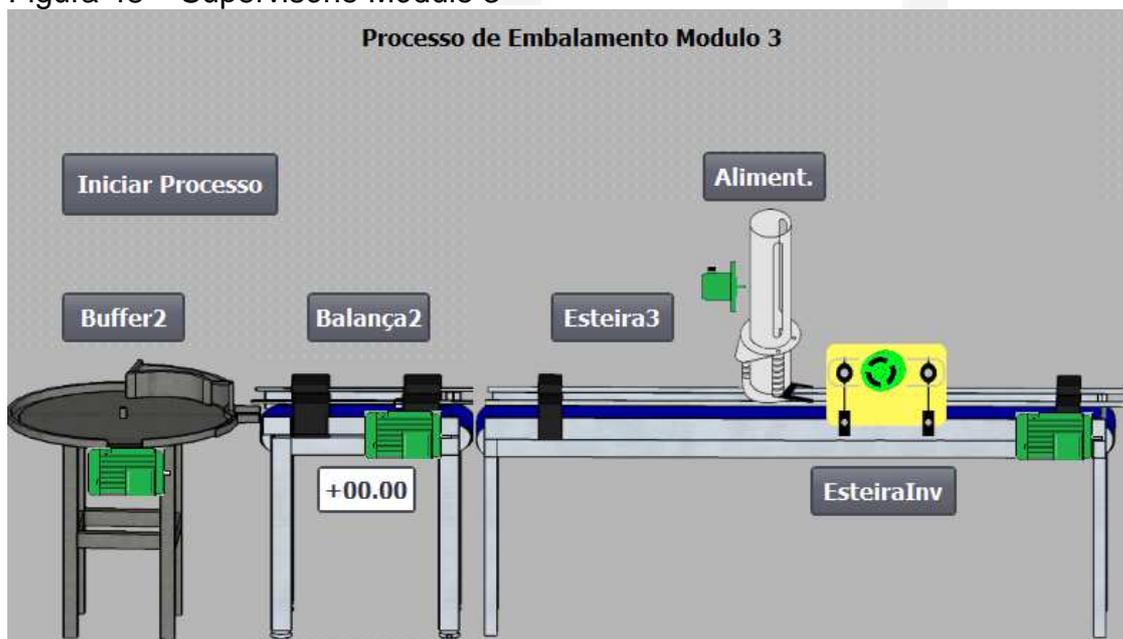
Figura 47 – Supervisório Módulo 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O supervisório da IHM do módulo 3 (Figura 48) consiste em seis botões, sendo um para iniciar processo, um para ligar o buffer 2, um para ligar a balança 2, um para ligar esteira 3, um para ligar a esteira invertida e outro para ligar o sistema de alimentação de tampas. Também possui o indicador de peso da balança. Da mesma forma que os outros módulos, possui a alteração das cores dos motores vinculada a eventos e função do botão de emergência.

Figura 48 – Supervisório Módulo 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O processo se resume da seguinte forma: o pote é inserido na esteira 1 do módulo 1 pelo sistema alimentador de potes, passa pelo sistema dosador em que recebe a dosagem de produtos. Então o pote sai da primeira esteira e entra no módulo 2, passando pelo buffer 1, pela esteira de pesagem 1 (balança), momento em que é exibido o peso do produto na tela da IHM. Então segue na esteira 2, entrando no módulo 3 no buffer 2, passando pela esteira de pesagem 2 (balança). Por fim entra na esteira 3, passando pelo sistema de fechamento de tampas, que compõe o alimentador de tampas e a esteira invertida, se dirigindo para o fim do processo.

O tempo médio do processo para 1 pote é de 59 s. O controle das cancelas dos buffers é responsável por controlar a diferença de velocidade dos módulos. Caso haja necessidade, duas entradas e duas saídas digitais dos CLPs foram reservadas para comunicação entre os módulos. A figura 49 apresenta a imagem da planta didática multidisciplinar montada com as novas estações de trabalho.

Figura 49 – Planta didática Univates



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.4.1 Gargalos do processo

Após a obtenção dos resultados, considerando os tempos de todas as estações de trabalho, foi possível verificar se as novas estações de trabalho tornaram-se o gargalo deste processo produtivo. A tabela 11 apresenta uma lista ordenada dos tempos de cada processo.

