



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CONTROLE E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

**ESTUDO DE CASO NO PROCESSO DE ENVASE DE MINÉRIO EM
LATAS UTILIZANDO AUTOMAÇÃO E CONTROLE**

Bruno Aldo Monteiro

Araxá, Agosto de 2015

Bruno Aldo Monteiro

**ESTUDO DE CASO NO PROCESSO DE ENVASE DE MINÉRIO EM
LATAS UTILIZANDO AUTOMAÇÃO E CONTROLE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende

Araxá, Agosto de 2015

Bruno Aldo Monteiro

ESTUDO DE CASO NO PROCESSO DE ENVASE DE MINÉRIO EM LATAS UTILIZANDO AUTOMAÇÃO E CONTROLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação Industrial.

Data de aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Domingos Sávio de Resende - Orientador
Engenheiro Eletricista; Especialista em Automação; Mestre em Engenharia de Materiais;
Doutor em Engenharia de Materiais; Professor do CEFET MG – Unidade Araxá

Admarço Vieira da Costa
Engenheiro Eletricista; Especialista em Automação; Mestre em Engenharia Elétrica; Doutor
em Engenharia Elétrica – Professor do CEFET MG – Unidade Araxá

Francisco de Assis Cipresso
Engenheiro de Telecomunicações; Engenheiro Eletricista; Especialista em Sistemas
Elétricos Industriais; Professor do CEFET MG – Unidade Araxá.

Araxá, Agosto de 2015

Aos meus filhos, pelo apoio e amor incondicionais.

Aos meus pais, pelos ensinamentos que me acompanharão por toda a vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu forças suficiente nesta caminhada.

Aos meus pais João Alaor e Maria Helena, à minha namorada Joyce Hérica, aos meus filhos Bruno, Ana Gabriella e Ana Ritta, pelo carinho, pelos momentos de renúncia e paciência, para que esta realização fosse possível.

Não poderia deixar de agradecer aos engenheiros Lourenço Moura, Lúcio Mauro de Araújo e Gabriel C. Peixoto Albino, pelo apoio e orientação no trabalho.

A todos os professores e profissionais do CEFET-MG / Campus Araxá, pelo conhecimento que nos foi passado.

Ao meu orientador Professor Domingos Sávio de Resende pelas observações, incentivo e apoio técnico durante o trabalho.

E a todos àqueles que de maneira direta ou indireta, contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

Muito obrigado!

*“Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes
coisas do homem foram conquistadas do que
parecia impossível.”*

Charles Chaplin

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	vi
1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1.1 Objetivo Geral.....	10
2.1.2 Objetivos específicos.....	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Automação Industrial.....	11
3.2 Níveis de automação.....	13
3.3 Controlador Lógico Programável.....	14
3.3.1 Controlador utilizado no sistema em estudo.....	16
3.3.2 Módulos de E/S do controlador.....	20
3.3.3 CPU do controlador.....	21
3.3.4 Fonte de alimentação.....	22
3.3.5 Memória.....	22
3.4 Linguagem de programação Ladder.....	23
3.5 Sistemas supervisório.....	27
3.6 Redes.....	29
3.6.1 Rede Ethernet.....	31
3.6.2 Rede Ethernet IP.....	35
3.7 Sensores Industriais.....	35
3.7.1 Sensores analógicos.....	36
3.7.2 Sensores digitais.....	38
3.7.3 Sensores mecânicos.....	39
3.7.4 Sensores ópticos.....	39
3.7.5 Sensores capacitivos.....	43
3.7.6 Sensores indutivos.....	44
3.7.7 Sensores magnéticos.....	44

3.7.8	Características importantes dos sensores	45
3.8	Sistema Pneumático	46
3.9	Balanças industriais	49
3.10	Remotas utilizadas.....	50
4	MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1	Descrição dos procedimentos.....	51
4.2	Funcionamento da linha de produção.....	52
4.2.1	Despaletizador de latas	54
4.2.2	Linhas de envase.....	57
4.2.3	Balança de conferência automática.....	58
4.2.4	Balança de conferência manual.....	60
4.2.5	Alimentador de tampas	61
4.2.6	Tampador de latas	62
4.2.7	Robô embalador	64
4.3	Levantamento das falhas de processo	64
4.4	Melhorias implementadas através de técnicas de automação.....	67
4.4.1	Melhoria no tamponamento das latas	67
4.4.2	Melhor agilidade na reposição das latas.....	68
4.4.3	Comunicação entre as balanças de pesagem e o CLP	71
4.4.4	Botoeiras para o estado manual	86
4.4.5	Melhoria de produção com agilidade na conferência de peso	88
4.4.6	Indicador de produção via supervisorio	90
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	94
6	CONCLUSÃO	100
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PIRÂMIDE DA AUTOMAÇÃO	13
FIGURA 2 - CLP DE SEGURANÇA UTILIZADO NO SISTEMA	18
FIGURA 3 - DIAGRAMA EM BLOCOS DO PROCESSO.....	19
FIGURA 4 – DISPOSITIVO SUPRESSOR	21
FIGURA 5 - PRINCIPAIS INSTRUÇÕES DE BIT OU LÓGICA A RELÉ	24
FIGURA 6 - ILUSTRAÇÃO DA INSTRUÇÃO TEMPORIZADOR CRESCENTE SEM RETENÇÃO	25
FIGURA 7 - ILUSTRAÇÃO DA INSTRUÇÃO LADDER ADIÇÃO.....	26
FIGURA 8 - ILUSTRAÇÃO DA INSTRUÇÃO LADDER MOVER	26
FIGURA 9 – ILUSTRAÇÃO DA TELA DE SUPERVISÓRIO DO SISTEMA ESTUDADO	28
FIGURA 10 – ESTRUTURA DO CABO COAXIAL	32
FIGURA 11 - VARIAÇÃO DA GRANDEZA FÍSICA DE UM SENSOR ANALÓGICO	37
FIGURA 12 - EXEMPLO GRÁFICO DA DIGITALIZAÇÃO E LINEARIZAÇÃO DE SINAIS	39
FIGURA 13 - - ILUSTRAÇÃO DO SENSOR ÓPTICO POR DIFUSÃO	40
FIGURA 14 - ILUSTRAÇÃO DO SENSOR ÓPTICO RETRO-REFLEXIVO COM ESPELHOS	41
FIGURA 15 - ILUSTRAÇÃO DO SENSOR ÓPTICO DE BARREIRA	42
FIGURA 16 - SENSOR CAPACITIVO COM AJUSTE DE SENSIBILIDADE.....	43
FIGURA 17 – ILUSTRAÇÃO DO SENSOR INDUTIVO.....	44
FIGURA 18 - ILUSTRAÇÃO DE SENSORES MAGNÉTICOS.....	45
FIGURA 19 - SENSORES MAGNÉTICOS ACOPLADOS NO CILINDRO PNEUMÁTICO.....	45
FIGURA 20 - ILUSTRAÇÃO DOS ELEMENTOS DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO	47
FIGURA 21 - CILINDRO DESVIADOR DE LATAS FORA DO PESO	48
FIGURA 22 - VISTA FRONTAL DA IHM DAS BALANÇAS DO SISTEMA DE ENVASE	49
FIGURA 23 - MÓDULO REMOTO CUBE67 COM CARTÕES DE ENTRADA E SAÍDA	50
FIGURA 24 – FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO	53
FIGURA 25 - ALIMENTAÇÃO DE LATAS NO INÍCIO DO PROCESSO	54
FIGURA 26 - DESPALETIZADOR DE LATAS	55
FIGURA 27 - IMAGEM DA IHM COM <i>POUP-UP</i> SOLICITANDO RETIRADA DO PAPELÃO	56
FIGURA 28 - BALANÇA DOSADORA DA LINHA DE ENVASE.....	57
FIGURA 29 - BALANÇA DE CHECAGEM AUTOMÁTICA DE LATAS	60
FIGURA 30 - ESTAÇÃO DE PESAGEM MANUAL DAS LATAS FORA DO PESO.....	60
FIGURA 31 - TANQUE VIBRATÓRIO DE SEPARAÇÃO DAS TAMPAS	61
FIGURA 32 - IMAGEM DA VENTOSA E DA ESTEIRA DE TAMPAS	62
FIGURA 33 - IMAGEM ILUSTRATIVA DO TAMPADOR DE LATAS.....	63

FIGURA 34 - TAMPADOR DE LATAS.....	63
FIGURA 35 - ROBÔ EMBALADOR DE LATAS.....	64
FIGURA 36 - POTENCIÔMETROS PARA AJUSTE MANUAL DAS CALHAS VIBRATÓRIAS.....	66
FIGURA 37 - IMAGEM DO SENSOR COLOCADO PARA VERIFICAR TAMPA DA LATA.....	68
FIGURA 38 - LINHA DO PROGRAMA LADDER QUE HABILITA PEDIDO DE LATAS.....	69
FIGURA 39 – LINHA DO PROGRAMA EM LINGUAGEM LADDER.....	70
FIGURA 40 - LINHA DO PROGRAMA LADDER PARA CONTAGEM DO TEMPO E DAS LATAS	71
FIGURA 41 - CONFIGURAÇÕES FEITAS NA BALANÇA	73
FIGURA 42 - CONFIGURAÇÃO DAS PALAVRAS DE COMUNICAÇÃO ENTRE CLP E BALANÇA	74
FIGURA 43 - BLOCO <i>LADDER</i> BTD.....	75
FIGURA 44 - INSTRUÇÃO <i>LADDER</i> COP.....	75
FIGURA 45 - VALORES DE ID'S RETIRADOS DO MANUAL DA BALANÇA	76
FIGURA 46 - ALGUNS VALORES DE ID'S RETIRADOS DO MANUAL DA BALANÇA.....	77
FIGURA 47 - LINHA DE INSTRUÇÃO QUE TRATA OS DADOS	77
FIGURA 48 - REPRESENTAÇÃO <i>LADDER</i> PARA OBTER LEITURA DAS ENTRADAS E SAÍDAS DIGITAIS.....	78
FIGURA 49 - REPRESENTAÇÃO <i>LADDER</i> PARA OBTER LEITURA DO MATERIAL SELECIONADO	80
FIGURA 50 - ILUSTRAÇÃO DA TABELA DE ID'S.	81
FIGURA 51 - REPRESENTAÇÃO <i>LADDER</i> PARA OBTER LEITURA DO <i>SET-POINT</i>	81
FIGURA 52 - REPRESENTAÇÃO <i>LADDER</i> PARA ESCREVER MATERIAL DESEJADO	82
FIGURA 53 - LINHA DE PROGRAMAÇÃO <i>LADDER</i> PARA ESCREVER SET-POINT SELECIONADO	83
FIGURA 54 - LINHA DE INSTRUÇÃO <i>LADDER</i>	83
FIGURA 55 - LOCAL DE OPERAÇÃO DO SISTEMA	84
FIGURA 56 - LINGUAGEM <i>LADDER</i> COM O CONTROLE DE VIBRAÇÃO DAS BALANÇAS	85
FIGURA 57 - ILUSTRAÇÃO DAS BOTOEIRA PARA O ESTADO MANUAL.....	87
FIGURA 58 – TRECHOS DO PROGRAMA EM <i>LADDER</i> PARA PROGRAMAÇÃO DA BALANÇA.....	87
FIGURA 59 – TRECHOS DA LINGUAGEM <i>LADDER</i> MOSTRANDO INTERTRAVAMENTOS	89
FIGURA 60 – TRECHOS DO PROGRAMA EM <i>LADDER</i> PARA CONTAGEM DE LATAS APROVADAS.....	90
FIGURA 61 – TRECHOS DO PROGRAMA EM <i>LADDER</i> PARA CONTAGEM DE LATAS REPROVADAS.....	91
FIGURA 62 – TRECHOS DO PROGRAMA EM <i>LADDER</i> PARA CONTAGEM DE LATAS PRODUZIDAS.....	92
FIGURA 63 – TRECHOS DO PROGRAMA EM <i>LADDER</i> PARA CONTADOR DE LATAS DA LINHA_1.....	93
FIGURA 64 - ILUSTRAÇÃO NO SUPERVISÓRIO DOS CONTADORES DE LATAS CRIADOS.....	93
FIGURA 65 - GRÁFICO DA PRODUÇÃO MENSAL DO NOVO SISTEMA DE EMBALAGENS ESPECIAIS	94
FIGURA 66 - GRÁFICO ILUSTRANDO DISPONIBILIDADE DO NOVO SISTEMA DE EMBALAGEM	95
FIGURA 67 - GRÁFICO COMPARATIVO MANUAL X AUTOMÁTICO.....	97

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – GERAÇÕES DOS CONTROLADORES	16
TABELA 2 – EVOLUÇÃO DAS REDES INDUSTRIAIS	30
TABELA 3 – TIPO DE SENSOR E SEU PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	38
TABELA 4 – TABELA QUE MOSTRA VALORES DE PARADAS PARA MANUTENÇÃO	97

RESUMO

Este projeto apresenta um estudo de caso no processo de envase de latas de minério em uma empresa de mineração da cidade de Araxá. Com a demanda crescente por minério em pequenas embalagens, a empresa passou a embalar o minério em latas e sacos de vários tamanhos. O sistema de enchimento, até 2014 era feito quase totalmente de forma manual. Para melhorar as condições de trabalho e aumentar a capacidade produtiva, um sistema automatizado foi implantado, mas ainda não conseguia atingir valores satisfatórios de produção. O trabalho realizado teve como principal objetivo a otimização desse sistema de envase, a partir da implementação de técnicas de automação industrial. Após realizar uma revisão teórica sobre o assunto, foi verificado o funcionamento do sistema, sendo levantados alguns problemas, tais como dificuldade no ajuste dos pesos, erros no tamponamento das latas e ainda, a falta de um dispositivo que permitia extrair indicadores para demonstrar o desempenho do processo. O objetivo foi alcançado com a aplicação de algumas técnicas de automação, fazendo ajustes de posicionamento em sensores, troca de equipamentos, mudanças na programação utilizando linguagem Ladder, aplicando melhorias entre outros. Para verificar os resultados, foi feita a coleta e análise dos dados, comprovando uma melhora na produtividade, redução no desvio padrão, maior estabilidade da linha de produção, além de possibilitar melhor controle do processo com indicadores de produção via supervisório, realizando então a otimização do sistema de envase de latas.

Palavras-chaves: Envase de latas, sistema automatizado, desempenho do sistema, supervisório, técnicas de automação, linguagem Ladder.

ABSTRACT

This paper presents a case study in the ore packing process in a mining company in Araxá, MG, Brazil. Due to the growing demand for the ore available in small units, the company started to pack it in cans and bags of several sizes. The filling system was almost all made manually until 2014. In order to improve working conditions and increase production capacity, an automated system was installed, but it still could not reach satisfactory production levels. The main purpose of that work was the optimization of such packing system, departing from the implementation of industrial automation techniques. After carrying out a theoretical revision of the subject, the system functioning was checked out and some problems were detected, such as: difficulty in weight adjustment, error in can covering as well as the lack of a device which permits to extract indicators to demonstrate the process performance. This goal was reached positioning by applying in the sensors some automation techniques, by making some programming changes using Ladder language and other minor improvements. In order verify the results, the data were collected and analyzed, which demonstrated production improvement, standard deviation reduction and more stability in the production line. Moreover, it enabled better control of the process with production indicators via supervisory, which lead to the optimization of the can filling system.

Key words: can filling, automated system, system performance, supervisory, automation techniques.

1 INTRODUÇÃO

O tema deste trabalho é a Aplicação de Técnicas de Automação no Sistema de Envase de Minério. É um estudo de caso que mostra a aplicação de algumas técnicas da automação em um sistema de envase de latas de minério que não apresentava o rendimento esperado. Primeiramente será mostrado uma pesquisa bibliográfica feita em torno do assunto, e em seguida o funcionamento do sistema de envase com o levantamento de problemas e sugestões de melhorias. Mais adiante, serão apresentadas como foram feitas as intervenções e os resultados obtidos.

Com o aumento das vantagens comerciais proporcionadas pela utilização de FeNb em latas, a demanda de produção aumentou, surgindo a necessidade de envasar esse produto de forma mais rápida, com maior qualidade e segurança, principalmente para os trabalhadores. Para atender a essa necessidade, a empresa iniciou trabalhos no sentido de automatizar o processo, que até então era feito manualmente. Em junho de 2014, um sistema automático de envase das latas de FeNb foi instalado. Após alguns meses da implantação ainda demonstrava alguns problemas que o impedia de comprovar sua capacidade máxima de produção, qualidade e controle do processo.

O trabalho visa responder a seguinte pergunta: é possível otimizar o sistema de automação implantado aplicando técnicas de automação? A variabilidade nos processos é um dos maiores desafios na operação de plantas, e se dá por diversos motivos, dificultando o alcance de um ponto ótimo de operação. A aplicação de técnicas de automação por intermédio de procedimentos que visam aumentar a eficiência e controle do processo pode contribuir para a otimização do sistema em estudo.

Por intermédio das fundamentações teóricas dos autores, Capelli (2007), Moraes e Castrucci (2007), Thomazini e Albuquerque (2010), Fialho (2008), Alves (2005), Lugli e Santos (2010), Aguirre (2007), e manuais de fabricantes, foi possível reunir as ferramentas importantes para o desenvolvimento do trabalho. Ferramentas estas que permitiram o entendimento do funcionamento do sistema e auxiliaram na solução dos problemas levantados.

Esse trabalho tem como objetivo principal otimizar o sistema de envase de latas aplicando técnicas de automação. Para isso, alguns objetivos específicos foram seguidos. O estudar e o conhecer o sistema de envase, o levantar as falhas no processo, aplicar as técnicas de automação para corrigir as falhas e implementar melhorias no processo de envase.

O trabalho desenvolvido contribui, diretamente, para o aprendizado do aluno, fornece uma nova fonte de pesquisa para o meio acadêmico e ainda, proporciona um ganho de produção e qualidade para a empresa em que foi aplicado, servindo ainda de referência para trabalhos futuros.

Este trabalho está dividido em sete capítulos. No primeiro capítulo, temos a presente introdução do trabalho. No segundo capítulo aparecem o objetivo geral e os objetivos específicos. No terceiro capítulo é abordado a revisão bibliográfica, que serve de base para ampliar o conhecimento e nortear a pesquisa com base no que já foi estudado sobre o assunto, com temas importantes como automação, controlador lógico programável, redes, programação *Ladder*, supervisórios, sistema pneumático, sensores industriais, balanças, entre outros. No quarto capítulo serão referenciados os materiais e métodos, com descrição dos procedimentos, funcionamento da linha de produção, levantamento das falhas, ajustes e melhorias realizadas no sistema.. No quinto capítulo será feito o levantamento dos dados de produção, análise e discussões. No penúltimo a conclusão e por fim, as referências bibliográficas utilizadas.

2 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo Geral

Otimizar sistema de envase das latas de minério, aplicando técnicas de automação.

2.1.2 Objetivos específicos

- a) Estudar e conhecer o funcionamento do sistema implantado;
- b) Levantar possíveis falhas no processo;
- c) Atuar na correção das falhas com o uso de técnicas de automação;
- d) Coletar e analisar os resultados após correções propostas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Automação Industrial

O homem, desde os tempos mais antigos, procurou reduzir o seu esforço nas tarefas diárias, poupando tempo para outras atividades. Inicialmente, se utilizou da força animal, das rodas d'água, das ferramentas de pedra, moinhos a vento, entre outros. Com o passar do tempo, diversas outras ferramentas mecanizadas foram sendo criadas, ainda que robustas e controladas manualmente, substituindo apenas o esforço físico. Em meados do século XVIII, o homem passa a transformar sua produção artesanal e agrária em industrial, desenvolvendo os primeiros dispositivos simples e semi automáticos, saindo da simples mecanização, e partindo para iniciar os primeiros passos rumo a automação, embora esse termo não existisse naquela época.

Os processos industriais mecanizados ganharam força então, na chamada Revolução Industrial, embalados pela necessidade de se produzir cada vez mais e melhor. Com o desenvolvimento das máquinas a vapor, impulsionadas por melhorias como a realizada pelo inventor *James Watt*, que implantou o regulador de velocidade, as máquinas ficaram cada vez mais eficientes, culminando no desenvolvimento da hidráulica e da pneumática, principalmente nas indústrias têxtil e no setor dos transportes. Em seguida, já no século XIX, o empenho e os estudos de alguns pesquisadores levaram ao conhecimento e uso da energia elétrica, tornando possível o uso de motores elétricos. Esses fatos contribuíram para o processo de transformação e desenvolvimento das tecnologias, impulsionando o desenvolvimento das indústrias de aço, química e máquina-ferramenta.

Em meados da década de 1960, a criação de um componente capaz de controlar a passagem da energia elétrica, chamado de transistor, faz surgir os primeiros computadores, que passaram a auxiliar no controle automático das indústrias, sendo introduzido e propagado o termo automação. Lacombe (2004), afirma que a automação é uma aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas usadas para diminuir a intervenção humana em qualquer processo, e ainda, reduz os custos e aumenta a produção. De acordo com Moraes e Castrucci (2007), entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos. Ainda conforme Moraes e Castrucci (2007), a automação envolve a implantação de sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação, compreendendo sistemas supervisórios e interfaces homem-máquina que possam auxiliar os operadores no exercício da supervisão e da análise dos problemas.

A automação foi inicialmente utilizada em indústrias automobilísticas e petroquímicas, sendo rapidamente aplicada em outras áreas, como a indústria alimentícia, química, mineração e outras. Podemos citar como principais vantagens do uso automação industrial:

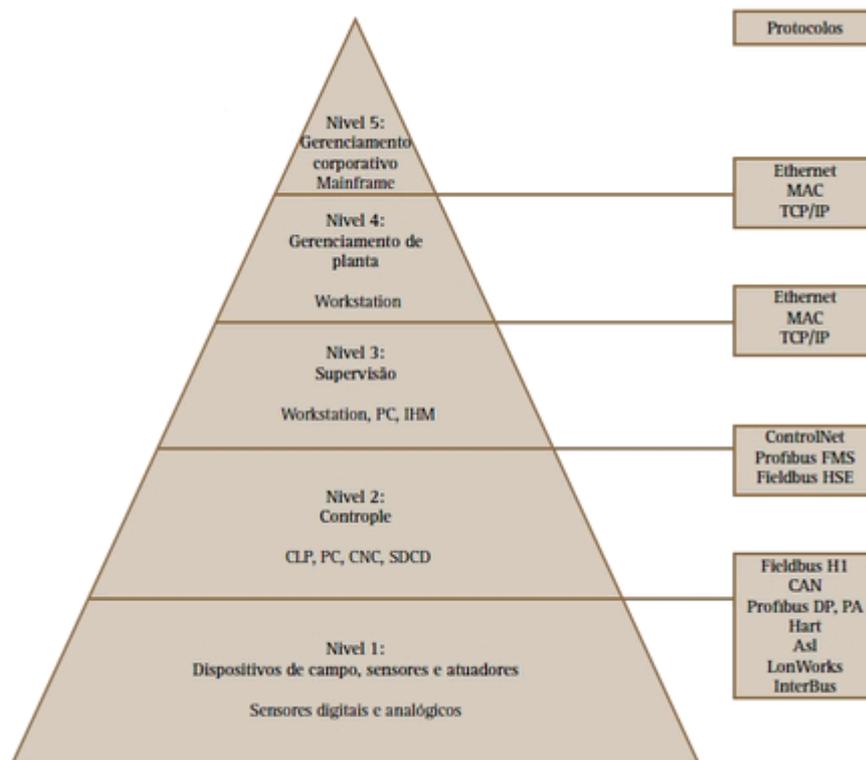
- Aumenta a produtividade;
- Aumenta a qualidade do produto;
- Reduz os custos de mão de obra;
- Reduz ou elimina os impactos ambientais;
- Proporciona maior segurança para os trabalhadores;
- Torna a empresa mais competitiva;
- Estimula a busca por qualificação profissional.
- Permite um melhor controle e gerência da produção.

