INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

SÉRGIO MINAS MELCONIAN

MELHORIA DA AUTOMAÇÃO NO PROCESSO DE DOSAGEM INDUSTRIAL COMO FERRAMENTA PARA O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE

SÃO PAULO

2013

SÉRGIO MINAS MELCONIAN

MELHORIA DA AUTOMAÇÃO NO PROCESSO DE DOSAGEM INDUSTRIAL COMO FERRAMENTA PARA O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE

Trabalho apresentado ao programa de Pós-graduação em Automação e Controle de Processos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, como requisito para obtenção do título de mestre em Automação e Controle de Processos.

Orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

SÃO PAULO

2013

M465m Melconian, Sérgio Minas.
Melhoria da automação no processo de dosagem industrial como ferramenta para o aumento da produtividade / Sérgio Minas Melconian. São Paulo: [s.n], 2013.
117 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Souza

Dissertação (Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2013.

1. Aumento da produtividade 2. Integração 3. Sistema supervisório I. Melconian, Sérgio Minas II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. III Título

CDU 681.0

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CAMPUS SÃO PAULO
DIRETORIA GERAL DO *CAMPUS* SÃO PAULO
Coordenadoria de Registros Escolares de Pós-Graduação

ATA DE EXAME DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Programa: **Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos**

Nome do(a) Aluno(a) : Sergio Minas Melconian

Nome do Orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

Nome do Co-orientador:

Título do Trabalho: "Melhoria da Automação no Processo de Dosagem Industrial como Ferramenta para o Aumento da Produtividade"

Abaixo o resultado de cada participante da Banca Examinadora

Nome completo dos Participantes Titulares da Banca	**Sigla da Instituição**	**Aprovado / Não Aprovado**
Prof. Dr João Sinohara da Silva Sousa – Orientador	IFSP – SPO	APROVADO
Prof. Dr. Alexandre Brincalepe Campo – Membro Interno	IFSP – SPO	APROVADO
Prof. Dr. Wendell de Queiroz Lamas – Membro Externo	USP – LORENA	APROVADO
Nome completo dos Participantes Suplentes da Banca	**Sigla da Instituição**	**Aprovado / Não Aprovado**
Prof. Dr. Valdeci Donizete Gonçalves	IFSP – SJC	
Prof. Dr. Alexandre Simião Caporali	IFSP – SPO	
Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa	IFSP – SPO	

Considerando-o: [X] APROVADO
[ ] NÃO APROVADO

Assinaturas

São Paulo, 17 de dezembro de 2013

Presidente da Banca

Membro Interno

Membro Externo

Observações:

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Sarkis e Anaid, e ao meu irmão Marcos Vinicius, por serem a base da minha vida e inspiração.

AGRADECIMENTOS

A realização e conclusão deste trabalho passou pela ajuda, apoio e dedicação de muitas pessoas. Gostaria de agradecer principalmente:

Ao meu orientador Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa que me ajudou, indicando os melhores caminhos para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo por toda a ajuda, dedicação e apoio.

Agradeço a todos os profissionais da empresa Tudela Indústria e Comércio de Máquinas Ltda® por abrirem espaço e me ajudarem no desenvolvimento deste trabalho, mas em especial aos meus amigos Francisco Baques Tudela e Jorge Baques Tudela por toda ajuda.

Agradeço a todos os funcionários da empresa Keylogix Automation Ltda® por me ajudarem nos momentos de dúvidas, especialmente ao engenheiro Walter pela atenção e treinamento.

Sou muito grato aos meus colegas de mestrado pelo apoio e aos meus amigos pessoais por entenderem os momentos de ausência.

Por fim e de maneira muito especial agradeço aos meus familiares pela ajuda, compreensão e incentivo.

“A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem os olhos abertos para o misterioso passará pela vida sem ver nada”.

Albert Einstein

RESUMO

A forte concorrência, os avanços tecnológicos e as constantes alterações no mercado obrigam cada vez mais as empresas de manufatura a investirem em máquinas e equipamentos com maior capacidade de produção, possibilidade de integração e transmissão de informações da produção de maneira rápida e confiável a fim de garantir a estabilidade dos processos e acelerar as tomadas de decisões que garantam a competitividade e sobrevivência das empresas. Assim, este trabalho tem como objetivo principal apresentar algumas soluções para melhoria da automação da balança de dosagem industrial modelo ESAP-500® fabricada pela empresa Tudela Ind. e Com. de Máquinas®. Para isso, uma nova planta industrial foi desenvolvida, sendo integrados ao processo de dosagem, novos sensores e atuadores, um transportador totalmente automatizado e um novo sistema de controle que foi desenvolvido e implementado por meio de um CLP que está ligado em rede Modbus com um sistema de supervisão de interface simples e amigável. O sistema de supervisão aplicado a planta foi desenvolvido no *software* Supervisório Elipse SCADA®, a fim de digitalizar, monitorar e armazenar as operações e variáveis do processo. Desenvolveu-se um estudo quantitativo e qualitativo de campo, fazendo-se a comparação do processo de dosagem original com os resultados obtidos nos ensaios realizados na planta industrial montada, pode-se comprovar a eficiência do projeto uma vez que se observam melhorias no sistema produtivo, como, a integração de processos e o aumento de produtividade.

Palavras-chave: Aumento da Produtividade, Integração, Sistema Supervisório.

ABSTRACT

Strong competition, technological advances and constant changes in the marketplace increasingly require manufacturing companies to invest in machinery and equipment with greater capacity, possibility of integration and transmission of information production quick and reliable way to ensure process stability and accelerate decision-making to ensure the competitiveness and survival of businesses. This work has as main objective to present some solutions for improving the automation of industrial scale dosage model ESAP-500® manufactured by the company Tudela Ind. e Com. de Máquinas®. For this, a new plant was developed, and integrated into the dosing process, new sensors and actuators, a carrier and a new fully automated control system that was developed and implemented by a PLC that is connected to a Modbus network supervision system simple and friendly interface. The supervisory system applied to plant supervisory software was developed in Elipse SCADA® in order to scan, monitor and store operations and process variables. Developed into a quantitative and qualitative study field, making a comparison of the original dosing process with the results obtained in the tests mounted in the industrial plant, it can prove the design efficiency as observed improvements in the production system as the integration of processes and increased productivity.

Keywords: Increased Productivity, Integration, Supervision System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de possibilidade para automação e uso de computadores em um sistema de produção 26
Figura 2 – Três tipos de automação relativos ao volume de produção e variedade do produto 27
Figura 3 – Uma típica estratégia de migração para a automação 29
Figura 4 – Princípio de funcionamento do sensor óptico 31
Figura 5 – Princípio de funcionamento do sensor indutivo 32
Figura 6 – Detalhes construtivos de uma célula de carga 32
Figura 7 – Configuração dos extensômetros em Ponte de Wheatstone 33
Figura 8 – Representação simplificada de um motor de corrente contínua 34
Figura 9 – Representação básica de um motor de indução 35
Figura 10 – Diagrama de blocos de um inversor de frequência comercial 36
Figura 11 – Geração do PWM pela combinação de uma onda triangular e uma senoidal 36
Figura 12 – Sinal de saída do gerador PWM 37
Figura 13 – Representação básica de um solenóide 37
Figura 14 – Atração de uma esfera ferromagnética por meio de um eletroímã 38
Figura 15 – Controlador Lógico Programável 39
Figura 16 – Modelo básico de comunicação 40
Figura 17 – Exemplo de programa em FDB 42
Figura 18 – Exemplo de programa em LD montado para funcionar como uma porta lógica XOR 43
Figura 19 – SFC e o equivalente em LD 43
Figura 20 – Tipos de Topologias de Rede 44
Figura 21 – Topologia Mestre/Escravo 45
Figura 22 – Pirâmide da automação 46
Figura 23 – Ilustração das camadas e comunicação do modelo OSI 47
Figura 24 – Rede Multiponto 49
Figura 25 – Ciclo de pergunta e resposta no modelo mestre/escravo 50
Figura 26 – Formato da mensagem em Modbus ASCII 52
Figura 27 – Sequência de mensagens sem erros 53

Figura 28 – Sequência de mensagens com erros 53
Figura 29 - Formato da mensagem em Modbus RTU 53
Figura 30 – Representação básica dos primeiros SCADA 54
Figura 31 – Típico sistema de supervisão 55
Figura 32 – Exemplo de algumas telas de supervisão para controle e monitorização de processo55
Figura 33 – O âmbito do SIM 59
Figura 34 – Arquitetura de integração 62
Figura 35 – Representação da balança de dosagem ESAP-500® 64
Figura 36 – Painel da máquina 65
Figura 37 – Transporte por vibração de matéria-prima e a caçamba sendo cheia 66
Figura 38 – Fluxograma do processo de dosagem original 67
Figura 39 – Representação simplificada do processo logístico do cliente 69
Figura 40 – Representação do sistema desenvolvido 74
Figura 41 – Bocal de aço em forma de funil instalado na ESAP-500® 76
Figura 42 – Esboço das mesas projetadas (em mm) no aplicativo Solidworks 2010® 77
Figura 43 – Esboço do bocal (em mm) no aplicativo Solidworks 2010® 78
Figura 44 – CLP Lince® da Keylogix® 80
Figura 45 – Ilustração do CLP Lince® com seus respectivos periféricos de saídas digitais 81
Figura 46 – Ilustração do CLP Lince® com a representação da ligação dos sensores digitais 82
Figura 47 – Ilustração do CLP com a representação da ligação do condicionador de sinal na porta analógica do Lince® 83
Figura 48 – Ilustração da ligação do inversor de frequência na porta de saída analógica do Lince® 83
Figura 49 – Fluxograma do processo de dosagem proposto 84
Figura 50 – Representação da tela de vibração da IHM do CLP Lince® e as características de cada campo 86
Figura 51 – Parte do programa desenvolvido em linguagem Ladder para o controle do processo de dosagem com CLP Lince® 87
Figura 52 – Cabo de comunicação CLP/Computador 87
Figura 53 – Confecção do cabo de comunicação 88
Figura 54 – Esquema eletrônico do condicionador de sinal 89

Figura 55 – Diagrama esquemático da placa para controle de fase do eletroímã 90
Figura 56 – Diagrama esquemático da placa para acionamento de potência dos atuadores da máquina 91
Figura 57 – Esteira transportadora automática 92
Figura 58 – Inversor de frequência Weg® modelo CFW-10 Plus® 93
Figura 59 – Conexão de potência e aterramento do inversor de frequência 94
Figura 60 – Conexão de controle entre o CLP e o inversor de frequência 94
Figura 61 – Diagrama de blocos da entrada analógica Al1 do inversor de frequência 96
Figura 62 – Tela do SCADA 97
Figura 63 – Conversor USB/serial RS485 98
Figura 64 – Configuração da rede Modbus 99
Figura 65 – Representação gráfica dos resultados obtidos no ensaio do condicionador de sinal 101
Figura 66 – Representação de uma das telas de navegação da IHM 105
Figura 67 – Tela de navegação do modbus 108
Figura 68 – Tela de configuração das tags do CLP 108
Figura 69 – Tela para integração dos elementos gráficos do SCADA com as tags CLP 109
Figura 70 – Resultado da tela do SCADA 111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Linguagens de programação para CLP 40
Tabela 2 – Operadores padrões para operações aritméticas e booleanas no ST 41
Tabela 3 – Os principais operadores de comparação e controle de fluxo no LI 42
Tabela 4 – Dados de processo do cliente 71
Tabela 5 – Número de funcionários afastados, o período de afastamento e o motivo 72
Tabela 6 – Investimentos necessários para a integração proposta 74
Tabela 7 – Elementos sensores e atuadores utilizados, características dos sinais do CLP e o número de portas necessárias para comunicação 79
Tabela 8 – Principais parâmetros de configuração do inversor de frequência 95
Tabela 9 – Resultados obtidos nos ensaios do condicionador de sinal 101
Tabela 10 – Resultados do ensaio realizado com a placa para controle de fase 103
Tabela 11 – Parâmetros do inversor de frequência para controle de velocidade da esteira 106
Tabela 12 – Resultados do primeiro ensaio realizado para medir o ciclo de produção 112
Tabela 13 – Resultados do segundo ensaio realizado para medir o ciclo de produção 113
Tabela 14 – Comparação entre os dados do processo original com os dados ensaiados no novo sistema 114

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
ABS	*Acrylonitrile Butadiene Styrene*
ASCII	*American Standard Code for Information Interchange*
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
CFW	Conversor de Frequência WEG (nome próprio)
CI	Circuito Integrado
CIM	*Computer Integrated Manufacturing*
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	*Central Process Unit*
CR	C*arriage Return*
CRC	*Cyclical Redundancy Checking*
D/A	Digital/Analógico
EIA	*Electronic Industries Association*
ERP	*Enterprise Resource Planning*
ESAP	Envaze de Sólidos Automático Profissional (nome próprio)
FBD	*Function Block Diagram*
GM	*General Motors* (nome próprio)
GND	*Ground*
I/O	*Input/Output*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IHM	Interface Homem Máquina
IL	*Instruction List*
IN	*Input*
LD	*Ladder Diagram*
LED	*Light Emitting Diode*
LF	*Line Feed*
LRC	*Longitudinal Redundancy Checking*
LSB	*Least Significant Bit*

MES	*Manufacturing Execution Systems*
MSB	*Most Significant Bit*
NF	Normal Fechado
NI	*National Instruments*
NPN	Negativo-Positivo-Negativo
OP	Ordem de Produção
OSI	*Open Systems Interconnection*
OUT	*Output*
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PID	Proporcional Integrador Derivativo
PNP	Positivo-Negativo-Positivo
PWM	*Pulse Width Modulation*
RH	Recursos Humanos
RISC	*Reduced Instruction Set Computer*
RJ	*Registered Jack*
RS	*Recommended Standard*
RTU	*Remote Terminal Unit*
SCADA	*Supervisory Control and Data Acquisition Systems*
SFC	*Sequential Functional Charts*
SIM	Sistemas Integrados de Manufatura
ST	*Structure Text*
TRIAC	*Triode for Alternating Current*
USB	*Universal Serial Bus*

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Ganho do circuito..... 89
Equação 2 – Sinal da entrada analógica 96
Equação 3 – Cálculo da transferência de dados no CLP 99
Equação 4 – Relação entre a tensão e o valor da massa na balança..... 102

SUMÁRIO

RESUMO VIII
ABSTRACT IX
LISTA DE FIGURAS X
LISTA DE TABELAS XIII
LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS XIV
LISTA DE EQUAÇÕES XVI
1. INTRODUÇÃO 21
1.1 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO 21
1.2 OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO 22
1.3 METODOLOGIA PROPOSTA 23
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 24
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 25
2.1 CONCEITOS BÁSICOS 25
2.2 AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO 26
2.2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO AUTOMATIZADOS 26
2.2.2 SISTEMAS COMPUTADORIZADOS DE APOIO À PRODUÇÃO 28
2.2.3 ESTRATÉGIA DE MIGRAÇÃO PARA A AUTOMAÇÃO 28
2.3 SENSORES E ATUADORES 30
2.3.1 SENSOR ÓPTICO 30
2.3.2 SENSOR INDUTIVO 31
2.3.3 CÉLULA DE CARGA 32
2.3.4 MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA 33
2.3.5 MOTOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO 34
2.3.6 INVERSOR DE FREQUÊNCIA 35

2.3.7 SOLENÓIDE 37
2.4 CLP - CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL 38
2.4.1 EVOLUÇÃO E LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO PARA CLP 40
2.5 REDE DE COMUNICAÇÃO NA AUTOMAÇÃO 44
2.5.1 PROTOCOLO MODBUS 46
2.5.2 MODELO OSI 47
2.5.3 MODELO MESTRE/ESCRAVO 49
2.5.4 MODELO DE TRANSMISSÃO SERIAL COM MODBUS 50
2.5.5 MODO ASCII 50
2.5.6 MODO RTU 52
2.6 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS 54
2.6.1 COMPONENTES FÍSICOS DO SISTEMA SCADA 56
2.6.2 COMPONENTES LÓGICOS DO SISTEMA SCADA 56
2.6.3 MODO DE COMUNICAÇÃO 57
2.6.4 COMUNICAÇÃO POR CONSULTA (*POLLING*) 57
2.6.5 COMUNICAÇÃO POR INTERRUPÇÃO (*REPORT BY EXCEPTION*) 58
2.7 SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFATURA 58
2.7.1 COMPUTADOR INTEGRADO A MANUFATURA 59
2.7.2 SISTEMAS SCADA NO CONTEXTO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFATURA E GESTÃO DA PRODUÇÃO 60
3. PROCESSO ORIGINAL 63
3.1 A BALANÇA ESAP-500® E SUAS PARTES 63
3.2 PROCESSO ORIGINAL DE DOSAGEM 64
3.3 LOGÍSTICA DO PROCESSO E INTERFACE COM A GESTÃO DA PRODUÇÃO 68
3.4 PROBLEMAS OPERACIONAIS 69

3.5 DADOS DE PROCESSO DO CLIENTE 70
4. ESTRUTURA DESENVOLVIDA..... 73
4.1 INVESTIMENTO NECESSÁRIO PARA A INTEGRAÇÃO 73
4.2 VISÃO GERAL DO NOVO SISTEMA 74
4.3 BALANÇA DE DOSAGEM MODIFICADA 76
4.4 SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS 79
4.5 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE SINAL E ACIONAMENTO DE POTÊNCIA . 88
4.5.1 CONDICIONADOR DE SINAL 88
4.5.2 PLACA PARA CONTROLE DE FASE 90
4.5.3 PLACA PARA ACIONAMENTO DE POTÊNCIA..... 91
4.6 SISTEMA DA ESTEIRA TRANSPORTADORA AUTOMÁTICA 92
4.7 SISTEMA SUPERVISÓRIO (SCADA) 96
4.8 SISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE DADOS VIA PROTOCOLO MODBUS 97
5. RESULTADOS OBTIDOS 100
5.1 RESULTADOS DOS CIRCUITOS DESENVOLVIDOS 100
5.1.1 RESULTADOS DO CONDICIONADOR DE SINAL..... 100
5.1.2 RESULTADOS DA PLACA PARA CONTROLE DE FASE 102
5.1.3 RESULTADOS DA PLACA PARA ACIONAMENTO DE POTÊNCIA 104
5.2 RESULTADOS DO CLP COM AS TELAS DE NAVEGAÇÃO E OS PERIFÉRICOS DE CAMPO 104
5.3 RESULTADOS DA ESTEIRA TRANSPORTADORA 106
5.4 RESULTADOS DA COMUNICAÇÃO MODBUS ENTRE O CLP E O ELIPSE SCADA® 107
5.5 RESULTADOS DO CICLO MÉDIO DE PRODUÇÃO 111
5.6 COMPARATIVO ENTRE PROCESSO ORIGINAL E O NOVO SISTEMA 114

6. CONCLUSÕES 115
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 116
REFERÊNCIAS 118
APÊNDICE 121
APÊNDICE A – CRONOGRAMA 121
APÊNDICE B – DIAGRAMA LADDER 122
APÊNDICE C – TABELA DE SÍMBOLOS 126

1. INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

A forte concorrência, os avanços tecnológicos e as constantes alterações no mercado, obrigam cada vez mais as empresas de manufatura a investirem em máquinas e equipamentos com maiores capacidades de produção, possibilidades de integração e transmissão de informações da produção de maneira rápida e confiável, a fim de garantir a estabilidade e flexibilidade dos processos e acelerando as tomadas de decisões que garantam a competitividade e sobrevivência das empresas.

Tradicionalmente, em empresas de manufatura discreta, os métodos de monitoramento da produção são baseados em apontamentos manuais. Porém eles não conseguem fornecer de maneira rápida os dados do sistema produtivo (MARDEGAN; MARTINS; OLIVEIRA, 2003).

Nesse contexto, a coleta automática dos dados de produção permite uma melhor precisão e controle dos dados por meio de sistemas de monitoramento e supervisão, o que pode ser encarado como uma forma de aumentar a competitividade das empresas (MARDEGAN; MARTINS; OLIVEIRA, 2003). Os dados provenientes do chão de fábrica são não só muito importantes para a operação de sistemas de produção, como também para rápidas e efetivas tomadas de decisões dos departamentos de gestão.

A redução de custos por meio da eliminação de perdas e o aumento da produtividade são itens indispensáveis para a sobrevivência das empresas e que poderão ser atingidos com a implantação ou o aprimoramento dos processos produtivos (WERNER; MENEZES, 2010).

Com a ideia de eliminar o que não agrega valor ao produto, a automação de processos surge como alternativa, já que busca o aumento da produtividade e flexibilidade (WERNER; MENEZES, 2010).

Da mesma forma, os sistemas supervisórios se enquadram bem nesse contexto, pois permitem não só coletar dados do processo, como também monitorá-lo e controlá-lo no nível de supervisão. Para isso, é necessário utilizar um *software* específico de supervisão, que seja capaz de se comunicar com o processo por meio do *hardware* de controle (SOUZA, 2005).

Outra vantagem na utilização de sistemas supervisórios recai na possibilidade de integração entre os processos envolvidos dentro da fábrica, focando a empresa como um todo e não apenas os setores de maneira independentes (MARDEGAN; MARTINS; OLIVEIRA, 2003).

1.2 OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar algumas soluções de melhoria da automação implementada na planta de pesagem e dosagem industrial modelo ESAP-500® fabricada pela empresa Tudela Ind. e Com. de Máquinas®, a fim de garantir o aumento de produtividade, a possibilidade de integração com outras máquinas, equipamentos e sistemas, além de proporcionar a monitorização digital do processo e o armazenamento de informações em bancos de dados utilizando um *software* de supervisão e controle.

A balança de dosagem industrial ESAP-500® é comercializada como um produto que opera de maneira dedicada, impossibilitando a integração em rede com sistemas, máquinas ou equipamentos. Para isso, uma das melhorias propostas é substituir o sistema de controle atual por um CLP com protocolo de comunicação Modbus, a fim de permitir o controle do processo e a integração com um sistema de supervisão, onde serão monitoradas e controladas operações e variáveis do processo, permitindo também o armazenamento das informações da produção de maneira automática, eliminando a necessidade de anotações em papel e o retrabalho de inserir essas informações nas planilhas eletrônicas, além de proporcionar para os níveis de supervisão melhores parâmetros do chão de fábrica em um tempo menor.

No processo original os operadores são responsáveis por ajustar e operar a ESAP-500®. Isso acarreta atrasos na produção, pois para cada parada dos operadores, sejam elas por necessidades fisiológicas ou não, a produção também necessita ser parada. Nesse caso, outra melhoria proposta será adaptar ao processo uma esteira transportadora automática para a movimentação das embalagens que receberam a dosagem. Com isso, busca-se um aumento de produtividade com a redução das paradas de produção, além de possibilitar a integração física com outras máquinas ou processos.

O sistema integrado de produção desenvolvido com automação programável e redes industriais deve tornar-se mais aceitável, portanto, com maior flexibilidade para modificações de processos e produção.

1.3 METODOLOGIA PROPOSTA

O desenvolvimento deste trabalho utiliza como metodologia um estudo de caso realizado na empresa Tudela Ind. e Com. de Máquinas Ltda® em parceria com um cliente que trabalha com processo de dosagem de balas de mascar. O desenvolvimento e validação da proposta levará em conta a sequência seguinte:

Primeiramente irá apresentar uma fundamentação teórica baseada em referências bibliográficas onde serão apresentados os conceitos de automação de processos industriais com a definição de automação em sistemas de produção, sensores e atuadores, CLP (Controlador Lógico Programável), rede de comunicação Modbus, sistema de supervisão e controle SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition Systems*) e sistemas integrados de manufatura (SIM).

Em seguida será apresentado um estudo de campo que descreve o processo de dosagem realizado pela máquina, partes que a compõem, a logística do processo utilizado pelo cliente e a descrição dos problemas operacionais causados pelas limitações da máquina.

A terceira parte é o levantamento dos dados de processo do cliente antes das modificações propostas, sendo eles:

- O levantamento do ciclo médio do processo de dosagem por meio de entrevistas de campo com o pessoal do departamento de planejamento e controle da produção (PCP);
- O número de apontamentos equivocados realizados nas ordens de produção (OP) e nas planilhas eletrônicas por meio de entrevistas de campo com supervisores e gestores do cliente que possui a ESAP-500® e que utiliza balas de mascar como matéria-prima;
- O tempo perdido pelos operadores, supervisores e gestores para realizar os apontamentos de produção (também por meio de entrevistas de campo com o cliente);
- Levantamento do tempo perdido para corrigir os problemas de processo por conta das falhas e demora nos lançamentos de produção (entrevista de campo com o cliente);
- Relatar por entrevistas de campo com o cliente as dificuldades que os estoques intermediários (gerados pela ESAP-500®) causam no fluxo de materiais e pessoas, além das perdas geradas;

- Será levantado por coleta quantitativa com o RH (recursos humanos) do cliente o número de afastamentos ou recursos judiciais ocorridos desde a instalação do processo de dosagem.

Concluída a terceira parte da pesquisa e baseando-se nos estudos bibliográficos e de campo, serão levantados os investimentos necessários para a realização da integração (inclui *hardware* e *software*). Posteriormente será criado um sistema automático integrado (protótipo) composto pela ESAP-500®, pelo *hardware* de potência, por um transportador automatizado, um CLP e do *software* Elipse SCADA® que será utilizado para fazer o armazenamento automático dos dados de produção.

Estando toda estrutura mecânica e eletroeletrônica instalada na Tudela®, foram elaborados: o algoritmo (fluxograma) do processo, as telas de navegação, o programa em linguagem Ladder para o CLP, a IHM (interface homem máquina) para o SCADA e a instalação e configuração da rede industrial entre o computador com *software* SCADA e o CLP.

Posteriormente serão realizados os testes de funcionamento dos *hardwares* desenvolvidos, do CLP com as telas de navegação e os periféricos de campo, a comunicação do SCADA com o CLP e a gravação automática dos dados de produção. Será também levantado por amostragem o tempo do ciclo médio de produção para comparação com o processo sem as modificações propostas.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No segundo capítulo são apresentadas as fundamentações teóricas, baseadas em referências bibliográficas, que serviram de sustentação para o desenvolvimento deste trabalho.

No terceiro capítulo é apresentada a função da balança de dosagem industrial ESAP-500®, as suas principais partes, o funcionamento do processo original e os problemas operacionais gerados pelas limitações do sistema.

O capítulo quatro aborda a estrutura desenvolvida, apresentando uma visão geral de todo o sistema, seguido de uma descrição detalhada de suas partes.

O quinto capítulo apresenta todos os resultados obtidos.

Por fim, o sexto capítulo descreve as conclusões obtidas com o desenvolvimento do trabalho e a possibilidade e proposta de trabalhos futuros passíveis de serem desenvolvidos a partir desse.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo oferece embasamento teórico, apoiado em referenciais bibliográficos, para justificar as aplicações feitas no trabalho abordando de maneira geral, a automação de processos industriais com a definição da automação em sistemas de produção, sensores e atuadores, CLP, rede de comunicação industrial Modbus, sistema de supervisão, aquisição e controle SCADA e sistemas integrados de manufatura.

2.1 CONCEITOS BÁSICOS

A automação é definida como um sistema automático pelo qual os mecanismos controlam seu próprio funcionamento, quase sem a interferência do ser humano. Em termos práticos, a automação surge da substituição dos humanos em atividades de controle de máquinas e processos, empregando para isso diferentes elementos tecnológicos para se obter informações emitidas por sensores, processá-las por meio de elemento de decisão e efetuar as ações calculadas sobre o processo utilizando atuadores (MELCONIAN; SOUSA, 2012; 2013a; 2013b).

Na automação o sistema é capaz de atuar levando em conta as informações dos sensores e/ou transdutores (realimentação) podendo então executar ações corretivas e repetitivas, aumentando a eficiência do processo e assim sendo capaz de se comportar como um operador humano (ESTEPA, 2010).

Entre os elementos que constituem os sistemas automatizados, além dos sensores e atuadores estão sistemas de controle e supervisão, sistemas de transmissão e coleta de dados e aplicações de *software* para a programação do funcionamento do processo (ESTEPA, 2010).

Dentro desse contexto, a aplicação e modernização da automação nas indústrias contribuem de forma significativa para aumentar a possibilidade de sobrevivência das empresas, fazendo com que os sistemas de produção se tornem mais eficientes, possibilitando maior controle de qualidade, repetibilidade, velocidade na produção, facilidade de manipulação, alívio nas condições de trabalho dos operários, segurança, confiabilidade, flexibilidade e produtividade do processo. Melhorando assim a competitividade dos produtos manufaturados no mercado atual em que as exigências dos consumidores são cada vez maiores (ESTEPA, 2010).

2.2 AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Os elementos automatizados do sistema de produção podem ser separados em duas categorias: automação dos sistemas de produção da fábrica e o controle computadorizado dos sistemas de apoio à produção.

Nos sistemas de produção modernos, essas duas categorias se sobrepõem em alguns momentos, já que os sistemas de produção automatizados operando na fábrica geralmente são implementados por sistemas computacionais e conectados aos sistemas de apoio à produção e aos sistemas de gerenciamento de informações em funcionamento na fábrica e nos diferentes níveis de operação (GROOVER, 2011). A Figura 1 representa o esquema de possibilidade para automação e o uso de computadores em um sistema de produção.

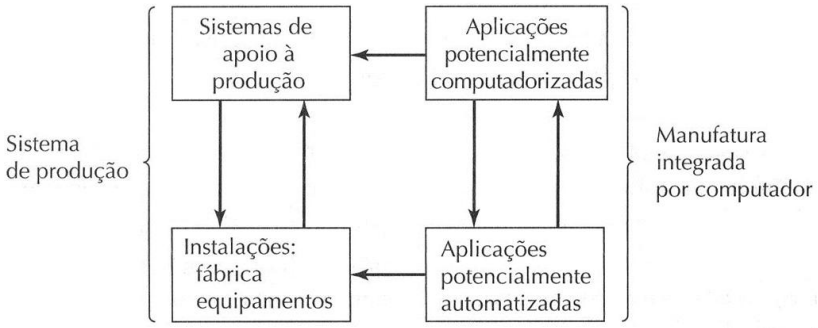


Figura 1 – Esquema de possibilidade para automação e uso de computadores em um sistema de produção (GROOVER, 2011)

2.2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO AUTOMATIZADOS

Os sistemas de produção automatizados operam na fábrica sobre o produto físico. Eles executam operações como processamento, montagem, inspeção e gerenciamento de materiais e, algumas vezes, várias dessas tarefas são feitas pelo mesmo sistema. São chamados de automatizados, já que executam suas operações com um nível reduzido de mão de obra humana se comparado ao processo manual equivalente (GROOVER, 2011).

Os sistemas automatizados de produção podem ser classificados basicamente em três tipos: automação rígida, automação programável e automação flexível (GROOVER, 2011). A Figura 2 representa os três tipos de automação em relação ao volume de produção e à variedade do produto.

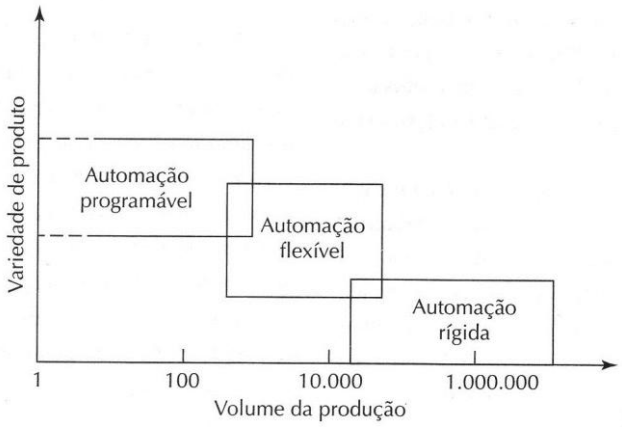


Figura 2 – Três tipos de automação relativos ao volume de produção e variedade do produto (GROOVER, 2011)

Para Groover (2011) estes três tipos de automação são definidos da seguinte maneira:

Automação rígida: Sistema no qual a sequência das operações de processamento é definida pela configuração do equipamento. Normalmente, cada operação na sequência é simples. A integração e a coordenação de muitas operações em um único equipamento é o que torna o sistema complexo. As principais características da automação rígida são a inflexibilidade da variedade de produção e as altas taxas de produção.

Convêm salientar que a automação rígida pode ser implementada por meio da utilização de painéis a relés e/ou eletrônica dedicada, específicas para um determinado produto ou processo.

Automação programável: O equipamento de produção é projetado com a capacidade de modificar a sequência de operações de modo a acomodar diferentes configurações de produtos. A sequência de operações é controlada por um programa, um conjunto de instruções codificado de maneira que possa ser lido e interpretado pelo sistema. Novos programas podem ser preparados e inseridos no equipamento a fim de fabricarem novos produtos. Algumas características da automação programável incluem uma taxa de produção menor se comparada à automação rígida, necessidade de um período de configuração e reprogramação, seguido de um tempo no qual os lotes de produção não serão produzidos, alta adaptabilidade para produção em lotes e flexibilidade para lidar com variações e alterações do produto.

Automação flexível: Representa uma extensão da automação programável. Um sistema automatizado flexível tem a capacidade de produzir uma variedade de produtos, quase sem perda de tempo e com modificações de um modelo de produto para outro. Não existe perda de tempo de produção ao passo que são ajustados o sistema e as configurações físicas. Assim, o sistema pode

produzir diferentes produtos sem a necessidade de produção em lotes. O que viabiliza a automação flexível é que a diferença entre os produtos processados pelo sistema não são significativos e, portanto, o volume de alterações exigidas entre os modelos é mínimo. Dentre as características da automação flexível estão a produção contínua de um conjunto variado de produtos, taxa média de produção, flexibilidade para lidar com variações no projeto do produto.

Cabe ressaltar que a forte evolução tecnológica favoreceu enormemente a aplicação da automação flexível, uma vez que facilitou a integração do chão de fábrica das empresas com os seus fornecedores, por meio das mais diversas redes industriais disponíveis. Além disso, convém salientar que não só o controle e a automação dos processos, mas todos os aspectos como a logística interna e externa, a gestão da produção da corporação e dos fornecedores, puderam ser integrados. Dessa maneira, as empresas podem se tornar mais ágeis, flexíveis, competitivas e sustentáveis.

2.2.2 SISTEMAS COMPUTADORIZADOS DE APOIO À PRODUÇÃO

A automação dos sistemas de apoio à produção tem como objetivo reduzir o esforço manual e burocrático no projeto do produto, planejamento e controle da produção e nos negócios da empresa. Quase todos os sistemas modernos de apoio à produção são implementados por meio de computadores. A tecnologia dos computadores também é utilizada na implementação da automação dos sistemas de produção na fábrica (GROOVER, 2011).

2.2.3 ESTRATÉGIA DE MIGRAÇÃO PARA A AUTOMAÇÃO

Diante das pressões competitivas do mercado, as empresas precisam sempre introduzir novos produtos em um tempo mais curto possível. A maneira mais fácil e econômica de se fazer isso é projetar um método de trabalho manual que faça uso de uma sequência de estações de trabalho operando de forma independente. As ferramentas para um método manual podem ser fabricadas rapidamente a um baixo custo. Se for necessário mais do que um conjunto de estações de trabalho para fabricar o produto, replica-se a célula manual quantas vezes forem necessárias a fim de atender a demanda. Tendo um produto bem sucedido e uma alta demanda, então faz sentido o investimento na automação da produção (GROOVER, 2011).

Ainda para Groover (2011), uma estratégia de migração típica para a automação é dividida em três fases (Figura 3):

Fase 1: Produção manual utilizando uma célula tripulada que opera de maneira independente. Pode ser feita rapidamente a um baixo custo.

Fase 2: Produção automatizada utilizando uma única célula que opera de forma independente. À medida que aumenta a demanda, se torna evidente que a automação se justifica. As células individuais são automatizadas a fim de se reduzir a mão de obra e aumentar a produção, sendo os produtos movidos manualmente entre as estações de trabalho.