Tabela 11 – Lista ordenada de gargalos do processo

| Descrição do equipamento | Tempo de processo (segundos) |
|--------------------------|------------------------------|
| Dosador | 4 |
| Buffers | 2,5 |
| Esteiras de Pesagem | 2 |
| Alimentador de Tampas | 2 |
| Alimentador de Potes | 1 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Após as implementações das novas estações de trabalho, constatou-se que os tempos de processo de cada uma delas foram compatíveis com a planta de modo geral, sendo ainda o dosador, o gargalo do processo. Para reduzir-se o tempo seria possível fabricar um outro dosador em paralelo à esteira 1, efetuando o enchimento de dois potes ao mesmo tempo ou reduzir pela metade a quantidade de dosagem e incluir um novo dosador na esteira 2, que dosaria a outra metade (esta opção está prevista para acontecer). Caso isto fosse implementado, possivelmente o dosador não seria mais gargalo, equalizando seu tempo com as demais estações de trabalho.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foram descritas as etapas do projeto e implementações de módulos adicionais e automação do processo para o aperfeiçoamento da Planta de Manufatura Flexível Didática da Univates, desde a definição das dimensões das estações de trabalho, das funcionalidades, e seleção dos componentes necessários para a sua construção.

Com a proposta elaborada, conseguiu-se alcançar o objetivo de deixar a planta operacional para atividade dos alunos. Com a premissa da automação modular, é possível que o professor disponibilize aos alunos atividades em três grupos, otimizando o tempo disponível das aulas. Com a planta, os alunos podem desempenhar atividades relacionadas aos processos industriais existentes, como entrada e saída de embalagens no processo, contagem, pesagem, controle de fluxo de produtos, controle de qualidade e armazenamento.

O desenvolvimento do trabalho contemplou a divisão dos módulos e sua automação. Foi realizado cálculo de um redutor adequado para as mesas giratórias, suprimindo de forma adequada o fluxo do processo, eliminando a necessidade de um inversor. Também foram instaladas fins de curso de porte industrial nas cancelas de saída das mesas giratórias. Além disso, elaborou-se um sistema de controle e supervisão, de forma a verificar e validar as funcionalidades da planta.

Com esse projeto os cursos de engenharia, especialmente os com ênfase em automação, passam a dispor de uma plataforma didática que possibilita práticas que sejam condizentes com processos produtivos encontrados no mercado de trabalho atual.

Para otimizar o sistema de fechamento de tampas, sugere-se incorporar um dispositivo adicional que garanta a separação de todas as tampas. Isto se faz necessário devido às tampas se encaixarem uma dentro da outra, e quando forem mal posicionadas no cilindro alimentador, entram duas tampas ao mesmo tempo no sistema de fusos, caindo ambas na posição de deslocamento, posição esta que somente passa uma tampa por vez.

Como esta planta é destinada a atividades acadêmicas, é fundamental o cuidado com a segurança dos alunos. Sugere-se enclausuramento dos motores trifásicos e acesso entre a esteira invertida e esteira 3. Também recomenda-se proteções físicas nas cancelas do sistema, principalmente às de saída do sistema de dosagem e saída das mesas giratórias ou até mesmo, alguma aplicação de NR 12, que está em foco no mercado atual, pois além de resolver os problemas em relação à segurança do operador, traria com mais ênfase esta norma regulamentadora.



REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, R.P.; CAMACHO, J.S.; BRITO, J. A. **Extensometria básica**. Ilha Solteira, SP: UNESP, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5410: instalações de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AUTODESK; **Inventor**, 2014. Disponível em: <<http://www.autodesk.com/products/inventor/overview>> Acesso em: 26 mai. 2014.

BILDHAUER, A. **Projeto de uma planta de manufatura flexível multidisciplinar**. Lajeado, RS: UNIVATES, 2014.

BRAMIS, EQUIPAMENTOS MAGNÉTICOS. **Levoador Magnético**. Vila Moraes, SP, 2014. Disponível em: < <http://www.bramis.com.br/produto/dispositivo-de-levantamento-magnetico> > Acesso em: 30 mai. 2014.

BORCHARDT, G. L.; LINO, J.R. **A contribuição do just-in-time e do sistema de manufatura flexível para as manufaturas contemporâneas**. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664, n. V, 2012.