Com base nessas vantagens, a automação tem ganhado espaço cada vez maior em diversas áreas, principalmente na indústria. No decorrer do trabalho serão apresentados alguns tópicos e aplicações relacionados a esse tema na indústria.

3.2 Níveis de automação

Dentro da automação, existem diversas funções, conforme Moraes e Castrucci (2007) mostram com a chamada pirâmide da automação, que divide os diferentes níveis de automação encontrados em uma planta industrial, que vão desde os dispositivos de campo, sensores e atuadores, formando a base, até o mais alto nível de gerenciamento corporativo

Figura 1 - Pirâmide da Automação



Fonte: MORAES E CASTRUCCI, 2007, p. 13.

O primeiro nível é composto pelos equipamentos de chão de fábrica, sensores, atuadores, relés, inversores, e outros. No segundo nível estão os controladores

digitais, dinâmicos e lógicos, como o controlador lógico programável (CLP), responsável por controlar os equipamentos do primeiro nível e repassar os comandos vindos de níveis superiores. No terceiro nível, está o banco de dados com informações de qualidade e produção, relatórios e estatística, recebendo informações dos níveis 1 e 2, repassando aos níveis 4 e 5. No quarto nível está o gerenciamento da planta, fazendo o planejamento e programação da fábrica, passando as tarefas que devem ser executadas pelos níveis inferiores. No quinto e último nível está o gerenciamento corporativo, controlando e gerenciando todos os recursos da empresa.

Com o surgimento das redes de comunicação, em 1980, todos os níveis passam a trocar dados, desde que os equipamentos fossem da mesma marca. Esse problema foi corrigido em 1993 com o surgimento da norma IEC 61131-3, que trouxe a padronização dos programas de controle industrial, confirmada na padronização internacional ISA 95, fazendo a integração entre empresas e sistemas de controle. Conforme Cappeli (2007), toda essa evolução na estrutura da automação, trouxe vários benefícios para o processo produtivo, nos quais podemos citar: maior produtividade, otimização de espaço nas fábricas, maior qualidade, maior tempo médio entre falhas, menor tempo de máquina parada, maior segurança para os operadores, menor consumo de energia elétrica e outros insumos, além da redução significativa de refugos.

3.3 Controlador Lógico Programável

O chamado controlador lógico programável, ou CLP, é um equipamento eletrônico-digital responsável por controlar máquinas e processos. Ele surgiu em 1968, na divisão de hidráulicos da empresa General Motors®. Naquela época, todo o controle era baseado na lógica a relé, o que dificultava a mudança de programação nas linhas de montagem. Qualquer alteração no modo de operação gerava um grande transtorno, pois eram necessários a mudança física de fios, cabos

e componentes. Desta forma o sistema se tornava pouco operacional, e com diversos problemas como o consumo alto de energia, difícil manutenção, dificuldade em manter documentação, além de provocar paradas operacionais demoradas. Para resolver, a GM® criou um sistema com a flexibilidade de um computador, podendo ser programado e reprogramado, sem a necessidade de intervenções na estrutura montada do equipamento. Além da flexibilidade, esse equipamento foi preparado para suportar as mais variadas condições do ambiente industrial, surgindo o CLP.

Os primeiros controladores lógicos programáveis foram instalados em 1969. Segundo Cappeli (2007), o primeiro dispositivo capaz de funcionar com várias operações distintas, e de fácil programação, era chamado de MODICOM, que significa *Modular Digital Controller*, e que trouxe inúmeras vantagens, tais como:

- Economia na mudança de função;
- Aumento da vida útil do controlador;
- Menor manutenção preventiva e corretiva;
- Redução de dimensões;
- Agilidade na mudança de programação;
- Redução nos custos com fiação.

Para Moraes e Castrucci (2007), um controlador lógico programável automatiza uma grande quantidade de ações com precisão, confiabilidade, robustez e pouco investimento. Informações de entrada são analisadas, decisões são tomadas, comandos são transmitidos, tudo em paralelo com o processo, ou seja, juntamente com o desenrolar das atividades operacionais.

Podemos observar o histórico da tecnologia utilizada nos controladores, conforme informações retiradas na publicação de Silva (2007), e que será organizado em uma tabela para melhor visualização contextual.

Tabela 1 – Gerações dos controladores

1ª Geração	Programação em <i>Assembly</i> . Era necessário conhecer o <i>hardware</i> do equipamento, ou seja, a eletrônica do projeto do CLP.
2ª Geração	Apareceram as linguagens de programação de nível médio. Foi desenvolvido o “Programa monitor” que transformava para linguagem de máquina o programa inserido pelo usuário.
3ª Geração	Os CLP’s passam a ter uma entrada de programação que era feita através de um teclado, ou programador portátil, conectado ao mesmo.
4ª Geração	É introduzida uma entrada para comunicação serial, e a programação passa a ser feita através de micro computadores. Surgindo a possibilidade de testar o programa antes do mesmo ser transferido ao módulo do CLP, propriamente dito.
5ª Geração	Os CLP’s vêm com padrões de protocolo de comunicação para facilitar a interface com equipamentos de outros fabricantes, e também com Sistemas Supervisórios e Redes Internas de comunicação.

Fonte: o autor (2015)

3.3.1 Controlador utilizado no sistema em estudo

O CLP utilizado no projeto em estudo é da família *Compact Logix* – 1768-L43, da marca *Allen Bradley*® – *Rockwell Automation*®.

Segue abaixo, algumas características técnicas desse modelo de controlador, retiradas do manual “Guia de seleção do *Compact Logix*” da *Rockwell Automation*.

- Trabalhos do controlador: 16 tarefas sendo apenas uma contínua. Tarefas por evento, suportando disparo de *tag* consumido, instrução *EVENT*, eixo e o evento de posicionamento dispara;
- Memória do usuário: memória de 2MB e memória não volátil *compact flash*;
- Portas de comunicação incorporadas: uma porta serial RS-232 (DFI ou ASCII);
- Opções de comunicação: *Ethernet/IP*, *DeviceNet*, serial, *Modbus* via rotina *Ladder* e DH-485;
- Conexões: 64 na *Ethernet/IP* e 32 na TCP/IP;
- Redundância do controlador: não aplicável;
- E/S nativa: 1769 *Compact I/O*;
- Movimento simples: passo a passo, servo via *DeviceNet*, inversor de frequência analógico;
- Movimento integrado: interface Sercos;
- Opções de montagem e instalação: montagem em painel, trilho DIN;
- Linguagens de programação: Lógica *Ladder*, texto estruturado, bloco de funções, controle sequencial de funções.

O CLP controla além dos dispositivos de entrada e saída, seis balanças industriais da *Shenck Process®*, sendo quatro delas do modelo *Disomat Tersus®*, responsáveis por fazer a dosagem do minério nas latas e as outras duas, são do modelo *Disomat Opus®*, responsáveis por fazerem a checagem manual e automática das latas. As entradas digitais são conectadas ao cartão de entrada 1769-IQ16 e as saídas digitais são conectadas ao cartão de saída 1769-OB16. Os *Cubes* funcionam como remotas para as entradas e saídas digitais/analógicas.

Toda a parte de segurança é feita por um CLP de segurança independente, conectado ao Controlador geral do sistema através de um módulo de interface

separado, o 1768-ENBT, para comunicação *Ethernet/IP*. Abaixo temos a foto do CLP de segurança utilizado no sistema.

Figura 2 - CLP de segurança utilizado no sistema

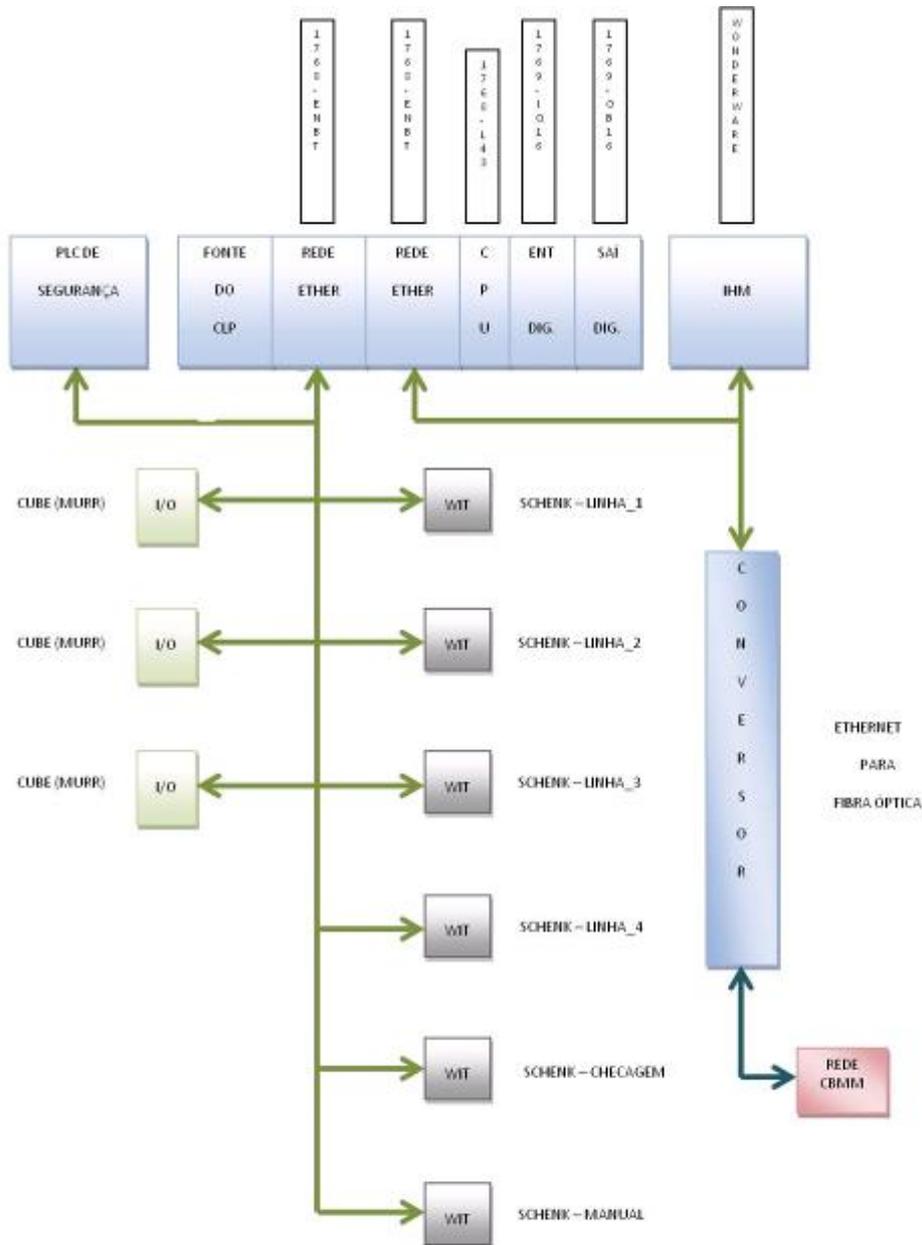


Fonte: foto retirada pelo autor em 30/06/2015

A *interface* homem-máquina é feita através de uma IHM da marca *Wonderware®*, utilizando como *software* de programação o *Intouch®*. Da mesma forma que o controlador de segurança, essa IHM comunica-se com o CLP através de um módulo de interface, o 1768-ENBT, para comunicação *Ethernet/IP*, que em seguida passa por um conversor de cabo de rede para fibra óptica, fazendo a ligação com a rede da empresa.

O software de programação utilizado é o *Rslogix5000(V20. 01)®*. A figura abaixo representa um desenho ilustrando como está montado o CLP que controla o sistema de envase das latas.

Figura 3 - Diagrama em blocos do processo



Fonte: o autor (2015).

3.3.2 Módulos de E/S do controlador

Os módulos de E/S do controlador fazem a interface entre os dispositivos de campo e a memória de dados do controlador. O cartão de entrada recebe as tensões usuais de comando que chegam dos equipamentos de entrada, que são botões, chaves seletoras, sensores, transmissores, entre outros, transformando-as em tensões de nível lógico necessárias para fazer o processamento. Além de fazer o condicionamento desse sinal, o cartão de entrada é responsável também por fazer a isolação e a filtragem.

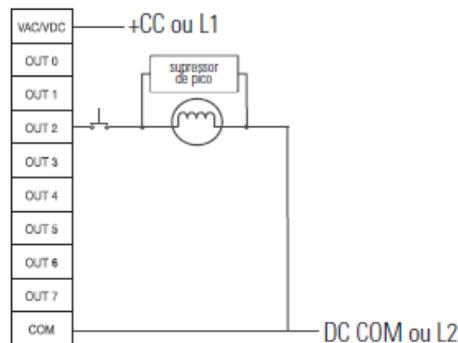
No caso do modelo de controlador utilizado nesse estudo, o módulo de entrada utilizado é digital, o modelo 1769-IQ16, com 16 entradas, e tensão de entrada de 24 Vcc. Usam filtros que limitam o efeito de transientes de tensão causados por chaveamento intermitente e ruídos, evitando assim a produção de dados falsos, além de possuir uma isolação óptica que protege os circuitos lógicos de danos elétricos. Os circuitos lógicos processam o sinal. Há um *LED* que acende e apaga indicando o *status* do dispositivo de entrada correspondente.

Os módulos de saída, por sua vez, comutam as tensões de controle fornecidas, necessárias para acionar vários dispositivos como solenoides, relés contadores, entre outros. Esses sinais emitidos pela CPU passam por uma barreira de isolação antes de energizar os componentes dos circuitos de saída.

No controlador em estudo, o módulo de saída digital utilizado é o 1769-OB16, de 16 saídas e tensão de 24 Vcc. O controle do sinal de saída é feito a partir de circuitos lógicos que determinam os *status* da saída. A isolação óptica separa a lógica do módulo e os circuitos do barramento da energia do campo. Assim como no módulo de entrada, um *LED* indica o *status* da saída. O *driver* de saída liga ou desliga a saída correspondente. É necessário o uso de um dispositivo supressor adicional, no caso da saída estar sendo usada para controlar dispositivos indutivos (relés, acionadores de motor, solenoides ou motores), diretamente através da

bobina, para prolongar a durabilidade dos contatos e reduzir os efeitos dos transientes de tensão. Abaixo está representado a figura do dispositivo supressor.

Figura 4 – Dispositivo supressor



Fonte: retirada do manual da Rockwell®

As entradas e as saídas do CLP podem ser digitais ou analógicas. No caso de ser digital, a comunicação é feita através de valores fixos de tensão, como 24V ou 0V, no mesmo padrão dos dispositivos comunicados. 24V significa 1 e 0V significa 0. Ao contrário, se for analógico, é usado o sinal de 4 a 20mA.

3.3.3 CPU do controlador

A unidade central de processamento faz o gerenciamento do sistema, controlando as operações realizadas por diferentes unidades. Controla os barramentos de endereços, dados e controle, podendo ser considerada como o cérebro do sistema. No controlador em estudo, é utilizada uma CPU do modelo 1768-L43.

Conforme MORAES E CASTRUCCI, a CPU é responsável pela execução do programa do usuário e pela atualização da memória de dados e da memória-imagem das entradas e saídas.

A CPU é formada pela junção de alguns componentes entre os quais podemos destacar o microprocessador, que é o componente mais importante da CPU. Eles começaram a serem utilizados em controladores assim que se tornaram mais confiáveis.

3.3.4 Fonte de alimentação

A fonte de alimentação tem como objetivo, converter corrente alternada em corrente contínua para alimentar o controlador. Podemos citar dois tipos de fontes utilizadas: *source*, que é interna ao controlador e *sink* que é externa.

O controlador utilizado no sistema não necessita de bateria. Durante o encerramento o controlador usa memória *flash* para armazenar seu programa. A energia armazenada na fonte de alimentação mantém a alimentação por tempo suficiente para armazenar o programa na memória *flash* interna.

A fonte de alimentação do sistema em estudo é a 1768-PA3. É uma fonte de entrada dupla que opera em múltiplas faixas. Também oferece uma fonte de alimentação externa de 24Vcc. A fonte de alimentação envia 24Vcc para o controlador localizado no *slot* 0 e o controlador converte os 24 Vcc em 5Vcc e 24Vcc e distribui, conforme a necessidade.

3.3.5 Memória

A memória tem a responsabilidade de armazenar o programa do usuário e todos os dados utilizados. É um item fundamental na escolha do controlador a ser utilizado em qualquer projeto. Conforme LEITE (2014), de acordo com a complexidade do sistema, será definida a memória necessária e a CPU a ser utilizada. Os controladores atuais utilizam palavras de 16, 32 ou 64 *bits*.

No sistema em estudo, o controlador *Compact Logix®* (1768-L43) utiliza palavras de 32 *bits*.

A memória pode ser classificada como volátil e não volátil. A memória volátil perde todos os dados armazenados quando há uma falta de energia. Podemos citar como exemplo a memória RAM (*Random Access Memory*), normalmente utilizada no controlador para armazenar estados de entradas, saídas e dados de temporizadores, contadores e outros, quando há a necessidade de leitura e escrita de forma rápida.

Já a memória não volátil é aquela que permite o armazenamento mesmo com a falta de energia, ou seja, os dados não serão perdidos quando houver interrupção da alimentação. Como exemplo podemos citar a memória EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only*). Esse tipo de memória é normalmente utilizado para armazenar programas e alguns parâmetros, além é claro de permitir a edição de dados através de um dispositivo de programação.

3.4 Linguagem de programação Ladder

A linguagem de programação *Ladder*, também conhecida como linguagem “de relés”, é a mais conhecida, muito utilizada e uma das primeiras técnicas de programação. *Ladder* quer dizer em escada ou em cascata. É uma representação lógica, feita à partir de diagramas elétricos funcionais, formada por duas linhas verticais, conhecidas como barras de alimentação, e uma ou mais linhas horizontais que possuem pelo menos um elemento controlado (bobina), e um conjunto de condições para controlar esse elemento (contatos). Para Moraes e Castrucci (2007), *Ladder* é uma linguagem gráfica de alto nível que se assemelha ao esquema elétrico de um circuito de comando ou diagrama de contatos. Na mesma linha de pensamento, Fialho (2006) indica que a linguagem *Ladder* trata-se de uma adaptação do diagrama elétrico funcional também conhecido como diagrama *Ladder*, sendo um sistema gráfico de símbolos e termos.

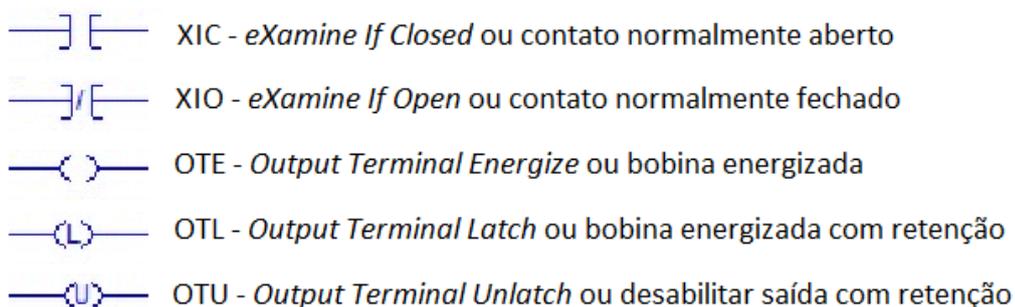
É a linguagem utilizada na programação dos controladores lógicos programáveis, sendo prática por trazer consigo várias funções de temporização pré-definidas, o que facilita a confecção de programa e entendimento dos usuários. Os símbolos utilizados seguem padrões e normas internacionais.

Existem algumas instruções básicas na maioria dos CLP's que, segundo Moraes e Castrucci (2007) podem ser agrupadas em sete categorias:

- a) Lógica de relé ou instrução de *bit*;
- b) Temporização e contagem;
- c) Aritmética;
- d) Manipulação de dados;
- e) Controle de fluxo;
- f) Transferência de dados;
- g) Avançada.

No decorrer deste capítulo, veremos as instruções mais utilizadas para fazer as alterações necessárias no presente trabalho. A figura 5 ilustra as principais instruções de bit ou lógica a relé na programação *Ladder*. São funções baseadas em relé.

Figura 5 - Principais instruções de bit ou lógica a relé



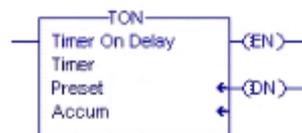
Fonte: O autor (2015)

O contato normalmente aberto (instrução XIC) permite a energização da linha se o bit endereçado possuir nível alto. O normalmente fechado (instrução XIO)

permite a energização da linha se o bit endereçado possuir nível baixo, e se em nível alto bloqueia. As funções de *output* (saída) definem o estado do bit endereçado de acordo com a situação da linha, estando energizada a saída vai para nível 1, caso contrário vai para nível 0. A bobina energizada com retenção (OTL) uma vez colocada em nível lógico 1 continuará em estado alto mesmo que a linha seja descontinuada, até que a instrução desabilitar saída com retenção (OTU) que esteja associada a esta função seja habilitada, ou seja, a instrução OTL funciona como um “selo” de um circuito relé. A instrução OTU em nível lógico 1 desabilita a saída OTL.

Como exemplo de função de temporização e contagem, é utilizada a instrução temporizador crescente sem retenção à energização (TON). Havendo continuidade lógica na linha, a instrução TON inicia uma contagem de tempo, possuindo *bits* de controle e de sinalização do seu estado de operação. O *bit* EN vai para nível 1 cada vez que a instrução é acionada, o DN vai para nível 1 quando o valor do registrador acumulador *Accum* for igual ao valor do registrador pré-selecionado *Preset*. A figura 6 ilustra esta instrução.

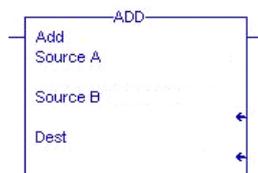
Figura 6 - Ilustração da instrução temporizador crescente sem retenção



Fonte: O autor (2015)

Para realizar cálculos aritméticos existem algumas instruções principais, como as de adição (ADD), subtração (SUB), multiplicação (MUL), divisão (DIV), e raiz quadrada (SQR). A cada ciclo de *scan* a instrução opera os dados contidos na *Source A* com os da *Source B* transferindo o resultado para *Dest*. A figura 7 ilustra a instrução ADD.

Figura 7 - Ilustração da instrução Ladder adição



Fonte: O autor (2015)

O CLP possui várias instruções que servem para manipular os dados. Funções como Mover (MOV), mover com máscara (MVM), E lógico (AND), OU lógico (OR), OU Exclusivo (XOR), não lógico (NOT), são exemplos dessas instruções de manipulação. A figura 8 ilustra a instrução MOV que move os dados a cada *scan*, caso a linha esteja em nível lógico 1, ou seja, copia um valor de um endereço que está em *Source* a um endereço de destino, nesse caso o *Dest*.

Figura 8 - Ilustração da instrução Ladder mover



Fonte: O autor (2015).

Como controle de fluxo podemos citar a instrução JSR, que força o *scanner* a desviar-se para uma área selecionada do programa, causando um desvio. Para transferência de dados são utilizadas funções como a MSG que permite a troca de dados entre CLP's através de uma rede de comunicação, nesse caso um controlador lê e escreve na memória do outro. As instruções consideradas avançadas são funções do tipo exponencial, logarítmica ou trigonométrica podendo ser utilizadas para desenvolver programas de matemática.

3.5 Sistemas supervisório

Ao buscar na literatura o conceito de sistemas supervisórios são encontradas várias definições, que nos levam a um mesmo entendimento. Para Moraes e Castrucci (2007), são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam as variáveis de processo e estas, são atualizadas constantemente podendo ser armazenadas em banco de dados locais ou remotos, permitindo assim registro histórico.

Os programas supervisórios utilizam uma rede industrial para trocar dados com diversas estruturas físicas presentes no processo, para promover a interface homem/máquina, permitindo a supervisão de um processo através de telas devidamente configuradas. Essas telas representam o processo e, de acordo com as informações recebidas do CLP, são normalmente animadas de forma a representar os acontecimentos no campo em tempo real. Os sistemas supervisórios estão divididos em dois grupos, conforme afirma Moraes e Castrucci (2007): IHM (Interface Homem Máquina) e SCADA (aquisição de dados e controle do supervisório).

