

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
FELIPE UILLIAN CARVALHO GARBIS

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO PARA SEPARAÇÃO DE
MATERIAIS RECICLÁVEIS

Formiga - MG

2015

FELIPE UILLIAN CARVALHO GARBIS

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO PARA SEPARAÇÃO DE
MATERIAIS RECICLÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais
como requisito para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Automação Industrial

Orientadora: Prof^ª. Ma. Michelle Mendes
Santos

FORMIGA – MG

2015

G213p Garbis, Felipe Uillian Carvalho.
Protótipo de um Sistema Automático Para a Separação de Materiais
Recicláveis / Felipe Uillian Carvalho Garbis – Formiga, MG. 2015.

66p.: il.

Orientador: Profa. Ma. Michelle Mendes Santos

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal Minas Gerais –
Campus Formiga

1. CLP. 2. Sensores. 3. Atuadores. 4. Reciclagem. I. Santos, Michelle
Mendes. II. Título.

CDD 629.896

FELIPE UILLIAN CARVALHO GARBIS

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO PARA SEPARAÇÃO DE
MATERIAIS RECICLÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica do Instituto Federal de Minas
Gerais como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Elétrica.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ma. Michelle Mendes Santos

Prof. Me. José Antônio Moreira de Rezende

Prof. Me. Jonatham Silva Rezende

Formiga, 19 de Janeiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades que apareceram pelo caminho.

A minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional que recebi ao longo desta caminhada. Obrigado por sempre confiarem e acreditarem em mim.

À minha orientadora, Prof^a. Michelle Mendes, pelo suporte, auxílio, pelas suas correções, conversas e incentivos.

Agradeço a todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, pelo tanto que se dedicaram a mim, não somente por me ensinar, mas por me fazerem aprender.

Meus agradecimentos aos amigos de república, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho consiste na busca por formas alternativas de seleção e separação de materiais recicláveis e reutilizáveis. A ideia principal é estudar os processos industriais existentes e propor um método de separação automática de alguns materiais. A partir dos modelos estudados, foi desenvolvido um protótipo que separa três tipos de materiais recicláveis: o metal, o plástico e o papel. O protótipo é composto por um controlador lógico programável (CLP), sensores indutivo e capacitivo, pistões pneumáticos e um motor para o acionamento da esteira. A seleção de materiais recicláveis traz benefícios ao meio ambiente já que, a partir de sua separação, é possível se fazer o aproveitamento correto destes. A seleção automática torna esse processo mais rápido e econômico, possibilitando a reutilização ou reciclagem de grandes volumes de material por unidade de tempo.

Palavras chave: CLP, sensores, atuadores, reciclagem.

ABSTRACT

This work is the search for alternative forms of selection and separation of recyclable and reusable materials. The main idea is to study the existing industrial processes and propose an automatic method for separating some materials. From the studied models, a prototype has been developed that separates three types of recyclable materials: metal, plastic and paper. The prototype consists of a programmable logic controller (PLC), inductive sensor, capacitive sensor, pneumatic pistons and an inductive motor for operating the treadmill. The selection of recyclable materials brings benefits to the environment, since from their separation, it is possible to make the correct use of these. Automatic selection makes this faster and cost effective, enabling the reuse or recycling of large volumes of material per unit time.

Keywords: PLC, sensors, actuators, recycling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil do lixo reciclado no Brasil.....	16
Figura 2 - Triagem Manual de Lixo.	19
Figura 3 - Triagem Automática.	21
Figura 4 - Esteira Transportadora para Triagem.....	23
Figura 5 - Comutação Sensor Indutivo.	25
Figura 6 - Sensor Capacitivo.	26
Figura 7 - Motor e Inversor de Frequência WEG.	28
Figura 8 - Símbolo de um Atuador Linear com Retorno por Mola.....	29
Figura 9 - Estrutura Básica de um CLP.	30
Figura 10 - Ciclo de Processamento do CLP.....	32
Figura 11 - Temporizador TON.....	33
Figura 12 - Temporizador TP.....	33
Figura 13 - CLP Siemens SIMATIC S7-1200.....	34
Figura 14 - Linha de Programação <i>Ladder</i>	35
Figura 15 - Sistema Supervisório Industrial.	37
Figura 16 - Projeto do Protótipo de Triagem.....	38
Figura 17 - Esteira Montada.	39
Figura 18 - Polia e Direcionador de Fluxo.....	40
Figura 19 - Motor de Indução Trifásico.	41
Figura 20 - Kit Didático de Controle.....	42
Figura 21 - Inversor de Frequência.....	43
Figura 22 - Montagem Remota do Inversor.	44
Figura 23 - Sensor de Proximidade Indutivo.....	45
Figura 24 - Sensor de Proximidade Capacitivo.....	46
Figura 25 - Pistão Pneumático de Ação Simples.....	47
Figura 26 - Eletroválvula 3/2 NF.	48
Figura 27 - Fluxograma do Processo.....	49
Figura 28 - Lógica <i>Ladder</i> de Acionamento dos Atuadores.	52
Figura 29 - Lógica de Acionamento da Esteira.....	52
Figura 30 - Sistema Supervisório.....	54
Figura 31 - Testes de Separação.	55