CAMPOS, G. F. **Sistema de supervisão de reservatórios de água e esgoto de um edifício residencial**. São Carlos, SP: USP, 2008.

CAMPOS, L.D.F. **Estudo comparativo dos sistemas de manufatura ágil, flexível e enxuto**. Itatiba, SP: UNICAMP, 2010.

CAPELLI, A. **Sensores Industriais**: funcionamento e aplicações práticas em campo. Rio de Janeiro: Antenna, 2006.

_____. **Sensores na automação industrial**. Revista Mecatrônica Atual, ano 10, n. 54, jan/fev. 2012.

CARMOMAQ, Indústria e Comércio de Máquinas. **Transportador Helicoidal**. Espírito Santo do Pinhal, SP, 2014. Disponível em: <http://www.carmomaq.com.br/produtos/industrial/03_th.html> Acesso em: 29 mai. 2014.

CASALE, A. **Aprendizagem baseada em problemas – desenvolvimento de competências para o ensino em engenharia.** São Carlos, SP, 162 p. Tese (Doutorado) – USP, 2013.

CASILLO, D. **Automação e controle e sistemas supervisórios.** Mossoró, RN: UFERSA, 2010.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação.** 2. ed. Lajeado: Univates, 2012.

DANTAS, L. **Sensores digitais** – Óticos e ultra-sônicos. 2010. Disponível em: <<http://automacao2010.blogspot.com.br/search/label/Sensores>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

ENGENDRAR. **Alimentador de correia.** Campinas, SP, 2014. Disponível em: <http://www.engendrar.com.br/site/midia_center/fotos.php?cat=5/Equipamentos-Industriais.html> Acesso em: 08 jun. 2014.

ESCRIVÃO FILHO, E.; RIBEIRO, L.R.C. **Aprendendo com PBL – aprendizagem baseada em problemas: relatos de uma experiência em cursos de engenharia da EESC-USP.** FIPAI. São Carlos, SP. 2009. Disponível em: <<http://www.fipai.org.br/Minerva%2006%2801%29%2003.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2014.

EPLAN. **EPLAN Electric P8: Poder para o planejamento da engenharia elétrica,** 2014. Disponível em: <<http://www.eplan.com.br/br/solucoes/engenharia-eletrica/eplan-electric-p8>> Acesso em: 10 nov. 2014.

FERREIRA, M.; **Desafios e objetivos da automação industrial,** 2010. Disponível em: <<http://engenhariaatual.blogspot.com.br/?view=magazine>> Acesso em: 12 out. 2014.

FRADEN, J.; **Handbook of modern sensors: physics, design, and applications.** 3. ed. Nova York: Springer, 2004.

FRANÇOSO, T.; DAMASCENO, V.I. **Sensores capacitivos.** Lorena, SP. USP: 2010.

GASPARIN, M. Automação Industrial é a solução para ser competitivo com qualidade. **Jornale**, Curitiba, 07 abr. 2010. Disponível em: <<http://jornale.com.br/mirian/?p6825.&paged=671>> Acesso em: 31 mar. 2014.

GENIUS DEVILS. **Inductive proximity sensors**. 2013. Disponível em: <<http://geniusdevils.com/2013/04/inductive-proximity-sensors>> Acesso em: 05 jun. 2014.

GIGA, Com. e Man. de Equipamentos Ltda.; Manutenção IHM Allen-Bradley Rockwell 551129674343, 2012. Disponível em: <<http://ihmallenbradley.com.br>> Acesso em: 25 mai. 2014.

GONÇALVES, L.F. **Instalações elétricas prediais A ENG04482**. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2012.

GOUVEIA, R. **Para que serve um alimentador rotativo**, 2012. Disponível em: <<http://www.mecanicaindustrial.com.br/conteudo/433-para-que-serve-o-alimentador-rotativo>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

GROOVER, M. P., **Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing**. 3 ed. Ed. Prentice Hall, 2008.815 p. ISBN 978-0-1323-9321-8.

HILSDORF, W. C.; MASSOTE, A. A.; MARIA, G. B. A. **Laboratório de tecnologia de manufatura – uma experiência aplicada ao ensino da engenharia da produção**. Porto Alegre, RS. XXV ENEGEP, 2005.