A IHM (*Human Machine Interface*), é utilizada em automação do chão de fábrica, em ambientes agressivos sujeitos a poeira, água, umidade e temperatura. Está normalmente próxima à linha de produção, se comunicando com o CLP, fazendo a integração entre o homem e o processo industrial principalmente para visualização de alarmes, dados de processo, alteração de parâmetros, ajustes manuais e configurações de equipamentos.

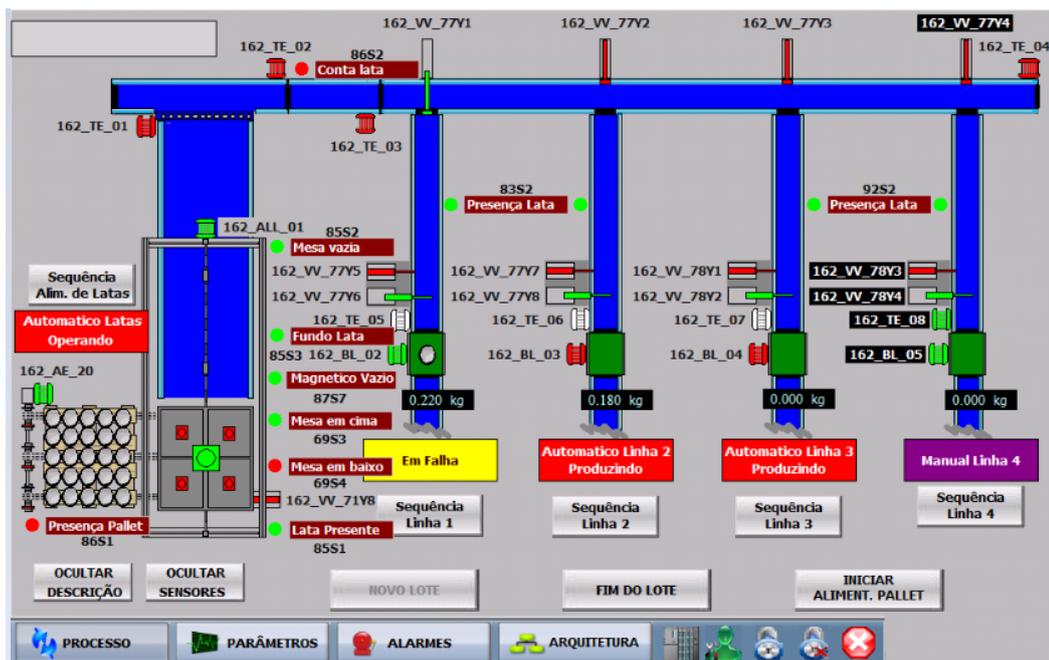
No sistema em estudo, existem quatro IHM compostas por telas de cristal líquido cada uma com um conjunto de teclas para navegação, teclado alfanumérico e comunicação serial, dedicadas às balanças de enchimento.

O sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) é um sistema de supervisão, controle e aquisição de dados composto por um ou mais

computadores monitorando e controlando um processo, com o principal objetivo de servir como interface de alto nível entre operador e processo, informando em tempo real todos os eventos de importância da planta. Moraes e Castrucci (2007) afirma que além serem destinados à supervisão, controle e aquisição de dados, ainda apresentam um custo menor que os SDCD ou Sistemas Digitais de Controle Distribuídos, sendo então por essa razão muito populares nas indústrias.

A tela do supervisor mostra ao operador a situação real da planta que está sendo monitorada, além de trazer várias informações importantes, tais como: o estado operacional do equipamento, valores das variáveis de processo, alarmes, relatórios e gráficos de processo. A figura 9 representa uma tela de supervisor do sistema em estudo.

Figura 9 – Ilustração da tela de supervisor do sistema estudado



Fonte: O autor (2015).

3.6 Redes

As redes de comunicação industrial coletam a informação medida em campo e as transmite para o local onde será processada e analisada. Podemos destacar os dois maiores objetivos das redes industriais: transmitir informações geradas pelos sensores para as unidades de processamento, sistemas de controle e supervisão e transmitir os comandos enviados por esses sistemas de controle até os atuadores da planta. Permite que o usuário compartilhe informações e recursos que estão dispostos por equipamentos processadores.

Conforme PINHEIRO (2003), as redes de computadores surgiram com a crescente necessidade de compartilhamento dos recursos computacionais e de informação dentro das empresas, o que fez com que esse tipo de sistema fosse evoluindo com o tempo. Podemos verificar que com a constante evolução dos computadores, softwares e a capacidade de memória, possibilitou uma redução no custo, fazendo com que as empresas passassem a investir nesses equipamentos, com o objetivo de compartilhar recursos colocando dados ao alcance de pessoas mesmo que distantes, fazendo uso de uma rede de comunicação.

As primeiras redes interligando computadores eram de pequeno porte, e tiveram seu início na década de 1960, com a introdução da rede por sinais elétricos em substituição aos tubos para a transmissão pneumática, o que propiciou uma redução nos custos e ainda um aumento significativo na velocidade de transmissão de dados. Inicialmente esses sinais eram totalmente analógicos e, a partir de 1980, se inicia a comunicação digital em pequenos dispositivos do chão de fábrica.

Com o crescente aumento na complexidade dos sistemas automatizados diferentes padrões de comunicação foram criados, sendo necessário uniformizar os protocolos e garantir a interoperabilidade de dispositivos de diferentes fabricantes.

É importante ressaltar que arquiteturas de redes industriais devem permitir que os sinais recebidos desde o chão de fábrica trafeguem até os níveis mais altos

de gerenciamento. Para que isso ocorra com qualidade, eficiência, segurança e ainda proporcionem um retorno no investimento, a evolução tem sido observada desde o início, conforme apresentado na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Evolução das redes industriais

Década de 1940	Instrumentação de processo com sinais de pressão físicos de 3-14 psi monitorando instrumentos de controle.
Década de 1960	Introdução dos sinais analógicos de 4-20mA para monitorar instrumentos de campo.
Década de 1970	Início da utilização de computadores para monitorar processos, com maior precisão, de acordo com a necessidade de cada um.
Década de 1980	Desenvolvimento de instrumentos inteligentes juntamente com os controles digitais associados a estes, nascendo nessa época a ideia da ligação em rede.
Década de 1990	União de vários grupos internacionais formando o comitê internacional IEC/ISA SP50 <i>Fieldbus</i> para desenvolver um padrão internacional.
Década de 2000	Criação do Fieldbus padrão IEC, denominado IEC 61158 com oito protocolos distintos: FOUNDATION Fieldbus H1, ControlNet, PROFBUS, P-Net, FOUNDATION Fieldbus HSE, Interbus, SwiftNet e WorldFIP.

Fonte: Elaborada pelo autor

Em uma rede, segundo PINHEIRO (2003), todas as informações devem ser enviadas de maneira correta, e deve ser capaz de determinar o destino dessas informações. Os computadores por sua vez, devem ser capazes de identificar as mensagens a que lhe são destinadas através de um protocolo padronizado.

3.6.1 Rede Ethernet

Para conectar os dispositivos instalados no sistema de envase em estudo, é utilizada uma tecnologia de rede local chamada de *Ethernet*, muito conhecida e utilizada na área industrial, principalmente pelo seu desempenho e desenvolvimento constante nos últimos anos. Inicialmente este tipo de conexão era utilizado apenas para poucas distâncias e hoje, o desenvolvimento constante de novas tecnologias está possibilitando seu uso em equipamentos distantes. Com isso, a *ethernet* se tornou uma boa opção para o chão de fábrica e o controle de processo.

Podemos relacionar uma série de vantagens no uso da rede *ethernet* no meio industrial, como a popularidade, baixo custo de instalação e manutenção, alta velocidade, bom desempenho, acesso remoto, capacidade elevada no transporte de informações, além de estar sempre em constante atualização. Para interligar equipamentos, instrumentos e formar a rede, são necessários os cabos por onde trafegam as informações.

É importante observar e conhecer os principais tipos de cabos utilizados na instalação da rede, a fim de determinar o melhor a ser utilizado, sempre de acordo com a necessidade. Pinheiro (2003) afirma que 70% dos problemas que ocorrem em uma rede devem-se ao cabeamento, o que confirma a necessidade de um projeto e execução muito bem feitos nesse sentido.

Para a transmissão dos dados são utilizados os seguintes meios físicos: cabo coaxial, par trançado ou até mesmo a rede sem fio. Esses meios físicos ou componentes de cabeamento variam de acordo com o tipo de sistema e mídia utilizado. A mídia de transmissão pode oferecer vantagens e desvantagens, dependendo do projeto e para sua escolha. Deve ser observado o comprimento dos segmentos de rede, número de dispositivos e as dificuldades ou facilidades para a instalação dos pontos de acesso. Essas mídias ou meios de transmissão podem se dividir em dois grupos:

- Meio guiado – fios de cobre e os cabos de fibras ópticas;

- Meios não-guiados – ondas de rádio e raios laser transmitidos pelo ar.

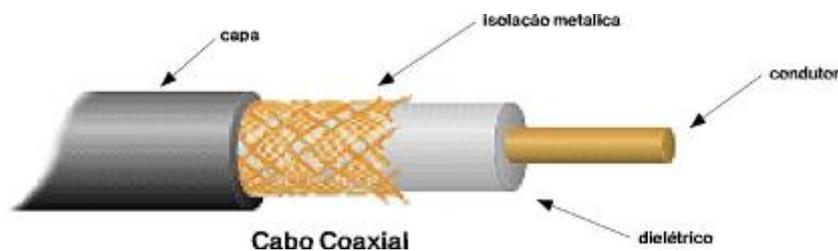
Para *Pinheiro (2003)*, os meios físicos guiados são utilizados em redes para conectar diversos equipamentos entre si e, qualquer meio físico capaz de transportar informações podem ser utilizados. Os mais utilizados são: o cabo coaxial, cabo de pares trançados e a fibra óptica, lembrando que em muitos casos são utilizados um em combinação com o outro.

No sistema em estudo, foi utilizado o cabo coaxial e fibra óptica. Para pequenas distâncias é utilizado somente o cabo de rede, porém para levar a informação até a sala de controle é utilizada também a fibra óptica. A conexão dos dois tipos de cabos é feita através de um conversor de fibra óptica.

3.6.1.1 Cabo coaxial

Consiste em um fio de cobre rígido envolto por um material isolante que, por sua vez, é envolto por um condutor cilíndrico externo na forma de uma malha metálica entrelaçada ou uma lâmina metálica. Conforme *Corrêa (2003)*, cabos coaxiais são menos afetados por perturbações eletromagnéticas do que o par trançado, porém seu custo é maior. Outra desvantagem é a necessidade de se colocar um terminador de rede (resistências terminais) para a correta operação da rede, com o objetivo de se evitar ressonâncias ou ecos.

Figura 10 – Estrutura do cabo coaxial



Fonte: imagens da internet, disponível em <<https://trasncortec.com.br>> acesso em mai. 2015

3.6.1.2 Par trançado

Este tipo de cabo, vem sendo muito utilizado em redes para a transmissão banda básica e redes locais com taxas de transferências maiores, podendo fazer a transmissão tanto analógica quanto digital.

De acordo com Pinheiro (2003), recebe o nome de par trançado devido ao fato dos pares de fios vierem entrelaçados por toda a extensão do cabo. Essa característica contribui para evitar interferências externas e até mesmo interferências nos próprios condutores do cabo. A forma em espiral reduz o ruído e mantêm as propriedades elétricas por toda sua extensão. Ele ainda explica que essa redução se dá devido ao efeito de cancelamento, por reduzir a diafonia entre os pares de fios, diminuindo o nível de interferência eletromagnética e de radiofrequência, levando a um aumento na capacidade de transmissão.

Se compararmos ao cabo coaxial, por exemplo, podemos perceber que é um meio de transmissão com menor custo por unidade de comprimento, tem uma maior facilidade de instalação e manutenção, porém tem a desvantagem da sensibilidade às interferências e ao ruído elétrico.

Existem modelos diferentes de cabeamento por par trançado, como exemplo podemos citar os cabos STP, FTP e UTP, os quais serão vistos a seguir.

Par trançado STP (*Shielded Twisted Pair*), é um par trançado com blindagem metálica feita em cada par além da malha blindada que aumenta a imunidade às interferências externas eletromagnéticas e de radiofrequência, sendo então recomendado para ambientes com interferência eletromagnética acentuada. Sua maior blindagem e isolamento o torna mais caro, com maior peso e tamanho. Têm sido pouco utilizado, devido à preferência por fibra óptica que oferece melhor proteção eletromagnética quando necessário cobrir maiores distâncias, maior velocidade de transmissão ou ambientes com umidade.

O cabo par trançado FTP (*Foiled Twisted Pair*) utiliza blindagem mais simples, feita com uma folha de aço ou liga de alumínio que envolve todos os pares do cabo, vindo a protegê-lo contra interferências externas, mas não protege das interferências entre os pacotes de cabos.

Já os cabos UTP (*Unshielded Twisted Pair*), são cabos sem blindagem nenhuma. São amplamente utilizados devido ao seu custo, facilidade de manuseio e instalação. Sua estrutura é formada de quatro pares de fios entrelaçados e revestidos por uma capa de PVC (Policloreto de Vinil). Não pode ser instalado próximo à equipamentos que geram campos magnéticos, como os inversores de frequência, motores e fios da rede elétrica.

3.6.1.3 Fibra óptica

A fibra óptica é um importante meio de transmissão que vem substituindo cada vez mais o uso dos tradicionais cabos metálicos. Podemos dizer, conforme Pinheiro (2003), que ela é constituída de uma estrutura cilíndrica, composta por material dielétrico, normalmente plástico ou vidro, com alta capacidade de transmitir raios de luz.

Basicamente a fibra óptica possui um núcleo de vidro e uma casca para dar maior resistência mecânica. Externamente ela é protegida por uma cobertura plástica, para evitar desgastes. A transmissão do sinal segue o princípio da reflexão, que acontece quando a luz propagada por um meio atinge uma superfície que o retorna para o mesmo meio que estava sendo propagado. A transmissão de informações via fibra óptica acontece por meio de um aparelho que possui um foto emissor que converte a luz em sinais elétricos. A luz refletida no interior do cabo óptico pode ser transformada em sinal elétrico, sonoro ou luminoso, dependendo do tipo de informação que é transmitida.

Sua aplicação no sistema em estudo baseia-se na conversão de sinais *Ethernet* para transmissão por fibra óptica e na conversão de sinais RS232 e RS485 para transmitir em fibra. Com auxílio de um conversor, é feita a conversão dos sinais

padrão *Ethernet* em ópticos, sendo feita a transmissão e logo em seguida o sinal óptico é convertido novamente em sinal padrão *Ethernet*, permitindo o tráfego em dois sentidos. O mesmo acontece com os sinais RS232 e RS485.

3.6.2 Rede Ethernet IP

Com o objetivo de padronizar, foram criadas as redes *Ethernet* industriais, das quais podemos citar a rede utilizada no sistema de envase em estudo, a *Ethernet IP*, em que *IP* significa “*Industrial Protocol*”. Conforme Santos, Lugli e Franco (2007), este é um padrão de rede industrial aberto que suporta mensagem em tempo real e troca de mensagens, usando o mesmo chip e mesmo meio físico de comunicação *Ethernet* padrão. Esta rede possibilita controle e informações em tempo real em aplicações discretas e processos contínuos, entre outras aplicações.

A rede *Ethernet/IP* é um padrão de rede industrial aberto que aceita a troca de mensagens utilizando-se de meios físicos e equipamentos *Ethernet* comerciais. Ela faz a conexão de vários instrumentos, motores, acionadores, controladores e dispositivos de interface homem máquina no sistema automatizado, dando todo suporte de comunicação em rede necessário.

Seu funcionamento parte do princípio que todas as máquinas compartilham um mesmo cabo, mesmo que em topologias diferentes. Isso implica que nenhuma máquina pode enviar informação quando a linha está ocupada.

3.7 Sensores Industriais

Os sensores são basicamente dispositivos utilizados para obter valores das variáveis físicas do ambiente a ser monitorado. Estes dispositivos são sensíveis à alguma forma de energia do ambiente, seja ela luminosa, térmica, cinética entre outras.

Quando se fala em automação de um processo, ou processo automatizado, rapidamente já vem o termo sensor em nosso pensamento. Isso nos mostra o quanto esse dispositivo é importante para qualquer sistema controlado.

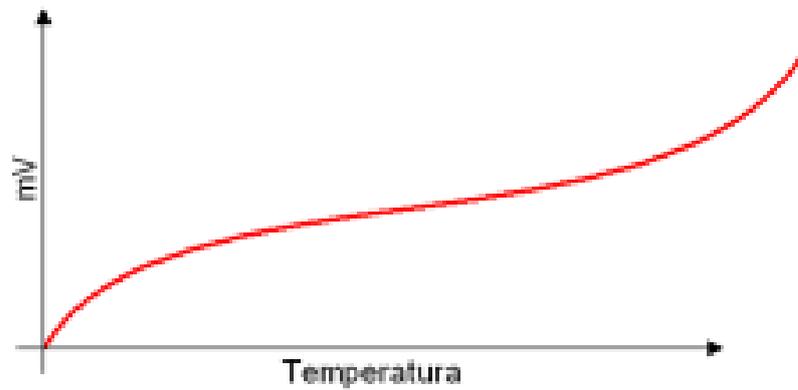
Muitas são as definições e considerações que encontramos para esse dispositivo. Moraes e Castrucci (2007) definem sensor como sendo um dispositivo amplamente utilizado na automação industrial, que transformam variáveis físicas, como posição, velocidade, temperatura, nível, entre outros, em variáveis convenientes. Nessa mesma linha de pensamento, Capelli (2007) defende que os sensores constituem toda a base da automação, seja ela industrial, predial ou comercial, e ainda são os componentes mais utilizados no mundo da eletroeletrônica. Para Thomazini e Albuquerque (2010), sensor é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração ou posição.

A seguir, será visto alguns tipos de sensores, dando uma atenção maior àqueles que estão sendo utilizados no sistema em estudo.

3.7.1 Sensores analógicos

Este é um tipo de sensor que, estando dentro da sua faixa de operação, pode assumir qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo, ou seja, eles geram respostas elétricas que variam dentro de uma faixa de atuação determinada e podem ter qualquer valor dentro dela. A figura 11 ilustra a variação dessa grandeza física.

Figura 11 - Variação da grandeza física de um sensor analógico



Fonte: O autor (2015)

Abaixo temos algumas grandezas físicas que podem assumir qualquer valor ao longo do tempo:

- ✓ Pressão;
- ✓ Temperatura;
- ✓ Velocidade;
- ✓ Umidade;
- ✓ Vazão;
- ✓ Força;
- ✓ Distância;
- ✓ Luminosidade, e outras.

Os sensores analógicos podem ser divididos em várias categorias segundo a natureza do impulso captado, a tecnologia utilizada e o modo de ação humana.

Segue abaixo uma tabela como exemplos de sensores analógicos e seu princípio de funcionamento:

Tabela 3 – Tipo de sensor e seu princípio de funcionamento

Exemplo de sensor analógico	Princípio de funcionamento
Potenciômetro	Captam giro e deslizamento
<i>Sliders</i>	Captam o deslocamento linear numa superfície
Termistores	Captam temperatura
Foto-resistores	Captam luz
Sensores resistivos de força – FSR	Captam pressão ou tato
Flexores	Captam flexão, movimento
Acelerômetros	Captam ou movimento ou inclinação do objeto
Piezoelétricos	Produzem variação de voltagem quando deformados, captando assim som, temperatura, força.
Infravermelhos	Captam presença pela interrupção da luz infravermelha.
De campo eletromagnético	Medem o campo eletromagnético ao redor dos corpos físicos
De som	Captam vibração sonora

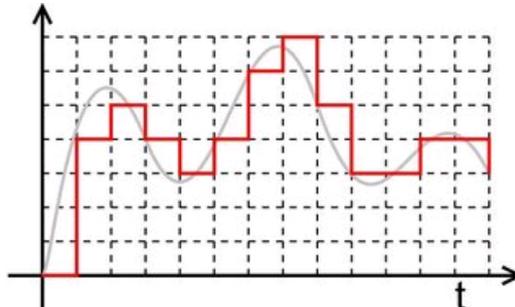
Fonte: O autor (2015)

3.7.2 Sensores digitais

Como o nome já sugere, este tipo de sensor assume dois valores no seu sinal de saída ao longo do tempo, sendo interpretados por 0 ou 1. Naturalmente não temos grandezas físicas que assumam esses valores, mas contam com o apoio de circuito eletrônico do transdutor para serem mostrados ao sistema de controle. Os transdutores transformam magnitudes físicas em impulsos elétricos. Como exemplo, temos a transformação de temperatura em um sinal de 4 a 20mA. Esse sinal pode ser facilmente interpretado pelo controlador.

O sinal analógico pode ser convertido em digital e o digital pode ser convertido em analógico, bastando para isso o uso de conversores. Abaixo temos o gráfico de um sinal linearizado após ser digitalizado.

Figura 12 - Exemplo gráfico da digitalização e linearização de sinais



Fonte: www.slideplayer.com.br

3.7.3 Sensores mecânicos

Alguns sensores utilizam recursos mecânicos, como as chaves, para captar movimentos, posições ou presença de algum objeto. As chaves fim de curso são exemplos clássicos desse tipo de sensor. Funcionam como interruptores ou chaves comutadoras que atuam num circuito no modo liga-desliga quando uma ação mecânica acontece no seu elemento atuador.

O funcionamento é bem simples. Quando não está pressionada, o contato está normalmente aberto. Assim que acontece um pressionamento, o contato se fecha em alguma conexão do circuito indicando a atuação, ou seja, indicando a posição final de um elemento. Estes sensores são utilizados em diversas aplicações. Pode ser para identificar a presença de um objeto num determinado local, abertura de uma porta, reconhecer o ponto de parada para uma peça mecânica, entre outros.

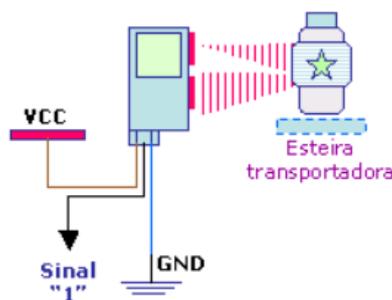
3.7.4 Sensores ópticos

Os sensores ópticos são muito utilizados no sistema em que esse projeto está se desenvolvendo. Para estudar a fundo o conceito e funcionamento de sensor

óptico é conveniente ter um breve conhecimento de conceitos de luz e de fibra óptica, devido ter um funcionamento baseado na transmissão e recepção da luz infravermelha, que pode ser refletida ou interrompida pelo objeto a ser detectado. Possui quatro formas diferentes de operação. A seguir mostraremos o princípio de funcionamento de cada um desses modos.

Sensor óptico difuso - Nesse modo o transmissor e o receptor são montados juntos, na mesma unidade, ocorrendo o acionamento da saída quando o objeto a ser detectado entra na região de sensibilidade e reflete para o receptor o feixe de luz emitido pelo transmissor, ou seja, o próprio objeto a ser detectado serve como refletor.

Figura 13 - - Ilustração do sensor óptico por difusão



Fonte: www.slideplayer.com.br

A distância de atuação do sensor depende do tamanho, forma, densidade, cor e ângulo de impacto do objeto. Quanto maior a distância entre o sensor e o objeto que se deseja captar, maior deve ser a área de reflexão do sensor.