Fase 3: Produção automatizada integrada utilizando um sistema automatizado multiestação com operações em série e transferência automatizada das unidades de trabalho entre as estações. Quando o produto for produzido em massa e por um longo período, pode-se garantir a integração das células automatizadas.

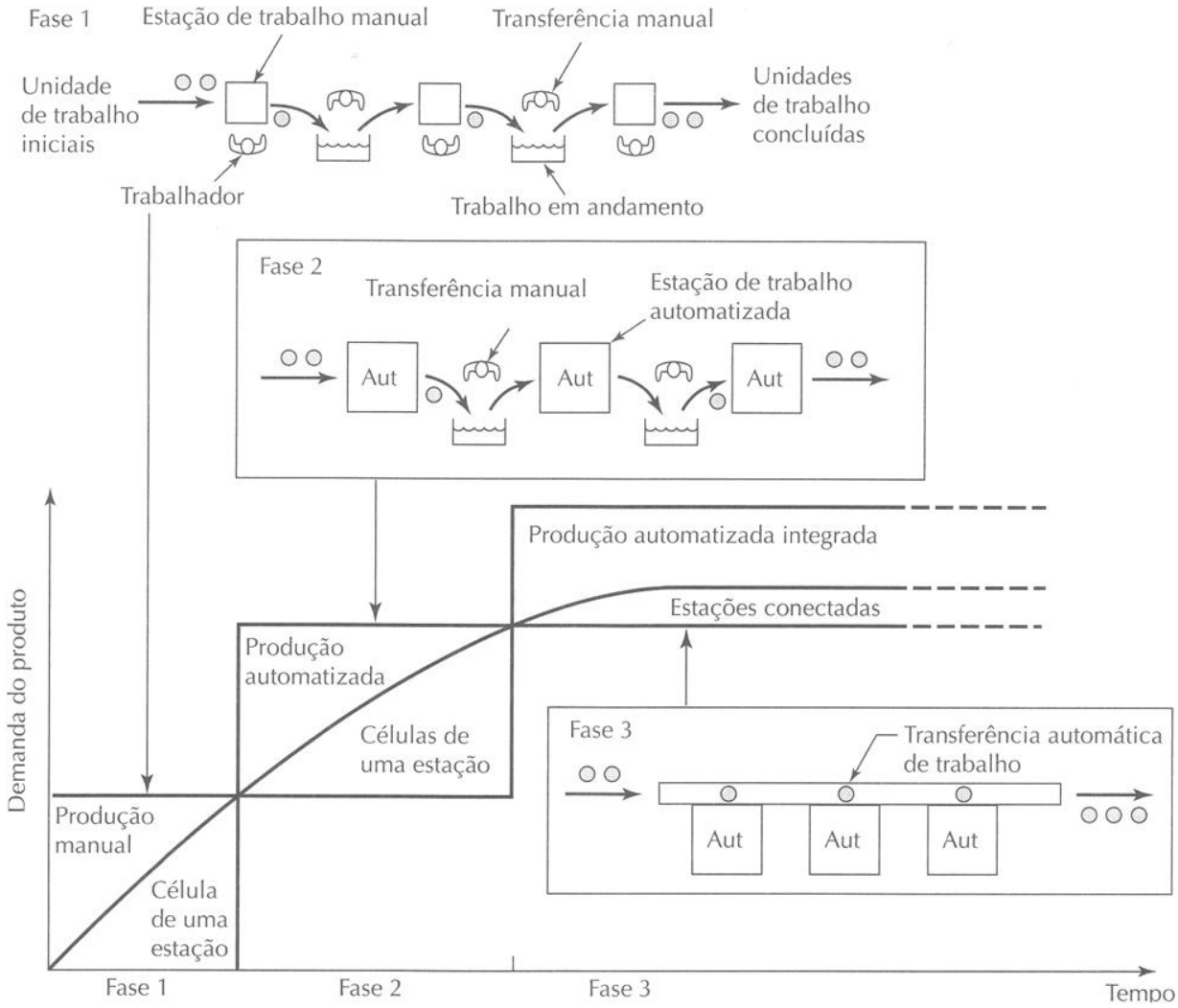


Figura 3 – Uma típica estratégia de migração para a automação (GROOVER, 2011)

2.3 SENSORES E ATUADORES

Wilson (2005) do *Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Stanford* apresenta uma definição básica da tecnologia dos sensores no primeiro capítulo do livro *Sensor Technology Handbook*. Lá, sensor é definido como um dispositivo que converte um fenômeno físico em sinal elétrico. Como tal, os sensores representam parte da interface entre o mundo físico e o mundo dos dispositivos elétricos, tais como os computadores. A outra parte dessa interface é representada pelos atuadores, que convertem os sinais elétricos em fenômenos físicos.

Os atuadores são dispositivos que modificam uma variável controlada. Recebem um sinal proveniente de um controlador e agem sobre um sistema controlado. Normalmente por possuírem potências mais elevadas, necessitam de uma interface entre ele e o controlador. Exemplos de atuadores são válvulas e cilindros pneumáticos, relés estáticos e eletromecânicos, motores e solenóides (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2008).

A seguir são apresentados os conceitos básicos sobre os sensores e atuadores utilizados no desenvolvimento do trabalho.

2.3.1 SENSOR ÓPTICO

Segundo Thomazini e Albuquerque (2008) os sensores ópticos são componentes eletrônicos que executam detecção de qualquer material sem que haja contato mecânico entre eles. Esse tipo de sensor pode assumir apenas dois valores no seu sinal de saída ao longo do tempo, que podem ser interpretados como zero ou um.

Ainda segundo Thomazini e Albuquerque (2008), o princípio de funcionamento desse tipo de sensor baseia-se na existência de um emissor e um receptor de luz. A luz gerada pelo emissor deve atingir o receptor com intensidade suficiente para fazer o sensor comutar a sua saída. A Figura 4 apresenta o princípio de funcionamento de um sensor óptico.

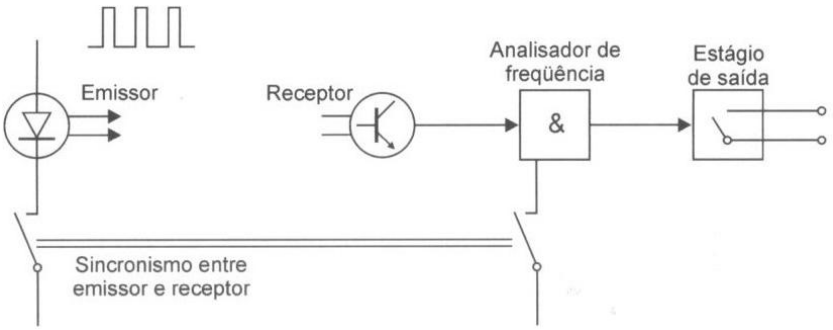


Figura 4 – Princípio de funcionamento do sensor óptico (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2008)

O sinal de luz gerado pelo emissor do sensor óptico é modulado em certa frequência, ou seja, o emissor gera um sinal com certo número de lampejos por segundo. O receptor do sinal do sensor é acoplado a um filtro que somente considera sinais com a mesma frequência do emissor. Essa característica empregada nos sensores ópticos minimizam possíveis interferências externas causadas por outras fontes luminosas (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2008).

2.3.2 SENSOR INDUTIVO

Segundo Wilson (2005), os sensores indutivos, também conhecidos como sensores de corrente de Foucault, são dispositivos que detectam a proximidade de objetos metálicos sem que haja contato. Para um melhor desempenho na detecção, deve-se calibrar o sensor corretamente para que o material alvo seja captado.

Wilson (2005) citara que os sensores indutivos trabalham normalmente em uma faixa de medição que vai de 0,5 a 15 mm, embora em algumas aplicações esses valores possam variar um pouco.

Para Thomazini e Albuquerque (2008), a presença de um objeto metálico altera o campo magnético gerado pela face do sensor. Com isso, são induzidas correntes de Foucault. As perdas resultantes tiram energia do circuito oscilador, reduzindo as oscilações. O comparador de sinal atrás do oscilador converte essa informação em um sinal bem definido (Figura 5).

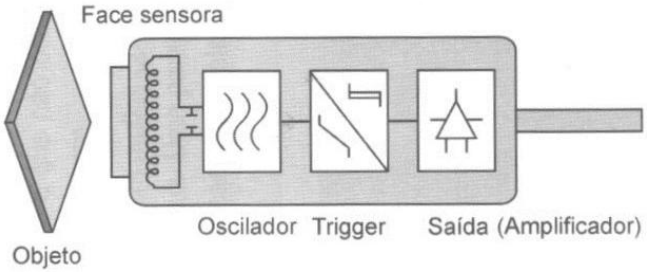


Figura 5 – Princípio de funcionamento do sensor indutivo (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2008)

2.3.3 CÉLULA DE CARGA

Para Thomazini e Albuquerque (2008), as células de carga são estruturas mecânicas, projetadas para receber esforços e deformar-se dentro do regime elástico. Embora pequena, essa deformação é suficiente para gerar um sinal de saída linear e compatível com a carga aplicada.

Ainda para Thomazini e Albuquerque (2008), as células de carga baseiam-se na variação da resistência elétrica de um extensômetro quando submetido a deformação, essa variação decorre do estreitamento da seção transversal do extensômetro, provocando pequenas variações de sua resistência elétrica.

A Figura 6 apresenta os detalhes construtivos de uma célula de carga.

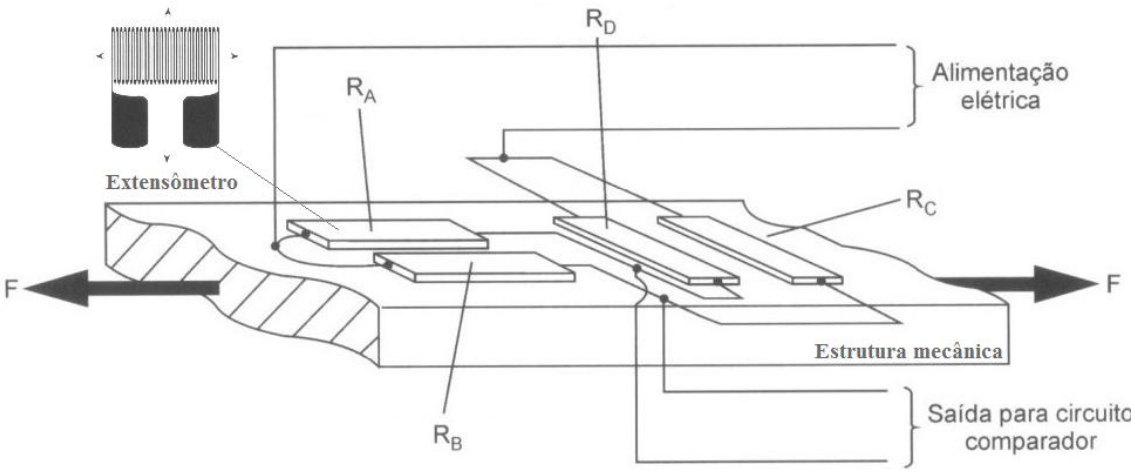


Figura 6 – Detalhes construtivos de uma célula de carga (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2008)

Wilson (2005) descrevera que as células de carga comumente são compostas por quatro extensômetros ligados entre si, segundo a ponte de Wheatstone (Figura 7). O desbalanceamento da ponte, em virtude da deformação dos extensômetros provoca na saída do circuito um sinal elétrico de valor qualquer, dentro da faixa de operação da célula de carga.

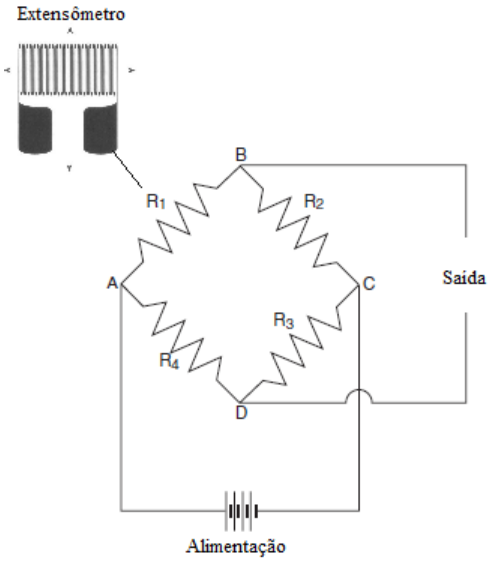


Figura 7 – Configuração dos extensômetros em ponte de Wheatstone (WILSON, 2005)

2.3.4 MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

Segundo a Siemens® (2006), as máquinas de corrente contínua podem ser utilizadas tanto como motor quanto como gerador. Porém, uma vez que as fontes retificadoras de potência podem gerar tensão contínua de maneira controlada a partir da rede alternada, pode-se considerar que, atualmente, a operação como gerador fica limitada aos instantes de frenagem e reversão de um motor.

Ainda para Siemens® (2006), o desenvolvimento das técnicas de acionamentos de corrente alternada e a viabilidade econômica têm favorecido a substituição dos motores de corrente contínua pelos motores de indução acionados por inversores de frequência. Porém, o motor de corrente contínua ainda se mostra a melhor opção em diversas aplicações industriais.

Os motores de corrente contínua são compostos de duas estruturas magnéticas denominadas estator e rotor (Figura 8). O estator é composto de uma estrutura ferromagnética com pólos salientes aos quais são enroladas as bobinas que formam o campo magnético. Já o

rotor é um eletroímã constituído de um núcleo de ferro com enrolamentos em sua superfície que são alimentados por um sistema mecânico de comutação (SIEMENS, 2006).

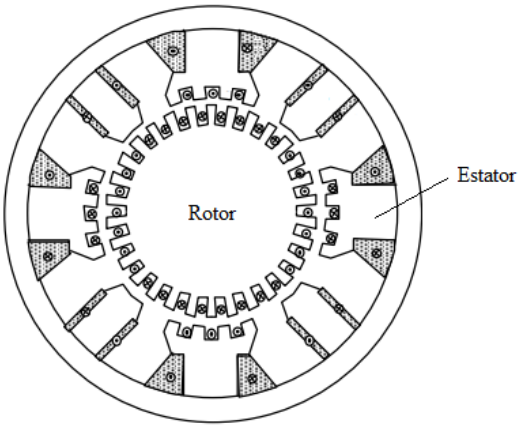


Figura 8 – Representação simplificada de um motor de corrente contínua
Fonte: https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/133033/1/CME

2.3.5 MOTOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO

Os motores monofásicos possuem os seus enrolamentos de campo ligados diretamente a uma fonte monofásica. Eles são uma alternativa para locais onde não se dispõe de alimentação trifásica e sua utilização se justifica apenas para baixas potências (WEG, 2013).

Para Franchi (2011), os motores de corrente alternada são conversores eletromagnéticos de energia que convertem energia elétrica em energia mecânica, operando como motor ou como gerador, pela indução eletromagnética.

Ainda para Franchi (2011), os motores de indução são compostos basicamente por um circuito magnético estático composto por chapas ferromagnéticas, denominadas estator, onde se localiza a carcaça que dá sustentação ao conjunto. Além do estator, há também um conjunto de bobinas que estão localizadas no estator e que são alimentadas pela corrente alternada. Um rotor formado por um núcleo ferromagnético laminado, sobre o qual se encontra um enrolamento ou conjunto de condutores paralelos, nos quais são induzidas correntes provocadas pela corrente alternada das bobinas do estator, compõem a estrutura básica de um motor de indução.

A Figura 9 apresenta basicamente um motor de indução e seus principais componentes.

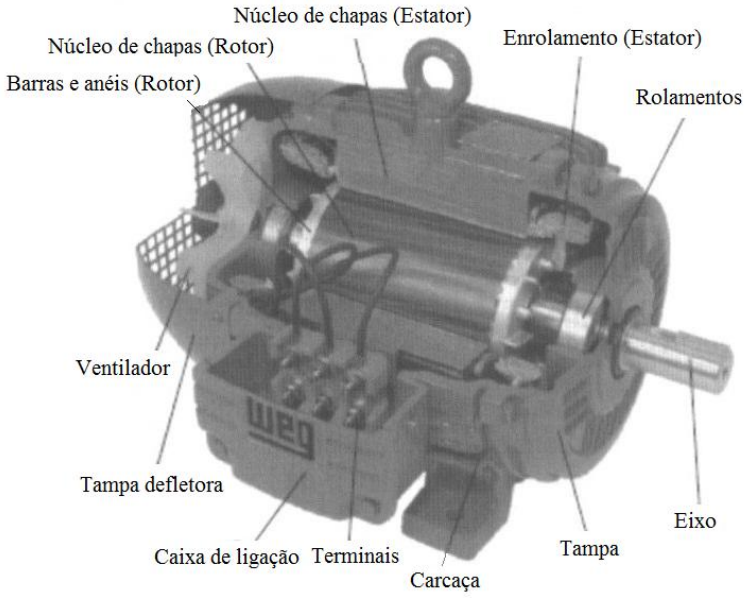


Figura 9 – Representação básica de um motor de indução (FRANCHI, 2011)

2.3.6 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Franchi (2011) dissera que um inversor de frequência é basicamente um dispositivo composto por uma unidade central de processamento (CPU), interface homem máquina (IHM), interface de controle digital e analógico, etapa de potência constituída por um circuito retificador, que por meio de um circuito intermediário alimenta o circuito de saída inversor e por uma rede de comunicação industrial (alguns modelos).

Para Franchi (2011), os inversores de frequência vêem ocupando cada vez mais espaço nos ambientes industriais. Sendo o controle de velocidade, o torque de motores de indução e a economia de energia elétrica os principais motivadores para sua utilização.

Segundo Franchi (2011), basicamente o sinal alternado da rede elétrica que entra no inversor é convertido internamente por meio de um circuito retificador em sinal de corrente contínua, que depois volta a se tornar um sinal de onda senoidal após passar por um conversor do tipo inversor, porém pulsante e com largura modulada (PWM). Assim, é possível controlar a velocidade e o torque de um motor de indução, apenas ajustando sua frequência e tensão.

A Figura 10 apresenta o diagrama de blocos de um inversor de frequência comercial com os blocos constituintes e as interfaces de entrada e saída.

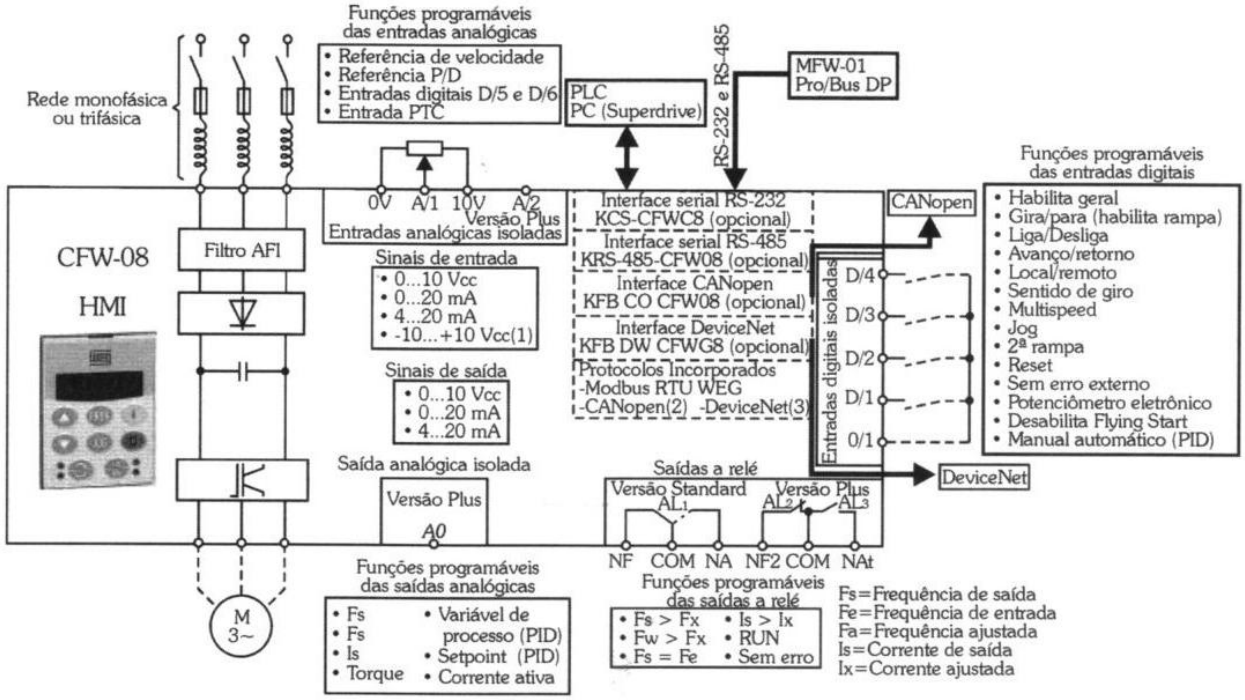


Figura 10 – Diagrama de blocos de um inversor de frequência comercial (FRANCHI, 2011)

Ainda segundo Franchi (2011), a utilização do PWM (*pulse width modulation*) que consiste da comparação de dois sinais de tensão (Figura 11), sendo um sinal de referência de baixa frequência e o outro uma portadora de alta frequência que resulta em um sinal alternado com frequência e largura de pulso variável (Figura 12). É a técnica mais utilizada nos inversores de frequência atuais.

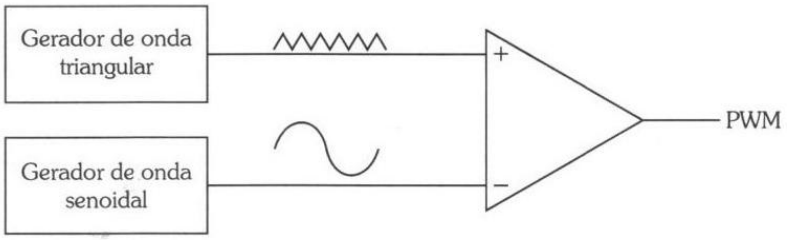


Figura 11 – Geração do PWM pela combinação de uma onda triangular e uma senoidal (FRANCHI, 2011)

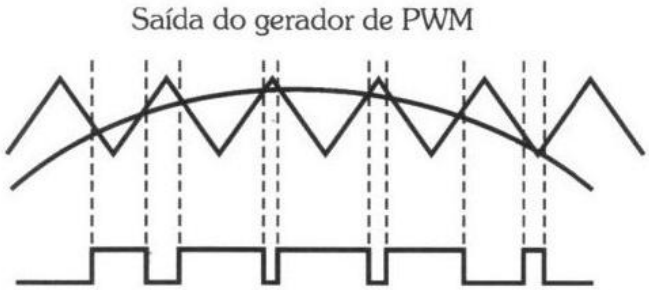


Figura 12 – Sinal de saída do gerador PWM (FRANCHI, 2011)

2.3.7 SOLENÓIDE

Young e Freedman (2007) definiram solenóide como sendo um enrolamento helicoidal de um fio, tal como um fio bobinado sobre um cilindro circular (Figura 13). Quando o enrolamento helicoidal é compacto, o solenóide pode ser aproximado por muitas espiras circulares situadas em planos perpendiculares ao eixo longitudinal do cilindro.

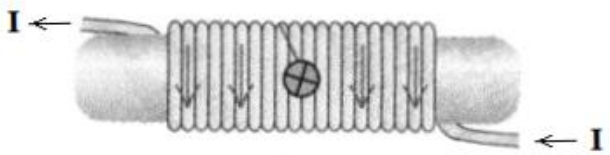


Figura 13 – Representação básica de um solenóide (YOUNG; FREEDMAN, 2007)

Para Young e Freedman (2007), ao percorrer o enrolamento com corrente elétrica, cria-se um campo magnético no interior dessa bobina, capaz de atrair objetos ferrosos. A intensidade do campo gerado pelo solenóide depende do número de espiras enroladas, da intensidade de corrente elétrica que passa pelo enrolamento e da existência ou não de um núcleo no interior do enrolamento.

Já Gomes e Stephan (2004) disseram que um eletroímã e um solenóide tem a mesma finalidade de produzir campo eletromagnético para atrair objetos ferromagnéticos por meio da passagem de corrente elétrica que percorre um fio bobinado.

A Figura 14 mostra um eletroímã atraindo uma esfera ferromagnética após ser aplicada corrente elétrica em seus terminais.

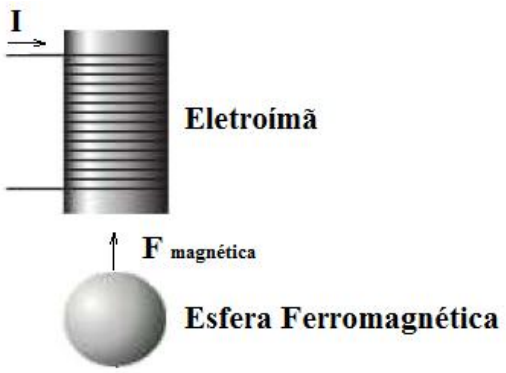


Figura 14 – Atração de uma esfera ferromagnética por meio de um eletroímã (GOMES; STEPHAN, 2004)

2.4 CLP - CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O aumento da competitividade na década de 60 fez com que a indústria automotiva melhorasse o desempenho de suas linhas de produção. Para isso, fazia-se necessário encontrar uma alternativa para os sistemas de controle a relés. Uma possível alternativa encontrada pela General Motors (GM), seria um sistema com base em computador. Assim em 1968, a Divisão Hydramatic da GM determinou os critérios para o projeto do CLP, sendo que o primeiro dispositivo a atender às especificações foi desenvolvido pela Gould Modicon em 1969 (GEORGINI, 2006).

Na década de 70 surge a fase de aprimoramento do CLP. Com inovações tecnológicas dos microprocessadores, maior flexibilidade e um maior grau de inteligência. Em 1972 surgem as funções de temporização e contagem, em 1973 as operações aritméticas, manipulação dos dados e comunicação com computadores, em 1974 integra-se a interface homem máquina, em 1975 o CLP deixa de ter aplicações meramente discretas com o aumento da capacidade de memória, a inserção do controle analógico e PID, no final da década de 70, o CLP passa a ter módulos de I/O remotos, módulos inteligentes e controle de posicionamento (GEORGINI, 2006).

Nos anos 80, aperfeiçoamentos foram obtidos, fazendo do CLP um dos equipamentos mais importantes da automação industrial. Em 1981, com a possibilidade de comunicação em rede, foi atingido um alto grau de integração, possibilitando o fornecimento de pequenos CLP (GEORGINI, 2006).

Bolton (2006) definira um controlador lógico programável como uma forma especial de controle microprocessado que utiliza uma memória programável para armazenar instruções e implementar funções, tais como lógica, sequenciamento, temporização e aritmética, a fim de controlar máquinas e processos (Figura 15). Eles são projetados para serem programados, com base em uma linguagem simples e intuitiva. Os sensores e atuadores estarão ligados ao CLP que por meio de uma sequência de instruções provindas da sua memória irão monitorar e controlar suas entradas e saídas.

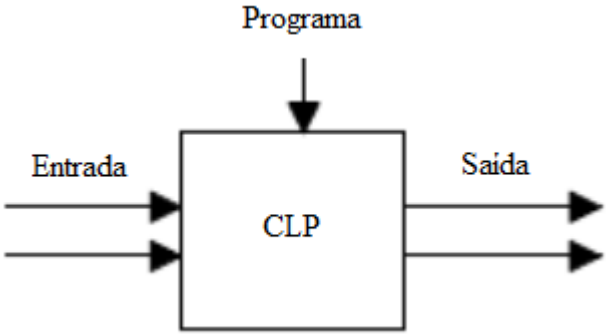


Figura 15 – Controlador Lógico Programável (BOLTON, 2006)

A grande vantagem do CLP é que ele pode ser utilizado em ambientes industriais para controlar uma vasta gama de sistemas de controle, utilizando entradas e saídas analógicas ou digitais podendo modificar o seu sistema de controle, apenas substituindo o conjunto de instruções sem a necessidade de desmontagem. Como resultado se tem um sistema flexível, um custo de sistema eficaz e uma larga variedade de aplicações, das mais diversas complexidades e naturezas (BOLTON, 2006).

Um CLP serve também como interface de comunicação para transmitir e receber dados em redes de comunicação com outros dispositivos remotos (Figura 16). Estando especialmente responsável com ações como verificação de dispositivos, sincronização e aquisição de dados e gerenciamento de conexão (BOLTON, 2006).

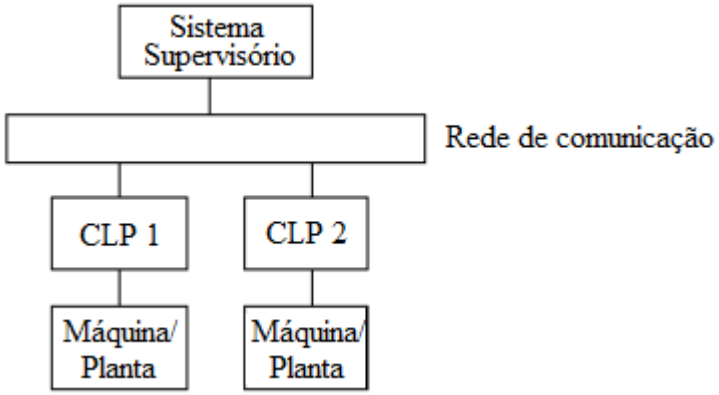


Figura 16 – Modelo básico de comunicação (BOLTON, 2006)

2.4.1 EVOLUÇÃO E LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO PARA CLP

A primeira linguagem de programação criada para CLP foi à linguagem ladder. Por ser uma linguagem gráfica, baseada em símbolos semelhantes aos esquemas elétricos de contatos, foi determinante para aceitação do CLP e provavelmente é ainda a mais utilizada (GEORGINI, 2006).

Ao passo que nos Estados Unidos a linguagem Ladder conquistava os americanos, na Europa a linguagem de lista de instruções era amplamente difundida. Essa, por sua vez, é uma linguagem textual e que normalmente faz parte das linguagens básicas disponíveis para CLP (GEORGINI, 2006).

As linguagens de programação para CLP não se limitam apenas a essas duas. A norma IEC 61131-3 define cinco linguagens de programação que estão representadas na Tabela 1 (GUIMARÃES, 2005).

Tabela 1 – Linguagens de programação para CLP

Texto Estruturado (ST)	Textuais
Lista de Instruções (IL)	
Diagrama de Blocos Funcionais (FBD)	Gráficas
Diagrama Ladder (LD)	
Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC)	

Fonte: (GUIMARÃES, 2005)

A fim de estabelecer uma padronização, a norma IEC 61131-3 define as cinco linguagens de programação utilizadas para programar CLP:

Texto estruturado (ST) – Linguagem de alto nível desenvolvida especificamente para controle industrial usada para descrever o comportamento de funções, blocos funcionais, programas, passos, ações e transições da linguagem SFC (GUIMARÃES, 2005). A Tabela 2 representa os operadores padrões para operações aritméticas e booleanas no ST.

Tabela 2 – Operadores padrões para operações aritméticas e booleanas no ST

Operador	**Descrição**	**Precedência**
(...)	Expressão com parêntesis	Maior
Função (...)	Lista de parâmetros de uma função	
**	Exponenciação	
-	Negação	
NOT	Complemento booleano	
*	Multiplicação	.
/	Divisão	.
MOD	Operador de módulo	.
+	Soma	.
-	Subtração	.
<,>,<=,>=	Comparação	
=	Igualdade	
<>	Desigualdade	
AND, &	E booleano	
XOR	OU Exclusivo booleano	
OR	OU booleano	Menor

Fonte: (GUIMARÃES, 2005)

Lista de instruções (LI) – É uma linguagem textual de baixo nível, usada para descrever o comportamento de funções, blocos funcionais, programas, passos, ações e transições em SFC (GUIMARÃES, 2005). A Tabela 3 representa os principais operadores de comparação e controle de fluxo no LI.

Tabela 3 – Os principais operadores de comparação e controle de fluxo no LI

Operador	Modificador	Operando	Comentários
LD	N	Qualquer	Carrega operando no acumulador
ST	N	Qualquer	Armazena acumulador no operando
ST		BOOL	Reset operando para TRUE
R		BOOL	Reset operando para FALSE
AND	N,(	BOOL	E booleano
&	N,(	BOOL	Equivalente a E
OR	N,(	BOOL	OU booleano
XOR	N,(	BOOL	OU exclusivo
ADD	(	Qualquer	Adição
SUB	(	Qualquer	Subtração
MUL	(	Qualquer	Multiplicação
DIV	(	Qualquer	Divisão
GT	(	Qualquer	Compara maior que
GE	(	Qualquer	Compara maior ou igual
EQ	(	Qualquer	Comparação igual
NE	(	Qualquer	Comparação diferente
LE	(	Qualquer	Comparação menor ou igual
LT	(	Qualquer	Comparação menor
JMP	C.N	Label	Salta para label
CAL	C.N	Nome	Chamada de bloco funcional
RET	C.N		Retorno de função ou bloco funcional
)			Executa o último operador adiado

Fonte: (GUIMARÃES, 2005)

Diagrama de blocos funcionais (FDB) – É uma linguagem gráfica baseada nos diagramas de circuito, que representa blocos interconectados destacando o fluxo de sinais entre os elementos. Descreve funções, blocos funcionais, programas, passos, ações e transição de linguagens SFC (GUIMARÃES, 2005). A Figura 17 mostra um exemplo de programa em FDB.

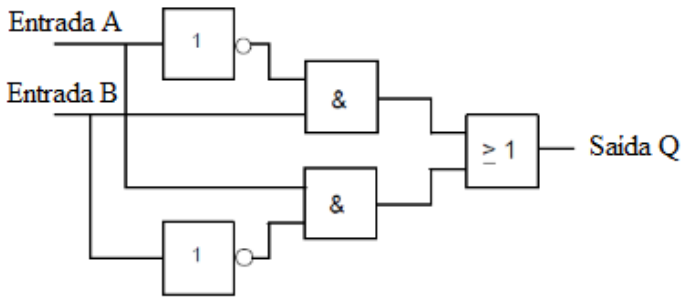


Figura 17 – Exemplo de programa em FDB (BOLTON, 2006)

Diagrama ladder (LD) – É uma linguagem gráfica baseada nos diagramas elétricos, que representa contatos e bobinas interconectados dando destaque à energização entre os elementos. É utilizado para descrever funções, blocos funcionais, programas, passos, ações e transição de linguagens SFC (GUIMARÃES, 2005). A Figura 18 mostra um exemplo de programa em LD montado para funcionar como uma porta lógica XOR.

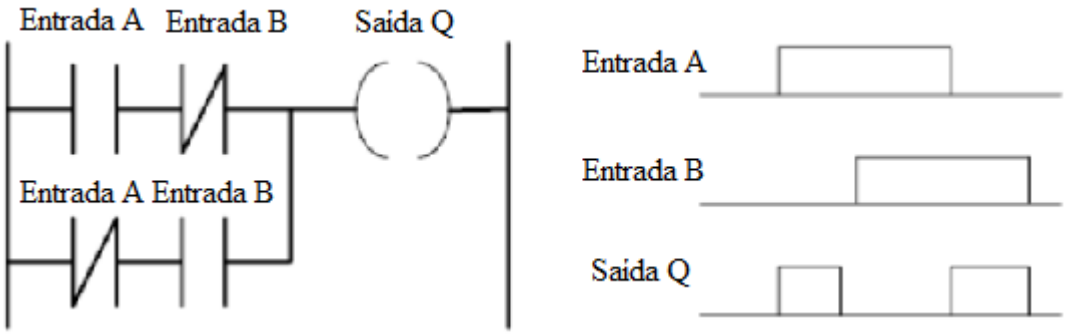


Figura 18 – Exemplo de programa em LD montado para funcionar como uma porta lógica XOR (BOLTON, 2006)

Sequenciamento gráfico de funções (SFC) – Trata-se de uma linguagem gráfica utilizada para estruturar a organização interna de um programa, além de auxiliar na decomposição do problema de controle em partes menores. Cada fase do SFC (etapa, ação, transição e ligação orientada) pode ser programada em qualquer uma das outras linguagens definidas na própria norma (GEORGINI, 2006). A Figura 19 relaciona SFC com LD.