Figura 32 - Sistema de Controle e Supervisório.	57
Figura 33 - Sistema Supervisório Atuando.	58

LISTA DE ABREVIATURAS

CLP - Controlador Lógico Programável

PET - Politereftalato de Etileno (Polímero Termoplástico)

EPI - Equipamento de Proteção Industrial

CA - Corrente Alternada

UCP - Unidade Central de Processamento

A/D - Analógico para Digital

D/A - Digital para Analógico

TON - *Timer On Delay*

TP - *Timer Pulse*

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*

IHM - Interface Homem Máquina

TCP - *Transmission Control Protocol*

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Contextualização do Problema	14
1.2.	Hipótese	14
1.3.	Justificativa.....	15
1.4.	Objetivo Geral.....	16
1.5.	Objetivos Específicos	16
1.6.	Estrutura Do Trabalho.....	17
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1.	O Processo de Triagem do Lixo.....	18
2.2.	Esteiras Transportadoras	22
2.3.	Instrumentação.....	23
2.3.1.	Sensores Discretos	23
2.3.2.	Atuadores.....	27
2.4.	Controlador Lógico Programável.....	30
2.5.	Sistema Supervisório.....	35
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1.	Protótipo da Esteira	38
3.2.	Motor de Indução e Inversor de Frequência	40
3.3.	Sensores e Atuadores Discretos	44
3.4.	Descrição Da Lógica De Funcionamento Do Sistema.....	48
3.5.	Lógica de Programação do CLP	50
3.6.	Sistema SCADA	53
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.	CONCLUSÕES	59

REFERÊNCIAS	60
ANEXO A - Dados de placa do motor WEG, modelo W22 Plus	66

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2011, cada brasileiro produzia uma média de 1 Kg de lixo diariamente, o que levava a um total de aproximadamente 200 mil toneladas de lixo produzido ao dia. Essa quantidade não inclui os resíduos comerciais, os de construção ou os resíduos hospitalares, que devem ser incinerados. Essa quantidade de lixo era diariamente enviada a aterros sanitários e lixões ou descartada de forma irregular em locais proibidos, como córregos e afluentes de rios, terrenos baldios entre outros locais (ARGENTA, 2011). Entretanto, segundo TRIGUEIRO, no ano de 2013 a média de produção de lixo teve um aumento, chegando a cerca de 1,223 Kg de lixo produzido diariamente por pessoa. Como se pode observar, com o passar dos anos a produção de lixo tende a aumentar cada vez mais. Isso torna necessária a busca por novas formas de descarte e de reciclagem do lixo.

Hoje a reciclagem e reutilização do lixo constituem um mercado pouco explorado, mas com grandes possibilidades de crescimento. Além de ajudar o meio ambiente ela tem um alto retorno financeiro. Em cidades modelo na Europa, estão sendo testadas desde novas formas de coletas de resíduos como novas formas triagem de lixo. Em Barcelona está sendo implantada, em alguns bairros, a utilização de uma via de translocação de lixo (SEOANE, 2011). Isto vem diminuindo a chance de enchentes devido ao descarte incorreto de dejetos, já que este pode ocasionar a obstrução de bueiros.

A Estre é a maior empresa de saneamento ambiental do país, que também tem instalações em outros dois países da América Latina, atua no mercado de reaproveitamento de resíduos, sendo responsável por 11 aterros sanitários na América Latina, 9 destes espalhados pelas varias regiões do Brasil, tendo o seu maior aterro sanitário localizado em Paulínia no estado de São Paulo. Ela teve um faturamento previsto total de 1,2 bilhões de reais no ano de 2011 (LICHT, 2011).