Vantagens do uso desse sensor:

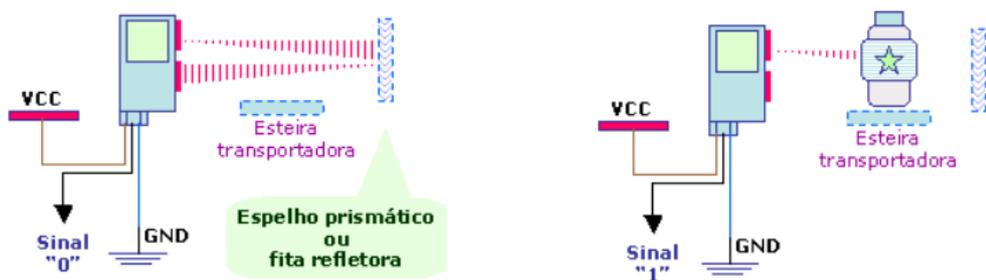
- Não é necessário refletor externo;
- Objetos translúcidos podem ser detectados;
- Podem fazer a detecção frontal dos raios de luz.

Desvantagem:

- Devido as diferentes composições dos materiais, tem menor precisão;
- Deve-se ajustar o potenciômetro de acordo com o contraste de fundo, que pode ser captado, para reduzir as variações significativas no ambiente de produção, ou seja, deve-se atentar sempre para o ajuste de sensibilidade do sensor;
- A poluição do ambiente pode interferir no funcionamento deste tipo de sensor.

Sensor óptico retro-reflexivo - Esse tipo de sensor tem o transmissor e o receptor na mesma unidade. O feixe de luz chega ao receptor após ser refletido por um espelho prismático. O acionamento da saída ocorrerá quando o objeto interromper este feixe.

Figura 14 - Ilustração do sensor óptico retro-reflexivo com espelhos



Fonte: www.slideplayer.com.br

Vantagens:

- Sua instalação é simples;
- O objeto pode ser transparente, desde que tenha suficiente absorção de luz;
- Na maioria dos casos a faixa de resposta é maior que o de barreira.

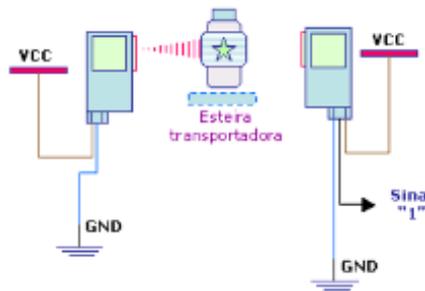
Desvantagens:

- Objetos totalmente transparentes não são detectados;

- Necessita de um refletor externo;
- Espelhos sujos podem comprometer o funcionamento;
- Objetos brilhantes podem refletir a luz conforme o espelho.

Sensor óptico de barreira - Nesse tipo de sensor, ao contrário dos anteriores, o transmissor e o receptor estão em locais diferentes. Seu princípio de funcionamento é baseado na interrupção do feixe de luz. A única restrição para uso deste tipo de sensor é que objetos totalmente transparentes não serão captados. Abaixo a figura 15 ilustra o funcionamento desse sensor.

Figura 15 - Ilustração do sensor óptico de barreira



Fonte: www.slideplayer.com.br

Vantagens:

- Grande faixa de operação;
- Pequenos objetos podem ser detectados;
- Possui uma boa precisão.

Desvantagens:

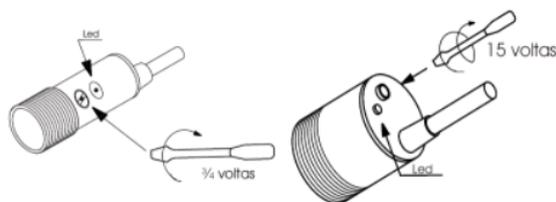
- Transmissor e receptor separados exigem duas conexões elétricas separadas;
- Não pode ser utilizado em objetos transparentes;
- Tem alta sensibilidade à poeira.

3.7.5 Sensores capacitivos

Sensores capacitivos são aqueles sensores que operam com o princípio da capacitância e detectam todos os tipos de materiais metálicos e não metálicos. Baseiam-se na geração de um campo elétrico desenvolvido por um oscilador controlado por um capacitor. O oscilador não oscila até que se aproxime um objeto do mesmo. Quanto mais próximo maior a amplitude da oscilação, até que atinja o *set-point* do circuito de disparo acionando a saída, que pode ser PNP ou NPN. O lado sensível de um sensor capacitivo é formado por dois eletrodos metálicos dispostos concentricamente que equivalem a um capacitor. À medida que o objeto se aproxima, a capacitância do circuito oscilador aumenta, fazendo aumentar a amplitude de oscilação indo para o estado *on*, comutando a saída de baixo para alto. Afastando o sensor a capacitância diminui, reduzindo a oscilação voltando para o estado *off*, comutando a saída de alto para baixo.

Este sensor é recomendado para detecção de material condutor em grandes distâncias, em paredes isolantes ou também para a detecção de um material não condutor colocado sobre ou diante de uma peça aterrada. Possuem um ajuste de sensibilidade que possibilita a detecção de produtos dentro de recipientes, conforme podemos observar na figura 16.

Figura 16 - Sensor capacitivo com ajuste de sensibilidade



Fonte: www.slideplayer.com.br

3.7.6 Sensores indutivos

Estes são os mais comuns encontrados na empresa. Tem o princípio de funcionamento baseado na variação da indutância do campo eletromagnético gerado por uma bobina, quando objetos metálicos passam próximo da face do sensor. Não é necessário o contato físico entre o acionador e o sensor para haver a detecção. Isso aumenta sua vida útil por não haver desgastes mecânicos. Este sensor é indicado para os casos que necessitem de alta velocidade de operação, maior vida útil e necessidade de detectar objetos metálicos.

Figura 17 – Ilustração do sensor indutivo



Fonte: www.slideplayer.com.br

Esse tipo de sensor é composto por um oscilador que fornece energia para geração do campo eletromagnético nas bobinas que geram o campo eletromagnético. Possui um circuito de disparo que detecta mudanças na amplitude da oscilação, quando alvo se aproxima da face do sensor, e um circuito de saída que quando uma mudança considerável é detectada ela fornece um sinal para uma interface, um CLP ou para um microcontrolador.

3.7.7 Sensores magnéticos

Estes sensores são largamente utilizados nas mais diversas áreas e o princípio de funcionamento é simples. Um contato normalmente aberto é ativado por um campo eletromagnético que não precisa de contato manual ou mecânico para o acionamento, pois basta uma aproximação dos magnetos. A distância de atuação varia de acordo com o sensor utilizado. Podem ser normalmente aberto, fechado ou ambos. Abaixo, a figura 18 ilustra este tipo de sensor.

Figura 18 - Ilustração de sensores magnéticos



Fonte: www.slideplayer.com.br

Eles são muito utilizados nos conjuntos de pistão e cilindro, na velocidade de rotação de eixos, em sistemas de contagem, sensores de portas, posição de peças, e outras, na forma de *switch*. A figura 19 ilustra o pistão responsável por fazer o desvio das latas destampadas no sistema de envase. Em destaque de amarelo, dois sensores magnéticos responsáveis por indicar início e fim de curso.

Figura 19 - Sensores magnéticos acoplados no cilindro pneumático



Fonte: Retirada pelo autor em 24/06/2015

3.7.8 Características importantes dos sensores

Na hora de optar pelo sensor, uma série de características deve ser levada em consideração. A seguir, veremos algumas delas.

Tipo de saída: pode ser digital, assumindo valores de “0” ou “1” lógicos. Só é capaz de mostrar se uma grandeza atingiu o valor predeterminado. São muito utilizados no controle da sequência de eventos com uso de CLP's. Também pode

ser analógica, com a saída contínua e quase uma réplica da grandeza física de entrada. Como exemplos, temos as células de carga e transdutores de pressão analógica.

Exatidão: pode se dizer que é a aptidão de um instrumento de medição em dar respostas próximas ao valor verdadeiro.

Alcance: também conhecido como range, ele representa toda a faixa de valores de entrada de um transdutor.

Velocidade de resposta: é a velocidade com que a medida fornecida pelo sensor alcança o valor real do processo.

Outras características devem ser observadas, tais como: facilidade de manutenção, custo, calibração, dimensões, faixa de trabalho, encapsulamento, histerese, linearidade, precisão, estabilidade e vida útil.

3.8 Sistema Pneumático

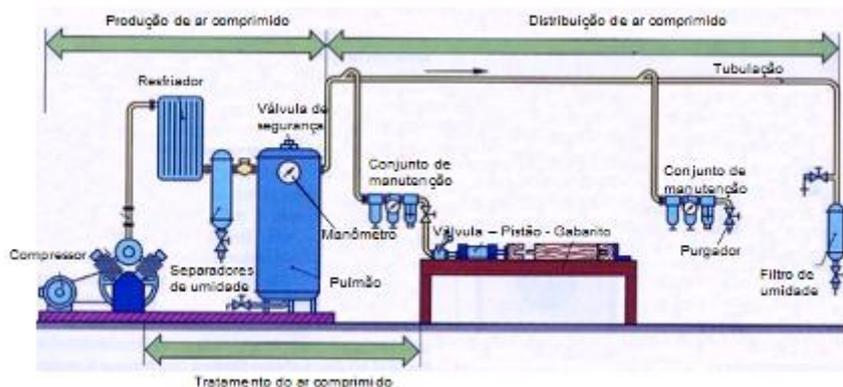
O uso da pneumática na indústria se tornou além de comum, indispensável para auxiliar na automação de processos, de forma a racionalizar o trabalho humano e dar mais segurança aos equipamentos. Fialho (2006, p.26) conclui que além de rentável a pneumática se adapta a serviços monótonos, cansativos e repetitivos e que, por isso, é escolhida para substituir a energia do trabalho humano. A utilização do ar comprimido torna os processos automáticos mais baratos, seguros e rentáveis.

Esse ar precisa ser produzido e distribuído em condições apropriadas para uso. Essas condições são principalmente de pressão e de qualidade do ar. Para que o ar chegue a uma pressão necessária, são utilizados os compressores que utilizam purgadores, secadores e filtros. Algumas características importantes devem ser consideradas na escolha de um compressor, tais como, o volume de ar que ele fornece, a pressão de regime, a pressão de trabalho, o tipo de acionamento (elétrico

ou explosão) e o tipo de sistema de regulação. Esse sistema de regulação pode ser por descarga, por fechamento, por garra, por rotação ou por regulação intermitente.

O volume é a quantidade total de ar em m³ que pode ser fornecida pelo compressor. É importante para verificar o rendimento que varia de acordo com o tipo de compressor. A pressão de regime é a pressão efetiva fornecida pelo compressor alimentando os pontos de utilização. A pressão de trabalho é a pressão necessária para acionar os equipamentos. Esta deve ser menor que a pressão de regime. Para reduzir e manter essa pressão constante é utilizado um conjunto de válvula redutora de pressão com manômetro e lubrificador. O acionamento pode ser por motor elétrico, diesel ou gasolina. A escolha depende do ambiente, mas normalmente é utilizado o motor elétrico. O sistema de regulação é importante para combinar o volume fornecido com o volume utilizado, mantendo volumes de ar constantes na linha para utilização, uma vez que a quantidade de ar utilizada pelos equipamentos não é constante. Saindo do compressor o ar é resfriado, passa por um separador de umidade e em seguida, é enviado para os elementos atuadores através de tubulações de ar comprimido, conforme podemos ver na figura 20.

Figura 20 - Ilustração dos elementos do sistema de ar comprimido



Fonte: www.slideplayer.com.br

Os filtros servem para a eliminação das partículas de poeira, umidade e óleo. Já os manômetros são usados para ajustar a pressão de trabalho a um nível ideal.

Existem diversos tipos de compressores, cada um com sua particularidade, mas não vamos aprofundar esse assunto nesse trabalho. Introduzimos esse assunto para falar dos atuadores pneumáticos, que são utilizados no sistema em estudo. Esses atuadores são elementos constituídos por um tubo cilíndrico, fechados na extremidade por uma tampa com uma conexão para fazer a admissão e a exaustão do ar. Na outra extremidade também uma tampa com orifício por onde passa uma haste responsável por fazer o movimento de empurrar o objeto . Fialho (2007) dá o conceito de atuadores pneumáticos como sendo elementos mecânicos que por meio de movimentos lineares ou rotativos transformam a energia cinética gerada pelo ar pressurizado em energia mecânica, com o objetivo de produzir trabalho.

No sistema em estudo são utilizados alguns atuadores lineares, popularmente chamados de cilindros. Temos cilindros de simples ação, que recebem esse nome por utilizar o fluído para produzir trabalho em um único sentido no avanço ou no retorno. Normalmente o retorno é realizado através da ação de uma mola. Já os cilindros de dupla ação utilizam ar comprimido para produzir trabalho em ambos os sentidos de movimento. Vejamos a seguir, na figura 21 a imagem de um cilindro responsável por fazer o desvio das latas fora do peso para a estação de pesagem.

Figura 21 - Cilindro desviador de latas fora do peso



Fonte: Foto retirada pelo autor em 24/06/2015

3.9 Balanças industriais

Balanças industriais são colocadas em pontos específicos do processo, onde se faz necessário medir o peso de um determinado produto ou até mesmo quantificar produtos de modo eficaz.

O sistema objeto desse estudo possui alguns desses equipamentos, principalmente nas áreas de envase.

Figura 22 - Vista frontal da IHM das balanças do sistema de envase



Fonte: retirada do manual da Schenck Process®

O sistema utiliza balanças de pesagem com terminal projetado para dosar e controlar o peso do material de forma automática, além de fazer o controle e o processamento dos dados adquiridos. É um sistema compacto que traz as funções essenciais de um terminal de pesagem.

Este terminal controla não só as balanças de enchimento, como também as balanças dos silos de estocagem do material. Através dele é possível fazer a tara e calibração das balanças, ajustar, programar e controlar os pesos necessários. Além disso, é possível exibir valores de pesos, informações de *status* da balança, mensagens de texto, e ainda fazer a interface visual entre o operador e o equipamento. Uma desvantagem é o controle de vibração das balanças feito com o operador ajustando os potenciômetros. Foi resolvido ao fazer a comunicação entre o CLP e as balanças, ficando a cargo do primeiro o controle das balanças, permitindo inclusive o carregamento das receitas.

3.10 Remotas utilizadas

A quantidade de equipamentos de entrada e saída do sistema em estudo é relativamente alta, sendo necessário um equipamento que faça a ligação entre esses os equipamentos e o CLP. Fisicamente fica impossível trabalhar com tantos cabos chegando e outros saindo diretamente no controlador. Para resolver essa questão, o sistema utiliza o módulo remoto *cube 67*, que é um sistema de entradas e saídas distribuídas robusto e encapsulado. A figura 23 ilustra uma parte do CUBE.

Figura 23 - Módulo remoto CUBE67 com cartões de entrada e saída



Fonte: foto retirada pelo autor em 30/06/2015

Os cabos metálicos vindos das entradas, como exemplo os sensores, chegam nos cartões de entrada do *Cube Remoto* em uma quantidade grande, que converge toda informação em um único cabo de rede para levar ao CLP. Da mesma forma, na saída do CLP tem um cabo de rede que conecta ao *Cube Remoto*, que através de seus cartões de saída se conecta aos atuadores como válvulas, cilindros, motores entre outros. Listamos algumas vantagens do uso desse equipamento:

- Redução na fiação dentro dos painéis elétricos;
- Ambiente de painéis mais organizados;
- Possibilita intervenções mais rápidas e redução nos erros;
- Redução no tempo de instalação, e nos custos de implantação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição dos procedimentos

Inicialmente realizamos uma revisão bibliográfica sobre o tema consultando livros na área de automação e controle, instrumentação, artigos relacionados em revistas técnicas e sites de pesquisa acadêmica. Foi analisado o funcionamento de todos os equipamentos instalados na linha de produção, utilizando os manuais dos fabricantes e os projetos disponíveis.

Após pesquisar e realizar uma extensa revisão teórica sobre o tema, o desenvolvimento da pesquisa seguiu as seguintes etapas:

- Avaliação do funcionamento da linha de produção;
- Coleta dos dados de produção;
- Levantamento das falhas de processo;
- Implementação de melhorias através das técnicas de automação;
- Coleta e análise dos resultados após implementação das melhorias.

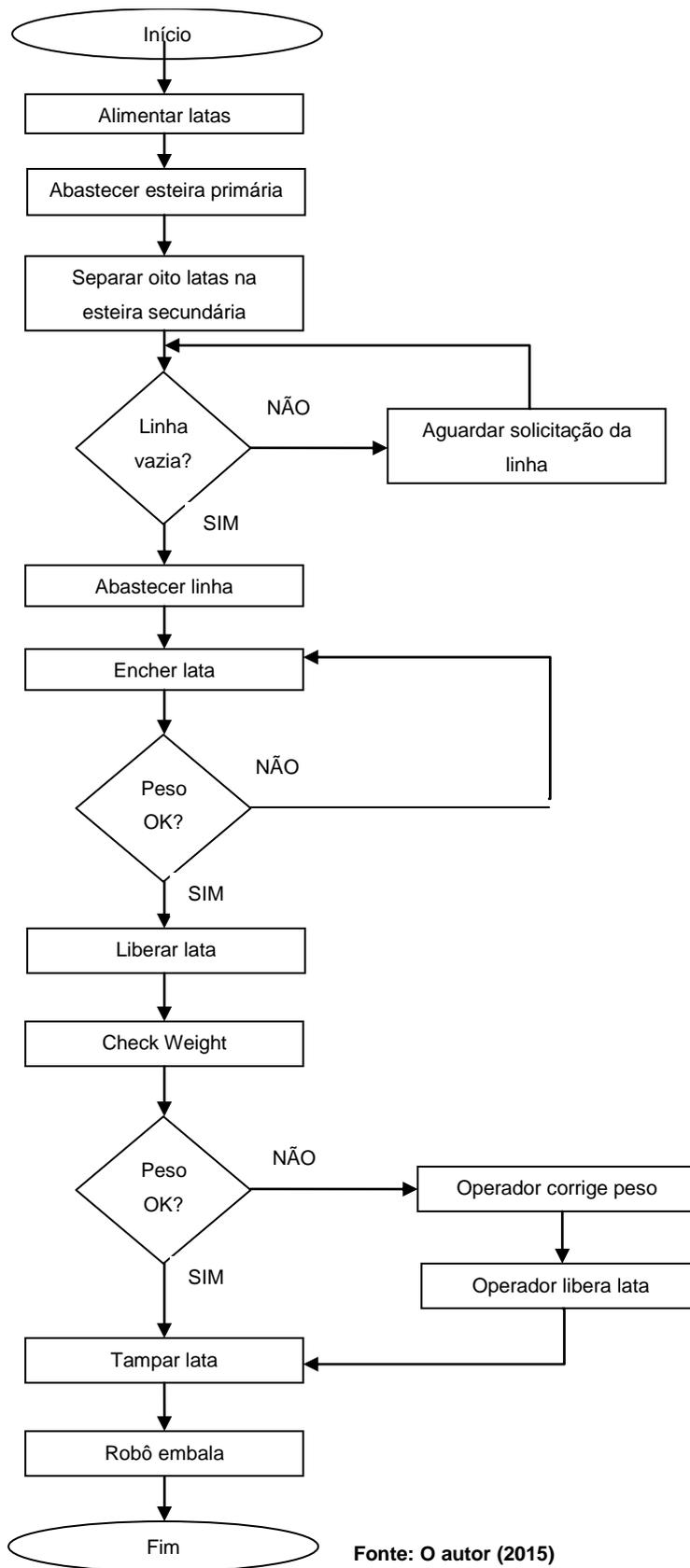
4.2 Funcionamento da linha de produção

O sistema de automação considerado neste trabalho consiste em uma máquina embaladora de latas, que permite o envase e dosagem automática de minério. O funcionamento da máquina pode ser resumido na inserção de latas em uma esteira larga, que faz a transferência das mesmas para uma segunda esteira distribuindo oito latas para cada uma das quatro esteiras da linha de envase.

Cada uma dessas linhas possui uma calha vibratória e uma balança de pesagem, responsáveis por fazerem a dosagem do material, de acordo com o peso programado pelo controlador. Em seguida, as latas são transferidas para uma esteira que possui no seu final, uma balança de checagem automática. Caso o peso esteja correto, a lata é liberada para a esteira de tamponamento das latas, onde é tampada e encaminhada para o robô de embalagem que posiciona as latas em caixa de papelão de acordo com o programado. Por outro lado, caso a lata esteja fora do peso de tolerância, ela é liberada e desviada para outra esteira que a encaminha para uma estação de conferência manual, feita por um operador de produção. O operador acerta o peso da lata, liberando-a em seguida para a esteira que leva ao tamponamento e embalagem feita pelo robô.

Para auxiliar no entendimento do funcionamento básico do sistema, fizemos um fluxograma simplificado do processo. Podemos vê-lo na figura 20.

Figura 24 – Fluxograma simplificado do processo



Fonte: O autor (2015)

A máquina pode ser dividida em seis estações de trabalho: dispensador de latas, linhas de envase, balança de conferência automática, balança de conferência manual, tampador automático de latas e por fim, o robô embalador. Em seguida veremos o funcionamento de cada estação em separado.

4.2.1 Despaletizador de latas

O despaletizador de latas é o ponto inicial do processo. Esta estação consiste na retirada das latas de uma pilha e inserção das mesmas na esteira de entrada da máquina. O controle é feito por elementos pneumáticos e magnéticos. Após inserção do fardo de latas pelo operador de empilhadeira, o sensor de início do transportador de *pallet* (86S1) atua, acionando o motor da esteira (AE-20) até que o fardo de latas chegue ao ponto final, atuando o sensor (85S1). A IHM mostra se o *pallet* foi colocado na posição correta.

Figura 25 - Alimentação de latas no início do processo



Fonte: foto retirada pelo autor em 10/03/2015

Em seguida, é dado o comando para a bomba executar o movimento de subida da mesa hidráulica, levantando o fardo até acionar o sensor (87S7) fazendo

os quatro pistões pneumáticos acionarem magnetizando a placa do despaletizador, fixando todas as latas da camada na placa. Esse comando pode ser cancelado por dois motivos: se a mesa possuir latas, até estas tocarem no sensor (87S7) presente na placa magnética ou se a mesa não possuir latas, até o sensor (69S3), indicando que a mesa hidráulica está em cima. Se acontecer o segundo motivo, a válvula (VV-71Y8) irá acionar a descida da mesa hidráulica até atuar o sensor de mesa em baixo, sensor (69S4), e em seguida o motor (AE-20) irá partir em sentido contrário até atuar no sensor (86S1) que indica que o *pallet* está na posição inicial. Depois, é só colocar o *pallet* com latas e iniciar o processo novamente.

Figura 26 - Despaletizador de latas

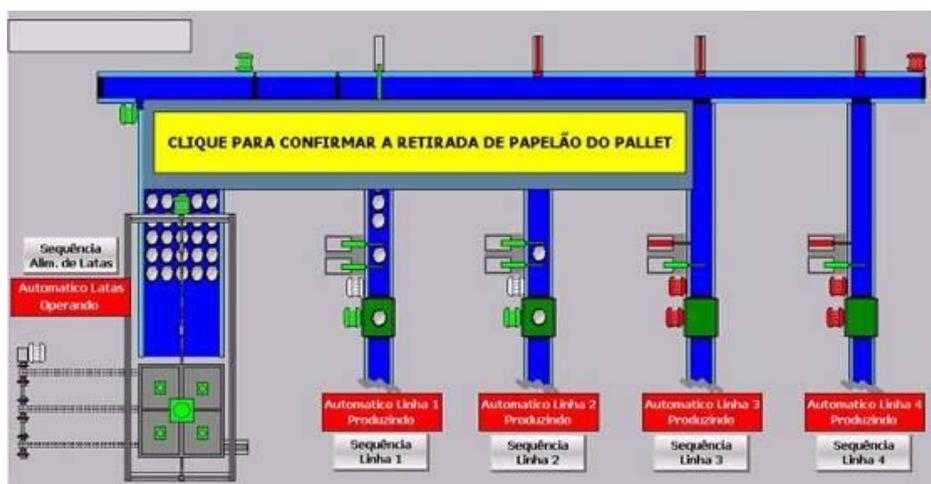


Fonte: Foto retirada pelo autor em 10/03/2015

Com a placa magnética carregada de latas, o motor (ALL-01) irá partir até atuar o sensor (88S8), indicando que já está na posição correta para soltar as latas na esteira (TE-01). Então a válvula (VV-71Y1) irá acionar fazendo o cilindro descer até parar quando o sensor de fundo de lata da esteira atuar (85S3). Em seguida, as quatro válvulas (VV-71Y3, VV-71Y4, VV71Y5 e VV-71Y6) referentes as placas magnéticas A, B, C, D são recuadas até atuarem seus respectivos sensores (88S1, 88S2, 88S3 e 88S4) soltando as latas. Então, o cilindro vertical é recuado até o sensor (88S5) ser atuado. É importante lembrar que enquanto as latas estiverem sendo transportadas e colocadas na esteira (TE-01), está irá ficar parada, ou seja,

não terá alimentação de latas nas linhas por este período de tempo. Uma mensagem na IHM aparecerá pedindo para retirar o papelão que separa as camadas de latas no *pallet*. A figura 27 mostra a mensagem na tela.