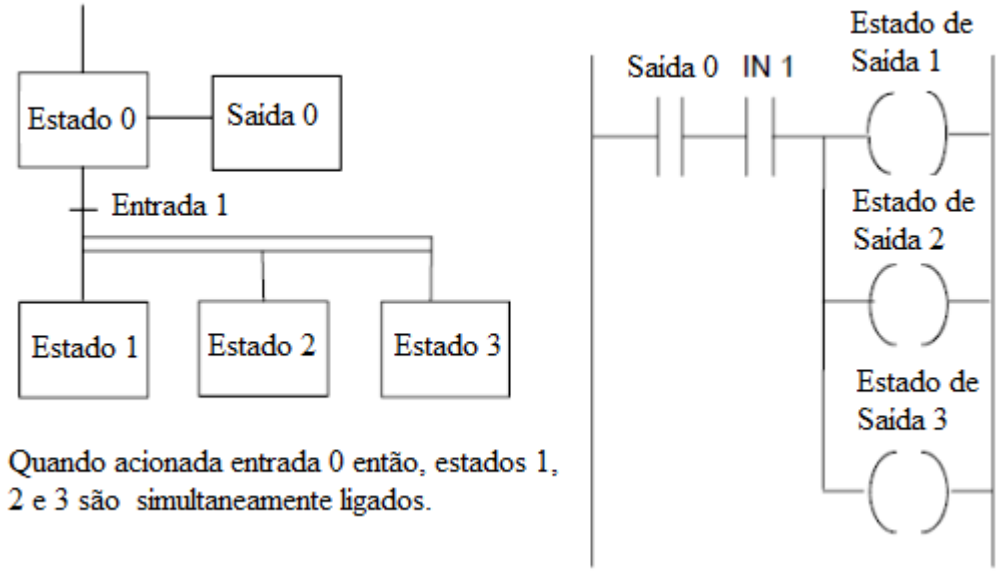


Figura 19 – SFC e o equivalente em LD (BOLTON, 2006)

2.5 REDE DE COMUNICAÇÃO NA AUTOMAÇÃO

As redes de comunicação industriais (*Fieldbuses*) são largamente utilizadas, apresentando vantagens em relação a sistemas convencionais de cabeamento, possibilitando diminuição de fiação, facilidade na manutenção, flexibilidade na configuração da rede e, principalmente, diagnóstico dos dispositivos. Além disso, por utilizarem protocolos de comunicação digital padronizados, essas redes possibilitam a integração de diferentes equipamentos dos mais diversos fabricantes. E é uma tendência em todas as áreas da tecnologia por proporcionarem flexibilidade e capacidade de expansão (MORAES; CASTRUCCI, 2012).

Para garantir que a rede de comunicação atenda às necessidades da planta industrial, leva-se em consideração as seguintes variáveis: taxa de transmissão, topologia física da rede, meio físico de transmissão, tecnologia de comunicação e algoritmo de acesso ao barramento (MORAES; CASTRUCCI, 2012).

Taxa de transmissão: Quantidade média de dados a serem transmitidos na rede em um período de tempo. A taxa de transferência de dados é medida em *kilobits* por segundo (kbps).

Topologia física da rede: Disposição construtiva na qual os dispositivos estão conectados a rede (Figura 20).

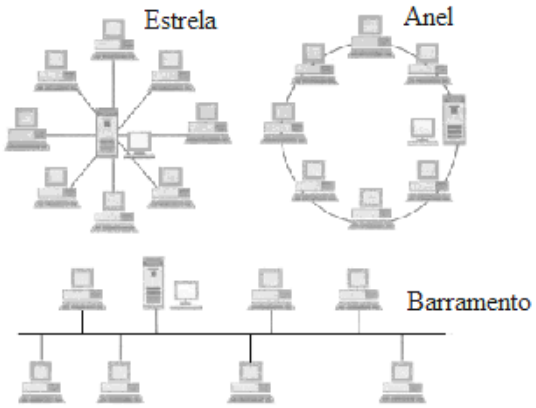


Figura 20 – Tipos de Topologias de Rede
Fonte: http://www.di.ufpb.br/raimundo/Tutoredes/redes.htm

A primeira estrutura está disposta em forma de estrela, na qual sempre existe um equipamento no centro da rede coordenando o fluxo das informações. Para chamar um equipamento, um computador deve enviar o pedido de comunicação ao controlador, que então passará as informações ao destinatário. No entanto, a estrutura em estrela possui limitação no

número de nós que o equipamento central pode controlar e no risco do controlador sair do ar, derrubando toda a rede (NÓBREGA, 2012).

Na topologia de rede em barramento, existe um sistema de conexão (um cabo) que interliga os vários equipamentos da rede. Nesse caso, o *software* de controle do fluxo de informações deverá estar presente em todos esses equipamentos. Assim, quando um deles precisar se comunicar com outro, ele transmite na linha de comunicação uma mensagem com códigos para identificar qual equipamento deverá receber as informações que seguem. Porém pode apresentar problemas de eficiência, mas não os mesmos da topologia em estrela (NÓBREGA, 2012).

A topologia em anel pode ser considerada uma rede em barramento, com as extremidades do cabo juntas. Esse tipo de ligação não permite tanta flexibilidade quanto à ligação em barramento, forçando a uma maior regularidade do fluxo de informações suportado por um sistema de detecção, diagnóstico e recuperação de erros nas comunicações mais sofisticadas (NÓBREGA, 2012).

Meio físico de transmissão: Estão relacionados ao cabeamento utilizado para a interconexão dos dispositivos da rede. Os meios físicos são selecionados de acordo com a aplicação. A seleção depende da distância entre os dispositivos, da taxa de transferência desejada, do protocolo de comunicação, entre outros.

Tecnologia de comunicação: É a maneira de gerenciar os pontos de comunicação (nós) da rede no tocante à comunicação de dados. Uma das tecnologias mais comuns é a mestre/escravo (Figura 21).

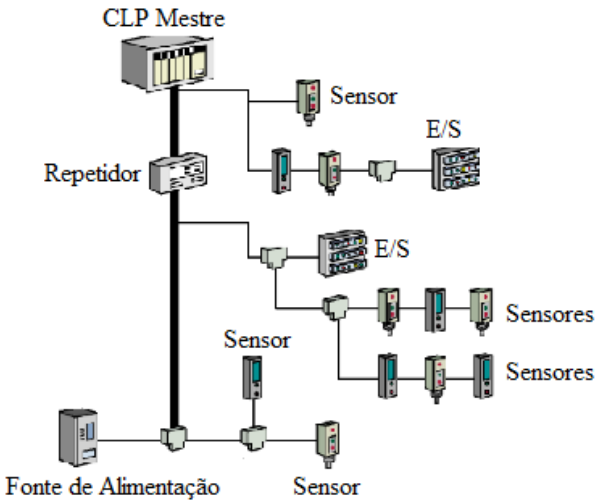


Figura 21 – Topologia Mestre/Escravo (BORGES, 2007)

Algoritmo de acesso ao barramento: É o algoritmo utilizado pelos nós para acessar ou disponibilizar informações na rede.

Na automação, há uma hierarquia, dividida em cinco níveis (Figura 22). Esses níveis compõem o que se chama de pirâmide da automação. Na pirâmide os protocolos foram associados ao nível que ele é mais utilizado. Os protocolos definem o padrão operacional da rede de automação (MORAES; CASTRUCCI, 2012).

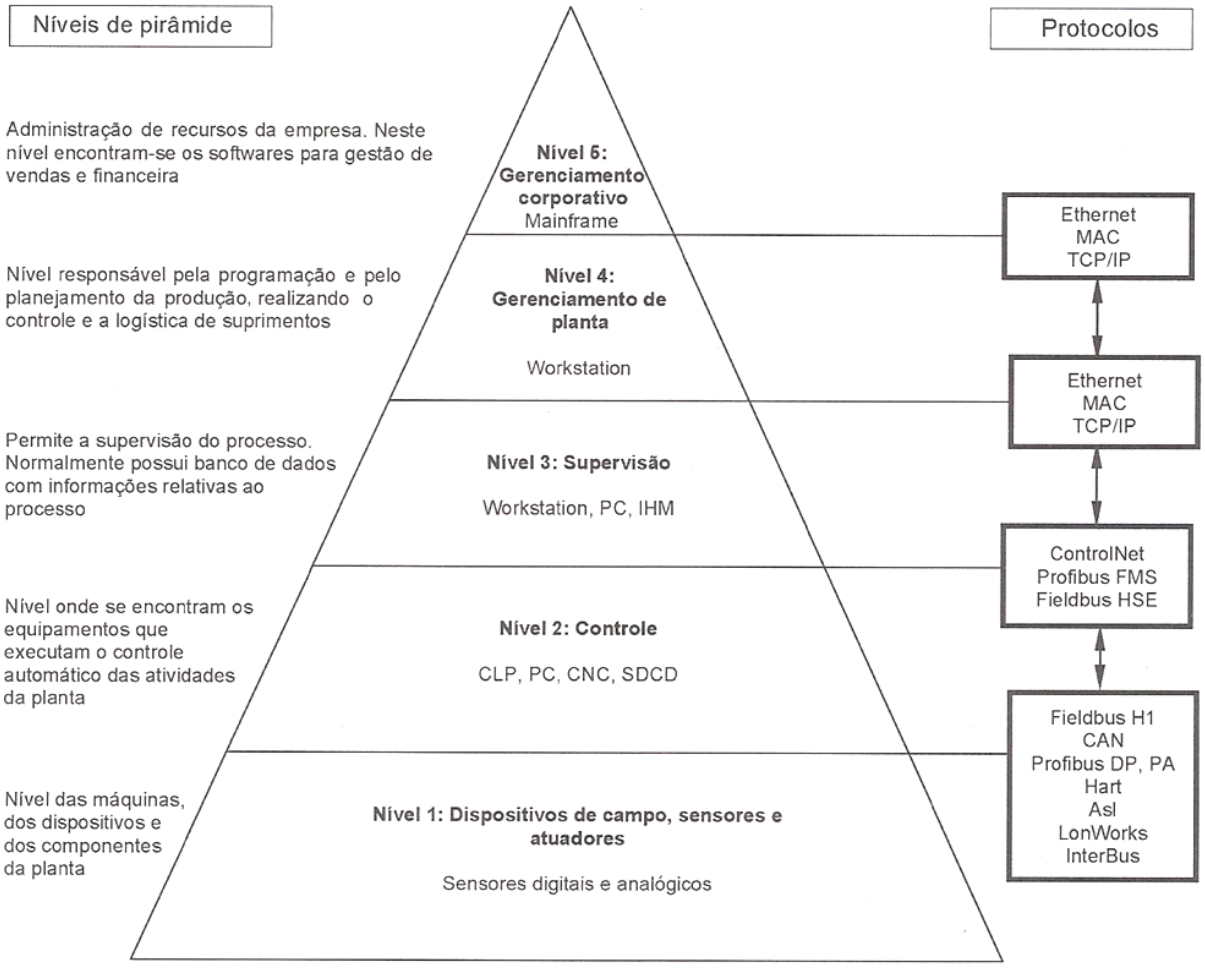


Figura 22 – Pirâmide da automação (MORAES; CASTRUCCI, 2012)

2.5.1 PROTOCOLO MODBUS

O protocolo de transmissão Modbus foi desenvolvido pela Gould Modicon (atual Schneider Electric), em 1979, para o controle de processos e tem como características elétricas

diferentes meios de transmissão, tais como os padrões EIA RS-232, RS-422, RS-485, sendo todos adequados às taxas de transmissão que o protocolo define. Mesmo possuindo uma taxa de transmissão relativamente lenta se comparado com outros protocolos, tem a vantagem da ampla aceitação, sendo indicado pela revista de engenharia americana para controle como o protocolo que possui mais de 40 % das aplicações de comunicação industrial (CLARKE; REYNDERS, 2004).

A aproximação ao modelo OSI (*open systems interconnection*) aparece nas camadas 1, 2 e 7, respectivamente camada física, enlace e aplicação (BORGES, 2007).

2.5.2 MODELO OSI

O modelo OSI foi descrito seguindo uma filosofia multicamadas, conforme mostra a Figura 23 (STEMMER, 2001).

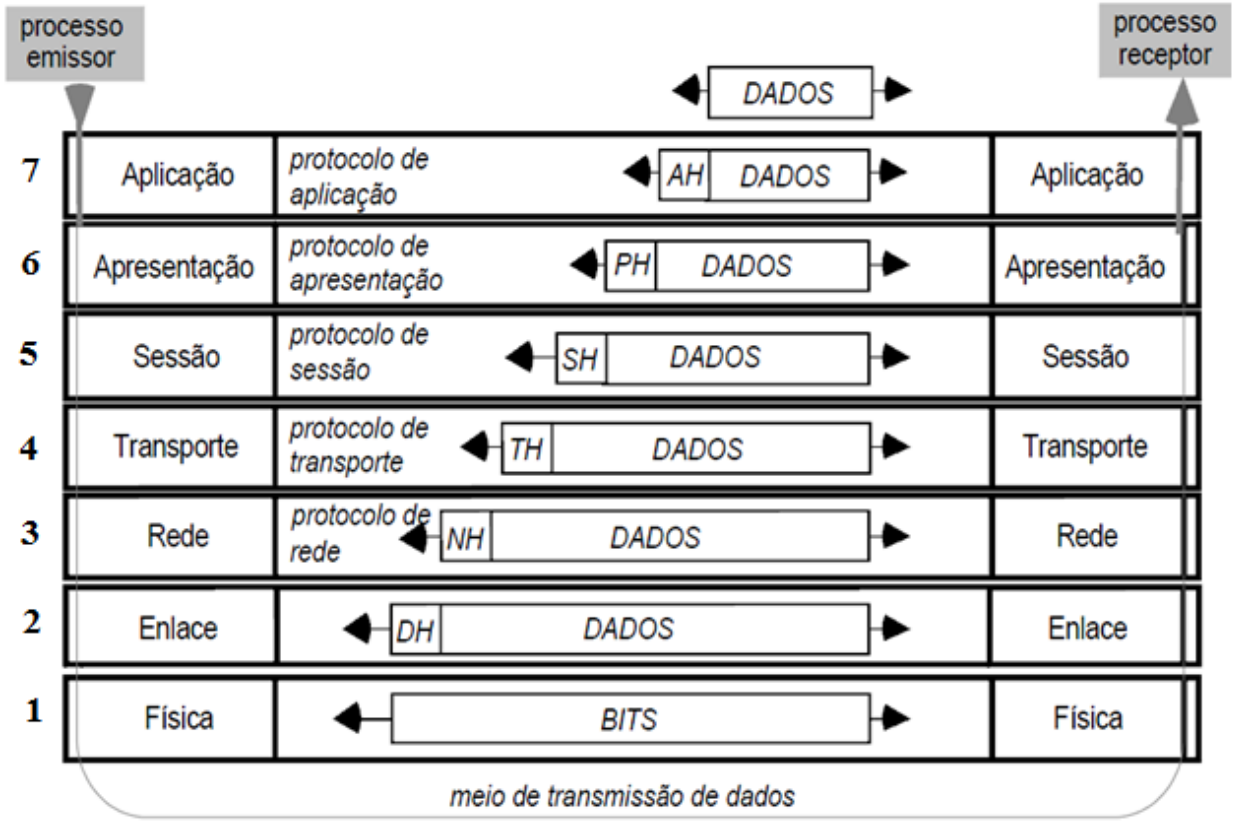


Figura 23 – Ilustração das camadas e comunicação do modelo OSI (STEMMER, 2001)

Camada Física (1): Responsável pela transferência de bits em uma rede de comunicação. Sua função é garantir que cada *bit* enviado, seja recebido sem ter seu valor alterado, ou seja, se o bit enviado está em 1, ele será recebido em 1 e não em 0.

Camada de Enlace de Dados (2): Tem como função principal a transformação do meio de comunicação em uma linha livre de erros de transmissão para a camada de rede. Ele efetua esta função decompondo as mensagens em unidade de dados chamados *frames* (quadros), que correspondem a algumas centenas de *bytes*. Esses quadros são transmitidos sequencialmente e vão gerar quadros de reconhecimento enviados pelo receptor. Nessa camada, as unidades de dados recebem um conjunto de *bits* adicionais no início e no fim de cada quadro de modo a permitir o reconhecimento desses quadros e a definição de um endereço para o destinatário da mensagem.

Camada de Rede (3): Faz a gestão das sub-redes, ou seja, ela define a forma como os pacotes de dados serão encaminhados do emissor para o receptor (roteamento). Essa camada pode ainda detectar problemas de congestionamento provocados pelo excesso de pacotes de dados na rede.

Camada de Transporte (4): É uma interface entre as camadas (1, 2 e 3) com as camadas (5, 6 e 7). Ele recebe os dados enviados da camada de sessão, os decompõem em partes menores quando necessário, a fim de garantir a transmissão correta à outra extremidade.

Uma característica dessa camada é criar um diálogo fim-a-fim, ou seja, o programa executado no sistema fonte uma conversa com o programa executado na máquina destino por meio dos cabeçalhos e informações de controle contidas nas mensagens desse nível.

Camada de Sessão (5): Responsável por estabelecer sessões de diálogo para os níveis de rede. Uma sessão objetiva permitir o transporte de dados, da mesma forma que os serviços oferecidos pela camada de transporte, mas de maneira mais sofisticada.

Camada de Apresentação (6): Assume particularmente as funções associadas à formatação, sintaxe e semântica dos dados transmitidos. Um exemplo é a codificação feita no padrão ASCII.

Camada de Aplicação (7): Implementa um conjunto de protocolos bastante diversificado e orientado a aplicações bem definidas. Serve com interface entre o protocolo de comunicação e o aplicativo que receberá a informação por meio da rede.

2.5.3 MODELO MESTRE/ESCRAVO

Na rede mestre/escravo, o protocolo define a comunicação, na qual, o mestre comanda e os escravos respondem aos questionamentos específicos a cada um deles. As redes com mais de um escravo é denominada rede multipontos e tem como característica reduzir o número de cabos e conexões provindas do mestre (CUNHA, 2000).

A Figura 24 mostra um exemplo simples de rede multiponto.

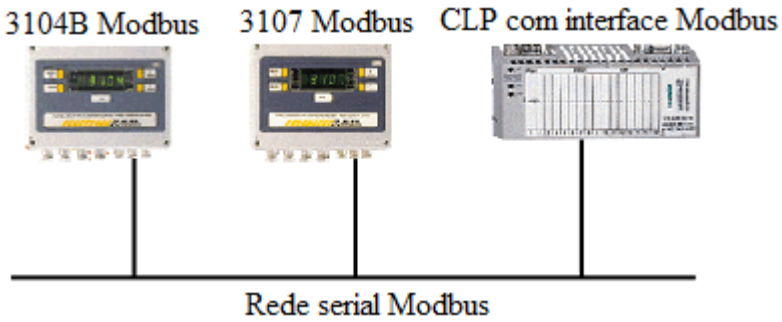


Figura 24 – Rede Multiponto
Fonte: http://www.alfainstrumentos.com.br/artigos22.php?id=42

O Modbus pode acessar até 247 escravos por meio de um mestre, sendo ele responsável pelas transações a consultas e respostas onde um único escravo é dirigido ou uma transmissão sem nenhum tipo de resposta, sendo todos os escravos tratados. Certas características são fixas, como por exemplo, o formato e as sequencias de quadros e a manipulação de erros de comunicação, no entanto, outras características podem ser selecionáveis (CLARKE; REYNDERS, 2004).

O mestre da rede utiliza endereço zero quando pretende enviar uma mensagem para todos os dispositivos escravos conectados ao barramento, já os escravos utilizam endereços que vão de 1 a 247 não podendo haver escravos com o mesmo endereço (SILVA; FELGUEIRAS, 2007).

O protocolo Modbus possibilita a transmissão em quadros de mensagem entre o mestre/escravo. O escravo lê a mensagem e se não há erros, ele realiza a tarefa e envia uma resposta de volta ao mestre. A informação da mensagem de resposta é o endereço do escravo, a ação realizada, o resultado da ação e o meio de verificação de erros. Se a mensagem é do tipo transmissão, não há resposta do escravo (CLARKE; REYNDERS, 2004).

A troca de informações é comumente feita entre o mestre/escravo por meio da memória de dados. Caso, a troca com a memória de programa seja necessária, é preciso parar a comunicação pergunta/resposta antes de realizar a troca (CUNHA, 2000).

A Figura 25 mostra o ciclo de pergunta e resposta no modelo mestre/escravo.

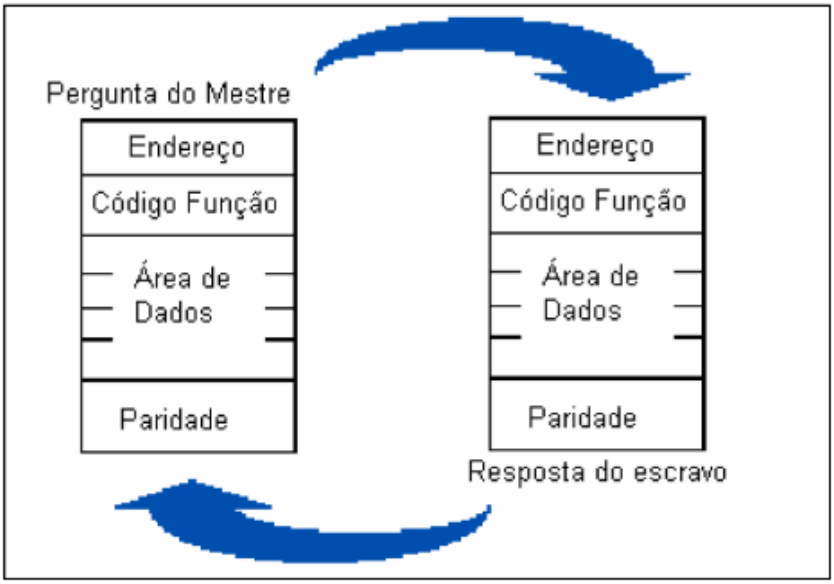


Figura 25 – Ciclo de pergunta e resposta no modelo mestre/escravo (SCHNEIDER ELECTRIC, 2000 apud CUNHA, 2000)

2.5.4 MODELO DE TRANSMISSÃO SERIAL COM MODBUS

Os controladores que utilizam o protocolo Modbus de comunicação podem utilizar dois modos de comunicação: ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) ou RTU (*Remote Terminal Unit*). Os usuários escolhem o modo desejado, juntamente com parâmetros de comunicação (CUNHA, 2000).

2.5.5 MODO ASCII

A comunicação Modbus em modo ASCII, quando ligada de maneira serial, cada *byte* da mensagem é enviado com dois caracteres ASCII. Esse modo é menos eficiente do que o modo Modbus RTU uma vez que em Modbus ASCII cada *byte* de mensagem necessita de dois caracteres (SILVA; FELGUEIRAS, 2007).

O Modbus ASCII, como menos eficiente, apenas é utilizado quando o meio físico ou o equipamento não permite utilizar o Modbus RTU. Cada mensagem deve ser transmitida em uma sequência de palavras. A palavra possui um *bit* de início, um *bit* para controle de paridade e um *bit* de parada. Assim, cada palavra é formada da seguinte maneira (SILVA; FELGUEIRAS, 2007): Um *bit* de *start* mais sete *bits* de dados mais um *bit* de paridade mais um *bit* de *stop*.

Desta forma cada palavra em Modbus ASCII tem o tamanho de 10 *bits*. Os *bits* de dados são transmitidos do *bit* menos significativo (LSB – l*east significant bit*) para o *bit* mais significativo (MSB – m*ost significant bit*). O *bit* de paridade, por *default*, é par (*even parity*), podendo também ser ímpar (*odd parity*) ou então não possuir paridade (*no parity*). Todos os equipamentos ligados no barramento ou rede devem ter a paridade configurada da mesma forma.

Quando não é utilizada a paridade (*no parity*), passa a haver dois *stop bits*. Dessa forma a palavra mantém o tamanho de 10 *bits*. Adicionalmente à detecção de erro ao nível da palavra também é realizada a detecção de erro ao nível de mensagem. No caso da transmissão em Modbus ASCII o método utilizado tem o nome de LRC. Uma determinada mensagem (*frame*) deve ser transmitida por uma sequência de palavras sem interrupção. O início de uma *frame* é identificada pelo caractere ASCII ":" (dois pontos, em ASCII 3A) e o final da *frame* é identificado por dois caracteres ASCII "CR" e "LF"(c*arriage return, line feed*, em ASCII 0D e 0A).

Os caracteres de uma mensagem são enviados em hexadecimais codificados pela tabela ASCII.

Todos os equipamentos monitoram a rede constantemente de modo a detectar o caractere de início da mensagem. Tipicamente os caracteres podem ter um intervalo de transmissão até um segundo. Quando esse tempo excede, é detectado um erro na transmissão.

Assim, uma mensagem em Modbus ASCII tem a seguinte característica:

***Start*:** 1 (um) caractere (10 *bits*);

***Address field*:** 2 (dois) caracteres (20 *bits*);

***Function code*:** 2 (dois) caracteres (20 *bits*);

***Data*:** de 0 (zero) até 2x252 caracteres (cada caractere tem 10 *bits*);

LRC: 2 (dois) caracteres (16 *bits*);

***End*:** 2 (dois) caracteres, CR + LF (20 *bits*).

A Figura 26 mostra o formato da mensagem em Modbus ASCII.

Início	Endereço	Função	Dado	LRC	Fim
1 caractere	2 caracteres	2 caracteres	0 até 2x252 caractere (s)	2 caracteres	2 caracteres CR,LF

Figura 26 – Formato da mensagem em Modbus ASCII (SILVA; FELGUEIRAS, 2007)

2.5.6 MODO RTU

A comunicação Modbus em RTU, quando ligada de maneira serial, cada *byte* de mensagem é enviada por dois caracteres hexadecimal, ou seja, uma palavra. Cada mensagem deve ser transmitida em uma sequência de palavras (SILVA; FELGUEIRAS, 2007).

A palavra é acrescentado um *bit* de *start*, um *bit* para controle de paridade e um *bit* de *stop*. Assim cada palavra é formada da seguinte forma: um *bit* de *start* mais oito *bits* de dados mais um *bit* de paridade mais um *bit* de *stop*. Assim cada palavra em Modbus RTU tem o tamanho de 11 *bits*, sendo os dados transmitidos dos *bits* menos significativos (LSB – *least significant bit*) para os mais significativos (MSB – *most significant bit*). (SILVA; FELGUEIRAS, 2007).

O *bit* de paridade, é par (*even parity*), podendo também ser ímpar (*odd parity*) ou não possuir paridade (*no parity*). Todos os equipamentos ligados no barramento ou rede devem ter a paridade configurada da mesma forma. Quando não é utilizada a paridade (*no parity*), passa a haver dois stop *bits*. Dessa forma, a palavra mantém o tamanho de 11 *bits* (SILVA; FELGUEIRAS, 2007).

Adicionalmente à detecção de erro ao nível da palavra também é realizada a detecção de erro ao nível de mensagem. No caso da transmissão em RTU o método utilizado tem o nome de CRC (*cyclical redundancy checking*). (SILVA; FELGUEIRAS, 2007).

Uma determinada mensagem (*frame*) deve ser transmitida por uma sequência de palavras sem interrupção. Entre cada *frame* deve haver uma interrupção de pelo menos 3,5 vezes o tempo de um caractere (Figura 27).

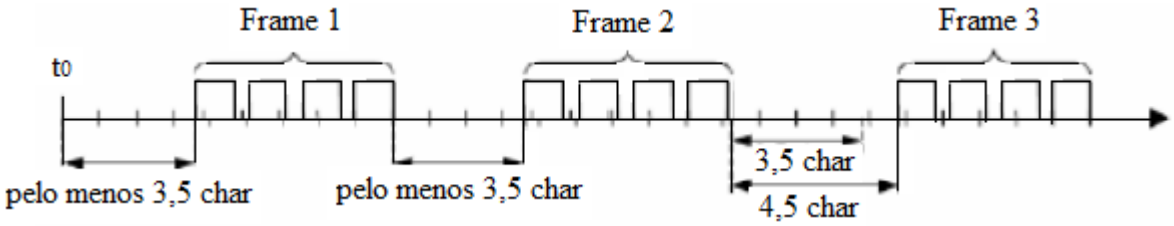


Figura 27 – Sequência de mensagens sem erros (SILVA; FELGUEIRAS, 2007)

Caso a mensagem não seja totalmente transmitida e a interrupção é maior que 1,5 vezes o tempo de um caractere, então, a mensagem é descartada pelo receptor, sendo interpretado um erro (Figura 28).

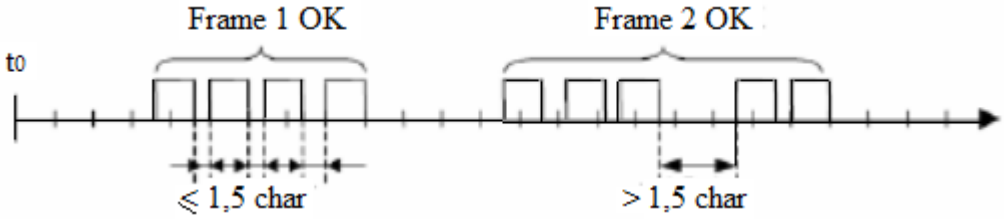


Figura 28 – Sequência de mensagens com erros (SILVA; FELGUEIRAS, 2007)

A verificação do erro da mensagem utilizando o método CRC é sempre realizada, mesmo não havendo paridade (*no parity*) implementada, sendo o campo CRC o último da mensagem com um tamanho de 16 *bits* (SILVA; FELGUEIRAS, 2007).

Assim uma mensagem em Modbus RTU tem a seguinte característica:

Address field: 1 (um) *byte* (11 *bits*);

Function code: 1 (um) *byte* (11 *bits*);

Data: de 0 (zero) até 252 *bytes* (cada byte tem 11 *bits*);

CRC: 2 (dois) *bytes* (16 *bits*).

A Figura 29 mostra o formato da mensagem em Modbus RTU.

Mensagem Modbus

Endereço	Função	Dado	Checa CRC
8 *bits*	8 *bits*	N x 8 *bits*	16 *bits*

Figura 29 - Formato da mensagem em Modbus RTU (SILVA; FELGUEIRAS, 2007)

2.6 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

Os sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Essas informações são coletadas por meio de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, são manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente, apresentadas ao usuário. Esses sistemas também são chamados de SCADA (s*upervisory control and data aquisition*). (SILVA; SALVADOR, 2005).

Tal como o nome indica, o SCADA não é um completo sistema de controle, sendo ele concentrado de modo mais significativo no nível de supervisão (DANEELS; SALTER, 1999).

Os primeiros sistemas SCADA, basicamente telemétricos, permitiam informar periodicamente o estado corrente do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos, por meio de um painel de lâmpadas e indicadores, sem que houvesse qualquer interface gráfica com o operador (Figura 30). Atualmente, os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e o controle dos processos industriais, efetuando coleta de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e a respectiva apresentação de modo amigável para o operador, com recursos gráficos elaborados (interfaces homem máquina) e conteúdo multimídia (SILVA; SALVADOR, 2005).

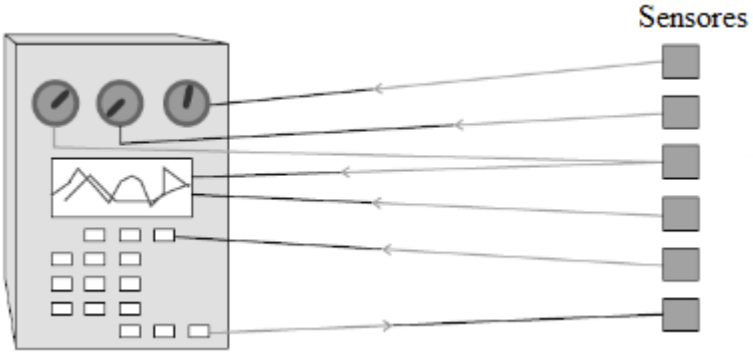


Figura 30 – Representação básica dos primeiros SCADA (CLARKE; REYNDERS, 2004)

A Figura 31 mostra de maneira geral um típico sistema de supervisão, onde é feita a comunicação entre um SCADA e os elementos de controle e dispositivos de campo.

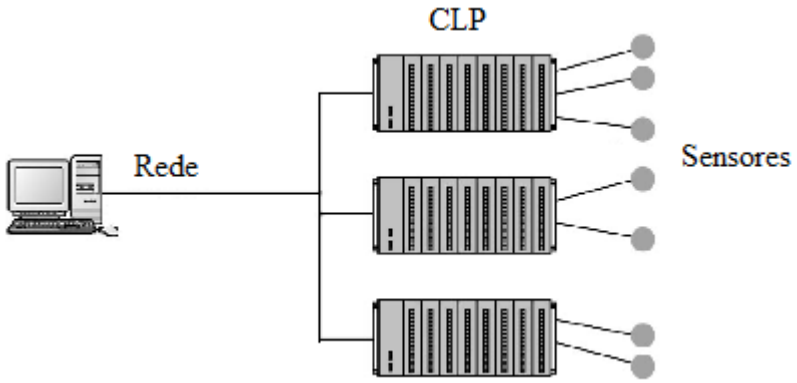


Figura 31 – Típico sistema de supervisão (CLARKE; REYNDERS, 2004)

Para Souza (2005) os sistemas supervisórios têm se mostrado de fundamental importância na estrutura de gestão das empresas, pois passaram a ser vistos como uma relevante fonte de informação e não apenas como uma ferramenta operacional.

Na supervisão incluem-se todas as informações de monitoramento do processo, tais como, gráficos de tendências de variáveis analógicas e digitais, relatórios em vídeo e impresso, entre outras funções (CAMPBELL, 1988).

A Figura 32 mostra o exemplo de algumas telas de supervisão para controle e monitorização de processo.

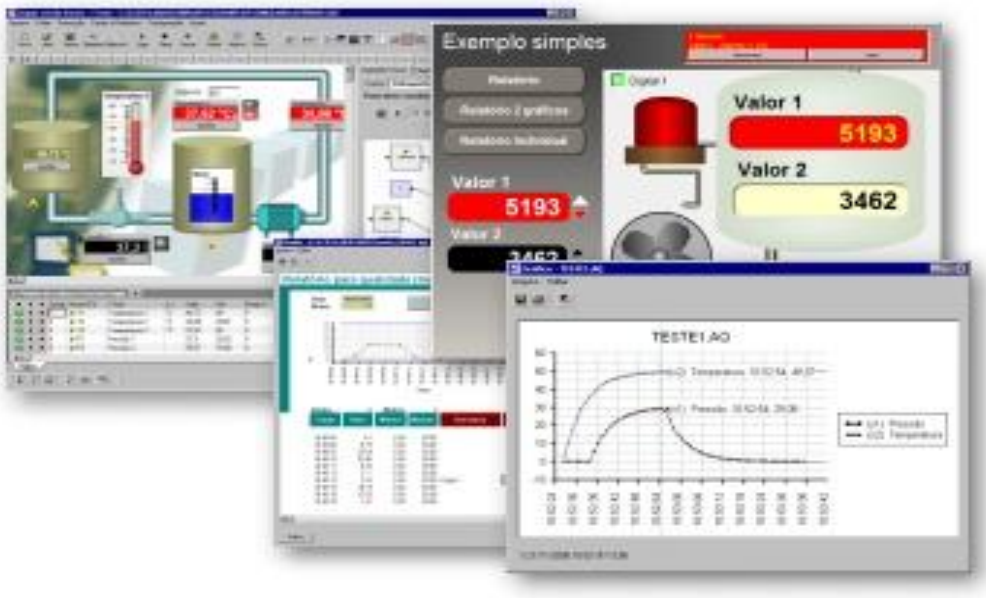


Figura 32 – Exemplo de algumas telas de supervisão para controle e monitorização de processo
Fonte: http://www.scadalaquis.com/portugues.php

Os sistemas SCADA podem também verificar condições de alarmes, identificadas quando o valor das *tags* (todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas envolvidas na aplicação) ultrapassam uma faixa ou condição pré-estabelecida, sendo possível programar a gravação de registros em bancos de dados, ativação de som, mensagem, mudança de cores, envio de mensagens etc. (SILVA; SALVADOR, 2005).