O Brasil poderia reciclar até 80% do lixo gerado no país, se fossem adotadas medidas de priorização de coleta seletiva com tecnologias que já existem e houvesse maior organização dos catadores. Em Minas Gerais 36% dos municípios têm programas de coleta seletiva. Já na Região Metropolitana de Belo Horizonte há

coleta seletiva em 24 dos 40 municípios. No entanto, o percentual de recuperação de materiais recicláveis na região é de cerca de 1% (MORENO, 2014).

. O processo de separação do lixo é a primeira etapa da reciclagem. Ele pode ocorrer de três formas, dependendo da realidade do local onde é aplicado: triagem manual, triagem automática e triagem semiautomática. (PRS, 2013).

Com o objetivo de criar uma forma alternativa de separação do lixo, este trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de triagem inteligente de resíduos que consiste na utilização de técnicas, dispositivos e equipamentos para automatizar o processo de separação dos resíduos. A utilização desse sistema deve diminuir consideravelmente o tempo necessário para a identificação dos materiais recicláveis, além de aumentar a segurança em sua separação, já que, com sua implantação, não há contato humano com os dejetos possivelmente contaminados. Com a aplicação dessas técnicas, a quantidade de produção pode ser facilmente expandida, pois a proposta desse trabalho é automatizar o processo sem que sejam realizados grandes investimentos em um novo maquinário ou uma grande intervenção na linha de triagem. Assim, este sistema pode ter um elevado retorno financeiro.

Após a separação dos resíduos, cada tipo de material pode ter seu destino correto, desde a reciclagem total do plástico até o reaproveitamento do material orgânico para a produção de biogás.

Embora seja um pouco diferente do sistema de triagem industrial de larga escala, o sistema proposto neste trabalho deve ser capaz de separar corretamente os materiais e direcioná-los para partições diferentes, assim como nos processos de maior porte. Os resíduos não serão separados de acordo com os subtipos de materiais, como diferenciação entre alumínio e ferro, ou a separação entre garrafas PET de óleo ou de refrigerante. Também não será implementada alguma forma de obtenção dos materiais.

O projeto deste trabalho tem funcionalidades baseadas na análise de sinais discretos ou lógicos provenientes de sensores. Os sensores utilizados são responsáveis por emitir níveis lógicos em sua saída, de acordo com a percepção do material à sua frente. Esses sinais serão enviados ao CLP para que se possa fazer o

controle do sistema por meio de uma lógica que comanda os atuadores responsáveis pela separação dos dejetos.

1.1. Contextualização do Problema

A geração de lixo no país está aumentando com o passar do tempo. No ano de 2010, em relação ao ano de 2009, por exemplo, houve um aumento de 6,8% na geração de lixo. Também houve um aumento de 1,6% no sistema de coleta seletiva, mas este número deveria ter se elevado mais (VIALLI, 2011). Isto leva a notar que existe uma grande quantidade de lixo sem tratamento, o que pode significar uma boa oportunidade socioeconômica que está sendo desperdiçada.

Como a grande maioria dos aterros não dispõe de um bom sistema de reaproveitamento de materiais, ou de uma forma que dê a eles um devido tratamento, esses resíduos vão gerar impurezas que, ao passar do tempo, contaminam o ambiente à sua volta.

Quando se utiliza uma área para descarte de dejetos, essa área fica inutilizada para muitas funções, como por exemplo, a de plantio. Com o aumento na geração de lixo no país, o número de terrenos que terão o mesmo destino destes aterros tende a aumentar.

1.2. Hipótese

Tendo em mente que o ramo de reciclagem ainda é pouco explorado no Brasil, e com o aumento dos dejetos sendo destinados a lixões ou aterros sanitários, este projeto tenta viabilizar a inserção de tecnologias destinadas à separação de lixo, por meio de um protótipo automatizado, em que o lixo será identificado e separado de acordo com algumas características únicas. A finalidade desse protótipo é mostrar que o lixo pode ser reaproveitado em sistemas de reciclagem ou reutilização de materiais, gerando riquezas aos seus usuários, além de uma melhora no ambiente.

1.3. Justificativa

Justifica-se o desenvolvimento de um projeto que visa melhorar o processo de reciclagem a partir da necessidade de uma melhor forma de reaproveitamento de resíduos, visto que a aplicação de sistemas automáticos de separação de resíduos em aterros e lixões pode atuar, além de uma forma de geração de renda em um mercado pouco explorado, vai trazer também benefícios para o meio ambiente.