Figura 27 - Imagem da IHM com *poup-up* solicitando retirada do papelão



Fonte: Foto adaptada da tela de IHM

Depois de pressionar a mensagem, o motor (ALL-01) irá partir novamente, mas no sentido contrário, levando o conjunto magnético para o *pallet* novamente, até o sensor (87S8) atuar. Então, o ciclo de pegar as latas e carregar até a esteira (TE-01) se repete, até as latas acabarem e ser necessário alimentar um novo *pallet*, como mencionado anteriormente. Com as latas já na esteira, esta começará a partir alternadamente sentido direto e reverso para garantir que as latas não fiquem presas. O comando para ligar a esteira (TE-02) é dado ao mesmo tempo que o comando para partir a esteira (TE-01) sentido direto. O sensor (86S2) está localizado no final da (TE-02) com o intuito de contar as latas que saem dessa esteira para ter o controle da quantidade que será alimentada em cada linha. Esse número é definido pelo CLP e quando atingido, a (TE-02) é desligada.

Com a Sequência de Alimentação de latas em automático e alguma das linhas habilitadas, as esteiras (TE-03 e TE-04) estarão funcionando. Portanto, as latas que passarem da esteira (TE-02), descerão pela (TE-03) e entrarão na (TE-04),

onde ficarão bloqueadas pela válvula (VV-77Y1), que só irá liberar a passagem quando alguma linha precisar de lata.

4.2.2 Linhas de envase

A segunda estação da máquina é a linha de envase, a qual recebe as latas do despaletizador e executa o processo de dosagem. As latas são direcionadas através da leitura de sensores magnéticos e acionamento de pistões empurradores das latas. Assim que uma lata atinge o centro da balança dosadora, um pistão se fecha garantindo a posição correta. Inicia-se então o enchimento da lata. O funcionamento das quatro sequências é idêntico e uma não depende da outra para funcionar. Enquanto alimentada, a sequência fica parada até que esta ação esteja completa. A figura 28 nos mostra uma das balanças de enchimento do sistema.

Figura 28 - Balança dosadora da linha de envase



Fonte: foto retirada pelo autor em 10/03/2015

A lata virá pela esteira (TE-05) e sua passagem será bloqueada pela válvula guilhotina (VV-77Y6) e atuará um sensor que há entre as duas válvulas, o sensor (92S1), sinalizando que há uma lata no dosador. Em seguida, a válvula (VV-77Y5) avança, atuando o sensor (84S7) para sinalizar que está avançada e depois a válvula guilhotina (VV-77Y6) recua, atuando o sensor (84S6) para sinalizar que está recuada. Isso libera somente uma lata a ser enchida. Se em 15 segundos (tempo

definido no CLP) a lata não chegar na balança, os dosadores fazem a operação novamente para liberar outra. Há um sensor no centro da balança (83S3) que indica quando a lata chegou na mesma. Isso faz com que o motor da esteira da balança (BL-02), desligue para a lata ficar exatamente embaixo do silo para ser enchida. Em seguida, a válvula guilhotina (VV-77Y6) avança e a outra válvula guilhotina (VV-77Y5) recua para que outra lata entre no dosador e quando o sensor (92S1) atuar, a válvula guilhotina (VV-77Y5) avança para garantir que terá só uma lata para ir para a balança. Quando os sensores do dosador e da balança estiverem atuados, ou seja, houver latas no dosador e na balança, a esteira (TE-05) será desligada. Ao mesmo tempo em que outra lata é colocada no dosador, a válvula guilhotina (VV-79Y6) é recuada e ao receber o retorno do sensor (83S8), o CLP dará o comando para a balança realizar o enchimento da lata. Todo controle referente a vibração das calhas era realizado pela balança da *Schenck* e não pelo CLP. Veremos no decorrer do trabalho que para um melhor controle do sistema configurações foram feitas para que o CLP conseguisse fazer esse controle. Se em 40 segundos (tempo definido no CLP) o dispositivo da *Schenck* não der o retorno para liberar a lata, o processo de pesagem é abortado e a lata é liberada. Ao ser liberada a esteira da balança (BL-02) é ligada, e ao sair do sensor, a válvula guilhotina (VV-77Y6) recua para liberar a próxima lata para ser enchida e o processo é iniciado novamente.

Resumindo, a calha vibratória recebe o comando de liga fluxo grosso, com os parâmetros necessários para encher a lata até alcançar o peso próximo ao programado. Para melhorar o ajuste, nesse ponto a calha reduz a vibração para fazer o “ajuste fino”. Em seguida, atingindo-se o peso correto, a lata é liberada para a esteira que as encaminha para a balança de conferência.

4.2.3 Balança de conferência automática

Em seguida as latas são liberadas sendo conduzidas pelas correias transportadoras TC-26, TC-27, TC-28 ou TC-29 nas linhas 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Essas quatro correias levam para a esteira principal de saída, a

TC-30. Enquanto esta estiver funcionando, as correias das linhas também estarão. Elas só serão desligadas quando a TC-30 estiver parada e houver uma lata atuando o sensor na saída dessas correias.

As latas presentes na TC-30 serão conduzidas para ter seu peso confirmado pela balança BL-06. Há um sensor entre a saída da correia e a entrada da esteira da balança que, ao passar uma lata por ele, é contado um tempo de 2 segundos (definido no CLP) em que a esteira da balança é parada para a lata ficar no centro para ser confirmado o peso. A TC-30 continua seu funcionamento, até que outra lata chegue no sensor 117S1 e, então, é desligada e partirá novamente quando a lata que for verificado o peso sair da balança, atuando o sensor 117S7. O processo de verificação de peso demora 1 segundo. É sempre importante essa balança estar tarada, portanto a cada 5 minutos, se o CLP não tiver um retorno que o peso está em 0.00 kg, o processo é parado até que tenha esse retorno seja obtido. O sinal enviado pelo robô também afeta no funcionamento dessa correia, portanto, enquanto o robô não enviar o sinal que está pronto para operar, ela ficará desligada.

O peso é verificado de acordo com os parâmetros digitados, como dito anteriormente. Após ser feito isso, a lata sai da balança e é conduzida pela TC-31. Se o peso foi aprovado, ela continuará na correia até chegar na TC-33, onde o processo continuará. Se foi reprovado, no decorrer do caminho da TC-31, ela atuará o sensor (117S2) e, após 1 segundo, a válvula (99Y3) será acionada, empurrando a lata para a esteira de rejeito TC-32, atuando o sensor (109S6), que sinaliza que está avançada. A válvula só é recuada quando a lata passar pelo sensor na esteira de rejeito (116S5). Ao ser recuada, ela atua o sensor (110S6) que indica que essa ação foi concluída. A figura 29 mostra a balança de conferência automática.

Figura 29 - Balança de checagem automática de latas



Fonte: foto retirada pelo autor em 10/03/2015

4.2.4 Balança de conferência manual

As latas que estiverem fora da tolerância seguirão para uma estação de pesagem manual através da TC-32, até chegarem na balança BL-07. Esta operação é realizada pelo operador de embalagem, que acerta o peso da lata conforme peso necessário. A figura 30 mostra a estação de pesagem manual.

Figura 30 - Estação de pesagem manual das latas fora do peso



Fonte: foto retirada pelo autor em 20/12/2014

Em seguida o operador disponibiliza a lata na esteira TC-33, que encaminhará as latas para a próxima etapa, o tamponamento de latas. Quanto maior o volume de latas pesadas nesse ponto do processo, implica em menor rendimento do sistema, uma vez que a pesagem manual leva um tempo para ser feita e prende o operador em uma atividade de retrabalho.

4.2.5 Alimentador de tampas

Antes de iniciar o tamponamento deve-se garantir que não faltará tampas no reservatório. Isto pode ser feito com a embalagem funcionando ou não. Basta jogá-las dentro do reservatório que ao vibrar, as tampas se ajeitam e saem na posição correta. Há o sensor (118S5) no início da TE-09, esteira responsável pelo transporte de tampas, que ao ficar 2 segundos sem presença de tampa ativa o alimentador vibratório para fazer outras chegarem na esteira.

Figura 31 - Tanque vibratório de separação das tampas



Fonte: foto retirada pelo autor em 10/03/2015

Quando ele fica atuado por um segundo, a vibração é desligada. No final da esteira fica a válvula (VV-105Y7) que possui a função de liberar apenas uma tampa por vez e após liberar a tampa, o sensor (118S3) indica se há uma tampa pronta para ser utilizada. Este sensor está localizado no final da esteira.

Enquanto o alimentador vibratório estiver funcionando para trazer novas tampas para a TE-09, a válvula (VV-105Y7) não libera uma nova tampa para ser pega.

Figura 32 - Imagem da ventosa e da esteira de tampas



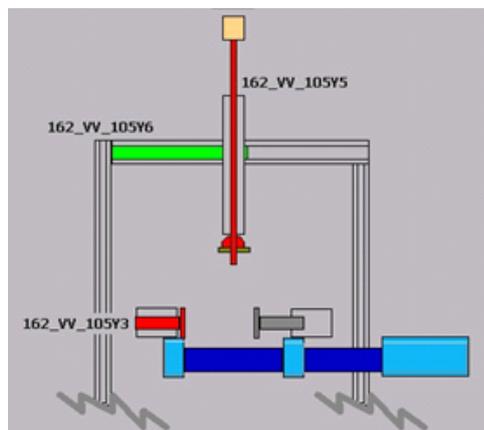
Fonte: Foto retirada pelo autor em 10/03/2015

Quando a tampa estiver na posição correta, a válvula (VV-105Y5) com a ventosa irá acionar e descer até acionar seu sensor (109S8) indicando que está avançada. Com isso, a tampa é pega e a válvula é recuada acionando o sensor (110S3). Após isto, a válvula (VV-105Y6) avança, conduzindo a válvula (VV-105Y5) com a tampa presa em sua ventosa para a posição de tampar a lata e ao chegar na posição atua o sensor (110S4) indicando que está avançada. O próximo passo agora é fazer o tamponamento, como veremos a seguir.

4.2.6 Tampador de latas

Após liberadas pelas balanças de checagem automática e manual, as latas percorrerão o caminho da correia até atuar o sensor (118S6). A válvula (VV-105Y3) avança para prender a lata. Na figura 33 temos a imagem do tampador adaptada da tela do supervisor, a qual indica algumas válvulas que estamos nos referindo.

Figura 33 - Imagem ilustrativa do tampador de latas



Fonte: foto adaptada da tela do supervisório em 09/06/2015

Com a lata presa, a válvula (VV-105Y5) avança, mas, desta vez, não até atuar o sensor que indica o avanço, e sim, até atuar o contato do pressostato que indica que fez a pressão necessária para tampar a lata. Em seguida a válvula é recuada e a confirmação de recuo é recebida. A válvula (VV-105Y6), então, recua para pegar uma nova tampa e o sensor de válvula recuada é atuado. Com isso as latas são tampadas e em seguida são encaminhadas para a esteira do robô de embalagem, que as armazena em caixas de papelão.

Figura 34 - Tampador de latas



Fonte: foto retirada pelo autor em 10/03/2015.

4.2.7 Robô embalador

Após o tamponamento, as latas são encaminhadas para o robô de embalagem, responsável por fazer o armazenamento em caixas de papelão. Esta é a etapa final do processo de embalagem.

A esteira TE-10 é responsável por trazer as latas para a posição em que o robô irá pegá-las. Cada caixa pode ter 200 latas para um tipo de caixa modelo de 10Kg ou pode ter 192 latas para o modelo de caixa de 10Lbs (em torno de 6,94 Kg). O CLP do sistema não tem controle nenhum sobre o robô. Apenas recebe um sinal via entrada digital se o robô está apto ou não para operar, e este sinal é responsável por ligar e desligar a esteira TE-10.

Figura 35 - Robô embalador de latas



Fonte: foto retirada pelo autor em 10/03/2015

4.3 Levantamento das falhas de processo

Nesta importante etapa do presente estudo, foram levantados pontos críticos do processo e possíveis falhas. Como em qualquer processo de melhoramento, identificamos os pontos mais críticos e iniciamos a nossa atuação. É importante

observar que os operadores tiveram papel importante, relatando e indicando pontos de melhoria no funcionamento do sistema.

O primeiro ponto observado, foi à partir de um problema no tamponamento das latas. O tampador de latas, apesar de parecer eficiente, não consegue uma produção de 100% das latas tampadas. Após o tampador havia um sensor que detectaria a lata destampada, e em seguida um pistão era acionado, desviando a lata para uma correia de refugo. Porém esse sensor não estava sendo eficiente.

O segundo ponto observado, foi na linha de alimentação de latas. Após abastecer uma das quatro linhas de enchimento, a esteira liberava outras oito latas, contadas por um sensor na esteira, liberando-as após receber solicitação de uma das balanças, assim que indicassem esteira vazia. Dessa forma, o sistema consegue abastecer as linhas, porém com um atraso, pois só liberava a esteira para contar as latas após as outras oito que haviam sido liberadas chegassem ao destino.

O terceiro ponto observado, foi no enchimento das latas. Toda a parte de controle era feito pelas balanças sem nenhuma comunicação com o CLP. Dessa forma, havia a necessidade do operador programar os parâmetros necessários de acordo com o tipo e peso da lata no determinado lote, além de ajustar os parâmetros de vibração de cada balança, através de dois potenciômetros mostrados na figura abaixo, sendo um para ajuste do fluxo fino e outro para ajustes do fluxo grosso, observando sempre o tipo de granulométrica da receita.

Essa entrada de dados manual e, esse ajuste exigido ao operador, gera um problema: o operador daquele turno ajustava as vibrações de acordo com a sua análise, muito subjetiva. Isso provoca um rendimento diferente para cada turno, e quase sempre, o ajuste trabalhado não era o melhor, uma vez que a operação fazia esse ajuste várias vezes durante o turno. A figura 36 ilustra os potenciômetros utilizados no sistema.

Figura 36 - Potenciômetros para ajuste manual das calhas vibratórias



Fonte: Arquivo pessoal do autor

O quarto ponto levantado, foi à necessidade de uma parada de emergência no processo que fosse local para aquela determinada linha. Quando acontecia qualquer problema em uma das linhas, o operador se deslocava do ponto que ele estava até o ponto onde fica a IHM do sistema, selecionava a tela e passava para o comando local aquela determinada linha. Esse procedimento é necessário quando uma lata cai na esteira, ou fica mal posicionada para o enchimento, quando uma lata se prende na guilhotina, ou por qualquer outro possível problema na linha de enchimento. Esse procedimento provoca uma perda de tempo para deslocamento e ações necessárias para o operador executar na IHM.

O quinto ponto levantado, foi no momento de fazer a pesagem das latas na balança automática de *check-weight*. Assim que a lata chega na balança, a esteira anterior é parada. Só reinicia o movimento após liberada a lata da esteira, ocorrendo um atraso devido a parada imediata da esteira, ocasionando uma parada nas demais linhas de enchimento.

O sexto e último ponto de melhoria levantado, foi a necessidade de se ter um indicador de produção ou um item de verificação em tempo real da produção do lote, possibilitando assim uma melhor avaliação do processo. Durante o funcionamento

do sistema, não havia nenhum indicador que mostrasse para o operador se o sistema estava ou não sendo eficiente, ou seja, se com aqueles ajustes feitos a meta iria ou não ser alcançada. Com isso, trabalhando os dados, teremos um indicador via supervisorio mostrando em tempo real a eficiência do sistema naquele momento.

4.4 Melhorias implementadas através de técnicas de automação

4.4.1 Melhoria no tamponamento das latas

Para solucionar o problema, começamos por investigar a causa principal, ou seja, o motivo pelo qual o tampador não garantia a totalidade das latas tampadas. Acompanhando o funcionamento, pudemos perceber que devido a pequenas “folgas” mecânicas relativas ao desgaste natural de peças e também à pressão do ar que, não se mantêm durante todo o tempo no valor nominal, preciso, pois existem pequenas variações inerentes do sistema, em algum instante do processo o tampador não conseguia fazer o tamponamento correto, e conseqüentemente uma lata iria para o robô sem tampa. Como não conseguiríamos de imediato a resolver essa situação, algumas melhorias foram sendo feitas. Essas mudanças estão relatadas à seguir.

Antes, haviam duas guilhotinas comandadas por válvulas pneumáticas que liberavam uma lata por vez para ser tampada. Após ser tampada, sua altura era verificada por um sensor fotoelétrico e continuava pela mesma esteira, onde se fosse recusada um pistão a empurraria para uma esteira de rejeito e, caso estivesse *ok* continuaria onde iria para outra esteira até chegar no robô. Somente após isso, outra lata era liberada para realizar o mesmo processo. Isso estava muito lento, pois só possibilitava uma lata ser tampada e conferida por vez. Foram retiradas as guilhotinas e colocado um sensor em cima da válvula que prende as latas para ser colocada a tampa e um outro em cima da válvula que empurra a lata para o rejeito.

O sensor que capta a altura da lata também foi movido para frente, em cima da válvula que empurra a lata para o rejeito. A figura 37 ilustra o posicionamento do sensor.

Figura 37 - Imagem do sensor colocado para verificar tampa da lata



Fonte: Foto retirada pelo autor em 24/06/2015

Este sensor, através da leitura da distância entre ele e a borda da lata, verifica se a lata está tampada ou não. Foi necessário um ajuste na altura desse sensor para que fosse alcançado um valor ótimo de range.

Outra mudança foi a extensão da correia do robô e a diminuição da correia em que a lata é tampada. Agora o processo ficou mais dinâmico, pois mais de uma lata é tampada e conferida a altura ao mesmo tempo.

4.4.2 Melhor agilidade na reposição das latas

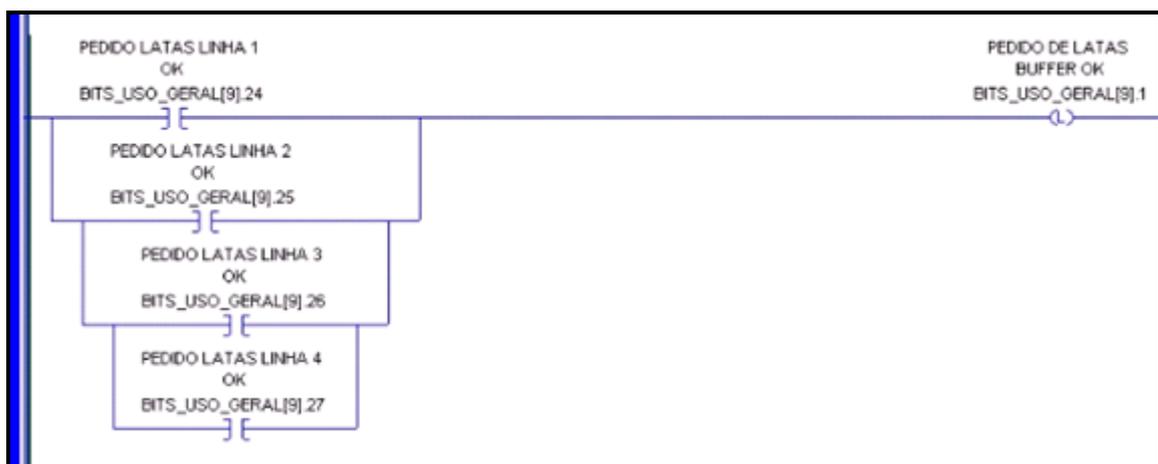
Ao observar o funcionamento do processo, descobrimos um ponto interessante que poderíamos ganhar em produção. A esteira que abastece as linhas de envase, envia oito latas por vez e, somente após essas latas chegarem no destino de sua linha, se iniciava a contagem de outras oito latas. Por exemplo: se a linha 4 acabasse suas latas, as latas posicionadas começariam a se mover para

esta linha e, somente após todas chegarem a linha, que novas latas seriam posicionadas para alimentar outra linha, mesmo que durante esse processo, outras ficassem sem latas.

A ideia consiste em usar o sensor colocado em cima do pistão referente à linha 1 (ele fica avançado para bloquear o fluxo das latas e é recuado quando alguma linha precisa de lata) para quando ficar mais de 5 segundos sem ele ser atuado, ou seja, 5 segundos que já não passa uma lata por ele, novas latas já serem posicionadas para alimentar a próxima linha. A seguir mostraremos algumas partes do programa que mostra como ficou o funcionamento dessa parte do sistema.

De acordo com a figura 38, temos a linha do programa Ladder que mostra quando uma das linhas solicita lata fechando seu respectivo contato, o estado da linha fica verdadeiro energizando a bobina *Latch* (*set*). Essa bobina ficará energizada mesmo que a condição da linha passe para o estado falso. Ficará ativa até receber um comando de reset. Esse comando virá de uma bobina *Unlatch* mostrada na linha de programação da figura 40. Nesse momento o programa entende que uma das balanças está solicitando lata.

Figura 38 - Linha do programa Ladder que habilita pedido de latas



Fonte: O autor (2015)

Com a bobina energizada então, o estado da linha de programação mostrado na figura 34 fica verdadeiro, energizando a bobina *Lech AUT RECUA EMPURRADOR1 LIBERANDO BUFFER*.

Figura 39 – Linha do programa em linguagem Ladder



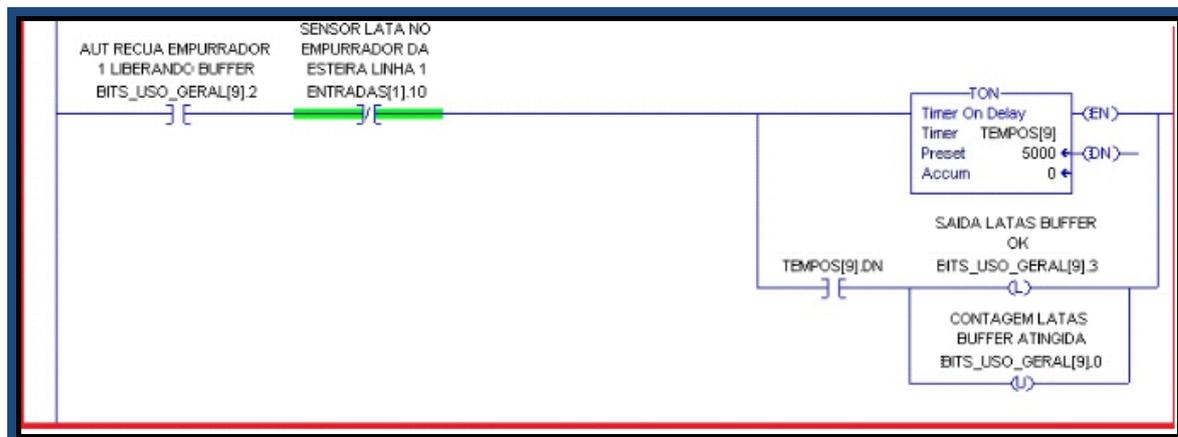
Fonte: O autor (2015)

Em seguida, com essa bobina energizada, o seu contato de selo irá fechar, energizando a linha de programação que é mostrada na figura 40.