2.6.1 COMPONENTES FÍSICOS DO SISTEMA SCADA

O sistema físico do SCADA é formado basicamente por: sensores, atuadores, rede de comunicação, estações remotas (aquisição e controle) e monitoração central (*software* SCADA) (SILVA; SALVADOR, 2005).

Os sensores e atuadores servem como instrumentos em nível de campo para detectar fenômenos físicos e atuar no processo (SILVA; SALVADOR, 2005).

As unidades terminais remotas (RTU) ou controladores lógicos programáveis (CLP) fazem a aquisição dos dados de campo e os enviam para uma estação mestre por meio de uma rede de comunicação (CLARKE; REYNDERS, 2004).

As estações de monitoração central são as unidades principais do SCADA, sendo responsáveis por recolher as informações geradas pelas RTU ou CLP e agir em conformidade com os eventos detectados, podendo ser centralizadas em um único computador ou distribuídas por uma rede de computadores, de modo a permitir o compartilhamento das informações coletadas (SILVA; SALVADOR, 2005).

2.6.2 COMPONENTES LÓGICOS DO SISTEMA SCADA

Os sistemas SCADA nada mais são do que *softwares* comercializados de modo proprietário ou aberto. As empresas que desenvolvem os programas proprietários obrigam o seu *software* a se comunicar com o seu *hardware*, gerando uma dependência do cliente com o fornecedor. Já os sistemas abertos possibilitam integrar diferentes fabricantes de equipamentos no mesmo sistema, popularizando a sua aplicação por meio da padronização gerada pelo modelo OSI (CLARKE; REYNDERS, 2004).

Internamente os sistemas de supervisão se dividem em tarefas, para permitir maior flexibilidade e robustez a suas aplicações.

Basicamente as tarefas do SCADA estão divididas em: núcleo de processamento, comunicação com CLP ou RTU, gerenciamento de alarmes, histórico e banco de dados, lógica de programação interna, interface gráfica, relatórios, comunicação com outras estações SCADA, comunicação com sistemas corporativos, entre outros (SILVA; SALVADOR, 2005).

A regra geral para o funcionamento de um sistema SCADA parte dos processos de comunicação com os equipamentos de campo, cujas informações são enviadas para o núcleo principal do programa. O núcleo é responsável por distribuir e coordenar o fluxo das informações para os demais módulos, até chegarem ao padrão esperado para o operador do sistema, na interface gráfica ou console de operação com o processo, geralmente acompanhadas de gráficos, animações e relatórios, de modo a exibir a evolução do estado dos dispositivos e do processo controlado, permitindo informar qualquer tipo de problema (SILVA; SALVADOR, 2005).

2.6.3 MODO DE COMUNICAÇÃO

A principal funcionalidade de qualquer sistema SCADA está ligada à troca de informações, que podem ser, basicamente por comunicação com CLP ou RTU, comunicação com outras estações SCADA ou comunicação com outros sistemas (SILVA; SALVADOR, 2005).

A comunicação com os equipamentos de campo, realizada por meio de um protocolo em comum, cuja metodologia pode ser tanto de domínio público ou de acesso restrito, geralmente pode ocorrer por consulta (*polling*) ou por interrupção (r*eport by exception*) (MORAES; CASTRUCCI, 2012).

2.6.4 COMUNICAÇÃO POR CONSULTA (*POLLING*)

Neste modo de comunicação designado mestre/escravo, a estação central mestre tem o controle total das comunicações, efetuando sequencialmente a leitura dos dados de cada estação escravo, que apenas responde à estação mestre após a recepção de um pedido. Cada estação remota (escravo) é identificada por um endereço. Caso uma estação escrava não responda durante um período de tempo predeterminado às solicitações que lhe são dirigidas pelo mestre, novas

tentativas de *polling* serão realizadas antes de se declarar *time-out* e se avançar para a próxima estação (MORAES; CASTRUCCI, 2012).

A comunicação por consulta traz simplicidade ao processo de coleta de dados, inexistência de colisões no tráfego da rede, facilidade na detecção de falhas de ligação e uso de estações remotas não inteligentes. No entanto, traz incapacidade de comunicar situações à estação central por iniciativa das estações remotas (SILVA; SALVADOR, 2005).

2.6.5 COMUNICAÇÃO POR INTERRUPÇÃO (*REPORT BY EXCEPTION*)

Neste modo de comunicação, a estação remota monitora os seus valores de entrada e, quando detecta alterações significativas, inicia a comunicação com a estação mestre e a consequente transmissão dos dados. O sistema é implementado de modo a permitir a detecção de erros e a recuperação de colisões. Antes de iniciar a transmissão, a estação remota verifica se o meio está ocupado por outra estação, aguardando um tempo programado antes de iniciar nova tentativa de transmissão. Havendo colisões excessivas, a estação remota cancela a transmissão, aguardando que a estação mestre proceda à leitura dos seus dados por meio do *polling* (MORAES; CASTRUCCI, 2012).

A comunicação por interrupção evita à transferência de informação desnecessária, diminuindo o tráfego na rede, além de permitir uma rápida detecção de informação urgente e a comunicação entre estações remotas (*slave-to-slave*). As desvantagens desta comunicação são que a estação central consegue detectar as falhas na ligação apenas depois de um determinado período, ou seja, quando efetuado *polling* ao sistema, além de serem necessárias ações por parte do operador para obtenção dos valores atualizados (SILVA; SALVADOR, 2005).

2.7 SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFATURA

Os sistemas integrados de manufatura (SIM) são baseados na filosofia CIM (c*omputer integrated manufacturing*), cuja faixa de aplicação se dá por volumes médios de produção e por média variedade de produtos, conforme mostra a Figura 33 (FERNANDES, 1990).

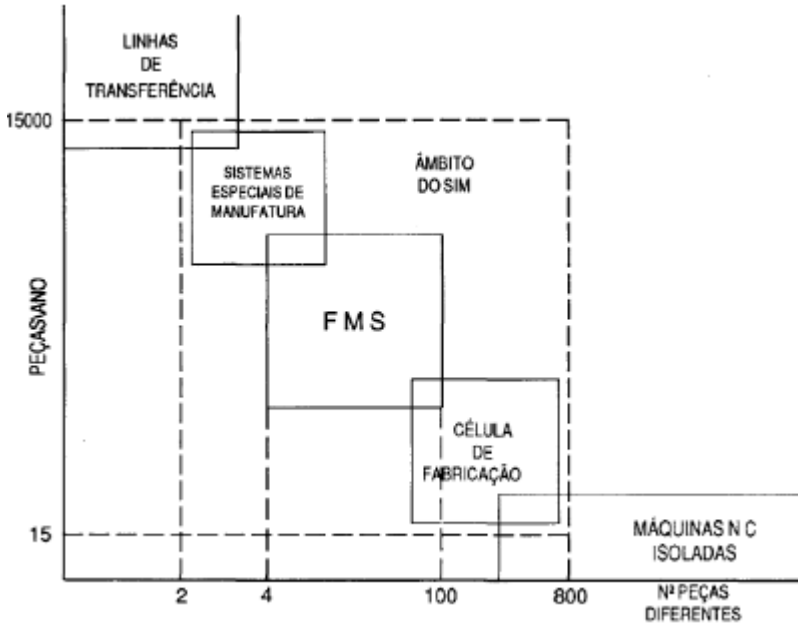


Figura 33 – O âmbito do SIM (FERNANDES, 1990)

O SIM surgiu da necessidade de atender as mudanças do mercado com a exigência dos consumidores por produtos diversificados, diferenciados e renovados em um curto intervalo de tempo. A forte procura por empregos no setor de serviços, acarretando na redução da mão de obra industrial, além do forte avanço tecnológico que proporcionou a fabricação baseada no enfoque sistêmico e na existência da tecnologia da informação foram fatores que também contribuíram com o crescimento do SIM (FERNANDES, 1990).

Ainda para Fernandes (1990), o desempenho de todo o sistema SIM depende do entrosamento entre todos os componentes que compõem o sistema de manufatura e não apenas do desempenho de cada parte isoladamente, partindo do controle gerencial e seguindo uma estrutura hierárquica até o controle físico dos equipamentos. Para isso, é preciso qualificar os funcionários em todos os níveis, a fim de criar uma inteligência organizacional.

2.7.1 COMPUTADOR INTEGRADO À MANUFATURA

CIM é um paradigma moderno de manufatura que visa integrar atividades realizadas por homens e máquinas por meio de uma melhor comunicação, cooperação e coordenação entre as diversas funções de uma empresa de manufatura, sejam elas técnicas, administrativas ou de

suporte. Essa maior integração, desde o projeto até a execução e expedição, passando pelo planejamento, programação e controle da produção, se dá por meio das tecnologias de informação e comunicação (MEIRELES, 2000).

É um novo tipo de teoria filosófica utilizada na organização, gestão e execução da produção da empresa que utiliza *hardwares* e *softwares* ligados à tecnologia moderna de gestão, fabricação, informação, automação e sistemas de engenharia que integram organizacionalmente todo o processo de produção da empresa, as pessoas e a administração, bem como o fluxo de informações e de materiais da melhor maneira, a fim de fornecer produtos com alta qualidade e baixo custo (MASOOD; KHAN, 2004).

De modo geral, pode-se dizer que o CIM se inicia com o planejamento da produção a partir do projeto do produto, do processo a ser utilizado e da demanda a produzir. Posteriormente, é feita uma programação definindo de maneira precisa os produtos a fabricar dentro de um determinado prazo. É feito o cálculo da necessidade de material, o estabelecimento de prazos e as capacidades e sequenciamento da produção por meio de máquinas comandadas por computadores, até terminar no controle de módulos de captação de dados de quantidade e qualidade da produção, havendo ainda, a possibilidade de se trabalhar com funções auxiliares como o controle de manutenção. Todo esse conjunto, desde o projeto, pedidos, planejamento e programação da produção, gerenciamento da produção, monitoramento da manutenção e todos os tipos de controle, enfim, todas as informações e ações que possibilitam e auxiliam a produção, compõem o CIM (PEREIRA; ERDMANN, 1998).

2.7.2 SISTEMAS SCADA NO CONTEXTO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFATURA E GESTÃO DA PRODUÇÃO

Jurizato e Pereira (2002) apresentaram um estudo sobre sistemas supervisórios abordando os sistemas SCADA de maneira geral. Para Jurizato e Pereira (2002) o mercado de desenvolvimento ainda tem pouco conhecimento na aplicação do controle de processos e os sistemas supervisórios podem ser vistos como sistemas que supervisionam ou monitoram processos executados em uma planta industrial, por meio da visualização das variáveis da planta automatizada, bem como das ações tomadas pelo sistema de automação. Jurizato e Pereira (2002) citaram que com a queda dos preços dos equipamentos de tecnologia, a indústria tem optado pela

automação via computador, sendo a automação de campo feita por CLP que normalmente se comunica com um computador com programa específico que servirá como interface entre o operador e o processo. O programa específico utilizado permite a operação e visualização de telas gráficas elaboradas para qualquer processo industrial, independente do tamanho da planta. Ainda segundo Jurizato e Pereira (2002) os sistemas supervisórios vêem ganhando espaço em praticamente todos os segmentos de controle e monitorização, existindo atualmente no mercado uma enorme gama de sistemas SCADA com diversos protocolos de comunicação e *drivers* de aquisição de dados. Jurizato e Pereira (2002) concluíram que o emprego dos sistemas de supervisão torna-se possível graças a programação orientada a objetos, ao desenvolvimento do CLP com custo reduzido e arquitetura flexível e aos diversos protocolos de comunicação existentes.

Mardegan, *et al* (2003) apresentaram um estudo bibliográfico que busca contribuir com a integração das atividades gerenciais da empresa a partir do uso dos sistemas SCADA, MES e ERP a fim de se obter informações mais confiáveis do chão de fábrica por meio da coleta de dados automática e dos sistemas de supervisão. Segundo Mardegan, *et al* (2003), existe uma forte tendência para que, futuramente, a aquisição dos dados por parte dos operadores via apontamento manual seja totalmente substituída pela coleta automática. Isso ocorrerá devido aos fortes avanços tecnológicos, uma maior disponibilidade dos sensores e coletores de dados automáticos e preços cada vez mais acessíveis. Para Mardegan, *et al* (2003) as informações do chão de fábrica são apresentadas pelo sistema SCADA, que transforma as informações vindas de coletores de dados espalhados pelo chão de fábrica em representações visuais, para consulta instantânea das atividades industriais. Os dados coletados poderão então ser armazenados em um banco de dados, ficando disponíveis a outros sistemas como o MES e o ERP. A utilização integrada dos sistemas SCADA, MES e ERP dará às empresas um melhor entendimento do que realmente ocorre no chão de fábrica e permitirá um alinhamento maior entre os níveis estratégicos, táticos e operacionais, expandindo todos os benefícios a toda a cadeia produtiva.

Boaretto, *et al* (2004) apresentaram um estudo bibliográfico que busca contribuir com a coleta de dados e o monitoramento do chão de fábrica em tempo real na manufatura discreta, de modo a possibilitar a integração com as ferramentas de gestão industrial, eliminar os apontamentos manuais e a digitação dos dados. Boaretto, *et al* (2004) apontaram as tendências da automação, sugerindo uma orientação para as empresas interessadas na definição inicial da

implantação de sistemas de automação e de gestão da produção, mostrando como pode ser feita a integração entre a coleta automática dos dados do chão de fábrica e a gestão da produção a partir da utilização do CLP e dos sistemas SCADA, MES e ERP. Além disso, são apresentados os benefícios que a gestão terá a partir de dados mais precisos e atualizados, advindos de um ambiente de coleta automática de dados com a utilização de sistemas SCADA. Ainda para Boaretto, *et al* (2004), os resultados obtidos por meio da análise das ferramentas existentes no mercado nacional, para aquisição de dados e monitoramento do chão de fábrica em tempo real e seu potencial de integração com as ferramentas de gestão industrial, mostram que a arquitetura de integração feita com CLP e os sistemas SCADA, MES e ERP apresentam-se como os meios mais adequados, pois propiciam um ambiente coeso e integrado desde o chão de fabrica até os sistemas corporativos. Boaretto, *et al* (2004) também citaram que para se conseguir a integração do chão de fabrica com os níveis de gestão, o sistema supervisório serve como elo fundamental, pois sem ele é impossível realizar a comunicação com os dispositivos de dados e controle, manipular informações, incluir a criação de interface gráfica com o usuário em rede local ou não, verificar alarmes, gerar relatórios, gravar informações em bancos de dados, entre outros.

A Figura 34 propõe uma arquitetura de integração formada por sensores ou dispositivos coletores de dados, atuadores, CLP, SCADA, MES e ERP.

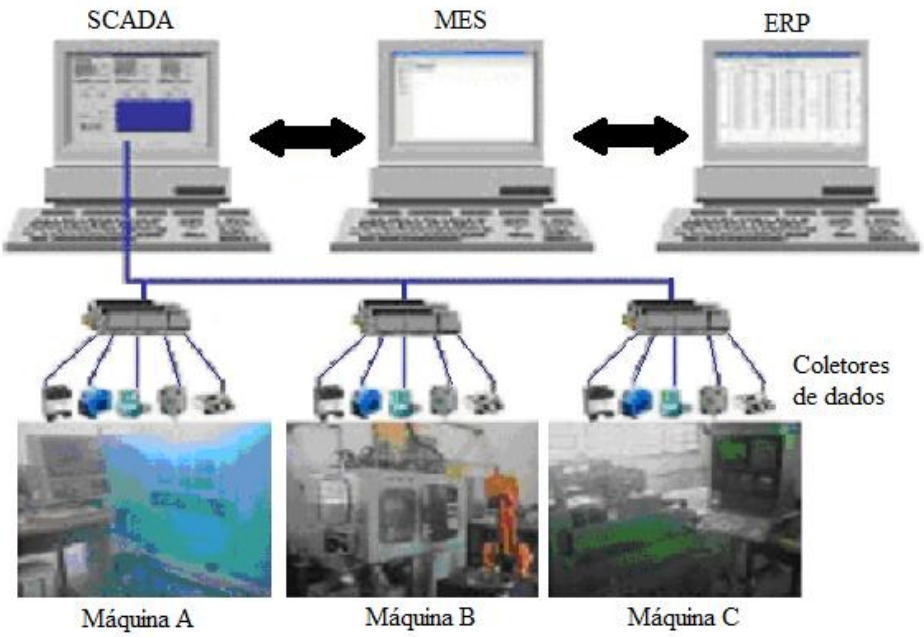


Figura 34 – Arquitetura de integração (BOARETTO, *et al*, 2004)

3. PROCESSO ORIGINAL

O objetivo do capítulo é descrever a função da balança de dosagem industrial ESAP-500®, as suas principais partes, o funcionamento do processo original, os problemas operacionais gerados pelas limitações do conjunto e os dados de processo do cliente.

3.1 A BALANÇA ESAP-500® E SUAS PARTES

A balança de dosagem industrial ESAP-500® da Tudela® está projetada para dosar diversos tipos de materiais sólidos como grãos, balas de mascar, farinha, biscoitos, rações, entre outros. A dosagem é feita em recipientes específicos a cada processo, com capacidade para utilizar diferentes tipos de embalagens como sacos ou caixas de plástico, papel ou papelão, recipientes metálicos como latas, entre outros.

A balança está projetada e montada em estrutura metálica, na qual os componentes principais que a compõem são:

- Um silo em aço inox para armazenar matéria-prima sólida;
- Um transportador em aço inox que conduz a matéria-prima que está no silo até a caçamba;
- Uma caçamba em aço inox que recebe e armazena a matéria-prima transportada para dosagem.

Além da estrutura mecânica, a parte eletroeletrônica é responsável pelos acionamentos, sensoriamento e a parte lógica da máquina. Seus principais componentes são:

- Um eletroímã de 220 $V_{CA,}$ 2 A / 60 Hz responsável por gerar campo eletromagnético para excitar a vibração do transportador de matéria-prima;
- Uma célula de carga modelo 5G da Alfa Instrumentos® (mede até 5 kg) está conectada mecanicamente à caçamba e faz a medição da massa de matéria-prima que será dosada;
- Um sensor indutivo tubular com invólucro de latão niquelado tipo NPN de 10 a 30 V_{CC} / 200 mA da Tecnotron® com distância sensora de 2 mm que indica a abertura ou o fechamento da parte inferior da caçamba (comporta);
- Um motor de 24 V_{CC} / 1 A para abrir e fechar a comporta (dosagem);

- Um painel eletrônico montado em caixa plástica ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*). Nele estão os circuitos lógicos de controle e de potência da máquina, além da IHM.

A Figura 35 representa a balança de dosagem ESAP-500® da Tudela®.

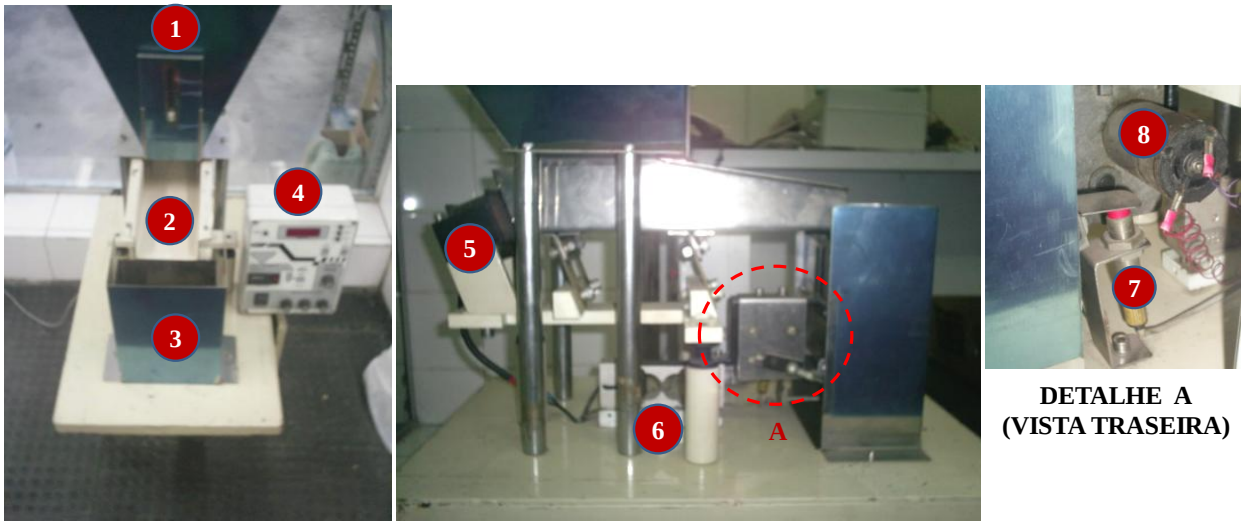


Figura 35 – Representação da balança de dosagem ESAP-500® (MELCONIAN; SOUSA, 2012; 2013a; 2013b)

A partir da Figura 35 é possível apresentar as principais partes da balança de dosagem:

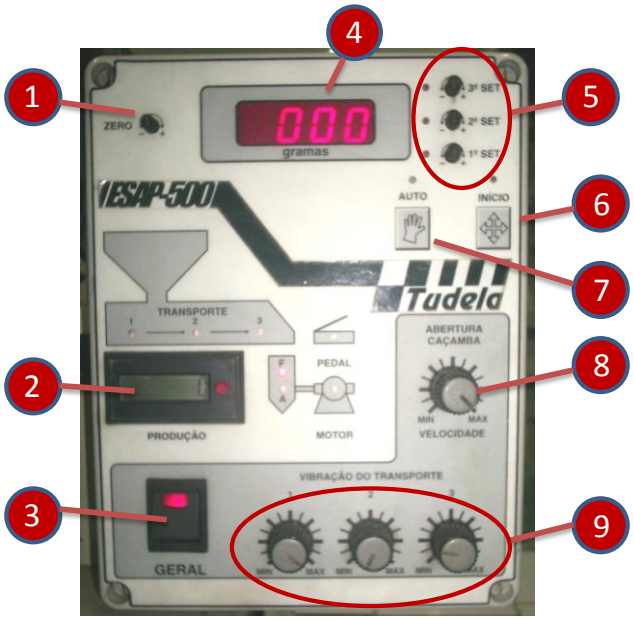
1. Silo;
2. Transportador;
3. Caçamba;
4. Painel eletrônico;
5. Eletroímã;
6. Célula de carga;
7. Sensor indutivo;
8. Motor de corrente contínua.

3.2 PROCESSO ORIGINAL DE DOSAGEM

O processo de dosagem se realiza basicamente pelo abastecimento manual do silo, da ligação e parametrização do processo no painel da máquina, da colocação de um operador

sentado e de frente à máquina para operar a produção e da escolha do modo de operação da ESAP-500® (automático ou semiautomático).

A Figura 36 apresenta o painel da máquina e suas funções.



1. Calibração da balança (ajuste do zero);
2. Indicador de produção;
3. Chave geral (liga/desliga);
4. *Display* (indicador de massa na caçamba);
5. Ajuste dos *set points*;
6. Inicia a produção;
7. Seleciona modo automático ou semiautomático;
8. Parametrização da velocidade de abertura e fechamento da caçamba;
9. Parametrização da intensidade de vibração do transportador para cada *set point*.

Figura 36 – Painel da máquina (MELCONIAN; SOUSA, 2012; 2013a; 2013b)

A partir da Figura 36 é possível descrever como é feita a parametrização da máquina.

O painel é ligado acionando-se a chave geral, posteriormente zera-se o indicador de produção, ajusta-se a velocidade de abertura e fechamento da caçamba e a intensidade de vibração do transportador, podendo a vibração mudar de acordo com os ajustes de intensidade 1, 2 e 3 que são dependentes das parametrizações dos *set points*, posteriormente é feito o ajuste de zero da balança e finalmente indicada à máquina se o processo será automático (depende de um operador para abastecer a máquina e outro para colocar o recipiente que receberá a dosagem, sendo a abertura da caçamba automática) ou semiautomático (depende de um operador para abastecer a máquina e outro para colocar o recipiente que receberá a dosagem e acionar um pedal para abrir a caçamba). Estando tudo ajustado basta apertar o botão início para começar a produção.

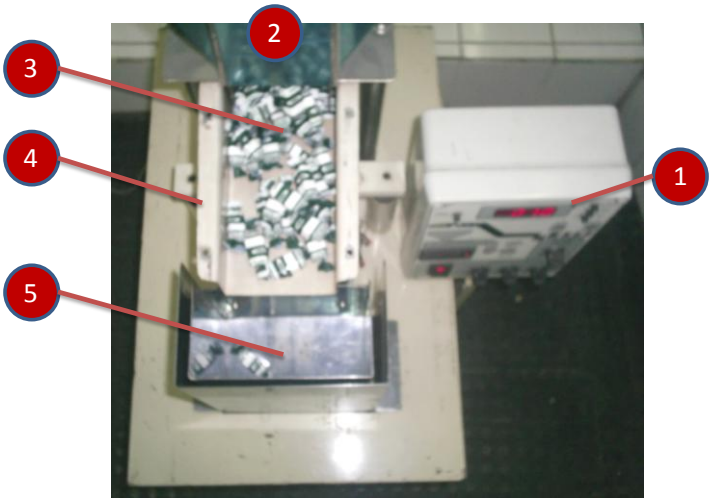
Há três níveis de *set points*, cada um representa uma quantidade de massa na caçamba. Atingindo o nível 1 de *set point* a intensidade de vibração 1 é desabilitada e o nível 2 de vibração do transportador é ligado (isso implica geralmente em uma intensidade de vibração menor e uma dosagem mais precisa de matéria-prima na caçamba), atingindo-se o segundo *set point* o sistema

de vibração 2 é desabilitado e o 3 é acionado (geralmente o de menor intensidade de vibração), com isso, consegue-se uma dosagem de material (o que é depositado na caçamba) ainda mais precisa (chamado de dosagem fina), atingindo o terceiro nível de *set point* o transportador para de vibrar e a parte inferior da caçamba (comporta) se abre com velocidade pré ajustada (acionamento feito pelo motor) depositando o material no recipiente que está em baixo (colocado pelo operador), feita a dosagem, a comporta se fecha (acionamento feito pelo motor). O sensor indutivo informa o fechamento da caçamba ao dispositivo de controle dentro do painel eletrônico que, reinicia o processo.

Quando configurada de maneira semiautomática a caçamba só abre quando o operador pisar no pedal.

O sistema de vibração muda de intensidade por meio do controle de fase realizado pelos três *dimmers* representados no item 9 da Figura 36. No texto estão sendo chamados de ajustes de intensidade de vibração 1, 2 e 3. Para cada nível de *set point* atingido, dois *dimmers* ficam desabilitados e um ligado. Esse processo ocorre até se atingir toda a massa desejada, quando todos os *dimmers* passarão para o estado desligado.

A Figura 37 representa o transporte por vibração de matéria-prima e a caçamba sendo cheia.



1. Indicador de massa na caçamba (em gramas);
2. Silo;
3. Matéria-prima transportada (balas de mascar);
4. Transportador (sistema de vibração);
5. Caçamba (abre quando atinge o último nível de *set point*).

Figura 37 – Transporte por vibração de matéria-prima e a caçamba sendo cheia (MELCONIAN; SOUSA, 2012; 2013a; 2013b)

A partir da descrição do processo de dosagem original, foi desenvolvido um fluxograma com o intuito de facilitar o entendimento (Figura 38).

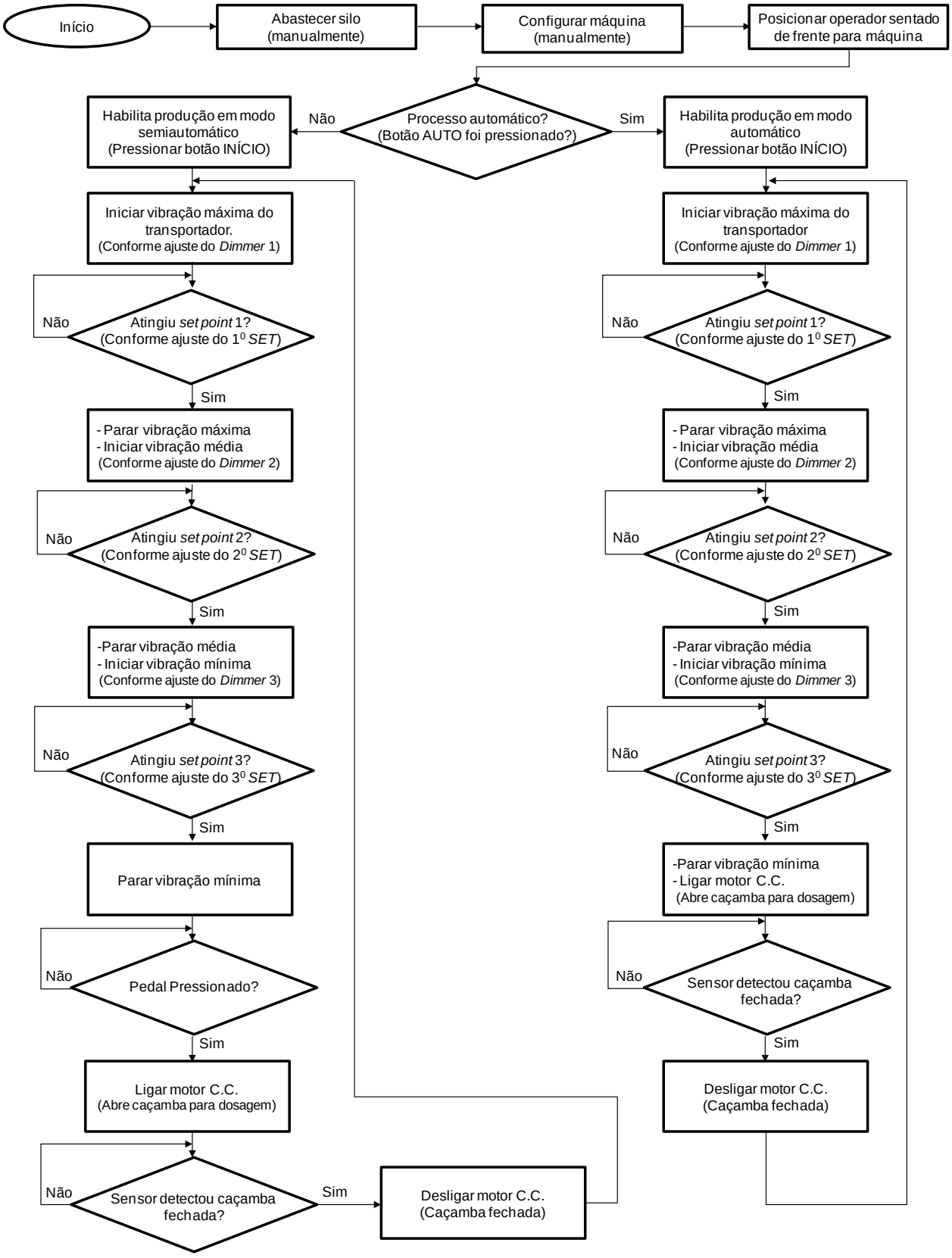


Figura 38 – Fluxograma do processo de dosagem original

Cabe ressaltar que o funcionamento lógico do sistema trabalha em um laço de repetição infinito, ou seja, o fim do processo só se dá pelo desligamento da máquina por meio da chave geral, caso contrário, o ciclo se repetirá periodicamente.

3.3 LOGÍSTICA DO PROCESSO E INTERFACE COM A GESTÃO DA PRODUÇÃO

O processo logístico utilizado por um cliente da Tudela® (comprador da ESAP-500®) e que servirá como referência para o estudo (Figura 39), ocorre da seguinte maneira:

- O PCP emite uma ordem de produção (OP) para fabricação dos potes de balas e a encaminha para a produção;
- O operador de máquina ao receber a OP, faz a preparação (*set up*) da ESAP-500®;
- O mesmo operador ao concluir o *set up*, abre a OP com os registros de data, horário de início da produção, matrícula e nome;
- Concluído o preenchimento da OP, o próprio operador inicia e opera a produção;
- Outro operador chamado de preparador de matéria-prima é responsável pelo abastecimento do processo;
- Terminado o período de trabalho do operador de máquina ou concluída a produção é feito o fechamento da OP com os registros da quantidade produzida no período trabalhado e do horário de fechamento da produção;
- Concluída a produção, a OP é encaminhada ao PCP para a alimentação manual das planilhas eletrônicas. Caso a produção dure dias, um responsável do PCP coleta diariamente a OP para fazer os lançamentos.

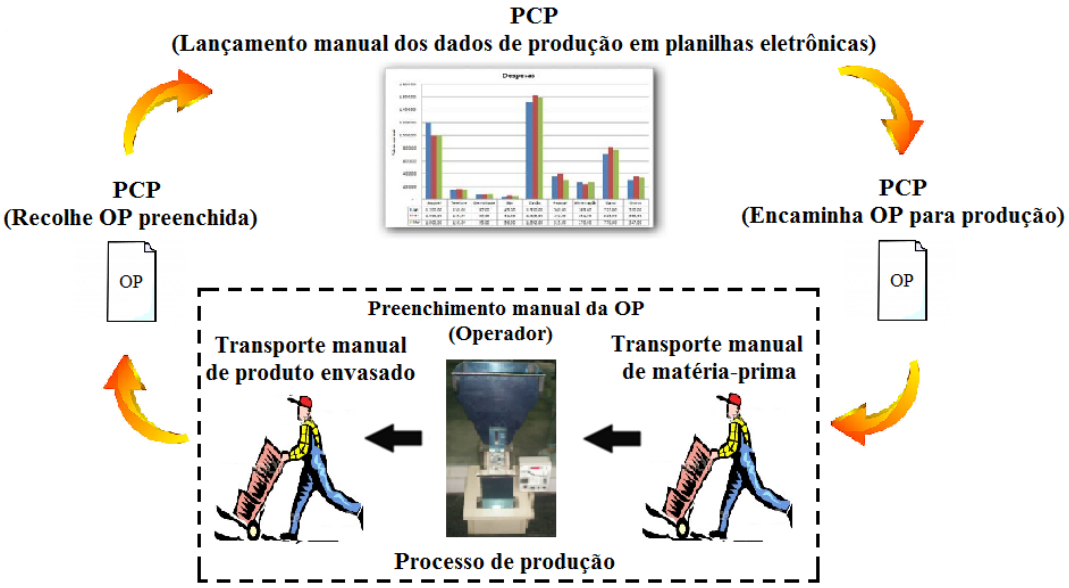


Figura 39 – Representação simplificada do processo logístico do cliente (MELCONIAN; SOUSA, 2012; 2013a; 2013b)

3.4 PROBLEMAS OPERACIONAIS

A balança de dosagem industrial ESAP-500® é comercializada como um produto que opera de maneira dedicada, impossibilitando a integração física e em rede com sistemas, máquinas ou equipamentos. Por isso, a integração do processo se torna muito humano-dependente.

Outro problema é o desgaste físico do operador que fica um longo período de tempo na mesma posição, de maneira desconfortável, prejudicando sua saúde e parando a produção constantemente. Tais prejuízos também podem acarretar perdas por indenizações e funcionários afastados por lesão ou desgaste físico provocado pela situação, além da necessidade em se ter uma pessoa disponível todo o tempo para realizar a tarefa.

Diariamente os operadores do processo se preocupam não só em produzir como também em apontar manualmente os dados em ordens de produção. Esses dados serão repassados para os níveis de supervisão e gestão que terão o retrabalho de apontá-los em planilhas eletrônicas. Com isso, operadores, supervisores e gestores acabam dedicando-se a tarefas que não agregam valor ao produto, aumentando os custos operacionais da empresa, o número de papéis e arquivos, além de respostas tardias do processo.

Outro fator são os equívocos nos apontamentos de produção. Operadores, supervisores e gestores muitas vezes por fadiga mental gerada pelas suas funções ou distrações que possam ocorrer por algum motivo, equivocadamente, fazem lançamentos não condizentes com a realidade. Com isso, defasagens da quantidade real produzida com os apontamentos realizados ocorrem frequentemente, gerando mais custos operacionais para buscar e corrigir esses problemas.