Ao se reutilizar o lixo descartado, sabe-se que os produtos reciclados, dependendo do processo, necessitam de uma menor porcentagem de energia no processo de reutilização do material, além de uma redução na extração de matéria. Um exemplo disto seria a reciclagem do alumínio: ao se reutilizar 50 kg de alumínio, evita-se a extração de aproximadamente 5 mil kg de minério de bauxita (MARICÁ, 2014).

O investimento em pesquisas e equipamentos que possam fazer a separação dos materiais contidos em lixões e aterros sanitários pode melhorar as condições de vida da população, tendo em vista que grande parte do lixo que é enviado para o descarte tem em grande composição produtos altamente recicláveis. Isso diminuiria a área necessária para o descarte de materiais, geraria um menor número de terrenos inutilizados devido à contaminação do solo e poderia diminuir o número de enchentes devido ao descarte desorganizado de resíduos. Uma outra parcela dos materiais não recicláveis, como os produtos orgânicos, pode ser utilizada como combustível para usinas de biogás.

A Figura 1 mostra o perfil do lixo que é reciclado no Brasil, apresentando qual a porcentagem de cada material. Ao serem separados, estes materiais podem ter um descarte apropriado ou se vendidos para o reaproveitamento ou reciclagem.

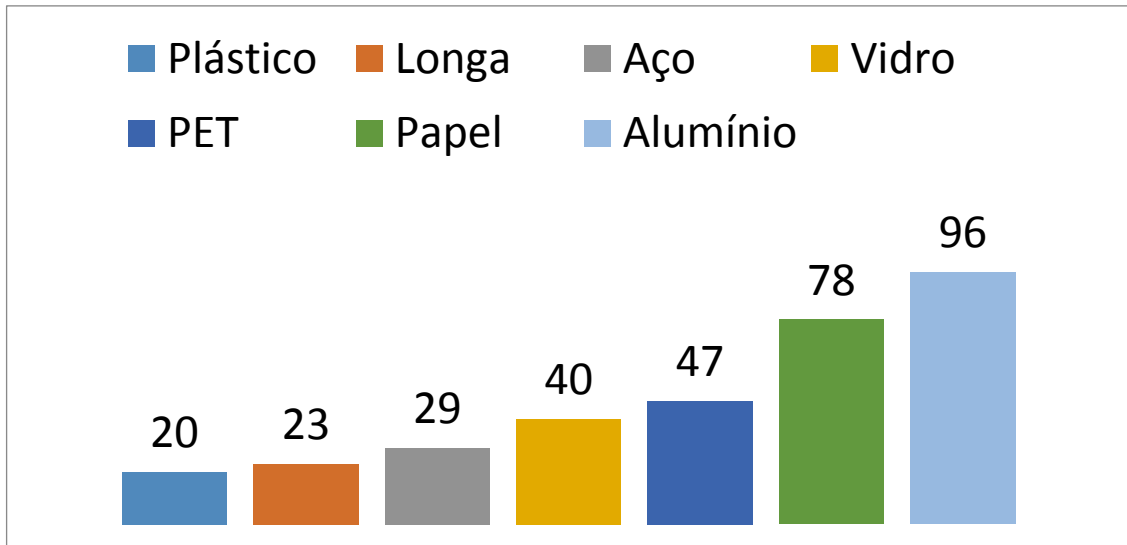


Figura 1 - Perfil do lixo reciclado no Brasil.

Fonte: Adaptado de RECICLAR, 2014.

1.4. Objetivo Geral

Este trabalho consiste na busca de um novo método de separação de materiais recicláveis em processos semiautomáticos. Embasado nos modelos de triagem estudados é proposto o desenvolvimento de um protótipo que separa três tipos de materiais recicláveis: plástico, papel e metal.

É proposta neste trabalho uma forma de triagem automática para a separação de lixo reciclável. Para isso, foi implementada uma solução automatizada com o auxílio de um controlador lógico programável (CLP), sensores lógicos, uma mini esteira e atuadores pneumáticos que efetuam a separação dos materiais.

1.5. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos que a realização do trabalho almeja alcançar estão:

- Construção de uma mini esteira acionada por um motor elétrico;

- Identificação dos materiais por meio de sensores discretos e calibração dos sensores para que sejam acionados de acordo com cada material;
- Instalação dos atuadores pneumáticos;
- Desenvolvimento da lógica de controle da planta via CLP;
- Desenvolvimento de um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) para monitoramento da planta.