O bloco de programação *Ladder* TON é para operações de controle de temporizadores e contadores baseados no tempo ou número de eventos. A instrução TON é um temporizador não retentivo que acumula tempo quando a instrução é habilitada, ou seja, quando a condição da linha é verdadeira. Isso acontece até que a instrução TON seja desabilitada ou quando o $accum \geq Preset$. Como a base de tempo é sempre 1ms (0,001 segundos), e queremos um temporizador para 5 segundos então entramos com o valor de 5000 no *Preset*.

Dessa forma, após liberada as latas, o sistema conta 5 segundos após passagem da última lata para fechar o pistão e recomeçar a contagem de latas.

Figura 40 - Linha do programa Ladder para contagem do tempo e das latas



Fonte: O autor (2015)

4.4.3 Comunicação entre as balanças de pesagem e o CLP

Para tornar o sistema de enchimento de latas mais eficiente, com um melhor controle, percebemos a necessidade de fazer o controle de vibração das calhas ser pelo CLP e não por ajuste manual dos potenciômetros. Os potenciômetros não eram suficientemente precisos, o que resultava a cada lote que fosse ser feito, ser necessário fazer novos ajustes. Outra melhoria é que através da comunicação, o CLP escreve na balança os valores de *set-point* e material desejado, para a balança executar seu controle. Antes era necessário, que a cada lote, o operador entrasse nas configurações da balança e colocasse o material e *set-point* que desejava.

Em busca de resolver esse problema, o primeiro passo que fizemos foi buscar na literatura disponível informações sobre as balanças, ou seja, buscamos informações nos manuais disponíveis. Durante o estudo desse material, percebemos que dados importantes poderiam ser transmitidos das balanças para o CLP, o que permitiria à partir daí um melhor controle do sistema. O primeiro problema a ser resolvido seria a forma com que essa comunicação aconteceria e, à partir daí, após fazer essa comunicação, o que poderíamos acrescentar de ferramentas no melhor controle do processo.

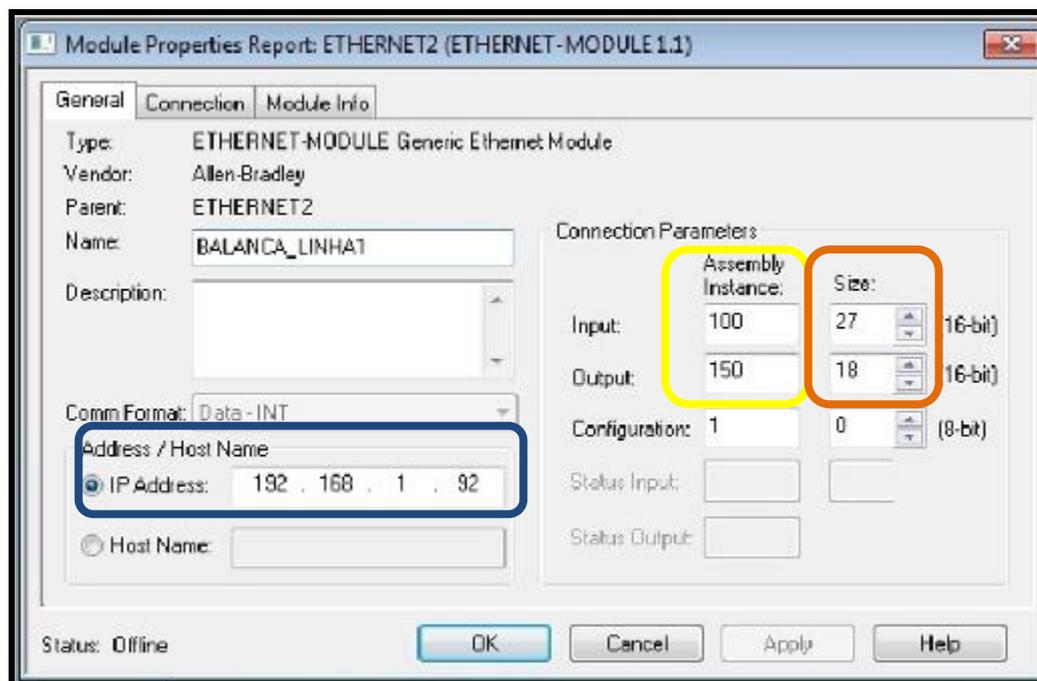
Primeiramente conseguimos através de manual, configurar a balança para permitir a troca de informação com o controlador (feita com a ajuda do técnico da *Schenck Process®*), em seguida fazer as configurações necessárias para leitura e escrita das balanças e, finalmente, utilizar todos esses dados para fazer o controle de vibração da balança. Veremos agora como foi feito os passos até se chegar ao controle da balança, com as mudanças na programação do controlador, nas alterações do supervisório e ajustes finais do sistema.

4.4.3.1 Configuração da balança

Para configurar as palavras de comunicação entre o CLP e a balança, utilizamos o manual, o qual informa todos os ajustes e configurações necessárias. A figura ilustra os campos preenchidos ao fazer a configuração.

O campo destacado de azul se refere ao IP da balança, o qual foi colocado para ficar na mesma rede que o CLP e os demais equipamentos que ela precisa comunicar. O campo destacado de amarelo, mostra valores configurados para colocar o número de palavras de leitura e escrita. Tem que ser configurado de acordo com a configuração interna da balança, conforme explica o manual. Os campos destacados de laranja são referentes a quantas palavras a balança irá ler e escrever. Esse valor tem que condizer com o que foi configurado internamente na balança. Para nossa configuração, utilizamos o “*Text block*” = *Off*, e *ID number* = 10. Portanto ficaram 18 palavras de saída e 27 palavras de entrada.

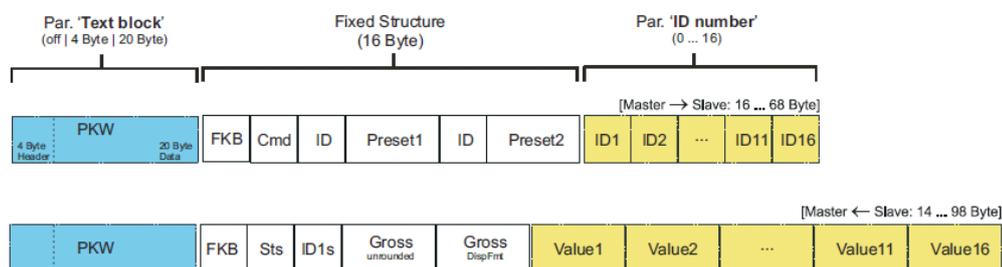
Figura 41 - Configurações feitas na balança



Fonte: print da tela do programa retirado pelo autor em 18/06/2015

A figura abaixo foi retirada do manual, auxiliou em saber quantas palavras são exigidas para cada função, ou seja, na saída de acordo com a imagem possuímos 16 Bytes, mas de acordo com nossa configuração precisamos do valor em 16 Bits e como 1 Byte = 8 bits, o *Fixed Structure* das saídas ocupa 8 inteiros. Somados a mais 10 inteiros referentes aos ID's teremos um total de 18 inteiros para a saída. Para a entrada o *Fixed Structure* ocupa 14 Bytes ou 7 inteiros, com mais 2 inteiros para cada *Value* (temos 10 no total), temos um total de 27 palavras de entrada.

Figura 42 - Configuração das palavras de comunicação entre CLP e balança



Fonte: foto retirada do manual “Disomat Tersus”, pag. 47

À seguir, veremos como é feita a leitura e a escrita nas balanças.

4.4.3.2 Leitura e escrita na balança

Para fazer a leitura e escrita na balança, é necessária algumas configurações de acordo com o manual. Nesta fase vale lembrar a teoria que nos mostra o formato e o tamanho dos dados. Um inteiro tem 16 bits e um *Dint* tem 32 bits. Todas as entradas do *Cube* são inteiros. Para formar o *PRESET1* temos que unir dois inteiros, ou seja, formaremos um duplo inteiro, um *Dint*.

Algumas instruções em *Ladder* são necessárias para o entendimento do funcionamento de leitura e escrita. Primeiramente vamos analisar o funcionamento de três blocos para facilitar o entendimento do trabalho. São os blocos BTD, COP e MOV.

O primeiro bloco a ser analisado é o BTD. A figura 38 ilustra um bloco utilizado no programa das balanças. A instrução BTD copia os *bits* especificados de *Source*, muda os *bits* para a posição adequada e escreve os *bits* em *Destination*, onde:

- *Source*: é a *tag* que contém os bits a serem movimentados;

- *Source Bit*: é o número do *bit* menos significativo, onde a movimentação foi iniciada. Deve estar dentro da faixa válida de tipos de dados *Source*;
- *Dest*: é a *tag* para onde os *bits* serão movidos;
- *Dest Bit* é o número de *bit* menos significativo a partir de onde se inicia a cópia de *bits* de *Source*. Deve estar dentro da faixa válida de tipos de dados *Destination*;
- *Length*: número de *bits* a ser movido.

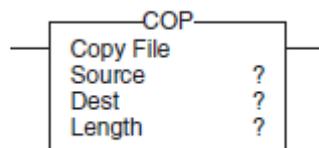
Figura 43 - Bloco Ladder BTD



Fonte: O autor (2015)

A instrução COP serve para copiar o conteúdo de uma matriz para outra matriz. A figura 47 logo abaixo nos mostra o bloco lógico.

Figura 44 - Instrução Ladder COP



Fonte: O autor (2015)

A instrução COP é uma instrução de arquivos que opera nas matrizes de dados. Ela copia os valores do operando *Source* para *Dest*, mantendo *Source* inalterado. Lembrando que *Source* e *Dest* devem ter o mesmo tipo de dado para não

ocorrerem resultados inesperados. Normalmente são *Dint* ou *Real*. O *Length* é o número de elementos em *Dest* a serem copiados.

Por sua vez, instrução MOV é uma instrução de movimentação lógica. Ela copia *Source* em *Dest*, com *Source* permanecendo inalterado. Isso acontece quando a condição da linha for verdadeira. Assim como na instrução COP, *Source* e *Dest* devem ter o mesmo tipo de dado para não ocorrerem resultados inesperados. *Length* também é o número de elementos em *Dest* a serem copiados.

Após relembrar algumas instruções da linguagem *Ladder*, veremos agora como fizemos a leitura e a escrita na balança. Os dados a serem transmitidos consistem de uma componente fixa e uma componente variável que pode ser definida pelo parâmetro. A figura 42, que vimos anteriormente, nos mostra como estão organizadas as palavras na saída e na entrada de dados.

No “*Fixed Structure*”, já possui algumas entradas definidas para leitura. Caso, seja necessário realizar a leitura de outros valores, é utilizado os “ID’s” que foram configurados. Os valores dos ID’s são retirados do manual da balança, conforme podemos ver na figura 45.

Figura 45 - Valores de ID’s retirados do Manual da balança

Identifiers (ID) PROFIBUS, DeviceNet, Ethernet/IP		Identifiers (ID) Modbus RTU, Modbus TCP		Model	Meaning	Additional Information	Satus	Opus	Tersus	BOX Plus
Hex	Dec	Hex	Dec							
2000	8192	100	256	DDW	Manual tare		Scales displayed	Scales displayed	Scales displayed	Scales displayed
2004	8196	102	258	DDW	--					
2008	8200	104	260	DDW	--					
200C	8204	106	262	DDW	PCS AIIn-1		x	x	x	x
2010	8208	108	264	DDW	PCS AIIn-2		x	x	x	x
2014	8212	A 10	266	DDW	PCS AIIn-3		x	x	x	x
2018	8216	10C	268	DDW	PCS AIIn-4		x	x	x	x
201C	8220	10E	270	DDW	Material number 1		x	x	x	x
2020	8224	110	272	DDW	Setpoint 1 (kg)		x	x	x	x
2024	8228	112	274	DDW	Material number 2				x	x
2028	8232	114	276	DDW	Setpoint 2 (kg)				x	x

Fonte: Foto retirada do manual “*Disomat Tersus*”, pag. 54

Eles funcionam da seguinte forma: primeiramente é necessário olhar no manual o valor que se deseja obter de leitura, por exemplo, as entradas e saídas digitais possuem o ID 12336, conforme podemos ver na figura 46.

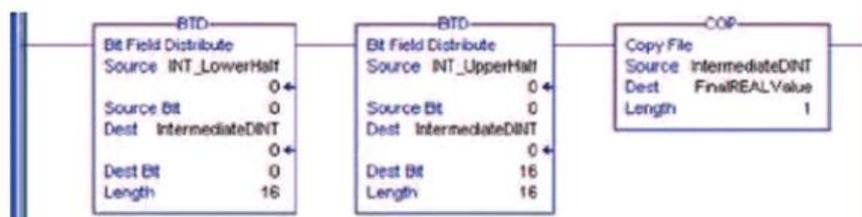
Figura 46 - Alguns valores de ID's retirados do Manual da balança

Identifiers (ID) PROFIBUS, DeviceNet, Ethernet/IP		Identifiers (ID) Modbus-RTU, Modbus-TCP		Model	Meaning	Additional Information	Satus	Opus	Tersus	BOX Plus
3024	12324	1420	5152	DW	Dimension (0:kg 1:g 2:t 3:lb)		x	x	x	x
		1430	5168	DW	Scales status	Details see ID 1300				Scales 4
3028	12328	1440	5184	DW	Scales status	Details see ID 1300				Scales 5
		1450	5200	DW	Scales status	Details see ID 1300				Scales 6
302C	12332	1460	5216	DW	Scales status	Details see ID 1300				Scales 7
		1470	5232	DW	Scales status	Details see ID 1300				Scales 8
3030	12336	1480	5248	DW	Physical digital inputs		x	x	x	x

Fonte: Foto retirada do manual “Disomat Tersus”, pag. 68

Esse valor é movido para a palavra de saída referente ao ID e obteremos o valor desejado na respectiva entrada. Portanto, se movermos 12336 para o ID2, obteremos o valor das entradas e saídas digitais no *Value2*. Alguns valores obtidos precisam ser tratados, ou seja, utilizamos duas instruções BTD para juntar duas palavras de 16 *bits* cada formando uma palavra em *Dest* de 32 *bits*, e para isso foi feito igual disponibiliza na imagem abaixo retirada do manual.

Figura 47 - Linha de instrução que trata os dados

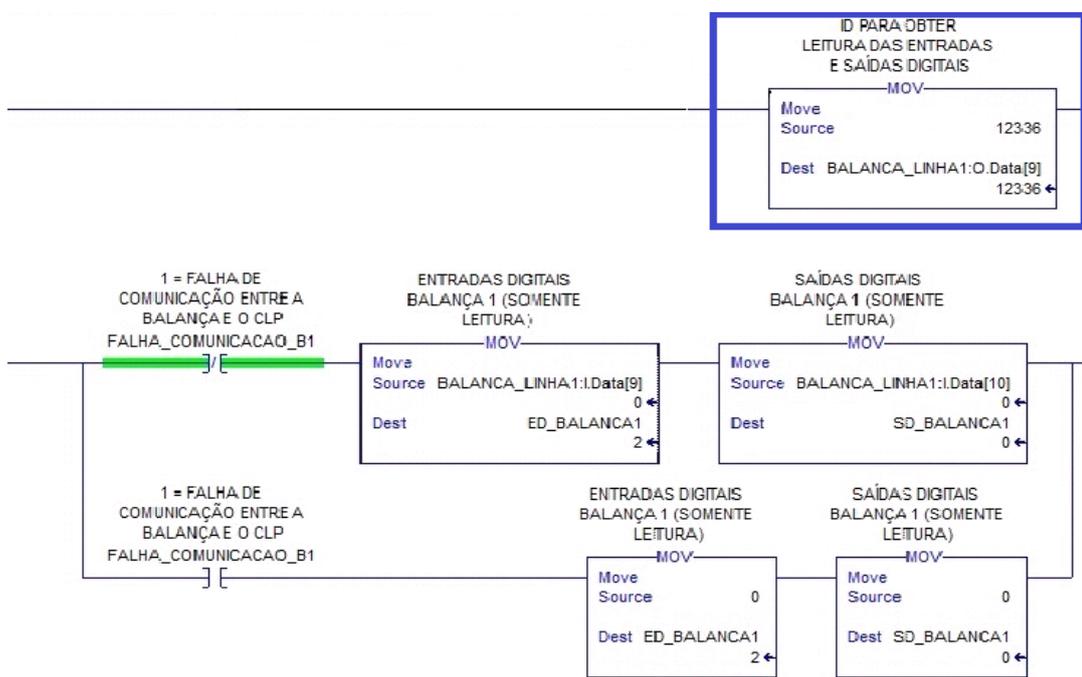


Fonte: Foto retirada do manual “Disomat Tersus”, pag. 93

Já para escrevermos um valor na balança é utilizado o *Fixed Structure* da saída. Nele há dois campos para se escrever *ID* e dois campos de *Preset*. Portanto, escrevemos no *ID* o valor do parâmetro que desejamos alterar e o valor que desejamos alterar no seu respectivo *Preset*. O valor escrito no *Preset* precisa ser tratado de acordo com a figura conforme mostrado no manual. Como a imagem ilustra uma leitura, para escrevermos é necessário fazer o processo inverso, ou seja, primeiro realizar o COP para depois distribuir o bits. Um exemplo de um valor escrito na balança é o material que se deseja selecionar. Ele possui o ID 8220 que foi escrito na parte de *Fixed Structure ID*, e o valor desejado do material foi tratado e enviado para o *Preset1*.

Veremos agora, na figura 48, como tratamos esses dados utilizando a linguagem de programação *Ladder*.

Figura 48 - Representação *Ladder* para obter leitura das entradas e saídas digitais



Fonte: O autor (2015)

No primeiro bloco lógico marcado na figura de azul, temos o bloco do ID para obter leitura das entradas e saídas digitais. O valor 12336 refere-se ao parâmetro

para obter a leitura das entradas e saídas digitais. No mesmo bloco, logo abaixo temos a palavra de saída da balança para receber o parâmetro desejado e transmitir na sua respectiva entrada o valor do parâmetro. Isso é possível por se tratar de um bloco MOV que copia o valor 12336 de *Source* para a *Tag* de *Dest.*, mantendo o mesmo valor em *Source*. Isso acontece quando a condição da linha for verdadeira. Caso seja falsa mantêm-se inalterado.

Seguindo a linha de programação, logo abaixo na mesma ilustração, temos dois blocos: o bloco das entradas digitais da Balança_1 e o bloco das saídas digitais da Balança_1, ambos somente leitura. Conforme figura, indicamos as palavras de leitura da balança, que recebem o valor do parâmetro escrito na saída. Elas foram movidas para uma palavra interna criada.

Este parâmetro é necessário para a lógica controlar a vibração da calha, pois através das saídas digitais da balança, podemos saber se ela está mandando fluxo grosso ou fluxo fino.

4.4.3.3 Comando para obter leitura do material selecionado

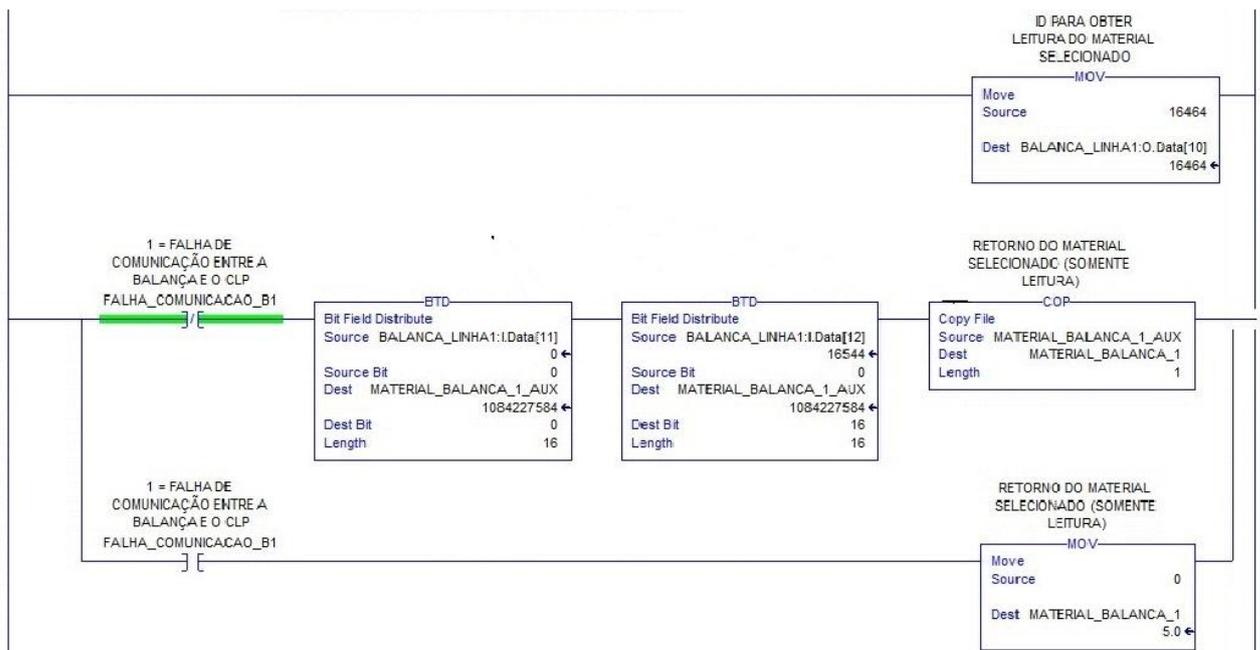
Para tratarmos a palavra recebida da balança e obtermos o valor desejado, utilizamos dois blocos lógicos BTD e um bloco COP.

A balança está configurada para a leitura de palavras em inteiro. O bloco lógico BTD, move bits dentro de um inteiro, ou entre inteiros. Nesse caso ele moverá bits entre inteiros para juntar os dois inteiros, ou seja, as duas palavras de 16 bits **BALANCA_LINHA1** disponível no data [11] somará a **BALANCA_LINHA1** disponível no data[12], formando a palavra de destino de 32 bits, o **MATERIAL_BALANCA_1_AUX**. Por sua vez o bloco lógico COP vai pegar essa palavra e mover para o destino **MATERIAL_BALANCA_1**.

Essa palavra de destino formará o *PRESET1*. O bloco lógico MOV, ou a instrução MOV, copia *Source* em *Dest.*, mantendo *Source* inalterada. Isso acontece quando a condição da linha for verdadeira. Caso seja falsa mantêm-se inalterado. A

figura 49 mostra uma parte do programa *Ladder* responsável por obter a leitura do material selecionado.

Figura 49 - Representação *Ladder* para obter leitura do material selecionado



Fonte: O autor (2015)

4.4.3.4 Comando para obter leitura do *set-point* selecionado

O comando para obter leitura do *set-point* selecionado é idêntico ao comando para leitura do material selecionado. O que muda, são as TAG's e ID. Como podemos ver na figura abaixo, a primeira linha de programação temos o bloco do ID para obter leitura do *set-point* selecionado. Olhando na tabela de ID's do manual, conforme figura abaixo, podemos ver que o número 16468 representa o *set-point*.