Estoques intermediários por conta do transporte manual dos recipientes que receberão a dosagem e os que já passaram pelo processo ocorrem com frequência. Por conta disso, o fluxo de pessoas e de materiais, além dos atrasos na produção é constante.

3.5 DADOS DE PROCESSO DO CLIENTE

Por meio de uma análise histórica do processo de dosagem junto ao departamento de planejamento e controle de produção (PCP), o ciclo médio do processo realizado no modo automático para embalagens de balas de mascar com 125 g, levando em consideração a última revisão de parametrização do processo (as últimas 154 produções) é de 27,4 s. Isso considerando os tempos de parada do operador (necessidades fisiológicas, conversas, cansaço, dores, entre outros). Não entram no cálculo os tempos de parada para manutenção, falta de energia, entre outros. Para o PCP, o ciclo padrão e ideal para esse processo é de 20,0 s.

Ainda segundo o departamento de PCP, o número de apontamentos equivocados realizados pelos operadores nas OP para esse processo chega a 12 % dos registros realizados. Já nas planilhas eletrônicas esse número é menor, sendo de aproximadamente 5 % dos registros lançados pelo próprio PCP.

Para cinco operadores que trabalham em revezamento no processo da ESAP-500®, o tempo médio gasto por dia para apontar todos os dados necessários na OP é de cinco minutos. Já os supervisores e gestores do departamento de PCP constataram que o tempo médio utilizado para alimentar as planilhas é de quinze minutos por dia considerado o lançamento da produção de uma máquina.

Para a empresa, o maior problema do PCP é o tempo que se perde corrigindo as falhas nos lançamentos de produção. Segundo o gerente do setor, esse tempo gasto poderia ser utilizado na melhoria do planejamento de produção. Ainda para o gerente do departamento, se gasta cerca de

duas horas por dia para solucionar problemas gerados por falhas nos lançamentos. Essas falhas se dão por diferenças na produção, horário de abertura e fechamento da OP, do operador envolvido com o processo, falta de registros, letra ilegível, entre outros.

Para o gerente de produção, além dos problemas citados pelo PCP, uma das grandes dificuldades encontradas são os estoques intermediários que se formam nas laterais da máquina. As embalagens que receberão e que receberam a dosagem ficam empilhadas ao lado da ESAP-500® dificultando o fluxo de pessoas e materiais. Além disso, há momentos em que a próxima etapa de produção deixa de trabalhar por conta do material processado não ter sido transportado.

Ainda para o gerente de produção, o deslocamento manual desses produtos pela fábrica geram perdas que poderiam ser evitadas, já que em alguns casos o responsável pelo transporte deixa cair embalagens que por motivo de higiene não poderão mais ser utilizadas.

Com o intuito de facilitar a interpretação e complementar as informações do processo a Tabela 4 apresenta de maneira geral os dados de processo do cliente a partir das informações fornecidas pelos departamentos da empresa.

Tabela 4 – Dados de processo do cliente

Atividades	**Indicador**
Ciclo médio das últimas 154 produções para embalagens de balas com 125 g	27,4 s
Média dos apontamentos equivocados realizados pelos operadores nas últimas 154 produções	12 %
Média dos apontamentos equivocados realizados pelo PCP nas últimas 154 produções	5 %
Tempo médio gasto por parte dos operadores para apontar todos os dados nas ordens de produção (OP).	5 minutos/ dia (Para apenas uma máquina)
Tempo médio gasto pelo PCP para alimentar as planilhas eletrônicas	15 minutos/ dia (Para apenas uma máquina)
Tempo médio para solucionar problemas com falhas nos lançamentos	2 horas/ dia (Para apenas uma máquina)
Embalagens descartadas devido transporte inadequado	7 %
Balas descartadas devido transporte inadequado ou perdas na dosagem	22,6 %

Em entrevista com o pessoal do departamento de recursos humanos (RH) da empresa, foi levantado o número de afastamentos ou recursos judiciais ocorridos desde março de 2011 quando a empresa implementou o processo, até julho de 2012 quando os dados foram coletados. A Tabela 5 representa o número de funcionários afastados, o período de afastamento e o motivo.

Tabela 5 – Número de funcionários afastados, o período de afastamento e o motivo

Número de funcionários	Período afastado (dias)	Motivo
1	3	Dor no pescoço
1	5	Dor na coluna
1	7	Dor na coluna
1	15	Dor na coluna

Ainda segundo o RH nenhum funcionário durante esse período entrou com qualquer recurso judicial contra a empresa, porém, para o departamento, as condições de trabalho são consideradas desconfortáveis.

4. ESTRUTURA DESENVOLVIDA

Neste capítulo serão descritos os investimentos necessários para a realização da integração e o sistema desenvolvido, com uma visão geral do conjunto, seguido de uma descrição detalhada de suas partes.

Tendo em vista que a balança de dosagem industrial ESAP-500® não apresenta em seu projeto original, a capacidade de integra-se com máquinas, equipamentos e sistemas, causando uma série de dificuldades para os departamentos de gestão e produção, conforme já citadas no Capítulo 3, fez-se necessária a integração de novos sistemas a balança de dosagem. Este desenvolvimento buscou o aumento de produtividade, a extinção dos problemas de registros manuais, a eliminação de afastamentos de operadores por conta da falta de ergonomia, além de permitir a integração física e em rede com outras máquinas, processos ou sistemas.

As estruturas que compõem o sistema são:

- Balança de dosagem industrial ESAP-500®;
- Sistema de controle e aquisição de dados (CLP);
- Sistema de condicionamento de sinal e acionamento de potência;
- Sistema com esteira transportadora automática;
- Sistema supervisório (SCADA);
- Sistema de transmissão e recepção de dados via protocolo Modbus.

4.1 INVESTIMENTO NECESSÁRIO PARA A INTEGRAÇÃO

Para desenvolvimento do sistema foi necessário adquirir os equipamentos para a realização da integração, cujos investimentos necessários estão relacionados na Tabela 6:

Tabela 6 – Investimentos necessários para a integração proposta

Quantidade	Descrição	Valor (R$)
1	Controlador Lógico Programável (CLP)	R$ 2.000,00
1	Esteira transportadora automática*	R$ 1.600,00
1	Solenóide	R$ 200,00
1	Mesa inferior e superior	R$ 300,00
1	Bocal	R$ 100,00
1	Condicionador de sinal	R$ 15,00
1	Placa para controle de fase	R$ 15,00
1	Placa para acionamento de potência	R$ 20,00
1	Conversor RS 485/ USB	R$ 200,00
1	*Buzzer* 24 VCC	R$ 1,50
2	Sensor óptico difuso PNP	R$ 120,00
1	Sensor indutivo PNP	R$ 30,00
1	Fonte chaveada 24 VCC/ 5 A	R$ 150,00
Total do investimento		**R$ 4.751,50**
*Estão inclusos inversor de frequência, redutor e motor		

4.2 VISÃO GERAL DO NOVO SISTEMA

Na Figura 40 é ilustrado o sistema proposto neste projeto.

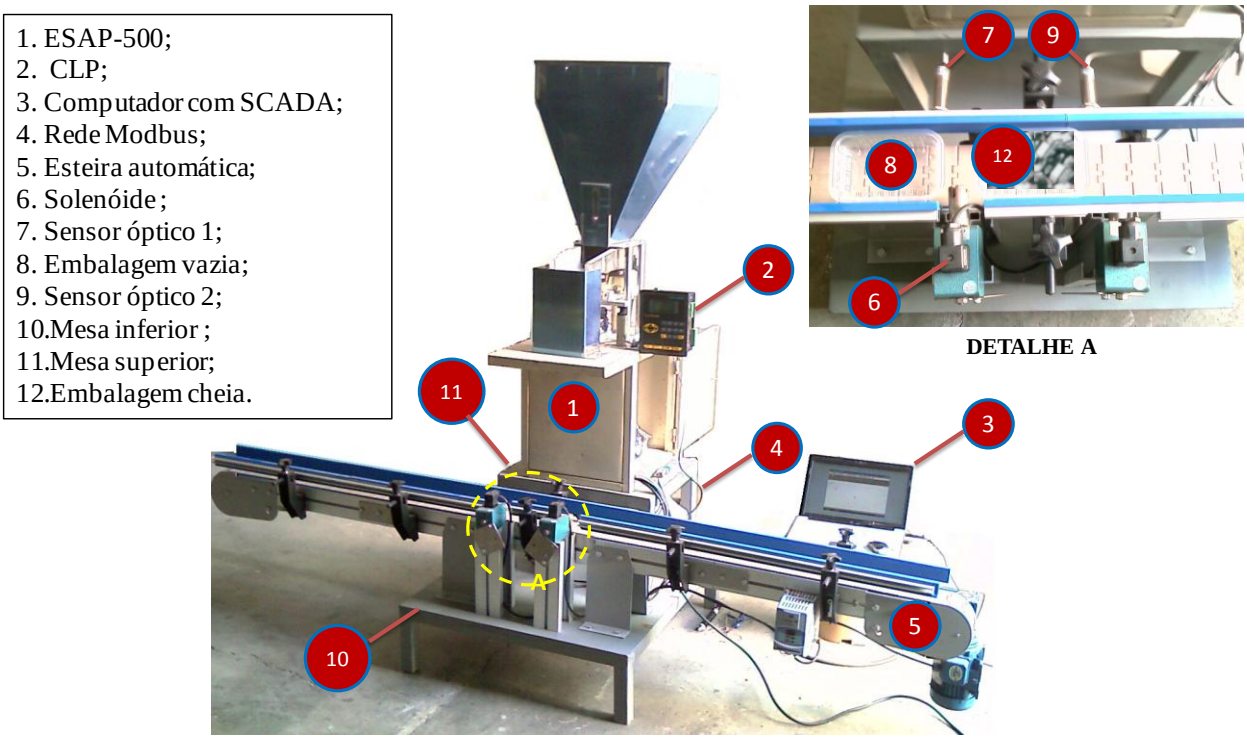


Figura 40 – Representação do sistema desenvolvido (MELCONIAN; SOUSA, 2013a; 2013b)

Como visto na Figura 40, o item 1 representa a balança de dosagem ESAP-500®, que neste projeto corresponde ao equipamento de processo que fará a dosagem de balas de mascar em embalagens de plástico. Com a nova estrutura montada, a balança passará a trabalhar somente em modo automático.

O elemento 2 corresponde a um CLP modelo Lince® da Keylogix® que será usado como dispositivo de controle e aquisição de dados, onde os parâmetros de interesse do sistema serão ajustados, coletados, processados e encaminhados para os atuadores do processo e para o computador que estará executando o aplicativo SCADA.

O terceiro elemento corresponde ao computador, onde o SCADA por meio do aplicativo Elipse SCADA®, fará os registros da produção de maneira automática.

O item 4 da Figura 40 representa a rede industrial com protocolo de comunicação Modbus. Nela irão trafegar dados serialmente por meio de dois fios (padrão EIA RS-485) entre o CLP e o computador.

O quinto item indica o sistema de transporte automático (esteira) dos recipientes que receberão a dosagem provinda da ESAP-500®. A velocidade da esteira será controlada por nível de tensão de 0 a 10 V_{CC} gerados pela porta de saída analógica do CLP.

O elemento 6 representado por um solenóide de 24 V / 1 A, indica o sistema de separação de embalagens. Quando o primeiro sensor (item 7) detectar uma embalagem (item 8), é enviado um sinal digital de 24 V_{CC} para o CLP que ativa o sistema de vibração. Atingida a massa desejada, a caçamba se abre, a matéria-prima é depositada na embalagem e o solenóide atua liberando a embalagem cheia de balas para a próxima etapa. Após um tempo pré-ajustado pelo operador no *set up* da máquina, o solenóide deixa de receber sinal do CLP e volta por ação de sua mola interna ao estado inicial, bloqueando a embalagem vazia que vem na sequência.

O sensor representado pelo item 9 da Figura 40 é responsável pela contagem de embalagens processadas.

Para a leitura de massa na caçamba, utilizou-se a mesma célula de carga citada no item 3.1, no entanto projetou-se um circuito para condicionamento do sinal com circuitos amplificadores operacionais LM324AN, de forma a transformar a grandeza força a ser medida pela célula de carga em tensão analógica passível de ser interpretada pelo dispositivo de controle.

Para os acionamentos do solenóide e do motor da caçamba, projetou-se um circuito de potência com transistores TIP32A e relés de forma a isolar o circuito de controle e garantir a segurança do sistema.

Já para o acionamento do eletroímã desenvolveu-se um sistema de controle de fase utilizando basicamente um optoacoplador MOC3023 e um tiristor TIC246D. Por meio de um sinal PWM enviado pelo CLP, controla-se a potência do eletroímã, consequentemente a intensidade do campo eletromagnético gerado e a vibração do transportador de matéria-prima.

4.3 BALANÇA DE DOSAGEM MODIFICADA

Nesta seção serão descritas as modificações realizadas na balança de dosagem (protótipo montado na Tudela®) e as metodologias adotadas.

Na estrutura mecânica da máquina, as mudanças foram:

- Desenvolvimento de um conjunto denominado par de mesas. Foram projetadas em aço pensando-se na elevação da máquina. Com isso se tornou possível montar a esteira transportadora por baixo da caçamba de dosagem (Figura 40 – itens 10 e 11);
- Além do par de mesas, um bocal de aço em forma de funil foi montado na saída da caçamba, com o intuito de direcionar a matéria-prima dosada até a embalagem (Figura 41).

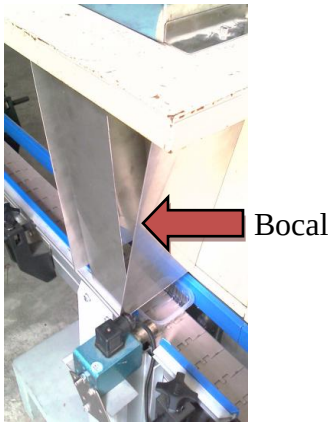


Figura 41 – Bocal de aço em forma de funil instalado na ESAP-500® (MELCONIAN; SOUSA, 2013a; 2013b)

Para que essas melhorias pudessem ser realizadas, foram primeiramente coletadas as dimensões da máquina (altura, largura e comprimento) e projetado o tamanho das mesas no aplicativo Solidworks 2010® (Figura 42). Finalmente foi feita a confecção e montagem das mesmas.

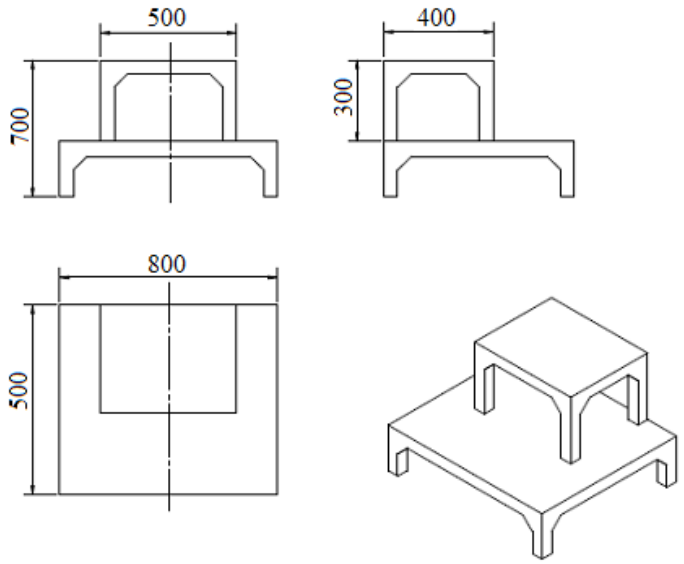


Figura 42 – Esboço das mesas projetadas (em mm) no aplicativo Solidworks 2010®

Após se instalar a ESAP-500® sobre as mesas, foi montada a esteira transportadora, conforme visto na Figura 40 (item 5).

Concluída a instalação da esteira, foi medida a altura entre a comporta da caçamba e o *guard rail* da esteira para que se pudesse projetar o bocal que direciona a matéria-prima dosada até a embalagem vazia. Em seguida, foi projetado o bocal no Solidworks 2010® (Figura 43), confeccionada uma peça em aço e montada conforme visto na Figura 41.

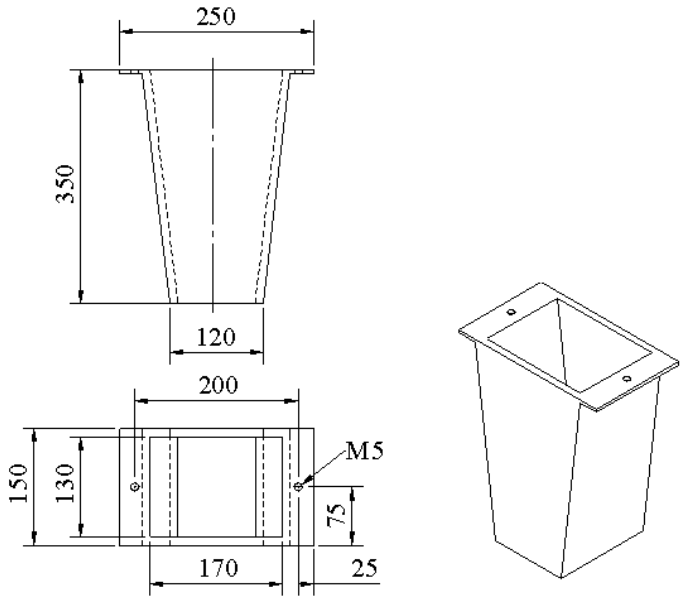


Figura 43 – Esboço do bocal (em mm) no aplicativo Solidworks 2010®

As mudanças eletroeletrônicas foram:

- Substituição do painel eletrônico (circuitos de controle, condicionamento e potência) por um CLP (circuito de controle) e por circuitos projetados para fazer o condicionamento e os acionamentos de potência. Ambos serão detalhados nas seções 5.4 e 5.5;
- Substituição do sensor indutivo NPN que detecta abertura e fechamento da caçamba por um sensor indutivo PNP de mesmas características e fabricante;
- Instalação de um inversor de frequência modelo CFW-10 Plus da WEG para controlar a rotação de um motor monofásico assíncrono de 220 VCA/0,5 cv. Motor esse que atua no funcionamento da esteira transportadora e que está acoplado a um redutor de escala 1:50;
- Instalação de dois sensores fotoelétricos ou ópticos tubulares difusos com invólucro de latão niquelado tipo PNP de 10 a 30 VCC / 200 mA da Tecnotron® com distância sensora de 200 mm. Ambos têm a função de detectar as embalagens que são movimentadas pela esteira transportadora;
- Instalação de um solenóide de 24 VCC / 1 A para fazer a seleção e separação das embalagens que receberão a dosagem;
- Instalação de um *buzzer* de 24 VCC para emissão sonora.

4.4 SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

Devido ao antigo sistema de controle não ser capaz de transmitir automaticamente dados do processo produtivo via rede industrial, surgiu a necessidade da utilização de uma nova metodologia, capaz de transmitir esses dados e controlar os sinais de sensores e atuadores de campo.

Para isso, foram levantadas no chão de fábrica e pela leitura de manuais técnicos as características elétricas de cada sinal a ser utilizado na leitura e acionamento dos sensores e atuadores, além da quantidade de portas necessárias para a comunicação com o CLP (Tabela 7) posteriormente, foi feita uma pesquisa mercadológica a fim de se obter um controlador lógico programável com IHM e comunicação em rede, que possibilitasse a programação em linguagem Ladder.

Tabela 7 – Elementos sensores e atuadores utilizados, características dos sinais do CLP e o número de portas necessárias para comunicação

Quantidade	Descrição	Característica	Nº de portas CLP	Característica da porta	Nível de tensão (VCC)
1	Solenóide	Atuador	1	Digital	24
1	Motor	Atuador	1	Digital	24
1	*Buzzer*	Atuador	1	Digital	24
1	Eletroímã	Atuador	1	PWM	24
1	Inversor de frequência	Atuador	1	Analógica	0 a 10
2	Sensor óptico	Sensor	2	Digital	24
1	Sensor indutivo	Sensor	1	Digital	24
1	Célula de carga	Sensor	1	Analógica	0 a 10

Depois de levantadas todas as características dos sensores e atuadores, fez-se necessário adquirir um CLP com no mínimo:

- 3 - Portas com entradas digitais e nível de tensão de 24 VCC;
- 1 - Porta com entrada analógica e nível de tensão de 0 a 10 VCC;
- 3 - Portas com saídas digitais e nível de tensão de 24 VCC;
- 1 - Porta com saída analógica e nível de tensão de 0 a 10 VCC;
- 1 - Porta com saída PWM e nível de tensão de 24 VCC;
- 1 - Porta para comunicação em rede;
- IHM integrada.

Para isso, foi adquirido um CLP modelo Lince® da Keylogix® (Figura 44) devido à facilidade encontrada pelo pesquisador em trabalhar com o mesmo, o custo reduzido quando comparado com outros modelos de mesmas características e principalmente por atender às necessidades do projeto.

Figura 44 – CLP Lince® da Keylogix® (KEYLOGIX, 2012)

As características técnicas do CLP Lince utilizado são basicamente:

- Display LCD 16x4 com *backlight* integrado ao próprio aparelho;
- Teclado numérico com teclas de funções especiais integrados ao próprio aparelho;
- Módulo com 8 portas de entradas digitais tipo PNP de 24 VCC / 10 mA cada porta;
- Módulo com 7 portas de saídas digitais tipo PNP de 24 VCC / 1 A cada porta;
- Módulo com 2 portas de entradas analógicas de 0 a 10 VCC / 10 *bits* de resolução em cada porta;
- Módulo com 1 porta de saída analógica de 0 a 10 VCC / 10 *bits* de resolução;
- Módulo com 4 portas de entradas analógicas de 0 a 10 VCC / 12 *bits* de resolução em cada porta;
- Módulo com 4 porta de saída analógica de 0 a 10 VCC / 12 *bits* de resolução em cada porta;
- Módulo com 1 porta de entrada rápida de 24 VCC e frequência máxima de 5 kHz;
- Módulo com 1 porta PWM de 24 VCC e frequência máxima de 5 kHz;
- 1 canal de comunicação serial RS232 para programação;
- 1 canal de comunicação serial RS485 para comunicação padrão Modbus;
- Relógio em tempo real incorporado;

- 80 kB de memória de programa;
- 32 kB de memória de dados;
- Processador RISC de 32 bits.

Conhecendo-se todas as características do CLP, foram escolhidas respeitando cada especificação técnica dos periféricos, as portas de comunicação conforme os diagramas elétricos representarão adiante.

Na Figura 45 é ilustrado como estão conectados os periféricos que utilizaram as saída digitais do Lince®.

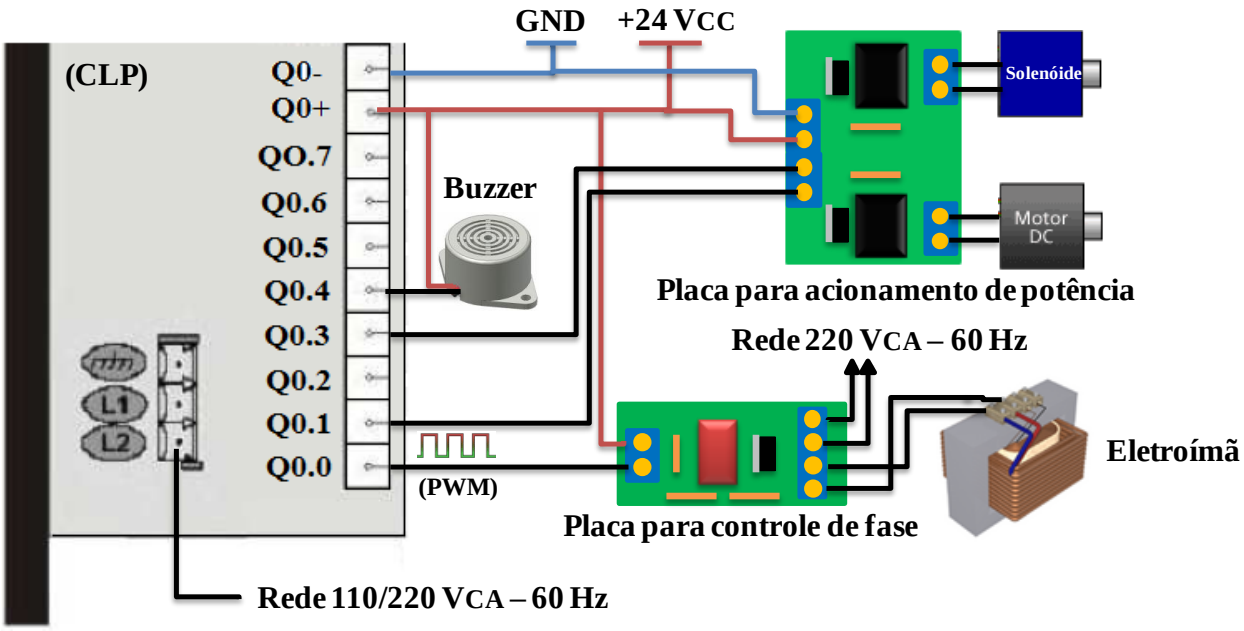


Figura 45 – Ilustração do CLP Lince® com seus respectivos periféricos de saídas digitais

Como se observa na Figura 45, os terminais L1, L2 e terra são utilizados para alimentar e aterrar o CLP Lince®, sendo possível conectá-lo tanto na rede elétrica 110 VCA / 60 Hz como na rede 220 VCA / 60 Hz.

Os pinos Q0- e Q0+ simbolizam a alimentação interna de 24 VCC das portas de saída do CLP, sendo Q0- ligado no GND da fonte e Q0+ ligado no +24 VCC.

A porta Q0.0 do Lince® está configurada de fábrica para trabalhar como gerador de sinal PWM, sendo a única porta do conjunto a exercer essa função. Esse sinal será gerado pelo CLP e convertido por uma placa de controle de fase para controlar indiretamente o campo eletromagnético do eletroímã.

A porta Q0.1 permitirá que um sinal digital de 24 VCC acione o motor para abertura e fechamento da caçamba por meio de uma placa de potência. Também por meio da placa de potência, Q0.3 acionará o solenóide de separação de embalagens.

A porta Q0.4 acionará um *buzzer* de 24 VCC quando a produção desejada for atingida.

A Figura 46 ilustra como estão conectados os sensores digitais nas portas de entrada do Lince®.

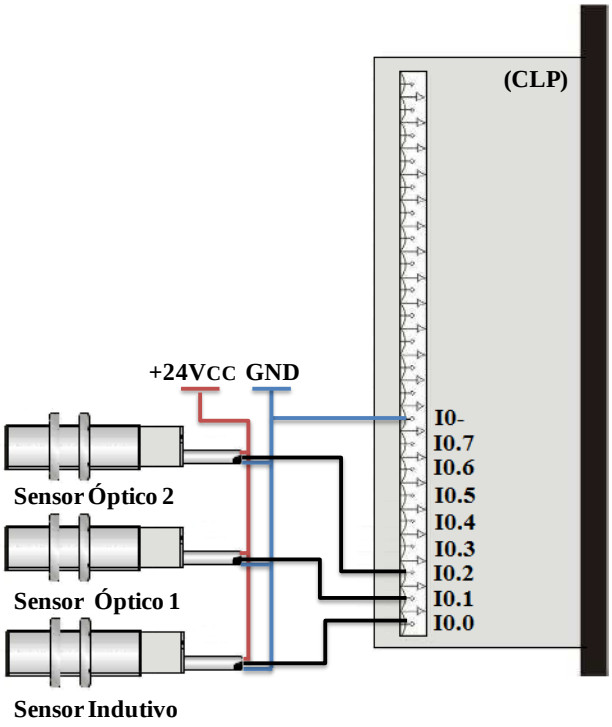


Figura 46 – Ilustração do CLP Lince® com a representação da ligação dos sensores digitais

Conforme representado na Figura 46, as entradas do CLP Lince® são acionadas com + 24 VCC, sendo I0.0 a porta de entrada que recebe o sinal digital do sensor indutivo, I0.1 a porta que recebe o sinal digital do sensor óptico 1 e I0.2 a porta de entrada digital que recebe o sinal do sensor óptico 2, já o terminal I0- é ligado no GND a fim de completar a alimentação interna das portas.

A Figura 47 ilustra como está conectado o condicionador de sinal na porta de entrada analógica do Lince®.

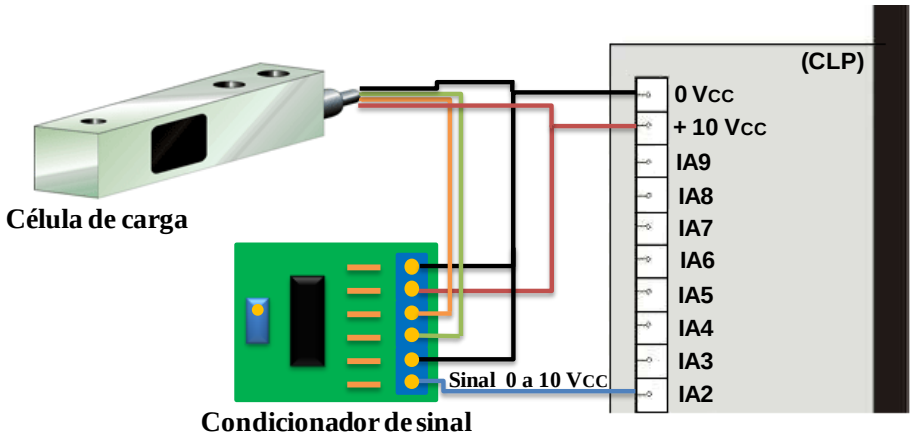


Figura 47 – Ilustração do CLP com a representação da ligação do condicionador de sinal na porta analógica do Lince®

Na Figura 47 observa-se que a porta de entrada IA2 do CLP recebe um sinal analógico de 0 a 10 VCC de tensão proveniente do circuito condicionador de sinal. Esse nível de tensão é convertido internamente no CLP por meio de um conversor A/D de 12 bits e posteriormente encaminhado pelos barramentos à unidade central de processamento do Lince®.

Os pinos 0 VCC e +10 VCC representam uma fonte de tensão interna do próprio CLP e que está sendo utilizada para alimentar a célula de carga e o condicionador de sinal.

A Figura 48 ilustra como está conectado o inversor de frequência na porta de saída analógica do Lince®.

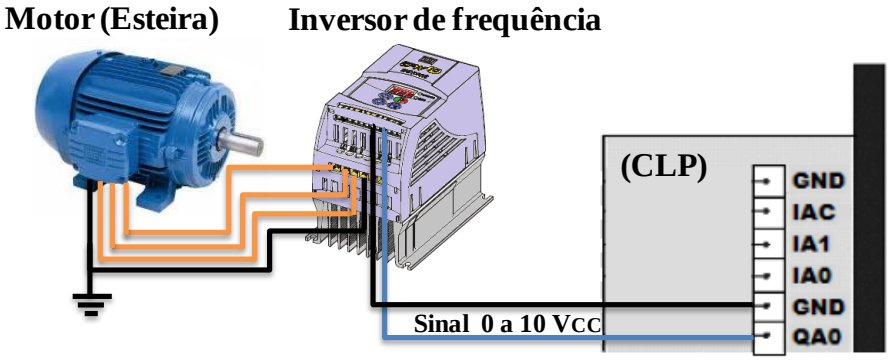


Figura 48 – Ilustração da ligação do inversor de frequência na porta de saída analógica do Lince®

Como se observa na Figura 48, a porta de saída QA0 do CLP envia um sinal analógico de 0 a 10 VCC de tensão para os terminais de controle do inversor de frequência, a fim de controlar a

rotação do motor elétrico que movimenta a esteira transportadora. Esse nível de tensão é proveniente de um conversor D/A de 10 bits que está instalado internamente na porta de saída do CLP. No item 4.6 serão detalhadas as ligações elétricas do inversor de frequência.

Com as ligações elétricas definidas e conhecendo-se todas as portas de entrada e saída do CLP, foi desenvolvido um novo fluxograma (Figura 49) com o objetivo de demonstrar a sequência operacional do novo processo e facilitar a programação do CLP.

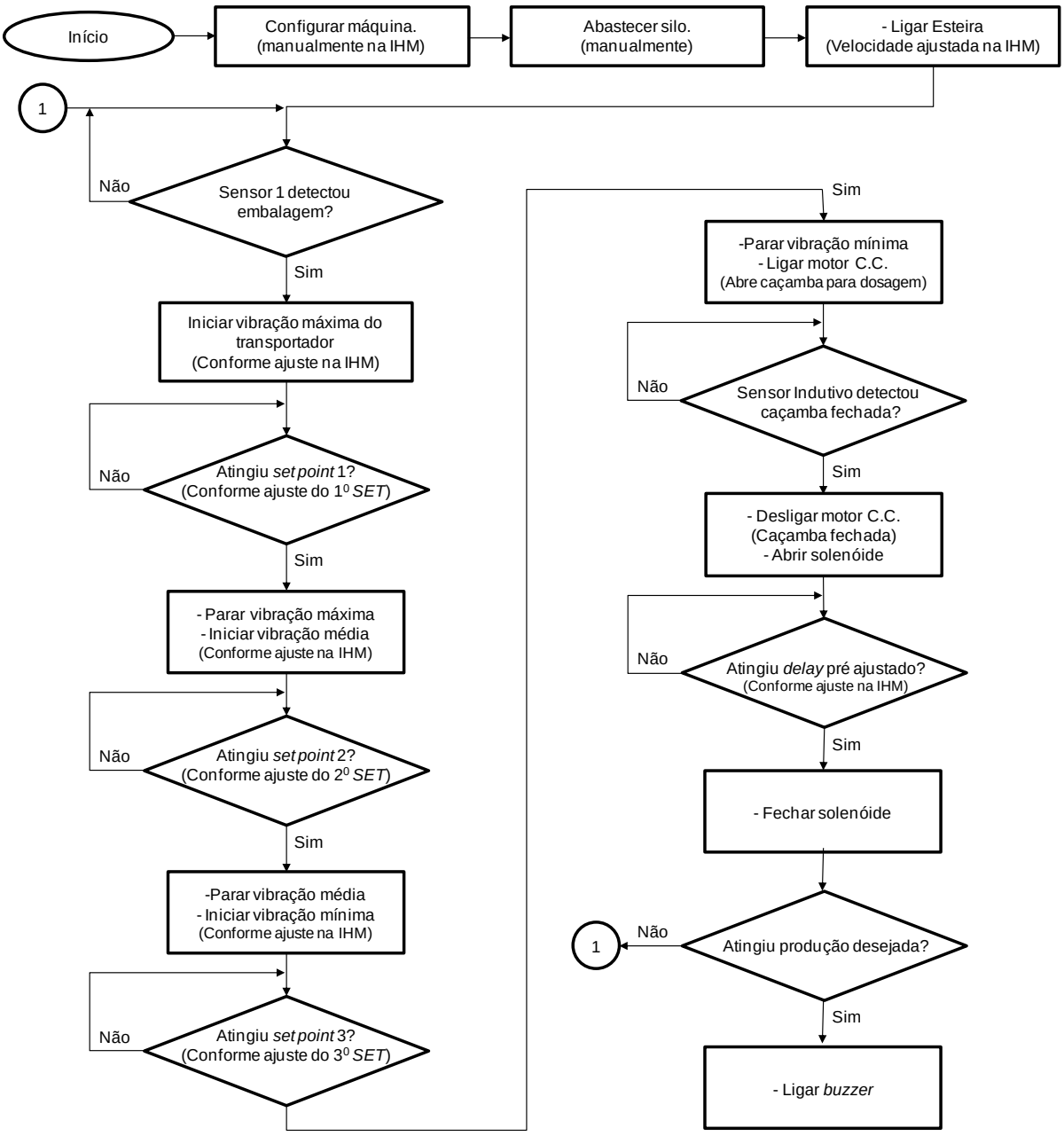


Figura 49 – Fluxograma do processo de dosagem proposto

Desenvolveu-se o fluxograma apresentado na Figura 49 a partir dos conhecimentos adquiridos anteriormente no processo de dosagem sem modificação e baseando-se nas alterações realizadas. Cabe ressaltar que o funcionamento lógico do sistema trabalha em um laço de repetição infinito, ou seja, o fim do processo só se dá pelo desligamento da máquina por meio de uma chave geral que corta toda alimentação do sistema, caso contrário, o ciclo se repetirá periodicamente.