HUGHES, T. A. **Programmable controllers – resources for measurements and control series**. Carolina do Norte, EUA. 4. ed. Instrument Society of America, 2004.

HUNSCHE, R. **Supervisório para forno de refusão**. National Instruments, 2012. Disponível em: <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-12351>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

KARA, S. & KAYIS, B. **Manufacturing flexibility and variability: an overview**. Journal of, 2004.

LANGBECK, D.C.; COSTA, H. N.; SHIMIZU, M. S. **Implementação de um controlador lógico programável (CLP) utilizando um field-programmable gate array (FPGA) como núcleo de processamento**. Belém, PA: IESAM, 2012.

LEAL, A.B.; BELOLI, A.S.R.; MEIRINHO, C.J.; WEINERT, R.L.; **Implantação de laboratório de automação da manufatura como meio de melhorar o ensino de automação em curso de Engenharia Elétrica**. XLI COBENGE. Gramado, RS: UDESC, 2013.

LIBÂNEO, J.C. **Adeus professor, adeus professora? Novas exigências educacionais e profissão docente**. 13. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

LIMA, H.L. **Sensores indutivos**. Caicó, RN: DEE – UFRN, 2008.

LINO, L. O que é um sensor capacitivo? Digel Elétrica Ltda (2014). **Manufacturing Technology Management**, v. 15, n. 6, p. 466-478, 2004. Disponível em: <http://www.digel.com.br/novosite/index.php?option=com_content&view=article&id=68:o-que-e-um-sensor-capacitivo&catid=42:tecnicos&Itemid=69> Acesso em: 25 abr. 2014.

MECATRÔNICA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. L.E.R.B. **Linha de envase rotativa para baldes**. Disponível em: <<http://mecatronica.ind.br/loja/maquinas/l-e-r-b-linha-de-envase-rotativa-para-baldes.html>> Acesso em: 30 mai. 2014.

MELLO, M. S. CLP – **Controlador lógico programável**. Cuiabá, MT: ICE, 2011.

METALÚRGICA SANTA RITA. **Alimentador/Dosador**. Brumado, Bahia, 2014. Disponível em: <<http://www.msr.com.br/ct/curiosidades/alimentador--dosador>> Acesso em: 30 mai. 2014.

MORAES, C.C. **Engenharia de automação industrial**. Rio de Janeiro, LTC, 2001.

MORALES, R. A.G. **Modelagem e análise de sistemas flexíveis de manufatura tolerantes a falhas baseado em rede bayesiana e rede de petri**. São Paulo, SP. Tese (Mestrado) – USP, 2009.

NAKAMOTO, F.Y. **Regras de controle para alocação de recursos em sistemas produtivos com processos concorrentes**. SBAI, 2001.

NAPOLI, J.F.C. **Projeto de um sistema de automação para um elevador de passageiros utilizando redes de petri**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2013.

PACIORNIK, S. **Eletrônica para automação de processos**. Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://www.dcm.puc-rio.br/cursos/eletronica/html/sld001.htm>> Acesso em: 10 mai. 2014.

PEIXOTO, J.A. **Desenvolvimento de sistemas de automação da manufatura usando arquiteturas orientadas a serviço e sistemas multi-agentes**. Porto Alegre, RS. Tese (Mestrado) – UFRGS, 2012.

PLASVALE. **Pote porta mantimentos 0,9 L referência 541**. 2012. Disponível em: <http://www.plasvale.com.br/2012/pt_br/produtos.asp?prin=43&pai=43&segmento=238> Acesso em: 10 out. 2014.

PROYECMA, CAPS ASSEMBLY MACHINES. **Alimentadores de tapones rotativos**. Disponível em: <<http://www.proyecma.com/alimentadores-de-tapones-rotativos.html>> Acesso em: 18 mai. 2014.

RIBEIRO, E. P.; JÚNIOR, O. K. **Sensor cor**. Curitiba, PR: UFPR, 2006.

ROMEIRO FILHO, E.R. et al. **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus – ABEPRO, 2011, 408 p.

SANTOS, R.S.B. **Modelagem e análise de performance de sistemas flexíveis de manufatura baseado em redes de petri temporizadas: estudo de caso na indústria automobilística**. Tese (Mestrado) – USP, São Paulo, SP, 2008.