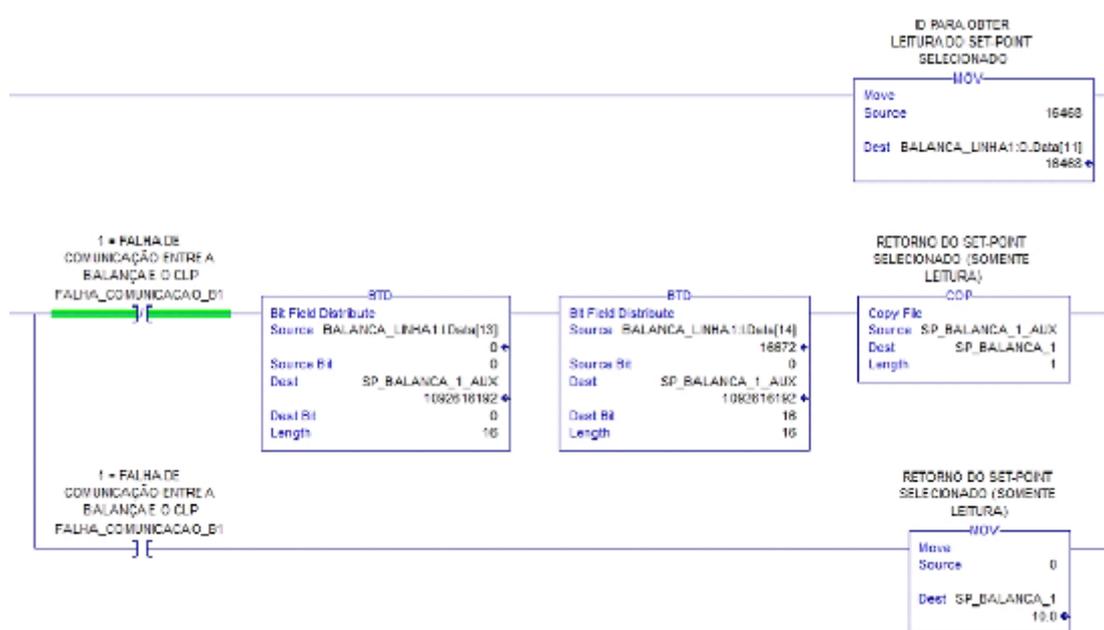
Figura 50 - Ilustração da tabela de ID's.

Identifiers (ID) PROFIBUS, DeviceNet, Ethernet/IP	Identifiers (ID) Modbus-RTU, Modbus-TCP	Model	Meaning	Additional Information	Status	Opus	Tersus	BOX Plus		
402C	16428	1716	5910	DDW	Balanca (current material)	100000 multiple (kg)	x	x	x	x
4030	16432	1716	5912	DDW	PCS AOut.1		x	x	x	x
4034	16436	171A	5914	DDW	PCS AOut.2		x	x	x	x
4038	16440	171C	5916	DDW	PCS AOut.3		x	x	x	x
403C	16444	171E	5918	DDW	PCS AOut.4		x	x	x	x
4040	16448	1720	5920	DDW	Registered tare	Rounded (dimension)	x	x	x	x
4044	16452	1722	5922	DDW	Registered net	Rounded (dimension)	x	x	x	x
4048	16456	1724	5924	DDW	Registered consecutive no.	Data format integer	x	x	x	x
404C	16460	1726	5926	DDW	Registered consecutive no.	Data format float	x	x	x	x
4050	16464	1728	5928	DDW	Material number	Feed operation 1	x	x	x	x
4054	16468	172A	5930	DDW	Setpoint (Dimension)	Feed operation 1	x	x	x	x
4058	16472	172C	5932	DDW	Material number	Feed operation 2			x	

Fonte: Foto retirada do manual “Disomat Tersus”, pag. 59

Abaixo temos uma ilustração que nos mostra a parte do programa *Ladder* responsável por fazer a lógica do programa para obter a leitura do *set-point*.

Figura 51 - Representação *Ladder* para obter Leitura do *set-point*



Fonte: O autor (2015)

4.4.3.5 Comando para escolha do material

Para escolher o material, obtemos os parâmetros de acordo com o manual para escrever na balança os valores do material selecionado e do *set-point*. Para isso, é feito o processo inverso da leitura. Podemos verificar de acordo com a linha de programação mostrada na figura 52, responsável por fazer a lógica de programação para o comando para escolha do material.

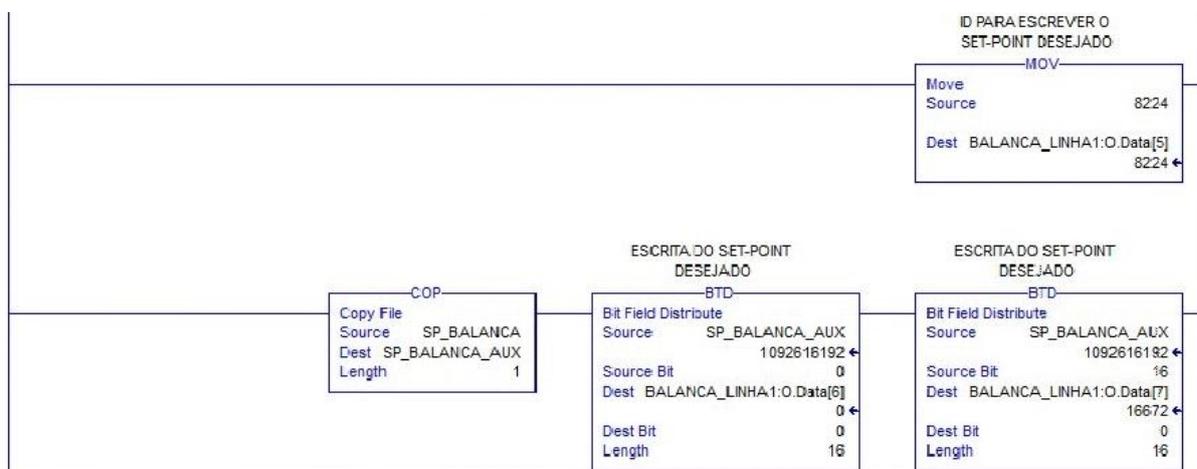
Figura 52 - Representação Ladder para escrever material desejado



Fonte: O autor (2015)

Da mesma forma, é feito para escolher o *set-point*. A figura 53 nos mostra como fica a linha de programação.

Figura 53 - Linha de programação Ladder para escrever Set-point selecionado

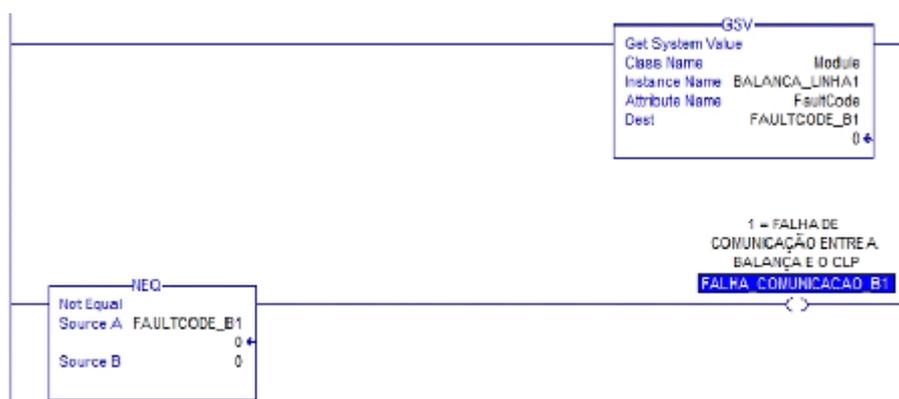


Fonte: O autor (2015)

4.4.3.6 Falha de comunicação entre a balança e o CLP

O bloco “GSV” é do próprio RSLogix5000. Neste caso ele foi utilizado para alterar o valor da variável criada (*FAULTCODE_B1*) se houver alguma falha na rede *ethernet* em relação ao módulo da Balança 1 nesse caso. Se houver alguma falha, a variável criada ficará com o valor diferente de zero e acionará a bobina que sinaliza a falha. A figura a seguir nos mostra como ficou a linha de programação em *Ladder*.

Figura 54 - Linha de instrução Ladder



Fonte: O autor (2015)

Esse tipo de instrução, obtêm e define os dados do sistema do controlador que estão armazenados nos objetos. O controlador armazena os dados do sistema nos objetos. Não há arquivos de *status* como em outros controladores. Quando habilitada a instrução GSV recupera a informação específica e a coloca no destino.

4.4.3.7 Controle de vibração da balança

Conforme mostra figura abaixo, na IHM, há dois campos em que o operador coloca os valores desejados entre 0 e 100% de acordo com quanto que se deseja que vibre no fluxo fino e no fluxo grosso. Os valores colocados nesses campos são referenciados a palavras no CLP, sendo elas “SP_FLUXO_FINO_B1” para o *set-point* de fluxo fino e “SP_FLUXO_GROSSO_B1” para o *set-point* de fluxo grosso.

Figura 55 - Local de operação do sistema

Parametros	Atual
Fluxo Grosso - Balança 1	<input type="text" value="0"/> %
Fluxo Fino - Balança 1	<input type="text" value="0"/> %

Fonte: Imagem adaptada da tela de IHM do supervisor

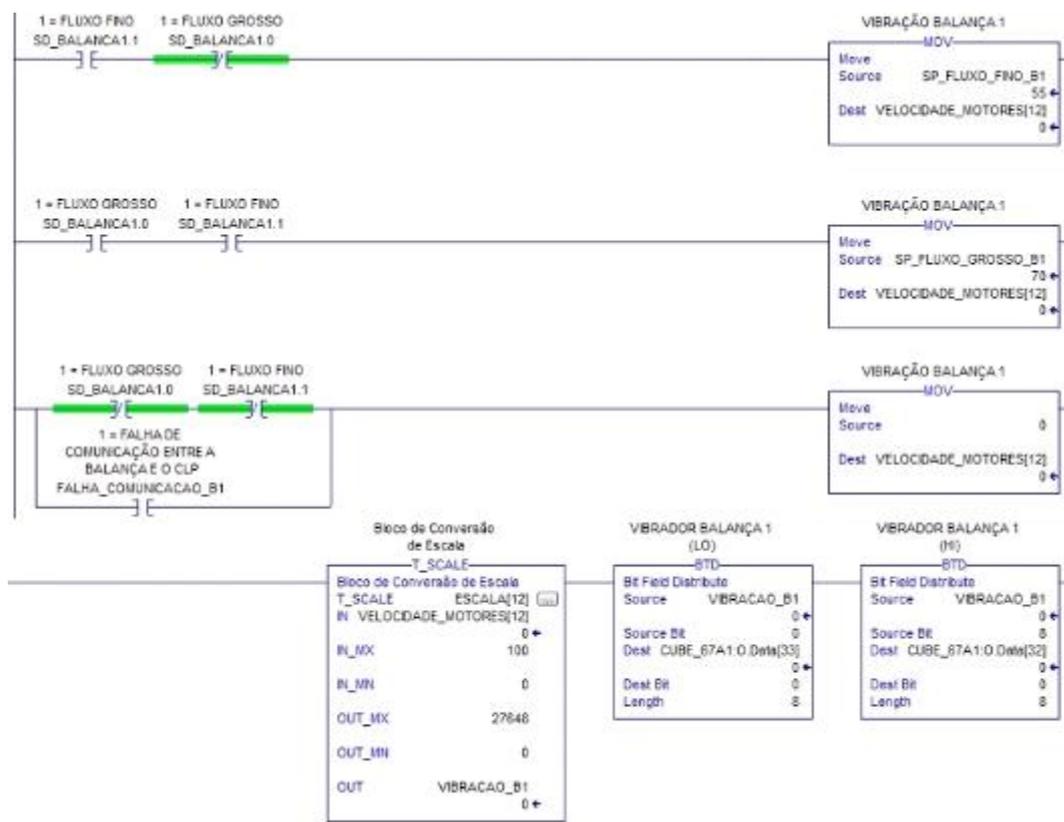
Através da comunicação com a balança, foram pegos os valores das entradas e saídas digitais como foi descrito acima. Dentre as saídas digitais, duas delas representavam o fluxo grosso e fluxo fino, respectivamente, que servem para controlar a vibração da balança.

A partir da informação do fabricante que a balança atuará as saídas digitais de fluxo grosso e fino para representar que deseja o fluxo grosso, e atuará somente a de fluxo fino quando desejar fluxo fino. Sabendo disso, foi realizada a programação no CLP que quando ambas as saídas estiverem em 1, o *set-point* colocado na IHM referente ao fluxo grosso será movido para realizar a vibração, enquanto que, quando a saída digital referente ao fluxo fino estiver em 1 e a referente ao fluxo grosso estiver em 0, o valor referente ao fluxo fino que será

repassado. Se nenhuma das saídas estiverem atuadas, ou seja, ambas em 0 ou o CLP não estiver comunicando com a balança, será movido o valor 0 para a vibração.

Com o controle realizado, é feita uma conversão para se passar o valor para o CUBE, onde estão as saídas analógicas. As saídas analógicas foram configuradas para 4-20mA, sendo os valores escritos no CLP para referenciar esse valor 0-27648 respectivamente. Portanto é utilizado o bloco “T_SCALE”, para realizar a conversão de 0-100% para 0-27648. Depois através do bloco BTD, o valor já convertido para o CUBE é escrito no próprio. Podemos ver a ilustração dessa parte no programa em Ladder na figura 56.

Figura 56 - Linguagem Ladder com o controle de vibração das balanças



Fonte: O autor (2015)

A placa eletrônica de um conversor recebe o valor de 4-20mA e converte para 0-440V, e alimenta a calha vibratória.

4.4.4 Botoeiras para o estado manual

Durante o processo de envase das latas, por alguns momentos há a necessidade de se passar o sistema para manual, com a intenção de fazer algum ajuste operacional. Estes ajustes são necessários devido a:

- Lata que pode vir a cair na esteira e o operador deve parar aquela sequência para levantá-la;
- Lata que fica mal posicionada na balança de enchimento provocando queda de material para fora da lata;
- Lata que pode vir a ficar presa em uma das guilhotinas de separação das latas, sendo necessário recuar o pistão em modo manual;
- Qualquer outra falha que provoque a necessidade de passar uma das sequências para o estado manual.

Dessa forma, o operador ao perceber um desses problemas na linha, se deslocava para a sala onde fica a IHM, selecionava a tela necessária para fazer a mudança automático/manual. Estando a linha em modo manual, esse operador retorna para a área de envase e faz os ajustes necessários. Após ajustes, novamente ele se encaminha para o local da IHM e retoma a linha em automático.

Todo esse procedimento, coloca a linha em produção novamente, porém há uma perda grande de produção devido ao tempo necessário para seguir os passos acima descritos. Para reduzir o tempo de parada para a correção da falha, colocamos um conjunto de quatro botoeiras em local próximo ao operador, de forma que, assim que a falha fosse observada, uma das botoeiras era acionada pela operação, passando o sistema imediatamente para manual e recuando as guilhotinas, permitindo assim uma atuação mais rápida e um menor agravamento da falha. À seguir, temos a figura 61 que ilustra as botoeiras instaladas. Além de instalar as botoeiras no campo, uma pequena mudança na programação foi necessária. Os contatos das botoeiras foram acrescentados em suas respectivas

sequências. Na lógica eles foram colocados para desabilitar o comando que é dado na IHM (HABILITACAO.1) e o estado automático (AUTOMATICO.1).

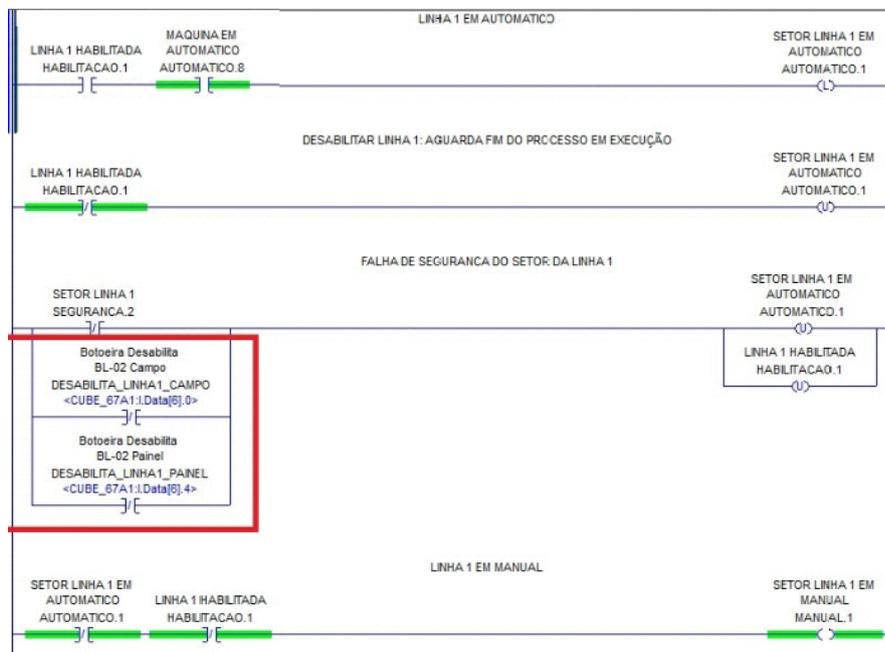
Figura 57 - Ilustração das botoeira para o estado manual



Fonte: foto retirada pelo autor em 08/05/2015

Quando ambos estão em 0, a sequência é colocada em manual. À seguir, temos uma imagem da parte do programa que executa esta ação

Figura 58 – Trechos do programa em *Ladder* para programação da balança



Fonte: O autor (2015)

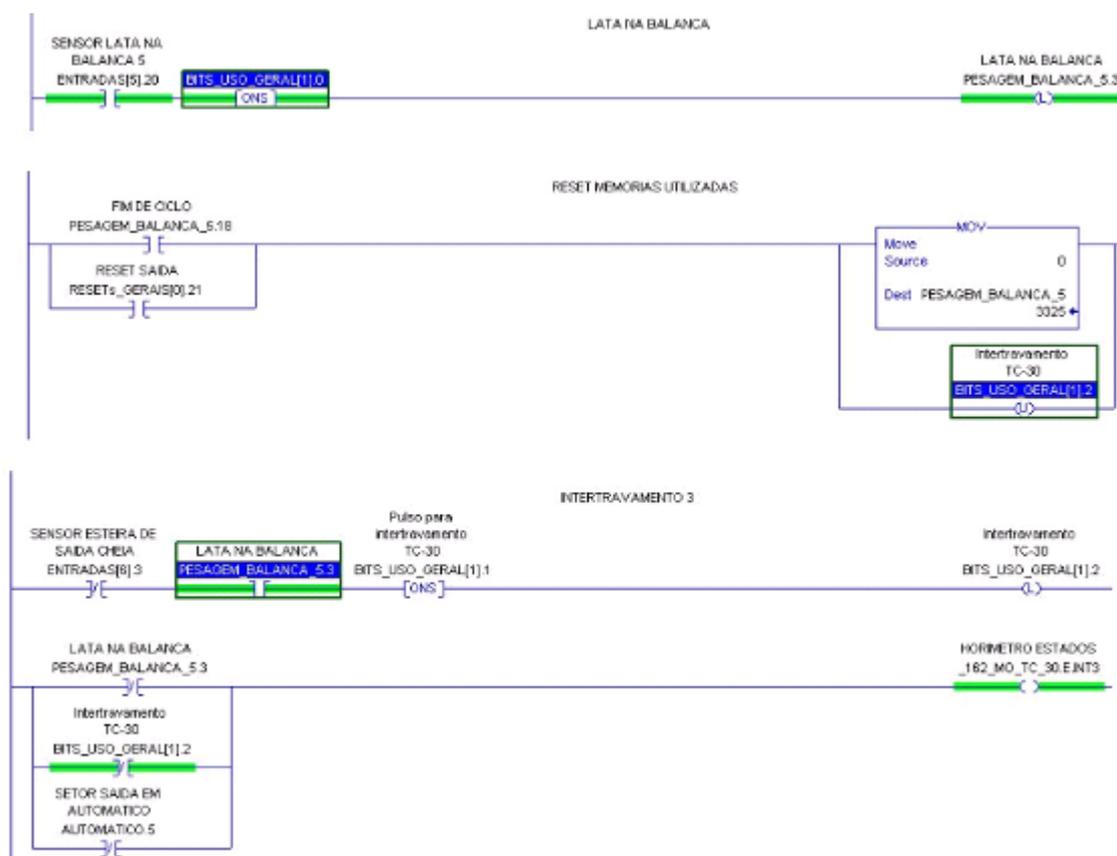
Após implantação dessa mudança, percebemos uma correção mais rápida dos desvios por parte da operação, uma vez que esse conjunto de botoeiras agilizam o processo de tomada de decisão do operador, possibilitando sua ação imediata.

4.4.5 Melhoria de produção com agilidade na conferência de peso

Ao observar o funcionamento da linha de conferência automática de pesagem da lata, na balança_6, verificamos uma perda de tempo no processo. Essa perda de tempo estava relacionada com a seguinte situação: a lata ao chegar na balança atua o sensor, e imediatamente toda a esteira anterior fica parada aguardando a saída da lata. Para minimizar esse tempo de parada, colocamos um sensor pouco antes da balança de pesagem permitindo que mesmo após a lata chegar na balança de checagem, a esteira continue ligada até que se posicione uma lata próximo. Com isso, sempre que uma lata é liberada, já tem outra posicionada ao lado da balança. Isso permite uma redução no tempo de conferência das latas e um consequente ganho de produção.

Para isso, além da instalação do sensor no campo, foi necessário fazer uma modificação no programa, a qual veremos a seguir na figura 59 que mostra a programação em *Ladder* dessa parte do programa.

Figura 59 – Trechos da Linguagem *Ladder* mostrando intertravamentos



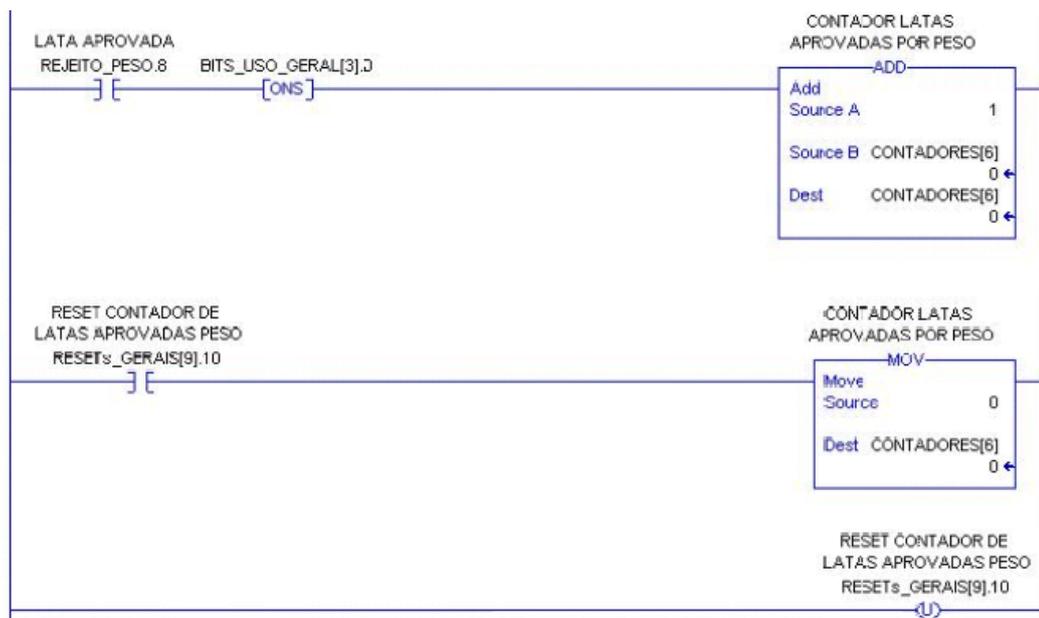
Fonte: O autor (2015)

Conforme podemos ver, existem nesse processo alguns intertravamentos. Após realizar a conferência a lata sai da balança e assim que entra na esteira seguinte, a TC-32, um sensor é atuado. Esse sensor serve para confirmar que realmente a lata já saiu da balança, acionando a esteira e liberando outra lata para entrar na balança. Um outro ponto a ser observado, é que a chegando a lata na balança a esteira anterior só vai parar quando uma outra lata já estiver posicionada bem próximo a balança de *check-weigh*.