1.6. Estrutura Do Trabalho

A estrutura deste trabalho é constituída por cinco capítulos. O segundo capítulo apresenta as várias partes de sistemas de triagem de resíduos. Também mostra as etapas do funcionamento do sistema, e características das partes do mesmo.

O terceiro capítulo trata da apresentação do protótipo de triagem proposto. Nesse capítulo são abordados todos os elementos do protótipo em conjunto com as suas etapas construtivas.

O quarto capítulo é responsável por mostrar os resultados obtidos. Nesse capítulo são apresentados os resultados provenientes dos testes do protótipo, depois de efetuada a sua montagem.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e algumas propostas de projetos futuros para dar continuidade ao trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Existem várias alternativas para a separação do resíduo humano. Uma das mais conhecidas e utilizadas é a triagem. O termo triagem se refere à separação dos diversos componentes do lixo em subgrupos, de acordo com a sua natureza, sejam eles de matéria orgânica, matéria reciclável ou demais rejeitos (OLIVEIRA, *et al.* 2006).

2.1. O Processo de Triagem do Lixo

As três formas de triagem do lixo são: a triagem manual, a triagem automática, e a triagem semiautomática.

A triagem de lixo mais comum, utilizada pelas associações de catadores, é a triagem manual. Nesse caso, o processo não apresenta uma grande variação em suas produções totais, visto que essa produção depende da quantidade de mão de obra disponível, e não da quantidade de lixo descartado (PRS, 2014). Esse tipo de triagem apresenta alto índice de periculosidade aos trabalhadores, visto que eles entram em contato direto com os materiais. Um dos procedimentos padrão em usinas de triagem, para minimizar o contato com os materiais é a utilização de EPI's como luvas, máscaras, óculos, botas e macacões.

É importante salientar que a triagem manual não pode ser feita caso os caminhões de coleta estejam utilizando o sistema de compactação de lixo (OLIVEIRA, *et al.* 2006). Isto se deve ao fato de que, com a aglomeração de resíduos, pode-se ocasionar uma má separação destes em processos manuais.

A Figura 2 mostra como é feita a separação do lixo por triagem manual. Primeiramente é feita a deposição do lixo em uma caçamba com o formato de funil (1). Assim, pode-se controlar a quantidade de material depositado na esteira. Da caçamba, o material é destinado à esteira de triagem onde os catadores separam de maneira manual os resíduos de acordo com suas características (2). Os materiais reciclados separados são destinados a um galpão de armazenamento e os materiais que não são recicláveis são depositados em outra caçamba de armazenamento que

está situada logo ao final da esteira de transporte (3). Em grande maioria estes materiais não recicláveis são de características orgânicas e são destinados à compostagem (IGUAÇUMEC Ltda. 2014).

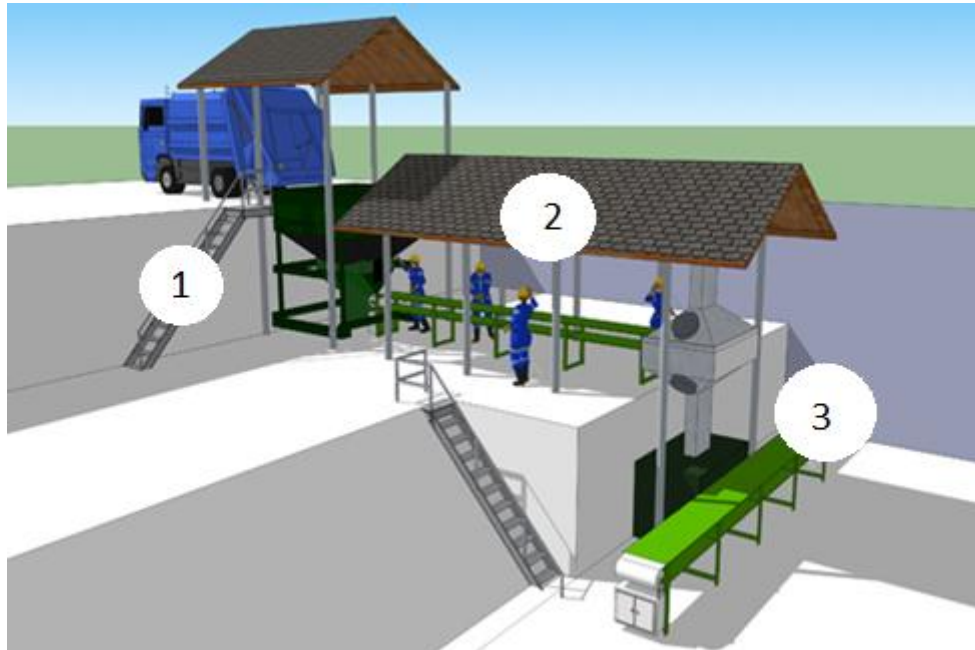


Figura 2 - Triagem Manual de Lixo.