SCHNEIDER ELECTRIC. M218 Guia de especificação. **Guia de especificação CLP**. São Paulo, SP. 2012.

SIEMENS. **Apresentação Totally Integrated Automation Portal**, 2013. Disponível em: <http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure_tia_portal_en.pdf> Acesso em: 11 nov. 2014.

_____. **Product datasheet KTP700 6AV2123-2GB03-0AX0**, 2014. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/DatasheetService/DatasheetService?control=%3C%3Fxml+version%3D%221.0%22+encoding%3D%22UTF8%22%3F%3E%3Cpdf_generator_control%3E%3Cmode%3EPDF%3C%2Fmode%3E%3Cpdmsystem%3EPMD%3C%2Fpdmsystem%3E%3Ctemplate_selection+mlfb%3D%226AV21232GB030AX0%22+system%3D%22PRODIS%22%2F%3E%3Clanguage%3Een%3C%2Flanguage%3E%3Ccaller%3EMall%3C%2Fcaller%3E%3C%2Fpdf_generator_control%3E%3E>. Acesso em: 12 set. 2014.

_____. **Product datasheet Switch Scalance XB005 6GK5005-0BA00-1AB2**, 2014. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/DatasheetService/DatasheetService?control=%3C%3Fxml+version%3D%221.0%22+encoding%3D%22UTF-8%22%3F%3E%3Cpdf_generator_control%3E%3Cmode%3EPDF%3C%2Fmode%3E%3Cpdmsystem%3EPMD%3C%2Fpdmsystem%3E%3Ctemplate_selection+mlfb%3D%226GK5005-0BA00-1AB2%22+system%3D%22PRODIS%22%2F%3E%3Clanguage%3Een%3C%2Flanguage%3E%3Ccaller%3EMall%3C%2Fcaller%3E%3C%2Fpdf_generator_control%3E>. Acesso em: 09 nov. 2014.

SILVA, M. E. **Controladores lógicos programáveis**. Escola de Engenharia de Piracicaba, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, R.; JOHNSTON, S. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOFTWARE. See Electrical CADdy ++, 2014. Disponível em: <<http://www.software.com.br/see-electrical-caddy.html>> Acesso em: 24 out. 2014.

SOLUTIONS4U. **Realistic systems and real process is essence in embed understanding**. Selangor – Malásia. Disponível em: <<http://www.solutions4u-asia.com/pdt/GT/AdvSys/GT-AdvSys.html>>. Acesso em: 14 abr. 2014.

T-PACK, 2009. Disponível em: <<http://www.t-pack.com/images/termosellado/termo7.jpg>>. Acesso em: 04 jun. 2014.

_____, 2014. Disponível em: <<http://www.t-pack.com/images/termosellado/termo1.jpg>>. Acesso em: 05 jun. 2014.

TECNOENVASE, **Tecnologia em Envase e Fechamento**. Tampadoras Série TTX 500-M. Cristiano Angeli, SP. Disponível em: <<http://www.tecnoenvase.com.br/tampadoras-serie-ttx-500-m-2//>>. Acesso em: 29 mai. 2014.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P.U.B. **Sensores industriais**: fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2005.

TÖNSHOFF, H.K.; INASAKI, I. **Sensors in manufacturing**. Weinheim, Wiley-VCH, 2001.

UERJ. **Curso de controladores lógicos programáveis**. Cap. 1. Laboratório de Engenharia Elétrica, 1999. Disponível em: <<http://www.lee.eng.uerj.br/downloads/cursos/clp/clp.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2014.

UNICONTROL. **Curso PLC Siemens**. 2007. São Paulo, SP. Disponível em: <http://www.adjutojunior.com.br/plc/Apostila_Curso_PLC_Siemens_Software_Step7.pdf> Acesso em 08 jun. 2014.