Com base nesse fluxograma, criou-se as telas de navegação da IHM no aplicativo Keyprogram® disponibilizado gratuitamente pela Keylogix®. Com isso se torna possível a edição e a visualização de parâmetros do CLP por parte do usuário no ambiente fabril.

A IHM do CLP ficou dividida em nove telas na seguinte ordem:

- **Tela principal:** Apresentação da máquina;
- **Tela da esteira:** Campo de edição onde se define a velocidade da esteira;
- **Tela de temporização:** Campo de visualização e edição do tempo de acionamento e retorno do solenóide;
- **Tela de vibração:** Possui três campos onde são editadas as vibrações máxima, média e mínima;
- **Tela de *Set point*:** Há três campos de edição onde são inseridos os valores do primeiro, segundo e terceiro *set points*;
- **Tela do ajuste de zero:** Há um campo de edição onde é feito o ajuste de zero da balança;
- **Tela do modbus:** Há um campo de edição da taxa de transferência de dados (*baud rate*) entre o CLP e o aplicativo SCADA. Há também um campo de edição de endereço do CLP na rede, esse número indica ao SCADA para onde será endereçada a informação transmitida pela rede;
- **Tela de produção:** Há um campo de edição onde será indicada a produção máxima desejada (número de embalagens). Assim que esse número for atingido, a máquina emite um sinal sonoro por meio do *buzzer*. Há também dois campos de visualização, um para indicar o número de embalagens produzidas e outro para mostrar a quantidade de massa dosada dentro da caçamba;
- **Tela do ciclo de produção:** Possui um campo de visualização que indica o ciclo de produção para cada embalagem produzida.

A Figura 50 representa uma das telas de navegação da IHM do CLP e as características de cada campo utilizado.

Figura 50 – Representação da tela de vibração da IHM do CLP Lince® e as características de cada campo

A metodologia aplicada na sequência das telas de navegação da IHM partiu de sugestões obtidas por meio de entrevista coletiva de campo com os operadores.

Na mesma entrevista, os operadores sugeriram utilizar as teclas do CLP da seguinte maneira:

- F1 – Confirmar alteração de parâmetro na velocidade da esteira;
- F2 – Parar vibração;
- F3 – Zerar contagem de produção.

Estando todas as telas de navegação e teclas definidas e baseando-se no novo fluxograma do processo de dosagem, um programa em linguagem Ladder foi desenvolvido para executar de maneira lógica as atividades de controle do processo de dosagem. Essa linguagem foi utilizada por se basear em símbolos e esquemas elétricos de fácil compreensão e por possuir todos os recursos necessários para a aplicação pretendida.

A Figura 51 representa parte do programa desenvolvido em Ladder.

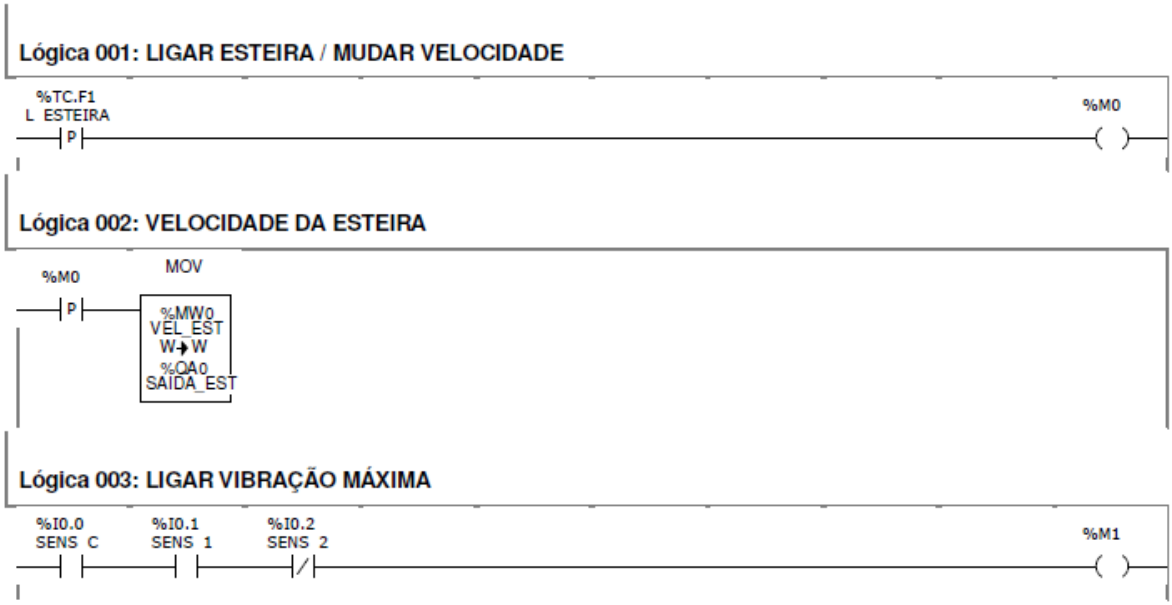


Figura 51 – Parte do programa desenvolvido em linguagem Ladder para o controle do processo de dosagem com CLP Lince®

A programação foi realizada por meio do aplicativo Keyprogram® e a gravação do programa pelo canal de comunicação RS232 do CLP.

Por meio do Keyprogram® pode-se tanto enviar o programa do computador para o CLP (*download*) como carregar o programa do CLP para o computador (*upload*), a uma taxa máxima de transmissão (*baud rate*) de 115200 bps.

Para que a comunicação ocorra, deve-se utilizar um adaptador DB9/RJ-11 de seis pinos, conforme representado na Figura 52.

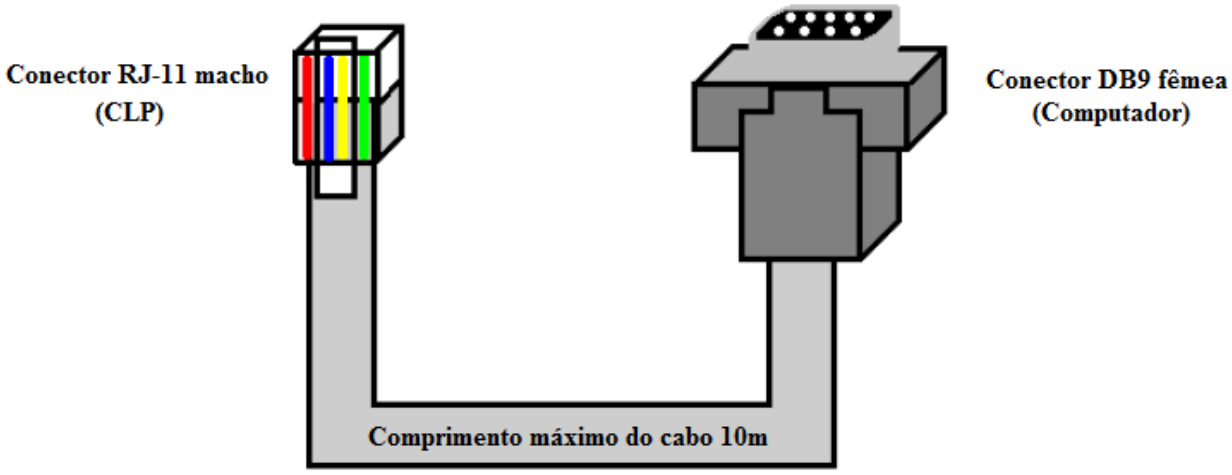


Figura 52 – Cabo de comunicação CLP/Computador

Para a confecção do cabo de comunicação, devem ser conectados os terminais 2, 3, 4, 5 e 7 do conector DB9 nos terminais 5, 4, 3, 2 e 1 do conector RJ-11, conforme ilustrado na Figura 53.

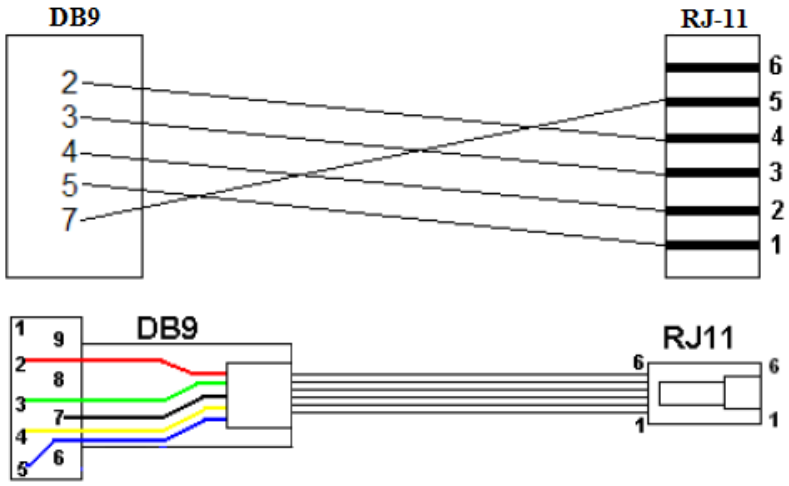


Figura 53 – Confecção do cabo de comunicação

4.5 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE SINAL E ACIONAMENTO DE POTÊNCIA

Para que o sistema de controle faça a aquisição dos dados e o controle do processo de campo, necessita-se de dispositivos que façam o interfaceamento entre o circuito de controle e os sensores e atuadores de processo.

Para isso foram desenvolvidas as seguintes interfaces:

- Condicionador de sinal;
- Placa para controle de fase;
- Placa para acionamento de potência.

4.5.1 CONDICIONADOR DE SINAL

Para o interfaceamento entre o CLP e a célula de carga modelo 5G® da Alfa Instrumentos® com capacidade nominal de 5 kg, sensibilidade de 2 mV/V e tensão de excitação de 10 VCC, foi desenvolvida e confeccionada uma placa de circuito eletrônico, cujo esquema desenhado no aplicativo NI Multisim 11® está representado na Figura 54.

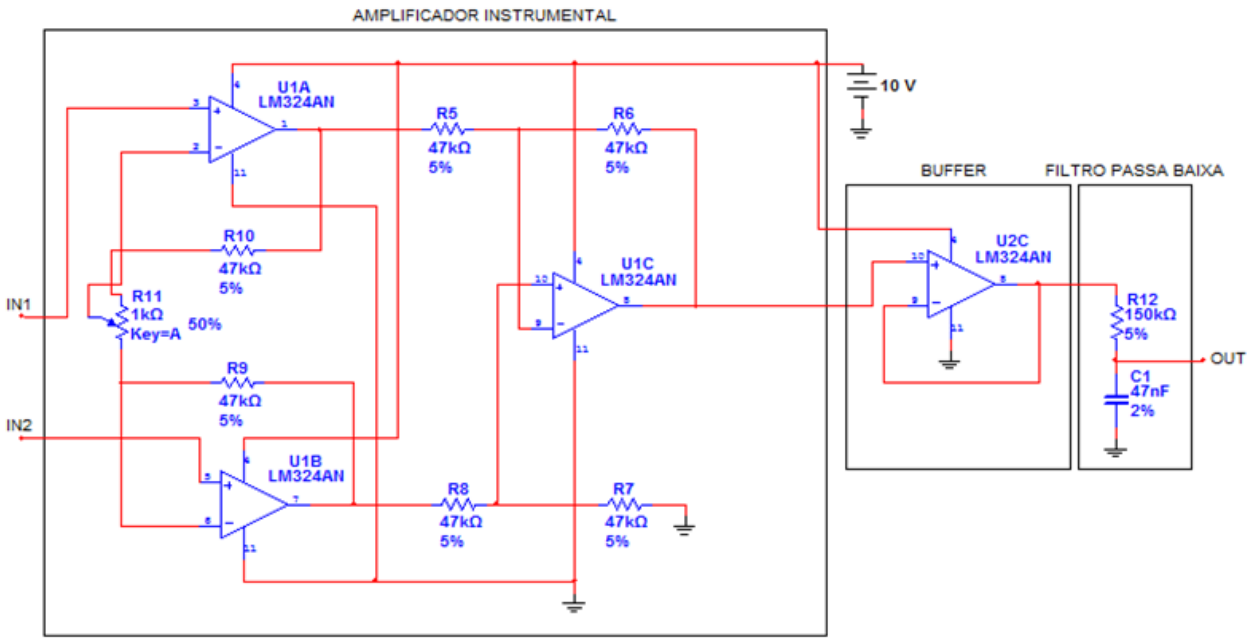


Figura 54 – Esquema eletrônico do condicionador de sinal

A placa alimentada pela própria fonte de 10 VCC do CLP como citado no item 4.4, possui um CI LM324N composto por quatro amplificadores operacionais, sendo três deles utilizados para amplificar a diferença de potencial elétrico na saída da célula de carga, visando o interfaceamento com o CLP, bem como diminuir os efeitos de ruído também sobre a saída da célula de carga. O outro amplificador operacional está configurado como seguidor de tensão (*buffer*), para fazer o casamento de impedâncias entre o condicionador e o CLP, pois o circuito amplificador instrumental possui baixa impedância na saída, diferentemente da entrada analógica do CLP que tem impedância na ordem de 10 kΩ.

Um filtro RC foi montado para eliminar possíveis interferências decorrentes de vibrações mecânicas da carga ou mesmo do impacto do peso contra balança, além da possibilidade do aterramento da célula de carga não ser suficiente pelo fato de estar instalada próxima à fonte de alimentação e à rede elétrica. Com isso evitam-se possíveis variações de tensão na entrada do CLP.

Um trimpot de 1 kΩ foi utilizado para fazer o ajuste de ganho do circuito, conforme demonstra a Equação (1).

$$G = \left(\frac{R_6}{R_5}\right) \times \left(\frac{2R_{10}}{R_{11}} + 1\right) \qquad (1)$$

Onde:

G – Ganho do amplificador [-];

R5, R6, R10 – Resistências utilizadas no amplificador [Ω];

R11 – Trimpot para ajuste do ganho do amplificador [Ω].

Quando a caçamba da ESAP-500® recebe material, a célula de carga deforma-se dentro do regime elástico e gera um sinal linear de no máximo 20 mV (quando com carga máxima de 5 kg). O condicionador de sinal por meio das entradas *IN*1 e *IN*2 que estão ligados aos terminais – V e +V da célula de carga, amplifica o sinal de acordo com o ganho ajustado no trimpot (R11) e envia esse sinal por meio do terminal de saída *OUT* da placa até a porta analógica IA2 do CLP.

4.5.2 PLACA PARA CONTROLE DE FASE

Este módulo, baseado no manual do MOC3023 faz a interface entre o dispositivo de controle e o dispositivo de vibração do transportador, de modo que os sinais PWM gerados pelo CLP façam o controle de fase da tensão 220 VCA / 60 Hz que alimenta o eletroímã. Com isso, se torna possível controlar indiretamente o campo eletromagnético que o eletroímã emite para excitar o sistema de transporte por vibração.

A Figura 55 representa o diagrama esquemático para o controle de fase da tensão que alimenta o eletroímã desenvolvido no aplicativo Proteus ISIS 7®.

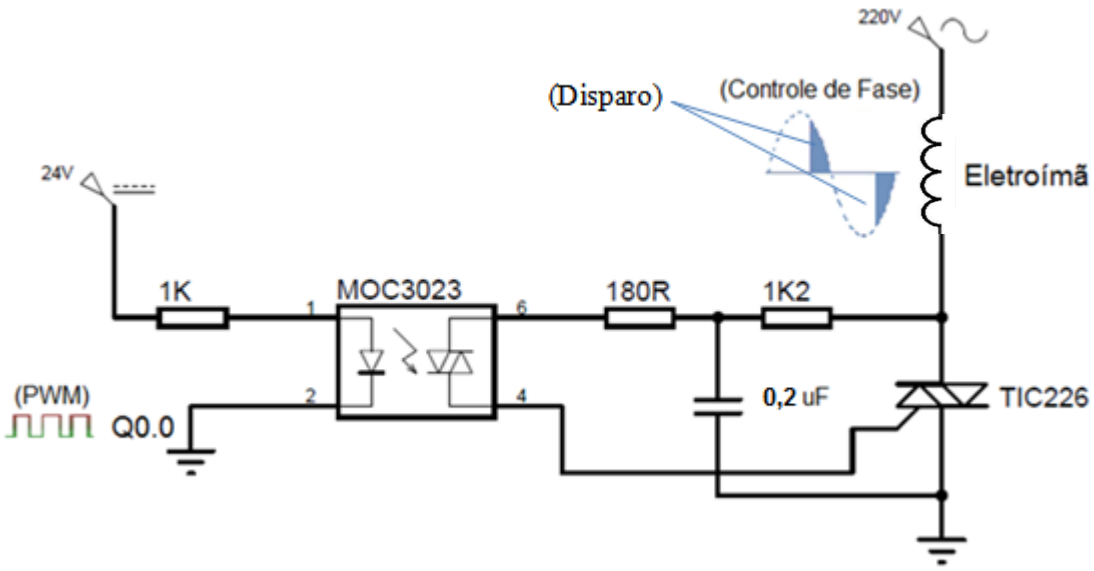


Figura 55 – Diagrama esquemático da placa para controle de fase do eletroímã

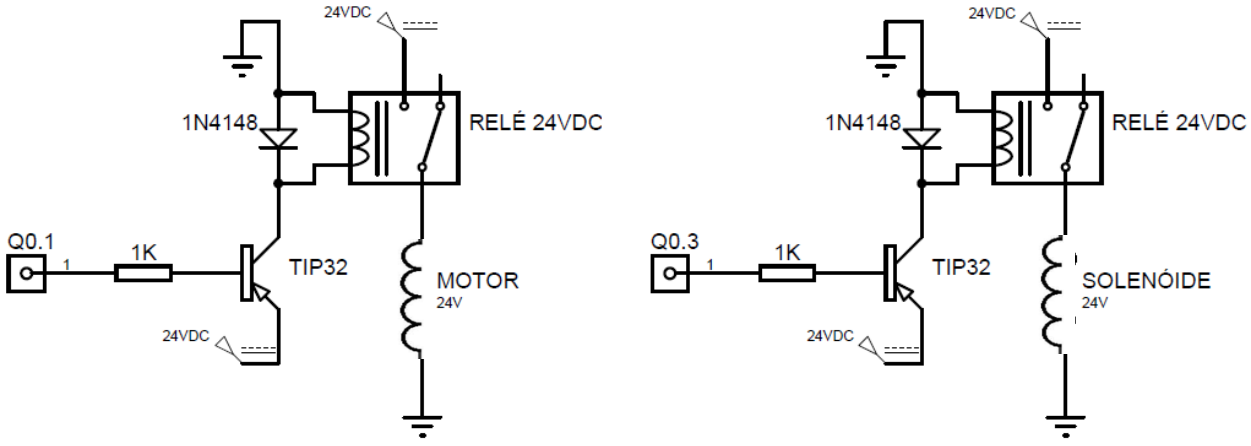
Por meio do optoacoplador MOC3023 esse circuito isola galvanicamente o CLP do circuito de potência. Toda vez que o sinal PWM estiver em nível lógico alto, o TRIAC (TIC226) dispara e inicia a condução do sinal da rede elétrica 220 VCA / 60 Hz que passa pelo eletroímã.

O resistor de 1,2 kΩ e o capacitor de 0,2 µF são utilizados como acoplador *Snubber* para evitar disparos não programados para altos valores de variação de tensão no tempo.

A porta Q0+ do CLP alimenta positivamente a placa com 24 VCC conforme representado anteriormente na Figura 45. Já a porta Q0.0 do CLP (ligada no pino 2 do CI e representada pelo símbolo de terra na Figura 55) é responsável por gerar o sinal PWM ao circuito.

4.5.3 PLACA PARA ACIONAMENTO DE POTÊNCIA

Para o interfaceamento entre o CLP e os atuadores motor de abertura e fechamento da caçamba e o solenóide de separação de embalagens, foi desenvolvida e confeccionada uma placa de circuito eletrônico, cujo diagrama esquemático obtido por meio do aplicativo Proteus ISIS 7® está representado na Figura 56.



(A) (B)

Figura 56 – Diagrama esquemático da placa para acionamento de potência dos atuadores da máquina: (A) acionamento do motor da caçamba; (B) acionamento do solenóide

Por meio dos transistores de potência TIP32, com corrente máxima de coletor de – 3 A, e dos relés de 24 VCC / 10 A é feito o acionamento de parte dos atuadores da ESAP-500®, quando a porta Q0.1 é acionada, o TIP32 trabalha como uma chave eletrônica que atraca o contato NF

(normal fechado) do relé de acionamento do motor da caçamba que, está sendo alimentado por 24 VCC pelas portas Q0- e Q0+ do CLP, já quando a porta Q0.3 é acionada, o efeito ocorre no acionamento do solenóide por meio do atracamento do contato NF do outro relé.

No momento em que o relé é desligado, as linhas de força de campo magnético geradas pela bobina interna que se encontra em seu estado de expansão máxima se contraem. Nessa contração, as espiras da bobina induzem uma corrente elétrica com polaridade oposta àquela que criou o campo e que pode atingir valores de tensão elevados. Para contornar esse problema, instalou-se um diodo polarizado inversamente em relação à tensão de acionamento. Assim, se no momento da interrupção da corrente ocorrer a indução de uma alta tensão nos extremos da bobina, o diodo, estando polarizado no mesmo sentido da tensão, apresentará uma baixa resistência, absorvendo a energia que poderia afetar o funcionamento do circuito.

4.6 SISTEMA DA ESTEIRA TRANSPORTADORA AUTOMÁTICA

Buscando transportar automaticamente as embalagens e integrar fisicamente os processos a fim de reduzir o transporte manual de materiais pela fábrica, foi montada uma esteira transportadora automática conforme ilustrado na Figura 57.

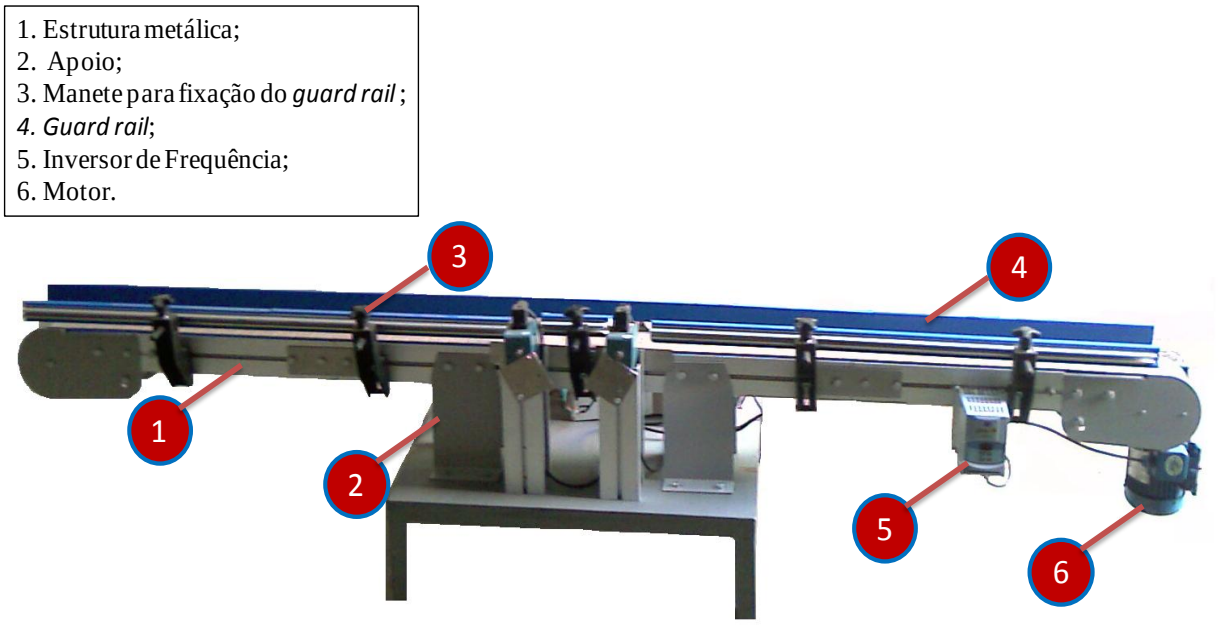


Figura 57 – Esteira transportadora automática

A esteira de estrutura metálica possui três metros de comprimento e pode transportar embalagens com até quinze centímetros de largura e oito centímetros de altura. Ela possui oito manetes ajustáveis para fixação dos *guard rails* que servirão como guias para as embalagens.

Para controlar a velocidade da esteira por meio do motor Voges® monofásico de 220 VCA/60 Hz de 0,5 cv, adquiriu-se um inversor de frequência modelo CFW-10 Plus® da WEG® (Figura 58) devido à facilidade encontrada pelo pesquisador em trabalhar com o mesmo, o custo reduzido quando comparado com outros modelos de mesmas características e por atender às necessidades do projeto.

Figura 58 – Inversor de frequência WEG® modelo CFW-10 Plus® (WEG, 2012)

As características técnicas do inversor WEG® são basicamente:

- Tensão de alimentação 200 a 240 VCA monofásico;
- Corrente nominal de saída 2,6 A (0,5 cv);
- 4 entradas digitais isoladas;
- 1 saída digital a relé programável;
- 1 entrada analógica isolada em tensão de 0 a 10 VCC e resolução de 7 bits;
- Interface de operação com diagnóstico e *display* de LED com três dígitos.

Conhecendo-se as características elétricas do inversor de frequência, foram realizadas as conexões de potência e controle, conforme representado nas Figuras 59 e 60.

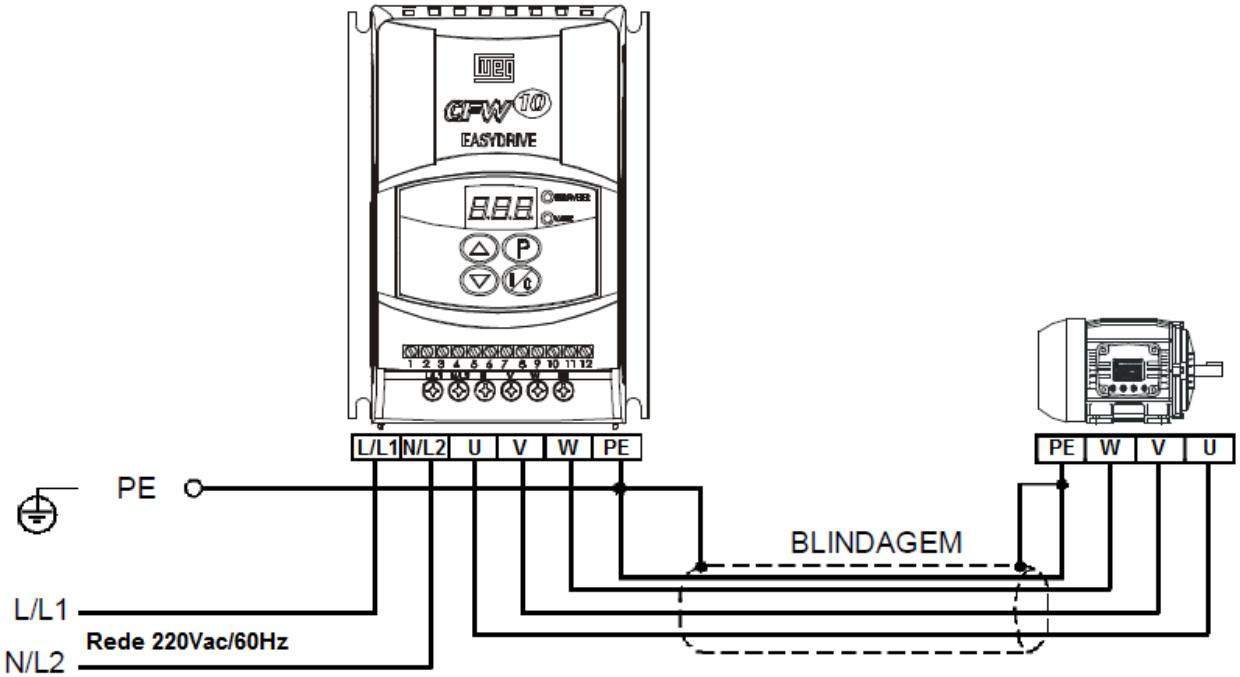


Figura 59 – Conexão de potência e aterramento do inversor de frequência (WEG, 2012)

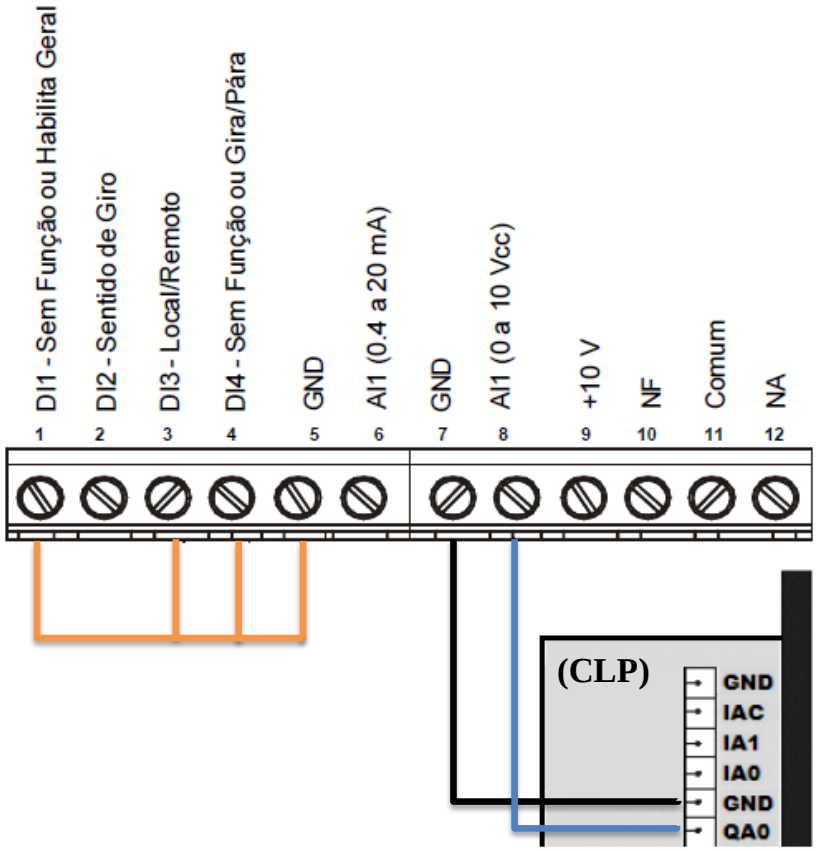


Figura 60 – Conexão de controle entre o CLP e o inversor de frequência

Como observa-se na Figura 59 a conexão de potência foi feita entre o inversor e o motor (bornes U, V e W) por meio de um cabo blindado com bitola de 0,5 mm^2, conforme especificado no manual do aparelho. Nas entradas L/L1 e N/L2 fez-se a conexão da rede elétrica de 220 VCA/60 Hz juntamente com o aterramento do terminal PE do inversor.

Na Figura 60 observa-se que a conexão de controle feita entre o CLP e o inversor de frequência se dá por meio dos bornes QA0 do CLP com o Al1 do inversor e da ligação em comum do GND de ambos os aparelhos. Quando o nível de tensão enviado pela porta QA0 está em 0 VCC, a esteira fica na velocidade mínima (conforme parâmetro P133), já quando o nível de tensão está em 10 VCC a esteira atinge a máxima velocidade (conforme parâmetro P134).

Os bornes Dl1, Dl3 e Dl4 são ligados em comum com o GND, nessa configuração, o inversor de frequência fica habilitado para girar o motor e o controle é feito remotamente via CLP. O borne Dl2 desligado faz o motor girar no sentido horário.

Os parâmetros mais relevantes utilizados para configuração do inversor de frequência seguem na Tabela 8.

Tabela 8 – Principais parâmetros de configuração do inversor de frequência

Parâmetro	**Descrição**
P00	Liberar acesso para alteração dos parâmetros.
P02	Indicar velocidade do motor.
P100	Tempo para acelerar linearmente.
P101	Tempo de desaceleração.
P133	Frequência mínima de saída do motor.
P134	Frequência máxima de saída do motor.
P222	Parametrizar em zero ativa inversor em modo remoto.
P234	Ganho da entrada analógica Al1.
P235	Sinal de entrada analógica. Quando parametrizado em zero, habilita controle de 0 a 10 VCC.
P236	*Offset* da entrada analógica Al1.

Para que a velocidade da esteira representada na IHM do CLP, em cm/s, seja equivalente à velocidade real, utiliza-se o diagrama de blocos da entrada analógica (Al1) do inversor de frequência representado na Figura 61.

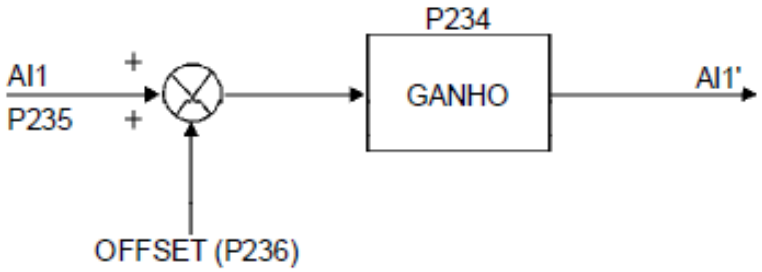


Figura 61 – Diagrama de blocos da entrada analógica Al1 do inversor de frequência (WEG, 2012)

A Equação (2) define o sinal da entrada analógica Al1.

$$Al1' = \left(\frac{Al1}{10} + \frac{Offset}{100}\right) \times Ganho \qquad (2)$$

Onde:

Al1’ – Valor interno que define a referência de frequência a ser utilizada pelo inversor.

Al1 – Valor do sinal de entrada do inversor [V];

Offset – Definido pelo parâmetro 236 do inversor;

Ganho – Definido pelo parâmetro 234 do inversor.

4.7 SISTEMA SUPERVISÓRIO (SCADA)

O aplicativo de supervisão Elipse SCADA® foi escolhido devido à facilidade que o mesmo tem em se integrar via rede industrial Modbus com o CLP adotado e também por ser gratuito quando utilizado até 20 *tags*. Com o Elipse SCADA® torna-se possível armazenar automaticamente os dados de produção, além de possibilitar a visualização e a edição de parâmetros do processo, como:

- Visualização da abertura e fechamento da caçamba;
- Visualização e armazenamento do ciclo de produção;
- Visualização e armazenamento da data e hora da produção;
- Visualização da presença de embalagem na esteira;
- Visualização da massa dosada;
- Visualização e armazenamento da produção realizada;

- Visualização de alarme caso ocorram excessos de produção;
- Edição da quantidade de produção.

A Figura 62 ilustra a tela do SCADA com os elementos de visualização e edição do processo de dosagem.