Fonte: Adaptado de SISTEMA COSTA NORTE DE COMUNICAÇÕES, 2011.

A triagem semiautomática, é indicada para locais onde a separação possa ser feita em conjunto com a associação de catadores local, mas não é totalmente realizada por pessoas. Assim, seria necessária apenas uma pequena parte de automatização no processo. A parte automática do processo é responsável por separar os materiais recicláveis pré-selecionados. Os associados fazem apenas uma pré-seleção separando os materiais que não podem ser reciclados e os retirando da esteira. Para se aumentar a produção, é necessário investir em mais mão de obra e em tecnologia, capacitando mais pessoas a manusear as novas partes automáticas do processo, devido à sua expansão (PRS, 2014).

Um exemplo de sistema de triagem semiautomático pode ser definido utilizando a Figura 2. No processo semiautomático também é feita a deposição do lixo em uma caçamba com o formato de funil (1). Da caçamba, o material é

destinado à esteira de triagem onde agora os catadores fazem uma pré-seleção dos materiais, retirando da esteira os materiais que não são recicláveis. Ainda na esteira depois de feita a pré-seleção destes materiais, sensores são responsáveis por identificar cada tipo de material e os atuadores são responsáveis por direcioná-los aos depósitos abaixo da esteira (2). Os materiais reciclados separados são destinados a um galpão de armazenamento.

O processo automático é indicado para locais que necessitam de uma maior rapidez no tratamento dos resíduos. Ele não é feito em conjunto com a associação de catadores locais, já que necessita de mão de obra especializada. Ele tem um elevado grau de automatização e possui uma grande versatilidade na quantidade de produção, visto que para se aumentar a quantidade produzida é necessário apenas fazer algumas alterações na estrutura local (PRS, 2014). Porém, este processo tem um elevado custo de implantação. Uma central de tratamento automática que separa 250 toneladas diárias de lixo necessita de um investimento inicial de aproximadamente R\$ 20,2 milhões (SAMPA, 2014).

A Figura 3 mostra um sistema de separação de lixo por triagem automática. O lixo é depositado em um grande tanque (1). Existe uma esteira transportadora elevadora que transporta estes materiais do tanque até um triturador (2). Como o sistema automático permite a utilização de caminhões compactadores, o triturador irá granular os materiais antes da sua separação. Após passar pelo triturador os resíduos caem em uma esteira onde estão localizados os sensores e atuadores do sistema (3). Cada tipo de material é separado conforme suas características físicas e químicas e são destinados a depósitos logo abaixo da esteira (4).



Figura 3 - Triagem Automática.

Fonte: Adaptado de: SOTECNISOL, 2014.

Os materiais recicláveis provenientes da triagem de resíduos podem ser comercializados, conforme a demanda regional e a busca do mercado de consumo (MAGALHÃES, 2008). Quanto melhor separados forem os materiais, maior será o seu valor agregado na venda de montantes para a reciclagem.

Uma vantagem significativa da triagem automática sobre a triagem manual é a possibilidade de ser feita a partir do lixo proveniente de um caminhão com um sistema compactador. Um sistema completo automático possui trituradores. Após a trituração ou granulação dos resíduos, é possível fazer a separação dos mesmos de forma rápida e automática. Outra vantagem da triagem automática é que ela pode ser operada 24 horas, gerando maiores quantidades de produtos separados, e com uma maior confiabilidade, possibilitando, assim, uma maior agregação de valor em seus produtos.

Em toda usina de triagem, seja ela automática semiautomática ou manual, é necessário o uso de esteiras de transporte. Elas podem ser acionadas por motores de indução, com o auxílio do inversor de frequência para que, assim, possa ser feito o seu controle de velocidade. Para um melhor funcionamento é necessária, também,

a utilização de sensores e atuadores, para que se possa fazer a seleção e separação do material. Em sistemas de triagem manual, os sensores e atuadores são substituídos por pessoas que executam a função de detecção e separação dos produtos.