4.4.6 Indicador de produção via supervisor

Durante a produção do lote, percebemos a necessidade de “medir” a produção de forma a obtermos um indicador que mostre o rendimento do sistema, servindo como um item de verificação do processo. Para obtê-lo, optamos por colocar um sensor contador de latas na esteira que transfere as latas de “refugo” e um outro sensor para somar a quantidade total de lotas produzidas num período que pode ser durante um turno, um dia ou durante qualquer intervalo de produção do lote. Também foram colocados mais um contador para cada linha, podendo então verificar rendimento de cada linha em separado. Para exemplificar, vamos mostrar a seguir como ficou a programação em *Ladder* para a execução da contagem de latas aprovadas. A figura 60 abaixo ajudará a ilustrar.

Figura 60 – Trechos do programa em *Ladder* para contagem de latas aprovadas



Fonte: O autor (2015)

A cada lata que passa pelo sensor vai gerar um *trigger* LATA APROVADA PESO, onde a instrução ONS vai pegar a borda de subida deste evento. Ao ser detectado a borda de subida o bloco *ADD* vai incrementar um valor unitário e somar

com o valor da variável CONTADORES. Ao estouro do valor da variável contadores, o operador deve apertar o botão de *RESET* na IHM, ou ainda ser resetado quando acontecer o fim de lote. A lógica do fim de lote não está contemplada na figura acima. Acionado o *RESET* o bloco *MOV* que vai mover o valor 0 para a variável contadores. Para finalizar a lógica, foi utilizada uma bobina *Unlatch* para voltar o contato NA *RESET* para sua condição inicial.

O bloco *Ladder MOV* é uma ferramenta que permite transmitir um valor ou uma variável contida nele, para uma variável de destino. Portanto, o *Source* é o valor que será transmitido para o destino. O bloco *Ladder ADD* é uma ferramenta do tipo matemática que permite a soma entre valores e/ou variáveis, em que o resultado será enviado para uma variável de destino. No contexto lógico do programa, este bloco está emulando o comportamento de um contador, pois adiciona um valor unitário a uma variável e esta mesma variável é utilizada como destino, logo no final do *scan*, é sobrescrito o valor dessa variável. Da mesma forma fizemos para a contagem de latas reprovadas. Na figura 61, temos a ilustração da parte do programa que executa a contagem das latas reprovadas, ou seja, as latas que ficaram fora do peso programado e que serão ajustadas pelo operador.

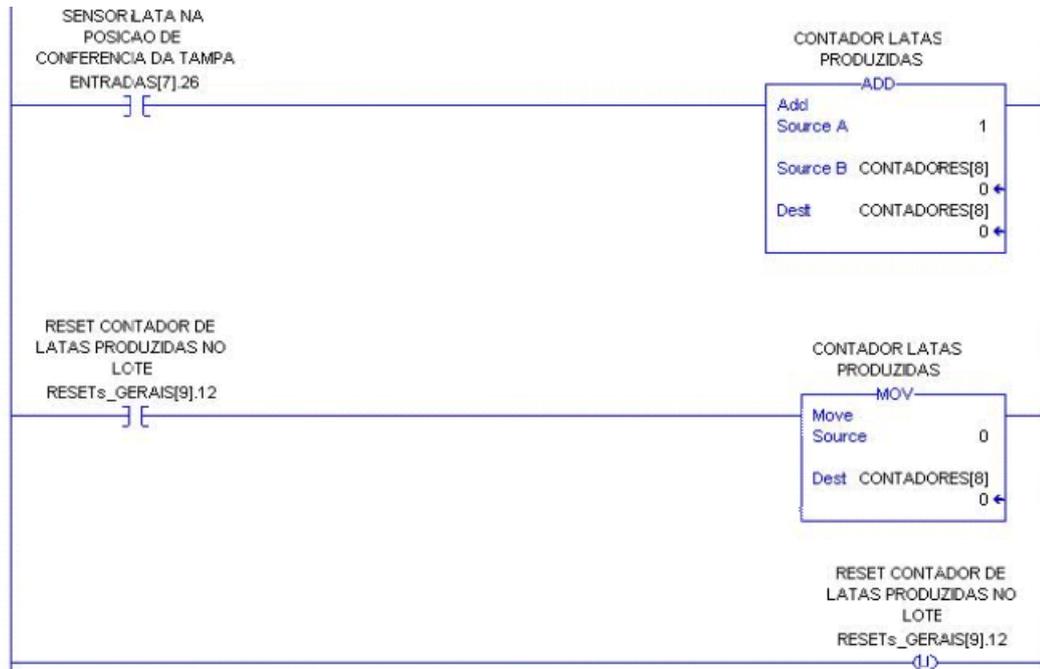
Figura 61 – Trechos do programa em *Ladder* para contagem de latas reprovadas



Fonte: O autor (2015)

Para indicar a contagem total de latas produzidas, ou seja, a quantidade total de latas que realmente foi embalada, fizemos as linhas de programação que seguem na figura abaixo.

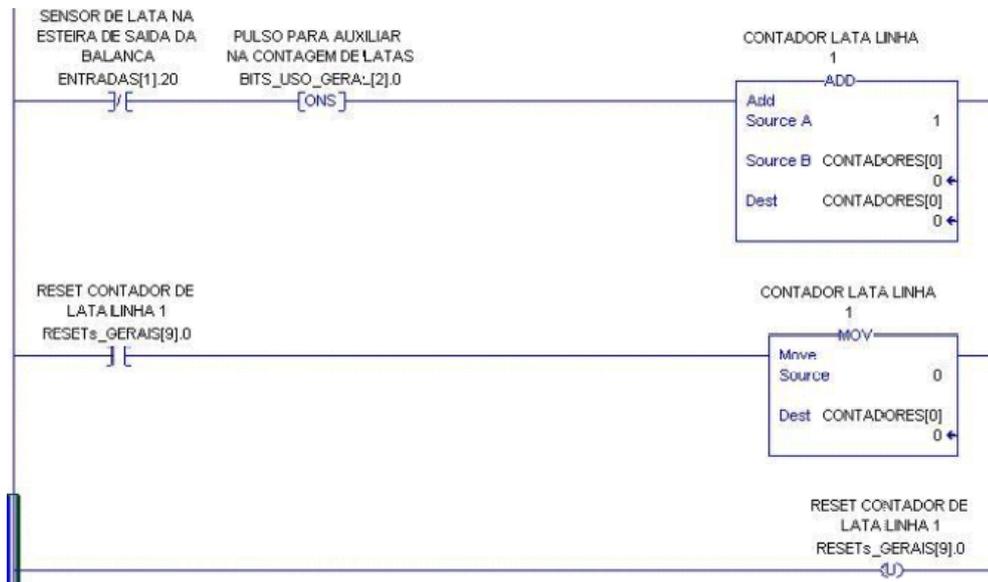
Figura 62 – Trechos do programa em *Ladder* para contagem de latas produzidas



Fonte: O autor (2015)

Foi verificado a necessidade de um contador para cada linha de enchimento, de forma que teríamos condições de analisar a produção das quatro linhas separadamente, e até compará-las. Temos a seguir uma imagem que ilustra como ficou a programação *Ladder* em uma dessas linhas, exemplificando a contagem de latas na primeira linha de produção.

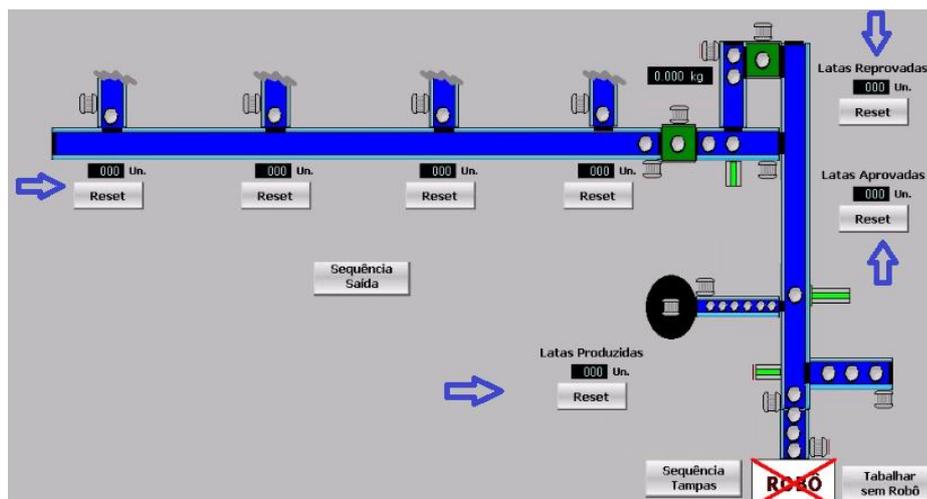
Figura 63 – Trechos do programa em *Ladder* para contador de latas da linha_1



Fonte: O autor (2015)

Apenas a implementação da lógica não bastaria. Seria necessário então criar na tela de supervisor um campo para mostrar esses valores para a operação fazer a coleta de dados. Abaixo temos uma figura 64 que ilustra a tela de supervisor já com os novos campos.

Figura 64 - Ilustração no supervisor dos contadores de latas criados



Fonte: O autor (2015)

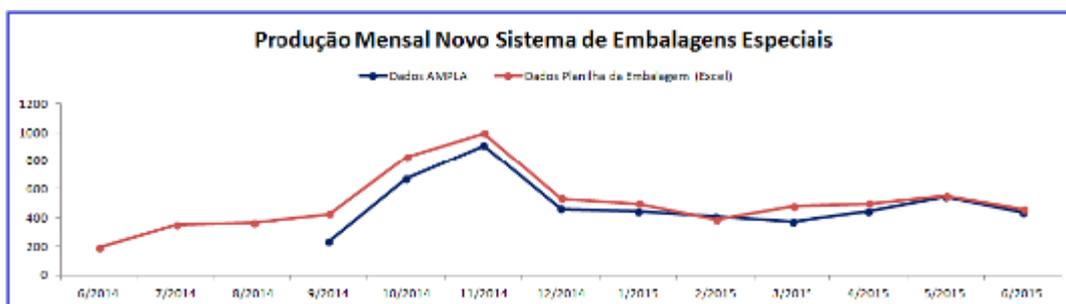
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para medir o desempenho do processo e analisar a eficácia das melhorias implantadas, é muito importante a coleta de dados, não só dados atuais como também dados históricos que servem de referência e ajudam a determinar o efeito das mudanças que serão realizadas no processo. Se não tivermos os parâmetros de referência, dificilmente saberíamos os efeitos das mudanças.

O sistema em estudo teve suas operações iniciadas em junho de 2014, mas efetivamente mesmo em Julho de 2014. Primeiramente levantamos os dados do processo nos primeiros doze meses após implantação do novo sistema de envase de latas. Esse período compreendeu os meses de Julho de 2014 à junho de 2015. Durante esse período, vários dados foram sendo armazenados em uma planilha de Excel, que servirá para entendermos o desenvolvimento do sistema desde a implantação até os dias de hoje, além de servir como parâmetro de referência.

Esses dados serão mostrados na sequência de desenvolvimento desse capítulo. O gráfico a seguir, nos mostra como foi a produção em toneladas no período descrito acima.

Figura 65 - Gráfico da produção mensal do novo sistema de embalagens especiais



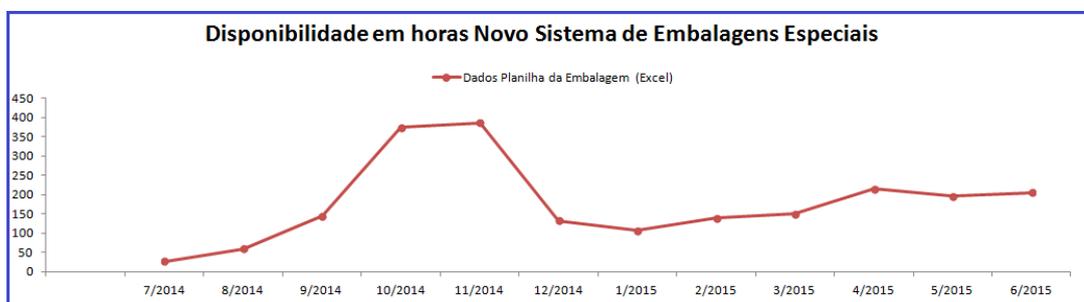
Fonte: O autor (2015).

Este gráfico está com duas linhas, uma linha vermelha representando a planilha preenchida em Excel, feita à partir de anotações dos operadores e uma linha azul, com dados retirados do AMPLA – *Schneider Electric*®, que é um software de sistemas de execução de manufatura (MES – *Manufacturing Execution Systems*). Esse sistema se conecta nos sistemas fabris da empresa, coleta os dados relevantes e os apresenta em tempo real, para análise de produtividade, mineração de dados, consultas e relatórios. Esse sistema teve início de operação na planta em estudo em Setembro de 2014, e foi implantado com objetivo de ajudar a identificar os gargalos, analisar as causas de inatividade, calcular os indicadores, fazer acompanhamento de custos e auxiliar na solução de diversos outros problemas de desempenho operacional.

Uma importante observação a se fazer nesse gráfico é uma diferença existente entre os dados do AMPLA com os dados da planilha manual. A diferença entre um e outro foi diminuindo, nos dois últimos meses, período esse que tivemos a implantação dos sensores contadores de latas para indicação dos valores produzidos via supervisor. É um forte indício ou até mesmo a comprovação que o indicador criado está auxiliando os operadores na coleta dos dados de produção.

Continuando a coleta de dados, levantamos a disponibilidade em horas do sistema de embalagem especial, ou seja, o tempo em que o sistema estava disponível para operação.

Figura 66 - Gráfico ilustrando disponibilidade do novo sistema de embalagem



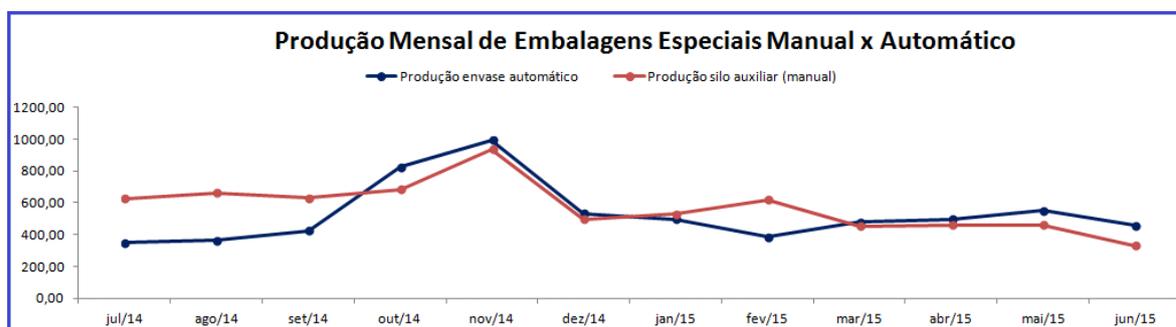
Fonte: O autor (2015).

Uma observação a ser feita com relação à disponibilidade é que, após a implantação do sistema, a disponibilidade aumentou até que teve uma redução em Dezembro e nos meses posteriores. Essa redução é devido ao fato do sistema estar passando por diversas melhorias, tanto da parte mecânica quanto da parte de elétrica e instrumentação. Comparando o gráfico de produção com o gráfico de disponibilidade, podemos observar que a produção nos meses de outubro e novembro de 2014 teve um salto dado a disponibilidade do sistema que foi bem maior juntamente com o aumento da demanda.

O primeiro objetivo da implantação do sistema automático de envase de embalagem especial é reduzir o envase manual que era de 100% para 25%, ou seja, chegar nos valores de 75% da produção feita no sistema de envase automático. À primeira vista parece pouco, uma vez que o natural seria esperarmos 100% no modo automático. Isso não é possível, uma vez que o sistema foi construído para embalar latas de dois tamanhos diferentes mas não abrange todas as faixas granulométricas. Dentro do que chamamos de embalagens especiais, a empresa vende não somente latas, mas também sacos de minério de diversos tamanhos, os quais o sistema não foi preparado para o seu envase. Então, o ponto ótimo desse processo será alcançar os 75% de produção no sistema automático.

Veremos na figura abaixo, como foi essa relação com o decorrer do tempo. Podemos observar que a princípio o sistema de envase manual representava a maior parte e, hoje, já temos o envase automático produzindo mais, se aproximando da meta de 75%.

Figura 67 - Gráfico comparativo Manual x Automático



Fonte: O autor (2015).

Foram levantados outros dados, como os dados que se seguem, de manutenção. Esses dados estão em uma planilha que nos mostra o tempo de parada para cada disciplina, importante para conseguirmos levantar os pontos críticos do sistema, em busca de resolver os problemas prioritários.

Tabela 4 – Tabela que mostra valores de paradas para manutenção

Soma de Duração (H)	Mês	7/2014	8/2014	9/2014	10/2014	11/2014	1/2015	2/2015	3/2015	4/2015	5/2015	6/2015	Total Geral
Ajuste/Reparo	1	1	2				16	12,33	0,67	6,41	11,89	21,52	72,82
Bloqueio/desbloqueio de energia							0,67						0,67
Desalinhamento									15,42	5,83	29,25	2,78	53,28
Desarme			0,33		1,33				0,92			7,88	10,46
Emergência atuada							1,17		0,92				2,09
Falha em instrumento			6,42				6,41	9,33	6	4,33	3,17	13,39	49,05
Falha na rede/PLC										2,67			2,67
Falha no Rolo/Rolete			2,08					2,67		2,67			7,42
Manutenção geral	9			10,5		9	18	12	13		12	9,5	93
Outros				1									1
Rasgo na Correia Transportadora							1,33						1,33
Rompimento da Correia Transportadora							6,58						6,58
Total Geral	10	9,83	13,5	1,33	9	50,16	36,33	36,01	22,83	56,31	55,07	300,37	

Fonte: O autor (2015).

De acordo com a tabela, as maiores paradas durante o funcionamento são para ajustes e reparos, desalinhamentos de correias e falhas em instrumentos.

Os resultados obtidos comprovam uma melhora significativa no sistema. Para entender melhor, vamos analisar o resultado de cada uma das seis propostas de melhoria.

Primeiramente vamos citar o primeiro problema levantado, no tamponamento de latas. Havia o problema de latas destampadas irem diretamente para a embalagem final, o que causaria um impacto na qualidade do produto. Após análise em conjunto com as equipes de produção e manutenção, algumas mudanças foram feitas para resolver a questão. A mudança de se retirar as guilhotinas, a troca do sensor e sua mudança de posição, melhorou não só a conferência de latas tampadas como também tivemos um ganho na produção com um tamponamento um pouco mais rápido.

O segundo ponto de melhoria foi o ganho de eficiência no abastecimento de latas. Conseguimos, a partir da mudança feita na programação, uma agilidade maior na reposição de latas, que após 5 segundos das latas saírem para o destino, o sistema já prepara outras latas, obtendo assim um ganho de produção. Esse ganho não conseguimos medi-lo mas podemos vê-lo através da observação do funcionamento do sistema.

A comunicação entre as balanças de pesagem e o CLP, foi o terceiro e o mais significativo ponto de melhoria no sistema. Após horas de estudo e dedicação em torno de manuais, e com a ajuda de profissionais da área, a comunicação foi estabelecida, conforme pudemos ver em materiais e métodos. Essa comunicação possibilitou que o controle de vibração das calhas fosse feito pelo CLP, sem depender de ajustes manuais feitos por potenciômetros. Dessa forma pudemos entrar com valores de receita que previamente estabelecidas, auxiliando assim no melhor desempenho do sistema.

O quarto ponto de melhoria, vamos citar a colocação das botoeiras para o estado manual. As botoeiras estão permitindo uma atuação mais rápida da operação no caso de anormalidades no processo. Assim que observado a falha em uma das linhas de produção, a mudança mais rápida para o estado manual, facilita sua correção aumentando a disponibilidade do equipamento.

Um outra melhoria realizada no sistema em estudo foi com a maior agilidade na conferência de peso das latas feita pela balança de *check weight*. Uma alteração

simples na lógica permitiu que a esteira anterior a balança só parasse quando realmente já tivesse outra lata pronta para ser conferida, já ao lado da balança, reduzindo o tempo de parada das linhas de envase.

Já a indicação de produção e refugo via supervisor permitiu a criação de indicadores que se transforma em um item de verificação durante a produção do lote e auxilia os operadores na tomada de decisão para o melhor ajuste do sistema, e também para o lançamento dos dados produtivos. Através dos indicadores podemos avaliar melhor o funcionamento e *performance* do sistema.

O conjunto dessas melhorias está permitindo uma melhora na qualidade e no volume de produção, confirmada pelos resultados gráficos. Esses resultados ainda não atingiram os valores esperados uma vez que algumas alterações foram feitas a pouco tempo e resultados aparecerão naturalmente com o decorrer do tempo, vindos da coleta de dados sistemática que está sendo feita. Com relação a operação do sistema, as alterações realizadas contribuíram para redução no desvio padrão e maiores estabilidades na linha de produção.

6 CONCLUSÃO

As empresas buscam na automação a oportunidade de melhorar seus processos, seus resultados e também oferecer a seus colaboradores melhores condições de trabalho, reduzindo ao máximo o trabalho cansativo, repetitivo ou que provoque impactos negativos para a saúde.

Foi pensando nisso que realizamos esse trabalho, verificando o funcionamento de um sistema automatizado implantado a pouco tempo, levantando possíveis pontos de melhoria e atuando em cima desses pontos, de forma a auxiliar na busca pelos melhores resultados.

Como resultado tivemos um aumento no envase automático de 25% no início do projeto para mais de 50%, perseguindo a meta no setor de 75%. A capacidade produtiva também aumentou, apesar da baixa demanda no primeiro semestre ter impactado nos resultados. Com relação a sistemática de operação do sistema, as alterações realizadas com esse trabalho, contribuíram para a redução no desvio padrão e possibilitou maior estabilidade da linha de produção, além de conseguirmos trabalhar melhor os dados com os novos indicadores levantados à partir da melhoria realizada na coleta de dados e índice de reprocesso.

Podemos então, concluir que o objetivo principal do presente trabalho de otimizar o sistema de envase foi atendido, através do estudo do funcionamento do sistema, levantamento e correção das falhas do processo, implantação de melhorias e, por fim, com a comprovação dos resultados antes e depois do trabalho. Esse projeto trouxe frutos positivos para a empresa, contribuiu para o amadurecimento do autor e ainda poderá servir como fonte de informação para trabalhos futuros na empresa e na comunidade acadêmica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUIRRE, LUIS ANTONIO. **Enciclopédia de Automática – Controle e Automação**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2007. 469 p. v.3

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 2ª ed. São Paulo: Érica, 2007.

CRUZ, Antônio José R. S.. **Automação Industrial**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/automacao-industrial.html>>. Acesso em Abril de 2015.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008. 328 p.

LACOMBE, Francisco José Masset. **Dicionário de Administração**. São Paulo: Saraiva, 2004.

LEITE, Matheus Vinícius Moraes. **Automação de uma máquina envasadora: Estudo, simulação e desenvolvimento de uma Interface Homem Máquina**. Monografia de Graduação. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

LUGLI, Alexandre B. e SANTOS, Max M. D. **Sistemas de *Fieldbus* para Automação Industrial: *Devicenet, CANOpen, SDS e Ethernet***. Editora Érica, São Paulo, 2009.

LUGLI, A. B.; SANTOS M. M. D.; FRANCO L. R. H. **Uma visão dos protocolos para redes ethernet industriais e suas aplicações**. Intech, Brasil, São Paulo, 2008.

MORAES, Cícero Couto de e CASTRUCCHI, Plínio de Lauro. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

OGATA, KATSUHIKO. **Engenharia de Controle Moderno**. Rio de Janeiro: Prentice/Hall do Brasil Ltda. 1982. 929 p.

PINHEIRO, José Maurício Santos. **Guia Completo de Cabeamento de Redes**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

SESI, Serviço Social da Indústria. **Manual de Saúde e Segurança no Trabalho**. São Paulo: SESI, 2006.

SILVA, Marcelo Eurípides da. **Controladores Lógico Programáveis - Ladder** – FUMEP, Piracicaba: EEP, 2007.

THOMAZINI, Daniel e ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 7ª ed. São Paulo: Érica, 2010.