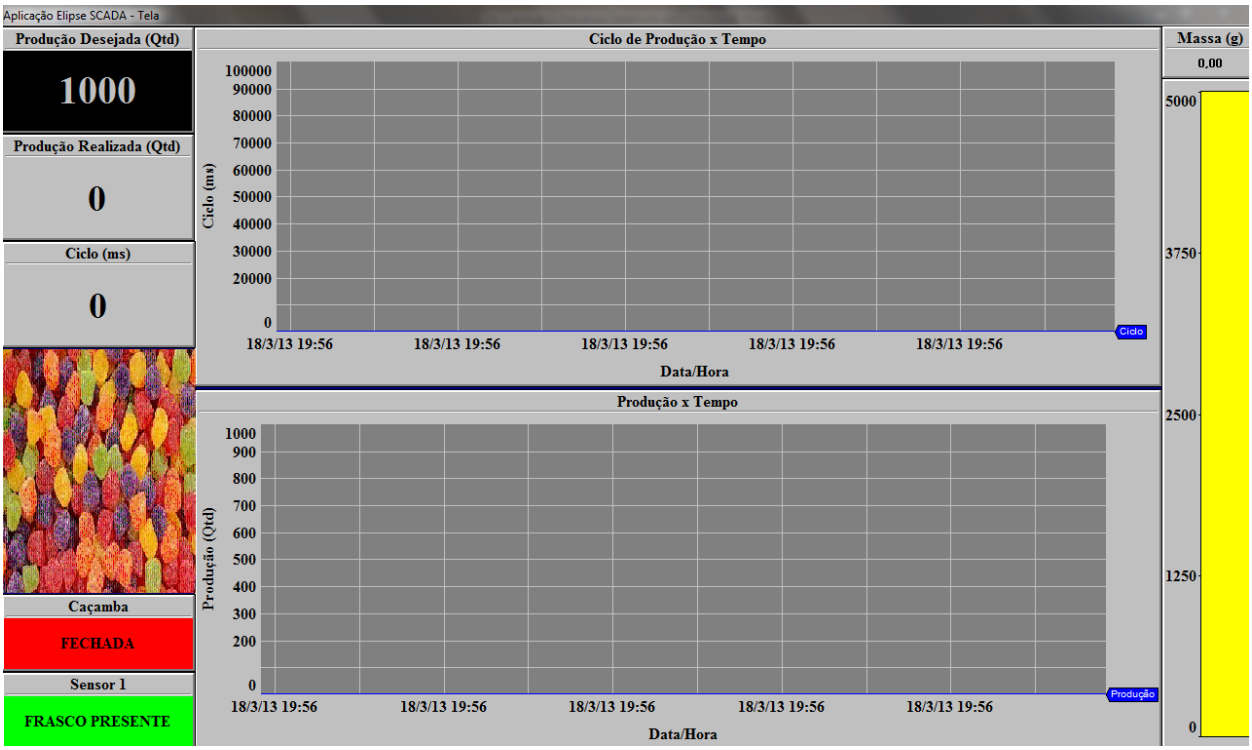


Figura 62 – Tela do SCADA

4.8 SISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE DADOS VIA PROTOCOLO MODBUS

Para comunicar remotamente o CLP com o computador onde está sendo executado o aplicativo SCADA, uma rede industrial com padrão de comunicação serial RS485 *half-duplex* com protocolo de comunicação Modbus foi instalada para transmitir automaticamente os dados de produção até os níveis de supervisão.

De modo a tornar a comunicação possível, um conversor USB/serial RS485 da Comm5® (Figura 63) foi adquirido. O conversor permite que os sinais transmitidos via protocolo Modbus pelo CLP, sejam convertidos para o padrão USB do computador onde está sendo executado o aplicativo SCADA. O mesmo vale no sentido oposto, ou seja, do computador para o CLP.

Figura 63 – Conversor USB/serial RS485 (COMM5, 2010)

As características técnicas do conversor são basicamente:

- Uma porta serial assíncrona padrão RS485;
- Uma porta USB;
- Velocidade máxima de comunicação 460 kbps;
- Distância máxima recomendada 1200 m (distância real 1,5 m);
- Proteção contra surto de tensão de 10 kV na serial;
- Auto alimentação na porta USB (40 mA);
- Temperatura de operação de 0 ^{0}C a 55 ^{0}C.

Os transmissores e receptores aplicados nessa interface utilizam a diferença entre os níveis de tensão em cada condutor do par trançado (cabo utilizado na comunicação) como informação. Os códigos binários são identificados pelas polaridades positiva ou negativa da diferença de tensão entre os condutores do par, isso é, quando a tensão no condutor positivo é maior que a do condutor negativo, caracteriza-se nível lógico um, já quando a tensão do condutor negativo for maior, caracteriza-se nível lógico zero.

A rede opera a uma velocidade máxima de 115200 bps limitada pelo aplicativo SCADA, possui um comprimento de 2,0 m sendo 0,5 m do cabo par trançado sem blindagem e 1,5 m do adaptador, os resistores de terminação utilizados para atenuar reflexões que distorcem os dados transmitidos, aumentar os limites de velocidade e/ou comprimento da rede não são necessários nesse caso, porém já estão incorporados ao conversor. A bitola utilizada para os condutores é de 0,2 mm^2 conforme especificação mínima feita pelo fabricante do conversor.

A partir das características físicas, foi feita a ligação da rede, conforme especificado na Figura 64.

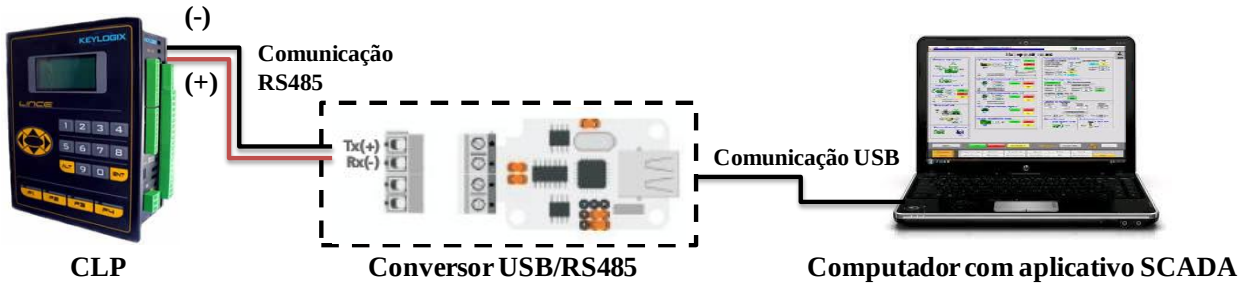


Figura 64 – Configuração da rede Modbus

A transmissão de dados do computador com aplicativo SCADA para o CLP ocorreu por meio da conexão do terminal Tx (+) do conversor com o borne (-) do CLP. Já a transmissão de dados do CLP para o computador ocorreu ligando-se o terminal Rx (-) do conversor ao borne (+) do CLP.

Com a rede fisicamente instalada, fez-se a seguinte configuração na tela de manutenção do CLP:

- Bit S3 foi colocado em nível lógico alto para habilitar a comunicação do CLP com o computador. Nessa configuração o CLP se comportar como elemento escravo da rede e o computador com o aplicativo SCADA como elemento mestre.

Por meio dos parâmetros SW3, SW4 e SW6 do CLP torna-se possível nas respectivas ordens visualizar o número de pacotes válidos recebidos, o número de pacotes inválidos recebidos e o número de pacotes enviados independente do sucesso de envio.

Os parâmetros SW21 e SW22 permitem nas respectivas ordens configurar a taxa de transferência de dados (*baud rate*) e endereçar o dispositivo na rede.

A Equação (3) representa o cálculo interno realizado pelo CLP para configuração do *baud rate*.

$$Baud\ rate = \mathrm{SW21} \times 10 \qquad (3)$$

5. RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão descritos os resultados obtidos na implementação das melhorias da balança de dosagem industrial ESAP-500®. Para isso, o capítulo foi dividido da seguinte forma:

- Circuitos desenvolvidos;
- CLP com as telas de navegação e periféricos de campo;
- Esteira transportadora automática;
- Comunicação Modbus entre o CLP e o Elipse SCADA®;
- Ciclo médio de produção.

5.1 RESULTADOS DOS CIRCUITOS DESENVOLVIDOS

Para o interfaceamento entre o dispositivo de controle (CLP) e os periféricos (inclui-se célula de carga, eletroímã, motor da caçamba e solenóide), existem três módulos:

- Condicionador de sinal;
- Placa para o controle de fase;
- Placa para acionamento de potência.

As descrições e resultados de cada interface são mostrados nos itens 6.1.1 a 6.1.3.

5.1.1 RESULTADOS DO CONDICIONADOR DE SINAL

A utilização do condicionador de sinal permite que, os níveis de tensão emitidos pela célula de carga possam ser amplificados acima de 100 vezes. Possibilitando ao CLP a interpretação de pequenas variações de massa medidas pela célula de carga.

A calibração do dispositivo foi realizada variando-se o trimpot de 1 kΩ representado na Figura 54 por R11 e adicionando-se porções de massas conhecidas, com valores entre 4,9 g até 5,0 kg conforme a capacidade nominal máxima da célula de carga e o peso médio mínimo de uma bala de mascar. As respostas obtidas por meio da leitura da saída do condicionador de sinal, a partir da utilização de um multímetro Icel® modelo MD-1700® com exatidão nas escalas de corrente contínua na ordem de ± (0,5 % + 5 d) seguem representadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados obtidos nos ensaios do condicionador de sinal

		Teórico			Prático		
R11 (Ω)	**Massa (g)**	**Ganho**	**Tensão de saída da célula de carga (mV)**	**Tensão de saída do condicionador (mV)**	**Tensão de saída do condicionador (mV)**	**Ganho**	**Erro (mV)**
200	5000,0	472	20,000	9440,0	9357,4	468	82,56
200	2500,0	472	10,000	4720,0	4672,1	467	47,88
200	1250,0	472	5,000	2360,0	2326,3	465	33,70
200	625,0	472	2,500	1180,0	1164,0	466	16,03
200	312,5	472	1,250	590,0	579,6	464	10,36
200	156,3	472	0,625	295,0	287,7	460	7,30
200	78,1	472	0,313	147,5	145,9	467	1,58
200	39,1	472	0,156	73,8	72,2	462	1,55
200	19,5	472	0,078	36,9	36,5	467	0,38
200	9,8	472	0,039	18,4	18,1	464	0,32
200	4,9	472	0,020	9,2	9,1	466	0,11
					Ganho e erro médio real	465	18,34

A Figura 65 representa graficamente os resultados obtidos nos ensaios do condicionador de sinal.

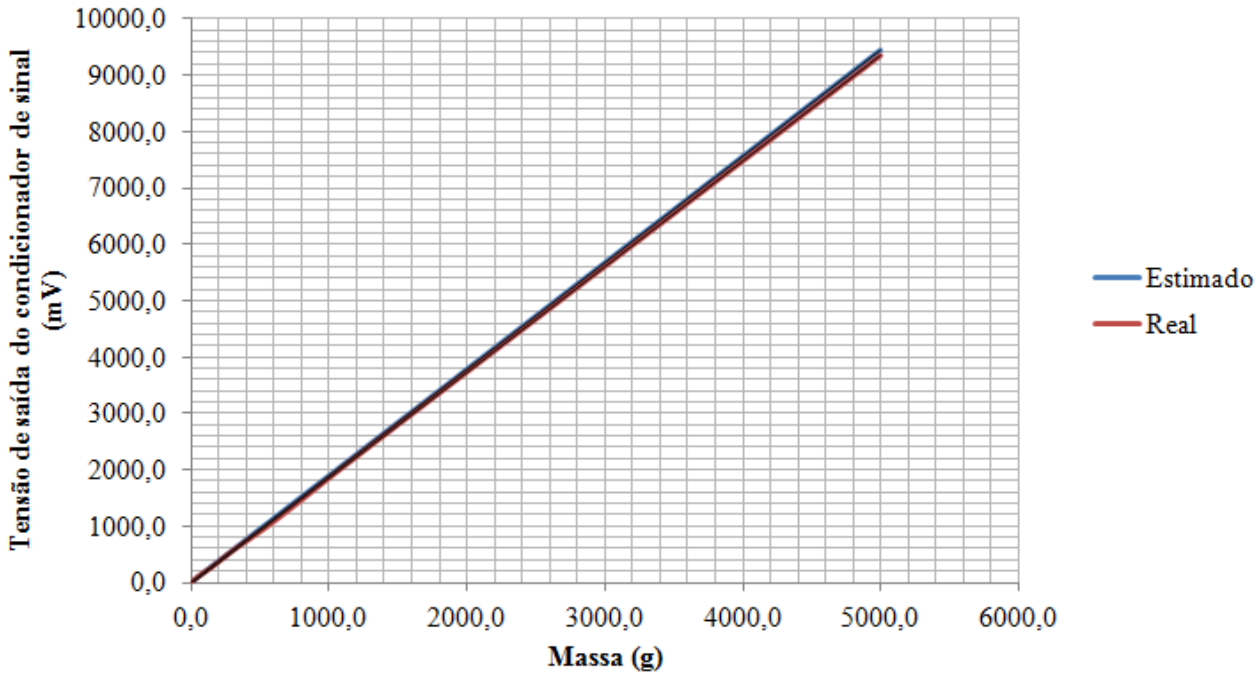


Figura 65 – Representação gráfica dos resultados obtidos no ensaio do condicionador de sinal

O ensaio sugere que a célula de carga quando submetida à carga nominal mínima de 4,9 g, terá tensão de saída amplificada pelo condicionador igual a 9,1 mV, já quando à carga nominal

for máxima (5 kg), a tensão amplificada será de 9357,4 mV. Isso é valido para R11 calibrado com resistência de 200 Ω, onde o ganho e o erro médio obtidos pelo amplificador foram de 465 e 18,34 mV, sendo que os erros calculados representam a diferença entre a tensão de saída teórica do condicionador com a tensão de saída real do condicionador de sinal.

O ensaio indica ainda que os valores reais medidos, quando comparados com os valores estimados, levantados por meio do produto do ganho teórico do amplificador, Equação (1), e a tensão teórica de saída da célula de carga (retirado do manual), possuem valores próximos e que também variam linearmente.

A regressão linear real entre o valor de massa na balança e a tensão amplificada resultou na Equação (4).

$$V_{out} = 1{,}8721 \text{ x m} \qquad (4)$$

Onde:

V*out* – Tensão de saída do condicionador de sinal [mV];

m – Massa (carga) sobre a célula de carga [g].

Os erros encontrados deverão ser minimizados a partir de um melhor ajuste e calibração em novos aprimoramentos do sistema implantado.

5.1.2 RESULTADOS DA PLACA PARA CONTROLE DE FASE

Com a utilização de uma placa para controle de fase da potência CA do eletroímã, permite-se controlar indiretamente a vibração do transportador da ESAP-500®, consequentemente o tempo de transporte das balas de mascar e o ajuste fino de dosagem.

O ensaio foi realizado aplicando-se à entrada da placa, sinais PWM com frequências constantes de 5 kHz até 1 Hz, conforme os limites máximo e mínimo estipulados pelo fabricante do CLP. Todos os *set points* foram ajustados para 125 g e para cada caso, foi levantado o ciclo de transporte de balas de mascar do silo até a caçamba e o erro da massa dosada que foi calculado a partir da diferença entre a massa obtida e a massa ajustada no *set point* 3. As respostas estão representadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados do ensaio realizado com a placa para controle de fase

Vibração 1 (Hz)	Vibração 2 (Hz)	Vibração 3 (Hz)	Set point 1 (g)	Set point 2 (g)	Set ponit 3 (g)	Ciclo (s)	Massa (g)	Erro (g)
5000	5000	5000	125,0	125,0	125,0	8,03	194,9	69,9
4000	4000	4000	125,0	125,0	125,0	8,00	194,8	69,8
3000	3000	3000	125,0	125,0	125,0	8,05	195,0	70,0
2000	2000	2000	125,0	125,0	125,0	7,60	194,7	69,7
1000	1000	1000	125,0	125,0	125,0	7,30	193,9	68,9
900	900	900	125,0	125,0	125,0	7,35	193,7	68,7
800	800	800	125,0	125,0	125,0	7,31	194,0	69,0
700	700	700	125,0	125,0	125,0	7,20	190,7	65,7
600	600	600	125,0	125,0	125,0	6,91	188,5	63,5
500	500	500	125,0	125,0	125,0	6,73	189,2	64,2
400	400	400	125,0	125,0	125,0	5,97	189,6	64,6
300	300	300	125,0	125,0	125,0	5,49	191,6	66,6
200	200	200	125,0	125,0	125,0	5,46	194,3	69,3
100	100	100	125,0	125,0	125,0	4,92	240,0	115,0
90	90	90	125,0	125,0	125,0	5,62	243,1	118,1
80	80	80	125,0	125,0	125,0	5,58	233,0	108,0
70	70	70	125,0	125,0	125,0	5,24	227,3	102,3
60	60	60	125,0	125,0	125,0	5,30	243,0	118,0
50	50	50	125,0	125,0	125,0	4,95	222,6	97,6
40	40	40	125,0	125,0	125,0	9,60	170,8	45,8
30	30	30	125,0	125,0	125,0	9,45	164,4	39,4
20	20	20	125,0	125,0	125,0	3,20	230,0	105,0
16	16	16	125,0	125,0	125,0	2,01	286,3	161,3
15	15	15	125,0	125,0	125,0	1,95	287,7	162,7
14	14	14	125,0	125,0	125,0	2,03	286,6	161,6
10	10	10	125,0	125,0	125,0	4,87	158,2	33,2
5	5	5	125,0	125,0	125,0	5,70	155,9	30,9
3	3	3	125,0	125,0	125,0	13,21	144,4	19,4
2	2	2	125,0	125,0	125,0	12,95	139,1	14,1
1	1	1	125,0	125,0	125,0	14,88	126,3	1,3

O ensaio mostrou que para uma frequência PWM de 15 Hz gerada pelo CLP, o ciclo de dosagem tem o menor valor dentre todos os ensaiados, porém a maior relação de erro entre a massa dosada e a desejada. Já para uma frequência PWM de 1 Hz, o erro de massa de 1,3 g foi considerado o menor dentre todos os valores levantados, no entanto, com 14,88 s, o ciclo de dosagem foi o valor mais alto obtido no ensaio. Isso implica que ao utilizar-se a frequência PWM de 15 Hz, o deslocamento de balas terá uma maior velocidade, porém, para que a dosagem tenha maior precisão, é necessário aplicar um valor pequeno de frequência PWM.

Ainda pelo ensaio, é possível notar que para frequências abaixo de 10 Hz, a precisão de dosagem aumenta, assim como o ciclo.

Na faixa de frequência que varia de 5 kHz a 200 Hz, os erros de dosagem se mostraram altos, porém a variação entre eles se mostrou pequena. Já o ciclo entre eles caiu relativamente à medida que a frequência diminuiu.

Entre 100 Hz e 50 Hz, o erro de dosagem se mostrou entre os mais altos de todo o ensaio, os ciclos tiveram valores até a cima dos obtidos com frequências com erro de dosagem menor.

Quando a frequência foi ajustada em 40 Hz e 30 Hz, obteve-se um erro de dosagem ainda alto, porém com valores a baixo quando comparados com as frequências maiores. Já o ciclo se mostrou maior.

5.1.3 RESULTADOS DA PLACA PARA ACIONAMENTO DE POTÊNCIA

A utilização da placa para acionamento de potência serve como interface para acionar o solenóide e o motor da caçamba, a partir de um sinal contínuo gerado pela porta de saída do CLP.

O ensaio se deu a partir da aplicação de sinais digitais do CLP, nas portas de entrada da placa. Foram verificados nas saídas, os acionamentos realizados cada vez que uma das portas era acionada.

Quando a porta Q0.1 do CLP entrava em modo ativo, a placa respondia bem e o motor da caçamba passava a funcionar, já quando a porta Q0.3 do CLP esteve ativa, o solenóide que faz as seleções das embalagens cheias e vazias na esteira, passa a atuar, mantendo-se recuado até que a porta Q0.3 volte ao estado inativo. Nesse momento, por força de uma mola interna, o solenóide volta ao estado fechado, bloqueando a passagem de embalagens na esteira.

5.2 RESULTADOS DO CLP COM AS TELAS DE NAVEGAÇÃO E OS PERIFÉRICOS DE CAMPO

Com a criação das telas de navegação para a exibição e edição de dados do processo, a supervisão se torna muita mais simples e intuitiva, permitindo que o sistema seja supervisionado não apenas por computador, mas também por meio de uma IHM de campo, possibilitando assim uma maior flexibilidade no chão de fábrica.

Na Figura 66 é mostrada uma das telas de navegação projetada para a exibição e edição dos parâmetros de processo.

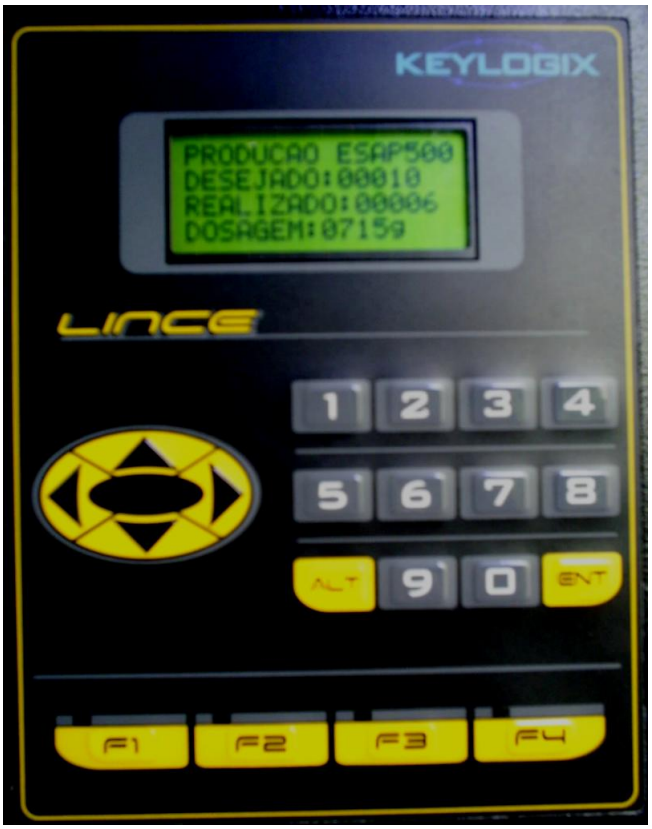


Figura 66 – Representação de uma das telas de navegação da IHM

A IHM por ser composta de um *display* LCD 16x4 e teclado numérico, não permite a visualização gráfica do processo, muito menos a manipulação *touch screen*, no entanto é de fácil compreensão e manipulação, não exigindo grandes conhecimentos por parte do operador uma vez que foi desenvolvida para trabalhar de maneira intuitiva.

A tela principal se mostrou eficiente, pois apresenta de maneira simples a máquina ao usuário.

As teclas F1, F2, F3 e as teclas para seleção das telas de navegação responderam bem aos comandos e não apresentaram qualquer tipo de problema.

Todos os campos de edição satisfizeram aos comandos enviados via teclado, uma vez que para cada informação digitada, visualizava-se quase que instantaneamente o valor correto no *display*. Para cada campo editado, foi levantado por meio de medidas com osciloscópio ou multímetro o valor equivalente nas portas de saída do CLP, sendo todos os dados fiéis aos inseridos nos campos de edição.

Os campos de visualização responderam bem às variações de processo, principalmente na leitura dos sensores, contagem de produção, na cronometragem do ciclo de processo e na massa de balas dosada.

5.3 RESULTADOS DA ESTEIRA TRANSPORTADORA

Com a instalação da esteira, fica mais simples e rápido o deslocamento de embalagens entre as etapas do processo, permitindo assim, à integração física da fábrica e a eliminação do acúmulo de embalagens ao redor da máquina.

Para que a esteira se desloque com a mesma velocidade indicada na IHM do CLP, a uma unidade estabelecida de cm/s, foi necessário parametrizar o inversor de frequência, conforme representa a Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros do inversor de frequência para controle de velocidade da esteira

Parâmetro	Valor	Descrição
P100	05,0	Tempo para acelerar linearmente de 0 até a frequência nominal (Ajuste em P145).
P101	05,0	Tempo de desaceleração.
P133	00,0	Frequência mínima de saída do motor.
P134	300	Frequência máxima de saída do motor.
P145	60,0	Frequência nominal.
P222	00,0	Parametrizar em zero ativa inversor em modo remoto.
P234	70,0	Ganho da entrada analógica Al1.
P235	00,0	Sinal de entrada analógica. Quando parametrizado em zero, habilita controle de 0 a 10 VCC.
P236	00,0	*Offset* da entrada analógica Al1.

Para cada valor de velocidade inserido na IHM do CLP, foi feita a medição da velocidade da esteira utilizando-se de um tacômetro de mão PCE – T236® com contato. As medições apresentaram equivalência entre os valores indicados na IHM e os medidos pelo aparelho.

Quando a velocidade da esteira foi colocada acima de 55,0 cm/s, ocorreram pequenos agarramentos da plataforma deslizante de polipropileno junto à estrutura metálica da esteira. À medida que a velocidade era aumentada, os agarramentos eram mais fortes e frequentes.

Pelos testes, foi possível atingir uma velocidade máxima de 99,9 cm/s, porém devido aos fortes agarramentos da plataforma, as velocidades acima de 55,0 cm/s foram descartadas. Ficando, portanto, a esteira podendo trabalhar a uma velocidade que varia de 0,0 a 55,0 cm/s.

Os manetes e os *guard rails* tiveram fácil manuseio e se ajustaram bem tanto ao tipo de embalagem transportada, como a inserção dos sensores ópticos e do solenóide. Em todos os testes realizados, em nenhum momento houve queda ou perda de alguma embalagem cheia ou vazia.

Com a instalação da esteira, não se tornou mais necessária a presença de uma pessoa controlando o processo da ESAP-500®, eliminou-se o transporte manual das embalagens e os estoques no entorno da máquina. Com isso, problemas por afastamento de operadores, atrasos na produção por falta de transporte do material processado, perdas no transporte de embalagens e dificuldades de deslocamento no entorno da máquina não foram observados durante os ensaios.

A mesa e o bocal de aço em forma de funil se adaptaram à estrutura da máquina e à esteira transportadora. Porém devido à altura um pouco elevada entre a saída da caçamba e a esteira, notou-se um impacto um pouco grande no momento em que as balas caíam no recipiente. Em um ensaio com 36 embalagens recebendo dosagem sequencialmente, 19,4 % delas tiveram ao menos uma bala saltando para fora da embalagem no momento da dosagem. O maior número de balas para fora da embalagem foi de cinco.

O solenóide se mostrou eficiente no bloqueio e liberação das embalagens e respondeu bem aos sinais vindos do CLP. Para um ensaio utilizando-se embalagens vindas sequencialmente, o resultado foi de 100 % de aprovação.

5.4 RESULTADOS DA COMUNICAÇÃO MODBUS ENTRE O CLP E O ELIPSE SCADA®

A rede permite que os dados coletados pelo CLP (escravo da rede) sejam enviados por meio de um protocolo de comunicação modbus e padrão de comunicação serial RS485 a um computador mestre que estará executando o aplicativo Elipse SCADA®, onde são registrados e supervisionados automaticamente os dados de processo.

O ajuste da taxa de transmissão (*baud rate*) e o endereço do CLP na rede são feitos por meio da edição dos campos da tela de navegação modbus, criada para ser acessada pelo usuário por meio da IHM do CLP (Figura 67).

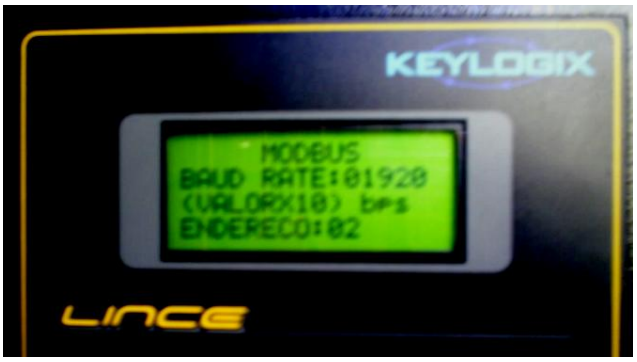


Figura 67 – Tela de navegação do modbus

Todas as vezes que a tela de navegação do modbus foi acessada, as funções de edição funcionaram como o esperado e a taxa de transmissão inserida foi realmente a desejada, pois a partir do menu principal do Lince® foi possível verificar a taxa de transmissão real da rede no momento em que ela se apresentava em funcionamento.

Para que a comunicação entre o CLP e o SCADA funcione corretamente, foi necessário configurar no *organizer* do Elipse SCADA®, cada *tag* do CLP. Em todas as configurações foi inserido o *driver* de comunicação da rede, o endereço do CLP e o tempo para leitura do valor de cada *tag* (*scan*), conforme se apresenta na Figura 68.

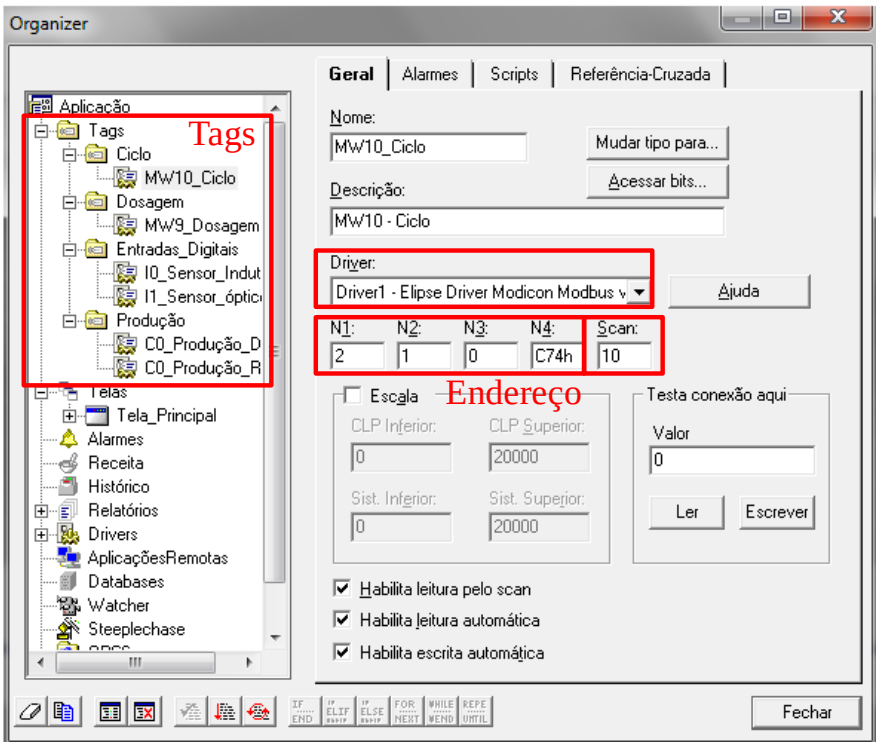


Figura 68 – Tela de configuração das tags do CLP

Após configuradas as *tags*, cada elemento da tela principal do Elipse SCADA® foi integrado a seleção da sua respectiva *tag*. Com isso se torna possível a visualização das variações do processo na tela do SCADA a partir da leitura ou escrita das portas de entrada e saída do CLP.

A Figura 69 apresenta uma das telas do *organizer* utilizada para integrar um dos elementos gráfico com uma *tag* CLP.

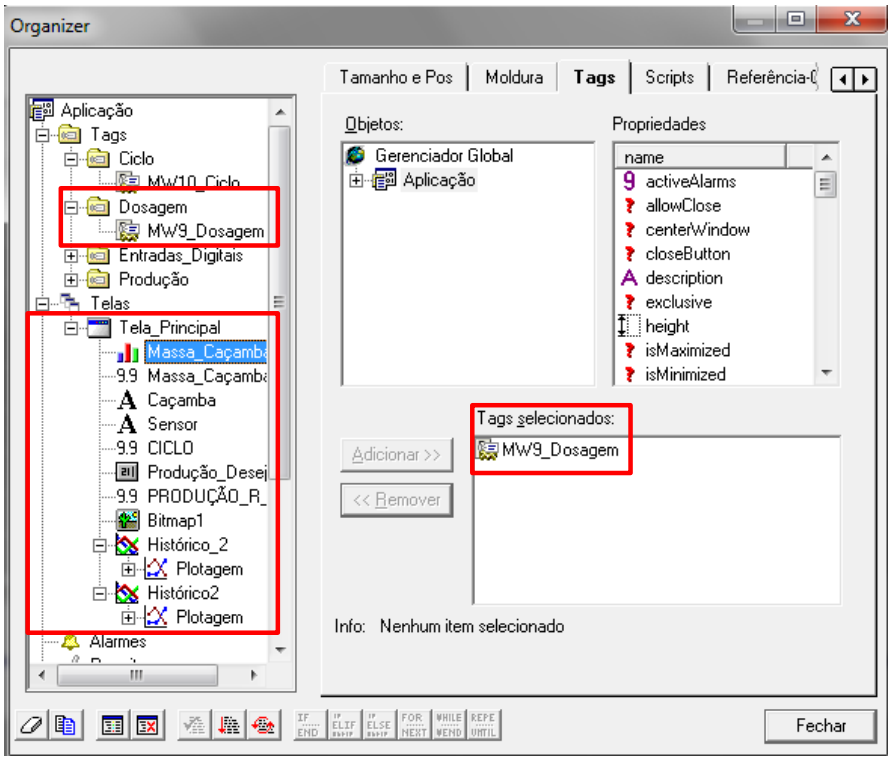


Figura 69 – Tela para integração dos elementos gráficos do SCADA com as tags CLP

Após as configurações, realizaram-se os ensaios de comunicação entre o CLP e o computador com o aplicativo Elipse SCADA®. Para isso primeiramente foi testada a comunicação de cada *tag* utilizando-se do comando testa conexão aqui, disponibilizado no próprio aplicativo Elipse SCADA®, conforme pode ser visto na Figura 68. Nesse caso, todos os testes apontaram respostas positivas de comunicação.

Com todo o sistema ligado, utilizando-se uma taxa de transmissão de 19200 bps e um tempo de leitura do valor de cada *tag* igual a 10 ms, foi possível verificar que os comandos de leitura e escrita responderam quase que imediatamente às ações.

Toda vez que o sensor indutivo detectava a caçamba aberta, verificava-se na tela do Elipse SCADA® a mensagem aberta, já quando fechada, observava-se corretamente a mensagem fechada com o fundo na cor vermelha.

O mesmo ocorreu com o sensor 1, toda vez que era detectado algum frasco, aparecia com o fundo na cor verde a mensagem frasco presente, já quando não detectava-se nada, a mensagem frasco ausente estampada com o fundo em vermelho era visualizada pelo usuário.

O indicador de produção na tela do Elipse SCADA® respondeu rapidamente aos testes. Toda vez que o sensor 2 detectava uma embalagem, era feito o incremento de uma unidade na produção realizada.

O indicador da balança apresentou boa resposta ao mostrar para o usuário a quantidade de massa de balas dentro da caçamba. Mesmo no gráfico em barra onde a variação de 125 g de balas dosadas foi considerada pequena, já que, a escala utilizada foi de 0 a 5000 g, ele se mostrou eficiente e de fácil visualização.

O cronômetro para contagem do ciclo apresentou boa resposta e esteve sempre de acordo com o ciclo real medido.

Para a seleção da quantidade de produção, sempre que o usuário digitava um valor desejado no Elipse SCADA®, imediatamente esse era alterado na IHM do CLP e passava a ser o valor referência de produção. O mesmo ocorreu para o caso de alguém alterar o valor de produção no chão de fábrica e imediatamente esse passou a ser representado na tela do SCADA. Cada vez que o valor de produção inserido estava abaixo do valor já produzido, um alarme surgia na tela do SCADA indicando que a produção desejada tinha sido ultrapassada.

Os gráficos apresentaram eficientemente em um teste de dez minutos as variações do ciclo de produção em função do tempo e de produtividade em função do tempo. No entanto devido à escala utilizada nos eixos de ordenada, a leitura dos dados se tornou difícil.

A Figura 70 mostra de maneira completa o resultado da tela do sistema supervisório em um determinado momento do ensaio.