Em usinas de triagem automáticas, a utilização de sensores discretos não é muito usual, devido à alta quantidade de resíduos e velocidade da esteira transportadora. Como um exemplo da diferença na separação de resíduos entre usinas automáticas e semi automáticas, pode ser citada a separação de metais. Para que ela possa ser feita, são utilizados grandes eletroímãs que atraem os materiais metálicos que estão na esteira de transporte.

Em processos automáticos industriais, o CLP é o controlador lógico mais utilizado. Ele faz com que se torne possível a integração de toda a planta industrial. Assim, tem-se apenas um ponto de controle comum para a esteira, sensores, atuadores e inversores de frequência, através de uma interface programável, que pode ser ajustada de acordo com a necessidade da planta.

2.2. Esteiras Transportadoras

Uma esteira transportadora é constituída basicamente de duas polias que, através de sua rotação, movimentam uma superfície onde são colocadas as cargas ou objetos que se pretende deslocar. Elas podem ser utilizadas para o transporte dos mais variados materiais. O seu sistema de funcionamento permite um deslocamento rápido e melhora a movimentação de carga de um ponto ao outro dentro de um ambiente controlado.

As esteiras transportadoras que são utilizadas nos sistemas de triagem de lixo podem ser construídas sob encomenda, podendo variar sua altura ou comprimento. (SOLUÇÕES INDUSTRIAIS, 2014).

Um dos diferenciais utilizados em esteiras de transporte de material, é a possibilidade da utilização de inversores de frequência para o controle de velocidade da esteira, sendo assim, pode-se garantir uma maior confiabilidade no sistema (FRAGMAQ, 2014).

A Figura 4 mostra uma esteira de transporte utilizada em triagem de materiais. Ela tem dimensões de 8 metros de comprimento, largura de 1000 mm, altura a definir no pedido. A estrutura da esteira é fabricada com chapas de 3,75 mm em aço e sua lona tem 8 mm de espessura.



Figura 4 - Esteira Transportadora para Triagem.

Fonte: FRAGMAQ, 2014.

As esteiras de transporte têm grande aplicação nas mais variadas áreas da indústria, podendo ser encontradas em empresas de mineração, indústrias de cal, ou até mesmo em indústrias alimentícias para o transporte de caixas contendo produtos. Em vários ambientes que necessitam de um transporte de carga, pode ter sua aplicação direta, variando apenas o torque das polias ou o material de confecção da superfície de que será deslocada.

2.3. Instrumentação

2.3.1. Sensores Discretos

O elemento sensor é o elo entre o mundo externo e o sistema de controle. Ele é um tipo de dispositivo que converte uma grandeza física em um sinal padronizado, seja ele de tensão, corrente, pneumático, entre outros.

Os elementos sensores podem ser divididos em dois subtipos, sendo eles sensores discretos e sensores analógicos. Os sensores discretos são utilizados para monitorar a ocorrência ou não de um evento, logo, sua saída possui apenas dois estados: ligado ou desligado. Os sensores analógicos são utilizados para monitorar uma grandeza física com uma faixa de valores. Em sua saída apresentam sinais variáveis, sejam eles de tensão, corrente, pressão, dependendo do sensor utilizado (FUENTES, 2005).

Os sensores que são utilizados no projeto são discretos. Eles identificam quando um evento ocorre, no caso, a passagem de um tipo específico de material pelo sensor. Um exemplo seria o sensor indutivo: ele apresenta um sinal lógico com nível alto quando algum objeto metálico passa em frente a ele, não variando o estado para um elemento plástico.

2.3.1.1. Sensor Indutivo

Pela definição de Lino (2014a), os sensores indutivos são um tipo de sensor que detecta a presença de materiais condutores de energia elétrica de natureza metálica. Estes sensores são componentes eletrônicos capazes de identificar a aproximação de um objeto sem que exista a necessidade de um contato físico entre o elemento monitorado e o elemento acionador. Como não existe este contato, sua vida útil é maior e ele não possui alguma peça móvel (LIMA, 2008).

De forma simplificada, o catálogo de produtos Coel (2014) descreve o funcionamento do sensor como um circuito eletrônico que forma um campo eletromagnético sobre a sua face sensora e, assim que inserido um objeto metálico, uma parte deste campo é absorvido, comutando a saída. Conforme Lima (2008) a estrutura interna do sensor consiste de uma bobina, um núcleo de ferrite, um oscilador, um detector de nível de sinais de disparo e um circuito de saída.