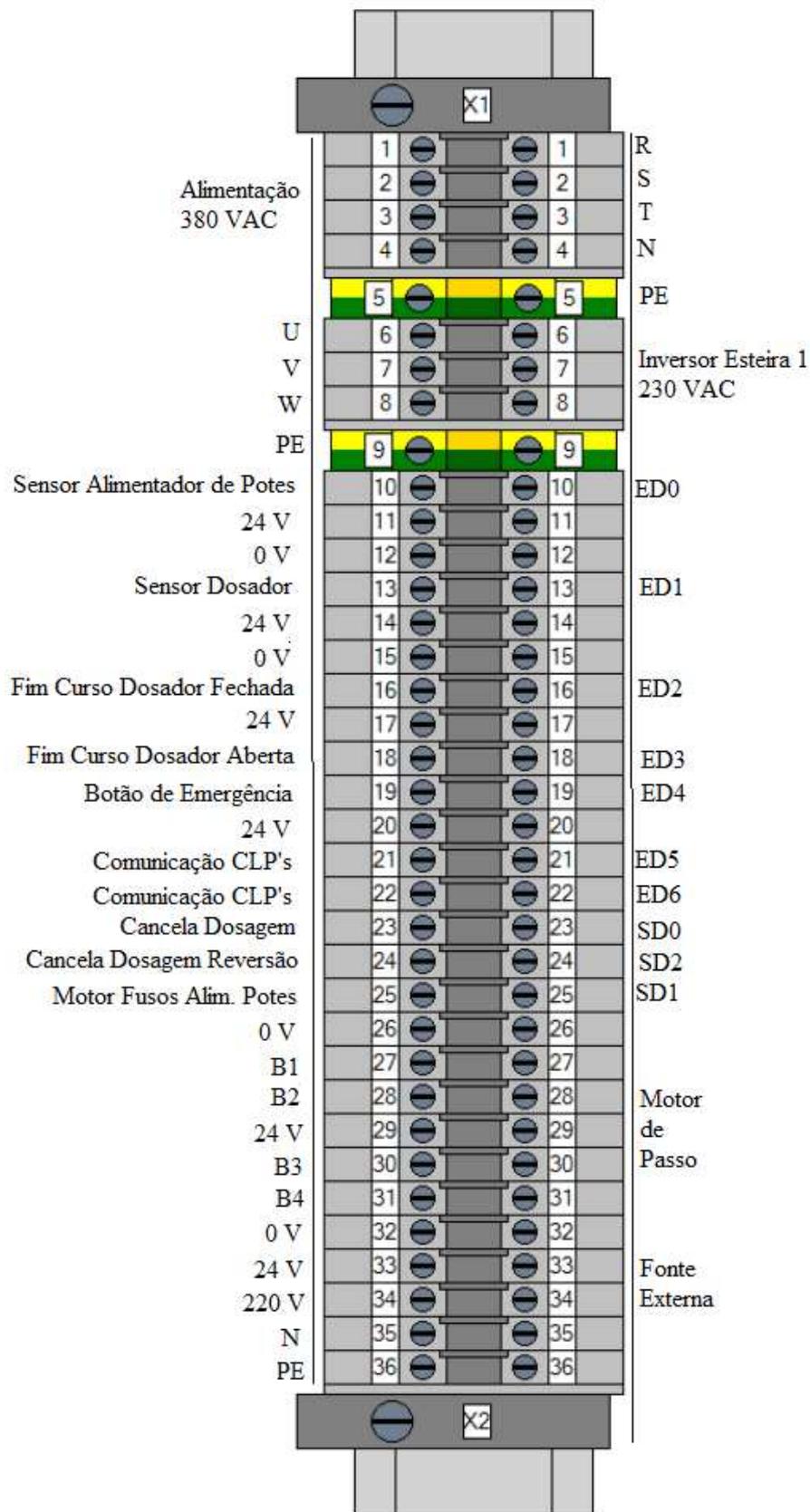
USP. **Modelagem e design de sistemas discretos em redes de petri** (modelagem e design de sistemas). USP, São Paulo – SP. Disponível em: <<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=3078>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

WEG. SORB – **Software de bornes**, 2014. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls/Conexoes-Eletricas/Software-de-Bornes>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

WILSON, Jon S. **Sensor technology handbook**. Oxford: Elsevier, 2005.

WORM, H. **Sistema de identificação e manipulação de produtos em planta de manufatura flexível usando RFID**. Lajeado, RS: UNIVATES, 2009.

APÊNDICE A - Identificação da régua de bornes do quadro de comando do módulo 1



APÊNDICE D – Diagrama elétrico de forças do quadro de comando do módulo 3