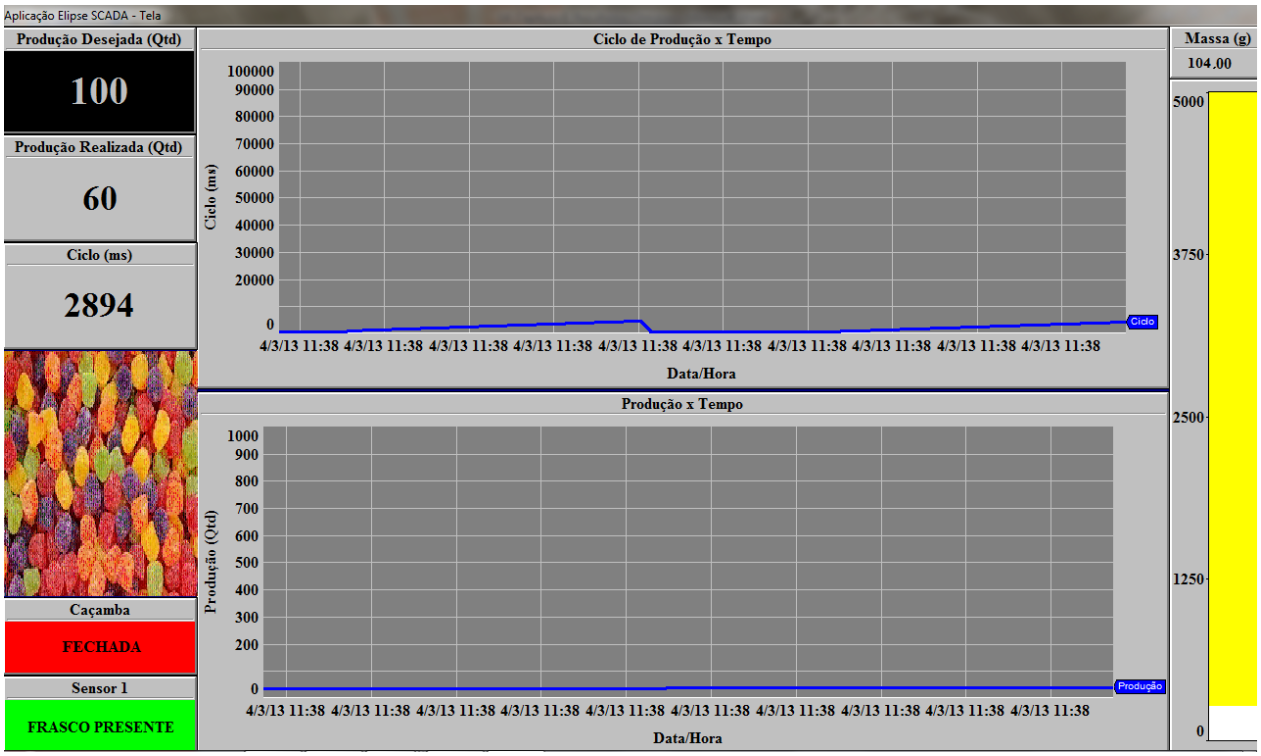


Figura 70 – Resultado da tela do SCADA

Com os ensaios foi possível observar que a partir da integração em rede entre o chão de fábrica e o sistema de supervisão, a necessidade de realizarem apontamentos manuais deixou de ser necessária, uma vez que todos os dados relevantes do processo se encontravam registrados automaticamente no computador mestre que executava o SCADA. Com isso, operadores, supervisores e gestores, não necessitarão mais perder tempo com apontamentos manuais, nem gastar esforços para solucionar possíveis erros de apontamentos de produção nessa etapa do processo.

5.5 RESULTADOS DO CICLO MÉDIO DE PRODUÇÃO

Levando em consideração os resultados apresentados pela Tabela 10, os parâmetros utilizados para realizar o ensaio do ciclo de produção seguiu a seguinte metodologia:

- Utilizar o valor de 15 Hz no campo vibração 1, pois foi o que apresentou menor ciclo para deslocar as balas;

- Utilizar no campo vibração 2 um valor de frequência que tenha um ciclo baixo, porém um erro de dosagem intermediário entre todos os valores medidos;
- No campo vibração 3, optou-se utilizar os valores de frequência 1 ou 2 Hz, pois foram os valores que apresentaram menor erro na dosagem de balas;
- Realizar os ensaios, estabelecendo valores fixos nos campos de vibração e variando os valores de *set points*.

A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos no ensaio realizado para se medir o menor ciclo de produção para o processo de dosagem de balas de mascar. Para isso utilizou-se no campo vibração 2 o valor de 20 Hz e de 2 Hz no campo vibração 3.

Tabela 12 – Resultados do primeiro ensaio realizado para medir o ciclo de produção

Vibração 1	Vibração 2	Vibração 3	Set point 1 (g)	Set point 2 (g)	Set ponit 3 (g)	Ciclo (s)	Massa (g)	Erro (g)
15	20	2	35,0	75,0	125,0	3,68	128,0	3,0
15	20	2	40,0	75,0	125,0	3,49	128,1	3,1
15	20	2	41,0	75,0	125,0	3,39	127,7	2,7
15	20	2	42,0	75,0	125,0	3,39	127,6	2,6
15	20	2	43,0	75,0	125,0	3,32	127,8	2,8
15	20	2	45,0	75,0	125,0	3,27	128,5	3,5
15	20	2	50,0	75,0	125,0	2,76	180,0	55,0
15	20	2	75,0	75,0	125,0	2,60	189,4	64,4
15	20	2	35,0	100,0	125,0	3,00	173,2	48,2
15	20	2	40,0	100,0	125,0	2,91	173,9	48,9
15	20	2	41,0	100,0	125,0	2,91	174,1	49,1
15	20	2	42,0	100,0	125,0	2,90	173,8	48,8
15	20	2	43,0	100,0	125,0	2,82	174,2	49,2
15	20	2	45,0	100,0	125,0	2,73	175,3	50,3
15	20	2	50,0	100,0	125,0	2,62	185,6	60,6
15	20	2	75,0	100,0	125,0	2,28	197,7	72,7

Pelo ensaio pode-se observar que o menor erro encontrado (subtração do valor do *set point* 3 com o valor da massa dosada) foi de 2,6 g, sendo o ciclo médio somente do processo de dosagem igual a 3,39 s.

Considerando que durante um ensaio de dez minutos foram produzidas 37 embalagens para uma velocidade de esteira igual a 15 cm/s, o ciclo de produção para o período foi de 16,22 s. Se essa resposta se mantiver durante todo o processo, ocorrerá um ganho de produtividade de aproximadamente 68,8 %. Porém levando em consideração que o erro médio apresentado pela balança original era de cerca de 1,0 g, as perdas com balas dosadas a mais seria de 160 %.

No segundo ensaio, manteve-se os 15 e 20 Hz de frequência, porém alterou-se o parâmetro da vibração 3 para 1 Hz. A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos nesse ensaio.

Tabela 13 – Resultados do segundo ensaio realizado para medir o ciclo de produção

Vibração 1	Vibração 2	Vibração 3	Set point 1 (g)	Set point 2 (g)	Set ponit 3 (g)	Ciclo (s)	Massa (g)	Erro (g)
15	20	1	35,0	75,0	125,0	3,77	127,5	2,5
15	20	1	40,0	75,0	125,0	3,51	127,5	2,5
15	20	1	41,0	75,0	125,0	3,45	127,0	2,0
15	20	1	42,0	75,0	125,0	3,46	127,2	2,2
15	20	1	43,0	75,0	125,0	3,46	127,5	2,5
15	20	1	45,0	75,0	125,0	3,41	128,3	3,3
15	20	1	50,0	75,0	125,0	2,86	175,4	50,4
15	20	1	75,0	75,0	125,0	2,64	187,0	62,0
15	20	1	35,0	100,0	125,0	3,12	172,6	47,6
15	20	1	40,0	100,0	125,0	3,02	173,3	48,3
15	20	1	41,0	100,0	125,0	3,00	173,3	48,3
15	20	1	42,0	100,0	125,0	3,01	173,0	48,0
15	20	1	43,0	100,0	125,0	2,97	173,8	48,8
15	20	1	45,0	100,0	125,0	2,89	174,4	49,4
15	20	1	50,0	100,0	125,0	2,79	180,2	55,2
15	20	1	75,0	100,0	125,0	2,34	189,0	64,0
15	20	1	35,0	70,0	125,0	3,81	126,8	1,8
15	20	1	40,0	70,0	125,0	3,60	126,6	1,6
15	20	1	41,0	70,0	125,0	3,54	126,4	1,4
15	20	1	42,0	70,0	125,0	3,52	126,7	1,7
15	20	1	43,0	70,0	125,0	3,54	127,2	2,2
15	20	1	45,0	70,0	125,0	3,49	127,8	2,8
15	20	1	50,0	70,0	125,0	3,00	174,3	49,3
15	20	1	75,0	70,0	125,0	2,75	178,7	53,7
15	20	1	35,0	71,0	125,0	3,79	126,5	1,5
15	20	1	40,0	71,0	125,0	3,58	126,4	1,4
15	20	1	41,0	71,0	125,0	3,52	126,3	1,3
15	20	1	42,0	71,0	125,0	3,52	126,7	1,7
15	20	1	43,0	71,0	125,0	3,50	127,0	2,0
15	20	1	45,0	71,0	125,0	3,47	127,6	2,6
15	20	1	50,0	71,0	125,0	2,98	174,1	49,1
15	20	1	75,0	71,0	125,0	2,71	178,3	53,3
15	20	1	35,0	72,0	125,0	3,78	126,5	1,5
15	20	1	40,0	72,0	125,0	3,56	126,2	1,2
15	20	1	41,0	72,0	125,0	3,51	126,0	1,0
15	20	1	42,0	72,0	125,0	3,50	126,6	1,6
15	20	1	43,0	72,0	125,0	3,50	127,1	2,1
15	20	1	45,0	72,0	125,0	3,45	127,8	2,8
15	20	1	50,0	72,0	125,0	2,97	174,9	49,9
15	20	1	75,0	72,0	125,0	2,71	179,0	54,0
15	20	1	35,0	73,0	125,0	3,75	127,0	2,0
15	20	1	40,0	73,0	125,0	3,51	126,8	1,8
15	20	1	41,0	73,0	125,0	3,46	126,7	1,7
15	20	1	42,0	73,0	125,0	3,44	127,0	2,0
15	20	1	43,0	73,0	125,0	3,46	127,8	2,8
15	20	1	45,0	73,0	125,0	3,41	128,8	3,8
15	20	1	50,0	73,0	125,0	2,94	175,8	50,8
15	20	1	75,0	73,0	125,0	2,62	181,1	56,1

Pelo segundo ensaio, verifica-se que o menor erro de dosagem (subtração do valor do *set point* 3 com o valor da massa dosada) foi de 1,0 g, sendo o ciclo médio somente do processo de dosagem igual a 3,51 s.

Considerando que durante um ensaio de dez minutos foram produzidas 36 embalagens para uma velocidade de esteira igual a 15 cm/s, o ciclo de produção para o período foi de 16,34 s. Se essa resposta se mantiver durante todo o processo, o ganho de produtividade será de aproximadamente 64,4 %. Comparado com o ensaio apresentado na Tabela 12, a grande vantagem desse segundo ensaio é que o erro de 1,0 g apresentado é o mesmo do processo original.

5.6 COMPARATIVO ENTRE PROCESSO ORIGINAL E O NOVO SISTEMA

Com o objetivo de apresentar com maior clareza os ganhos obtidos na melhoria da automação da balança de dosagem industrial ESAP-500®, a Tabela 14 mostra um comparativo entre os resultados constatados no processo original com os resultados encontrados no sistema montado.

Tabela 14 – Comparação entre os dados do processo original com os dados ensaiados no novo sistema

Atividades	**Indicador original**	**Indicador do novo sistema**
Ciclo médio para embalagens de balas com 125 g	27,4 s	16,34 s
Média dos apontamentos equivocados realizados pelos operadores	12 %	Zero (Registros automáticos)
Média dos apontamentos equivocados realizados pelo PCP	5 %	Zero (Registros automáticos)
Tempo médio gasto por parte dos operadores para apontar todos os dados nas ordens de produção (OP).	5 minutos/ dia	Zero (Registros automáticos)
Tempo médio gasto pelo PCP para alimentar as planilhas eletrônicas	15 minutos/ dia	Zero (Registros automáticos)
Tempo médio para solucionar problemas com falhas nos lançamentos	2 horas/ dia	Zero (Registros automáticos)
Embalagens descartadas devido transporte inadequado	7 %	Zero
Balas descartadas devido transporte inadequado ou perdas na dosagem	22,6 %	19,4 %
Número de operadores para controlar o processo	1	Zero

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas melhorias da balança de dosagem industrial modelo ESAP-500® fabricada pela Tudela Ind. e Com. de Máquina Ltda®, que se apresenta como uma alternativa viável na dosagem automática de objetos sólidos, transferência e armazenamento automático de dados de processo e capacidade de integração física com outras máquinas e processos.

Por meio de pesquisa bibliográfica e de estudos de campo que apresentam aplicações dos sistemas SCADA e a integração de processos é possível notar que, as melhorias aplicadas na automação da balança de dosagem industrial é viável economicamente. A planta integrada com o sistema SCADA, sensores, redes de comunicação, CLP, equipamentos de interfaceamento e os conceitos de integração de processos, permitiu a obtenção do aumento de produtividade, monitorização digital, armazenamento automático das informações e processos integrados, reduzindo custos e melhorando as tomadas de decisão dos níveis de gestão e supervisão.

Embora o estudo realizado tenha sido desenvolvido com balas de mascar, o material de dosagem pode ser generalizado para os mais diferentes tipos de fornecimentos da empresa, desde que, respeite-se as dimensões e capacidades do conjunto.

As principais vantagens apresentadas na melhoria do processo são a capacidade da máquina transmitir automaticamente os dados de produção para um sistema de supervisão que armazenará automaticamente essas informações, eliminando a necessidade de registros manuais. Além disso, a capacidade da máquina integrar-se fisicamente com outros processos, eliminando o transporte manual e a necessidade de um operador constante na máquina é outra vantagem.

O sistema supervisório desenvolvido foi projetado de acordo com a topologia mestre/escravo, sendo o computador com o sistema SCADA o elemento mestre e o CLP o escravo da rede, porém nada impede que outros elementos escravos sejam conectados a rede e mais máquinas, dispositivos ou processos sejam supervisionados automaticamente.

O projeto dos circuitos eletrônicos proporcionou o interfaceamento entre os atuadores e sensores de processo, permitindo que os sinais emitidos e recebidos pelo CLP fossem possíveis de serem interpretados.

A disposição gráfica e as *tags* apresentadas no sistema SCADA proporcionaram fácil visualização dos principais acontecimentos do processo, sendo o *setup* da máquina de

responsabilidade da produção, porém nada impede que todos os itens acessados no chão de fabrica não possam ser inseridos no sistema supervisório.

Embora as perdas no processo de dosagem e transporte de balas tenham caído de 22,6 % para 19,4 %, cabe ressaltar que esse valor ainda é elevado. Os erros encontrados deverão ser minimizados a partir do aprimoramento do bocal desenvolvido.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido nesta dissertação poderá ser um ponto de partida para pesquisa aplicada na área de automação, integração e supervisão de processos de dosagem industrial. A seguir são descritos possíveis trabalhos futuros a serem desenvolvidos:

a) Transmissão automática dos dados de processo

Desenvolvimento e aplicação de novas metodologias na transmissão dos dados de processo, visando à transmissão remota via internet e a eliminação de cabos para o tráfego das informações de chão de fábrica até os níveis de supervisão.

b) Integração com os níveis de gestão

A partir da arquitetura implementada neste trabalho, poderá ser proposto um trabalho de pesquisa, de modo a implementar a comunicação com sistemas ERP, permitindo assim a integração de toda a empresa.

c) Sistema de transporte

Considerando que a variação da inclinação do transportador por sistema de vibração pode ser um dos elementos que interfere na melhoria do processo, poderá ser proposto um estudo que varie a inclinação do transportador, visando à redução do ciclo de dosagem e consequentemente o aumento de produtividade.

Considerando que existem diferentes tipos de transportadores, poderá ser proposto um estudo que substitua o sistema de transporte (vibração) por outro que utilize metodologia diferente, de modo a melhorar a produtividade e reduzir o consumo de energia da máquina.

d) Sistema de abertura e fechamento da caçamba

O método de abertura e fechamento da caçamba utilizado neste trabalho constitui-se do acionamento de um motor de corrente continua com redutor acoplado, que por meio de um mecanismo, abre e fecha a comporta da caçamba. Poderá ser proposta uma pesquisa que substitua esse tipo de acionamento por outro que utilize metodologia diferente, de modo a melhorar a produtividade por meio da redução do ciclo do processo.

e) Sistema de pesagem

Este trabalho constitui-se de um sistema de pesagem estática, na qual todo material é depositado em uma caçamba onde é feita a medição da massa antes de ser dosada. Poderá ser proposto um trabalho de pesquisa que faça a medição da pesagem de maneira dinâmica a partir da substituição do sistema de transporte por vibração e da célula de carga estática por uma célula de carga dinâmica, permitindo assim a redução do ciclo de dosagem e consequentemente o aumento de produtividade.

f) Abastecimento automático do silo

Considerando que o processo necessita de uma pessoa para alimentar o silo, poderá ser proposto um estudo para realizar o abastecimento automático de matéria-prima.

REFERÊNCIAS

BOARETTO, N; KOVALESKI, J. L.; SCANDELARI, L. **Coleta de Dados e Monitoramento do Chão de Fabrica na Manufatura Discreta – Integração com as Ferramentas de Gestão**. XI Simpósio de Engenharia de Produção. CEFET-PR, Coritiba, 2004.

BOLTON, W. **Programmable Logic Controllers**. 4ª ed. Burlington. Elsevier, 2006.

BORGES, F. **Redes de Comunicação Industrial** - Documento técnico nº 2. Edição de Setembro de 2007. Schneider Electric. Disponível em:<http://www.schneiderelectric.pt/documents/product-services/training/doctecnico_redes.pdf> Acesso em 14 mai. 2012.

CAMPBELL, D. L. **How Customer Need Focused the Development of a New Remote Terminal Unit Line**. IEEE Computer Applications in Power, 1988.

CLARKE, G.; REYNDERS, D. **Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, IEC 60870.5 and Related Systems**. Burlington. Elsevier, 2004.

COMM5. **Manual do 1S-USB-485 – Conversor USB serial RS485.** Comm5 Tecnologia, São Paulo, 2010.

CUNHA, J. M. **Protótipo de Rede Industrial Utilizando o Padrão Serial RS485 e Protocolo Modbus**. 85f. Monografia (Graduação em Ciências da Computação) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau. 2000.

DANEELS, A.; SALTER W. **What is SCADA?** *International Conference on Accelerator and Large Experimental Physic Control Systems*. CERN, Geneva, 1999.

ESTEPA, R. A. C. **Proposta de Arquitetura de Supervisão e Controle para uma Plataforma Automatizada (WebLar) Orientada a Formação e Pesquisa em Automação e Robótica**. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2010.

FRANCHI, C. M. **Inversores de Frequência – Teoria e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo. Érica, 2011.

FERNANDES, F. C. F. **A Função de Controle nos Sistemas Integrados de Manufatura**. Revista Produção, vol. 01, no. 01, pp. 07 – 21. Rio de Janeiro, 1990.

GEORGINI, M. **Automação Aplicada – Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs**. 7ª ed. São Paulo. Érica, 2006.

GOMES, R. R.; STEPHAN, R. M. **Um Experimento para Ilustrar o Sistema de Levitação Eletromagnética Utilizados em Trens MAGLEV**. XVI – Congresso Brasileiro de Automática. UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

GROOVER, M. P. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**. 3ª ed. São Paulo. Pearson Education, 2011.

GUIMARÃES, H. C. Ferreira. **Norma IEC61131-3 para Programação de Controladores Programáveis: Estudo e Aplicação**. 73f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2005.

ALFA INSTRUMENTOS. **Modelos de Indicadores 3104B e 3107 Modbus**. Disponível em: <http://www.alfainstrumentos.com.br/artigos22.php?id=42> Acesso em: 21 mai. 2012.

JURIZATO, L. A.; PEREIRA, P. S. R. **Sistemas Supervisórios**. Revista Científica *Network Technologies*, vol. 01/02, no. 01/02, pp. 105 – 114. Nova Odessa, 2002.

KEYLOGIX. **Guia de Instalação Rápida CLP Lince.** Keylogix Automation, São Paulo, 2012.

SCADA LAQUIS. **Software Supervisório para Controle e Aquisição de Dados**. Disponível em: <http://www.scadalaquis.com/portugues.php> Acesso em: 26 mai 2012.

MARDEGAN, R; MARTINS, V; OLIVEIRA, J. F. G. **Estudo da Integração entre Sistemas SCADA, MES e ERP em Empresas de Manufatura discreta que Utilizam Processos de Usinagem**. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto, 2003.

MARQUES, G. **Controlo de Motores Eléctricos**. Disponível em: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/133033/1/CME> Acesso em: 07 nov 2013.

MASOOD, T.; KHAN, I. **Productivity Improvement through Computer Integrated Manufacturing in Post WTO Scenario**. Taxila, 2004.

MEIRELES, G. S. C.; CAETANO A. G. L. S.; OLIVEIRA, J. F. G.; SOUSA, G. W. L. **Sistemas de Informação num Ambiente de Manufatura Integrada**. PUC-GO, Goiás, 2000.

MELCONIAN, S. M.; SOUSA, J. S. S. **Melhoria da Automação no Processo de Dosagem Industrial como Ferramenta para o Aumento de Produtividade**. 3º Congresso Científico da Semana Tecnológica, IFSP, Bragança Paulista, 2012.

MELCONIAN, S. M.; SOUSA, J. S. S. **Proposta de Melhoria da Automação no Processo de Dosagem Industrial como Ferramenta para o Aumento de Produtividade**. 4º Congresso Científico da Semana Tecnológica, IFSP, Bragança Paulista, 2013a.

MELCONIAN, S. M.; SOUSA, J. S. S. **Melhoria da Automação no Processo de Dosagem Industrial como Ferramenta para o Aumento de Produtividade**. 17º Congresso Internacional e Exposição de Automação, Sistemas e Instrumentação Brazil Automation ISA, 2013b.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª ed. Rio de Janeiro. LTC, 2012.

NÓBREGA, R. G. **Redes e Comunicação de Dados**. Disponível em: <http://www.di.ufpb.br/raimundo/Tutoredes/redes.htm> Acesso em: 14 mai. 2012.

PEREIRA, É. C. O; ERDMANN, R. H. **A Evolução do Planejamento e Controle e o Perfil do Gerente da Produção**. Anais do XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. UFSC, Florianópolis, 1998.

SIEMENS. **Motores de Corrente Contínua – Guia Rápido para uma Especificação Precisa**. Siemens Ltda, 2006.

SILVA, A.; FELGUEIRAS, M. **Protocolo de Comunicação Modbus**. Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP, Porto, 2007.

SILVA, A. P. G.; SALVADOR, M. **O que são Sistemas Supervisórios?** ELIPSE, São Paulo, 2005.

SOUZA, R. B. **Uma Arquitetura para Sistemas Supervisórios Industriais e sua Aplicação em Processos de Elevação Artificial de Petróleo**. 53f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2005.

STEMMER, M. R. **Das 5331 – Sistemas Distribuídos e Redes de Computadores para Controle e Automação Industrial**. Florianópolis, 2001. (Apostila).

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industrial Fundamentos e Aplicações**. 5ª ed. São Paulo. Érica, 2008.

WERNER, J.; MENEZES, F. M. **A Automação como Ferramenta para Aumentar a Produtividade de uma Empresa Calçadista**. Anais da FIC Feevale. Novo Hamburgo, 2010.

WEG. **Manual do Inversor de Frequência**. Weg Automação S.A, Jaraguá do Sul, 2012.

WEG. **Rendimento nos Motores Monofásicos**. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-rendimento-nos-motores-monofasicos-artigo-tecnico-portugues-br.pdf> Acesso em: 07 nov 2013.

WILSON, J. **Sensor Technology Handbook**. Burlington. Elsevier, 2005.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III – Eletromagnetismo**. 10ª ed. São Paulo. Pearson Education, 2007.

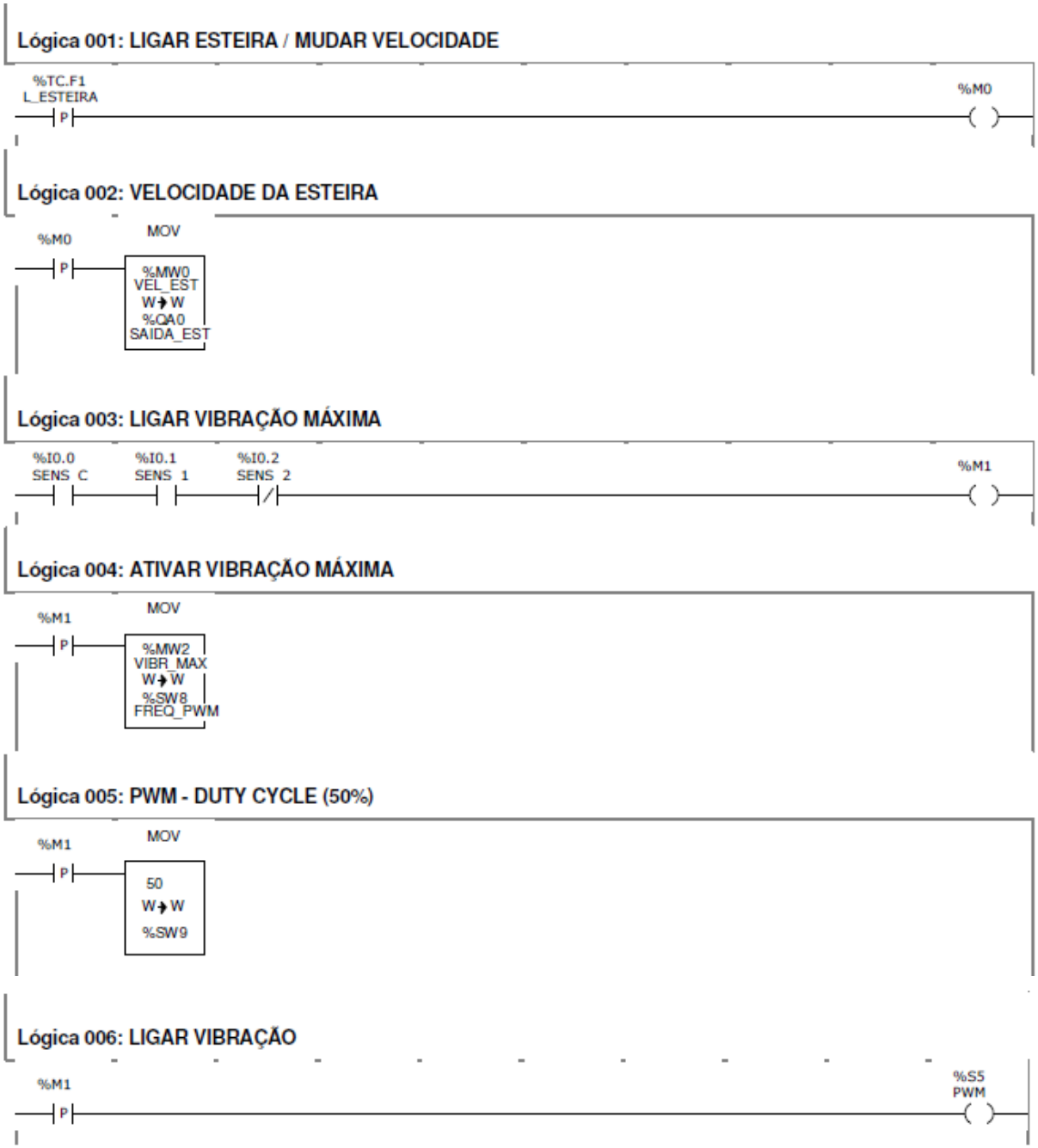
APÊNDICE

APÊNDICE A – CRONOGRAMA

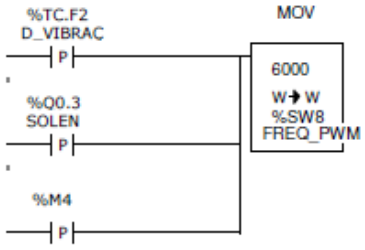
Cronograma																								
Atividades	**Prazo**																							
	2011	**2012**												**2013**										
	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Revisão bibliográfica																									
Descrição do processo original e suas partes																									
Problemas operacionais e dados do cliente																									
Montagem do protótipo e ensaios experimentais																									
Qualificação																									
Revisão da dissertação																									
Conclusão da dissertação																									
Defesa																									
Redação da dissertação																									

Conclusão da Atividade (sem Atraso).
Desenvolvimento da Atividade.
Conclusão da Atividade (com Atraso).

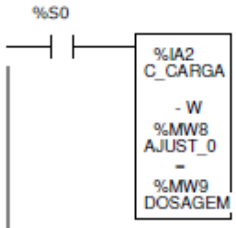
APÊNDICE B – DIAGRAMA LADDER



Lógica 007: DESLIGAR VIBRAÇÃO

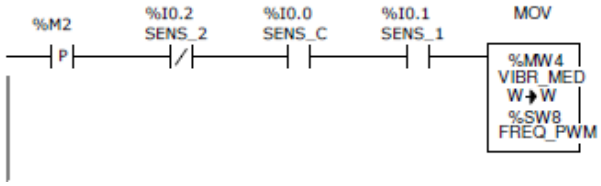


Lógica 008: AJUSTE DE ZERO DA BALANÇA



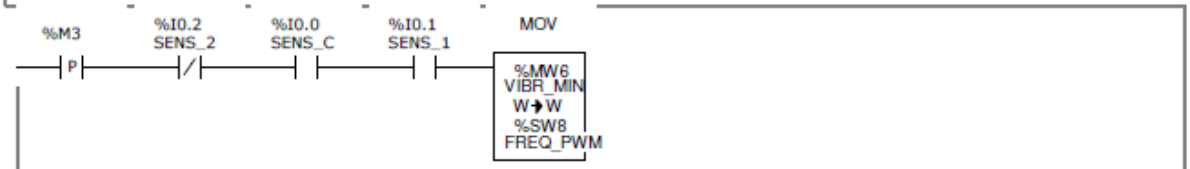
Lógica 009: SET POINT 1

Lógica 010: ATIVAR VIBRAÇÃO MÉDIA



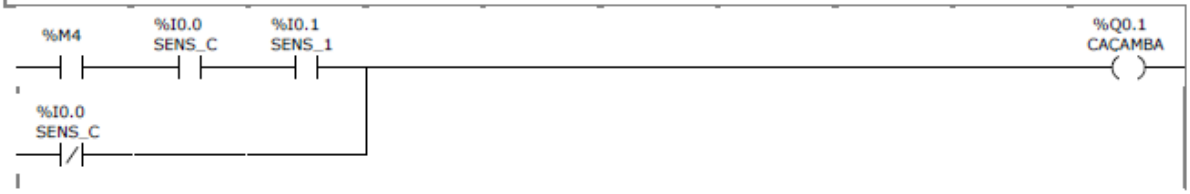
Lógica 011: SET POINT 2

Lógica 012: ATIVAR VIBRAÇÃO MiNIMA



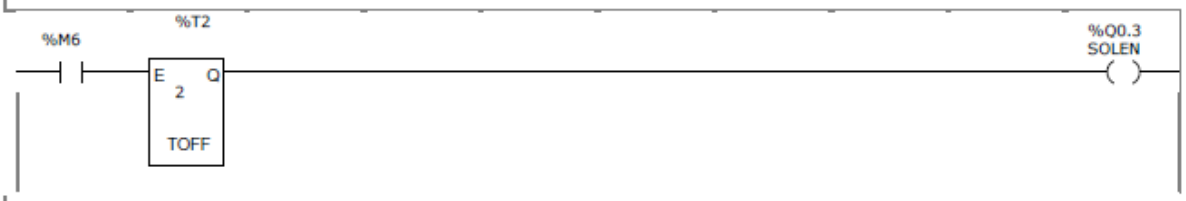
Lógica 013: SET POINT 3

Lógica 014: ABRIR CAÇAMBA

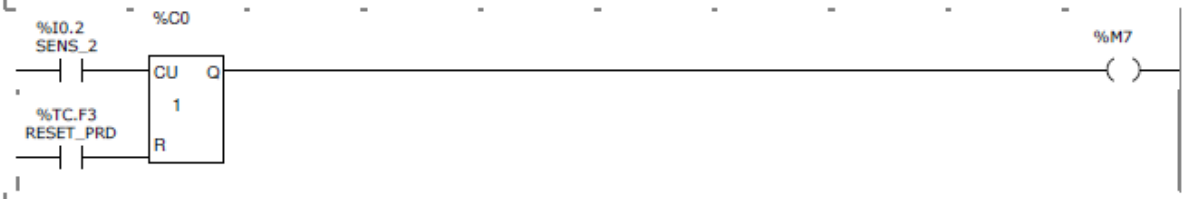


Lógica 015: TEMPORIZADOR PARA RETARDO DA ABERTURA DO SOLENÓIDE

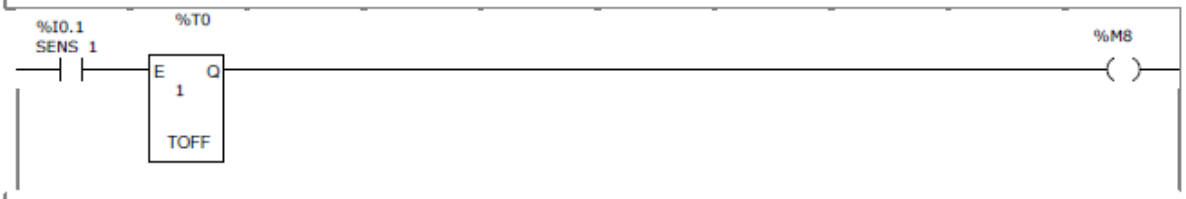
Lógica 016: ACIONAR SOLENÓIDE



Lógica 017: PRODUÇÃO



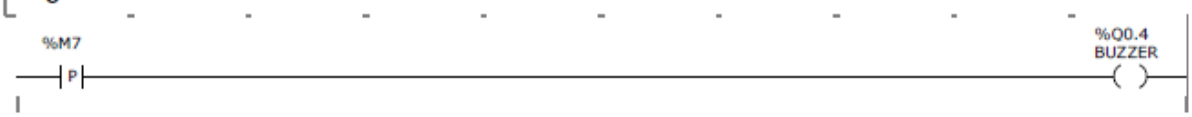
Lógica 018: CICLO DE PRODUÇÃO



Lógica 019: CICLO DE PRODUÇÃO

Lógica 020: CICLO DE PRODUÇÃO

Lógica 021: BUZZER



APÊNDICE C – TABELA DE SÍMBOLOS

%I0.0	SENS_C	Sensor da caçamba
%I0.1	SENS_1	Sensor 1
%I0.2	SENS_2	Sensor 2
%Q0.1	CAÇAMBA	Saída para abertura e fechamento da caçamba
%Q0.3	SOLEN	Solenóide
%Q0.4	BUZZER	Buzzer
%TC.F1	L_ESTEIRA	Tecla F1 da IHM liga esteira
%TC.F2	D_VIBRAÇ	Tecla F3 da IHM desliga vibração
%TC.F3	RESET_PRD	Resetar produção
%IA2	C_CARGA	Sinal de tensão da célula de carga
%QA0	SAIDA_EST	Saída que controla a velocidade da estira
%M0		Memória auxiliar
%M1		Memória auxiliar
%M2		Memória auxiliar
%M3		Memória auxiliar
%M4		Memória auxiliar
%M5		Memória auxiliar
%M6		Memória auxiliar
%M7		Memória auxiliar
%M8		Memória auxiliar
%S0		Bit de sistema
%S5	PWM	Ativa PWM
%MW0	VEL_EST	Parâmetro - Velocidade da esteira
%MW2	VIBR_MAX	Parâmetro - Vibração máxima do transportador
%MW3	SET_P1	Parâmetro - Set point 1
%MW4	VIBR_MED	Parâmetro - Vibração média do transportador
%MW5	SET_P2	Parâmetro - Set point 2
%MW6	VIBR_MIN	Parâmetro - Vibração mínima do transportador
%MW7	SET_P3	Parâmetro - Set point 3
%MW8	AJUST_0	Parâmetro - Ajuste de zero da balança
%MW9	DOSAGEM	Dosagem = Célula de carga - Ajuste de zero
%MW10	CICLO	Parâmetro - Ciclo de produção
%SW8	FREQ_PWM	Parâmetro - Frequência do PWM
%T0		Temporizador OFF - Auxiliar para o ciclo de produção
%T1		Temporizador TON - Auxiliar para o retardo de abertura do solenóide
%T2		Temporizador OFF - Auxiliar para o fechamento do solenóide
%C0		Contador crescente (produção)