O sensor indutivo opera com base na indução magnética. Ele funciona de maneira similar ao primário e secundário de um transformador. O sensor tem um oscilador e uma bobina. Assim, é possível criar um campo magnético fraco. Quando um objeto entrar neste campo, correntes são induzidas na superfície do objeto, que

necessita ser metálico. Como o objeto a ser detectado causa uma interferência no campo magnético existe uma diminuição de energia no circuito oscilador, diminuindo, assim, a amplitude da oscilação e causando uma queda de tensão. O circuito de detecção do sensor percebe a queda de tensão do circuito do oscilador e responde mudando o estado do sensor (LIMA, 2008).

Como se pode observar na Figura 5, a comutação da saída no sensor indutivo depende da distância do material à face do objeto sensor. Conforme se tem uma aproximação do objeto metálico, a amplitude da frequência do oscilador diminui, até que a um ponto de menor proximidade possa haver uma comutação do nível de saída do sensor.

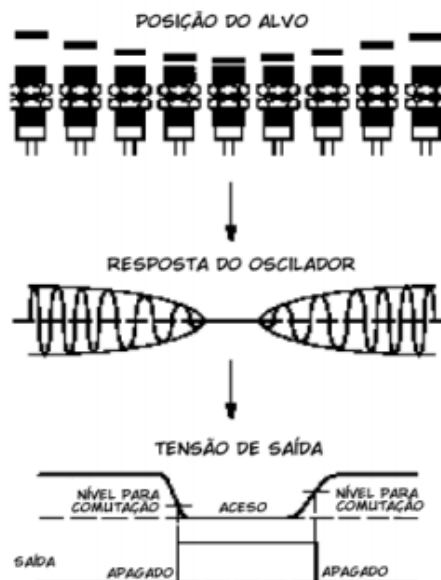


Figura 5 - Comutação Sensor Indutivo.

Fonte: LIMA, 2008.

As aplicações para este tipo de sensor são inúmeras na área industrial. Podem ser utilizados no lugar de chaves fim de curso, ou até para a monitoração de velocidade de alguns materiais. No protótipo proposto, sua aplicação será em detectar objetos metálicos recicláveis, como latas de alumínio.

2.3.1.2. Sensores Capacitivos

Sensores capacitivos funcionam de forma similar aos sensores indutivos. Wendling (2010), explica que os sensores capacitivos operam gerando um campo eletrostático e podem detectar variações neste campo. Coel (2014) explica que, ao se aproximar um objeto qualquer próximo à sua face sensora, ocorrerá uma variação de dielétrico, provocando ou não a comutação do sinal de saída do sensor, esse efeito é exemplificado na Figura 6. Nas partes internas na construção de um sensor capacitivo, existem uma ponta capacitiva um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtro e um circuito de saída.

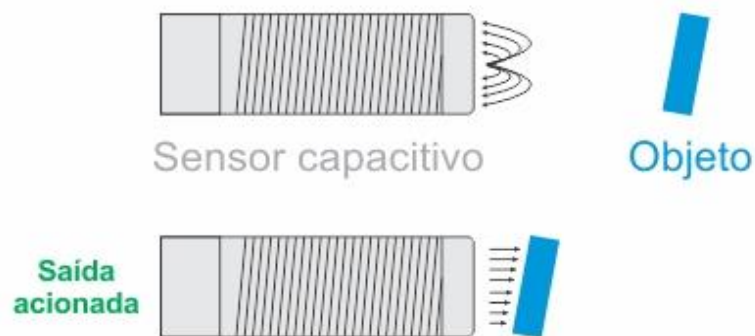


Figura 6 - Sensor Capacitivo.

Fonte: LINO, 2014b.

Segundo Wendling (2010) caso não exista nenhum objeto próximo à sua face sensora, o oscilador ficará inativo, quando um objeto a ser detectado se aproxima, a sua capacitância é alterada e, ao atingir um valor determinado, a saída comuta seu estado. Coel (2014) informa que para cada tipo de material existe um ponto distinto para que se possa provocar a variação necessária do dielétrico. Existe a necessidade de um *trimpot* externo para um melhor ajuste para cada material específico.

Os sensores capacitivos apresentam uma maior distância de atuação em relação aos sensores indutivos, e a sua aplicação varia desde a identificação de objetos não metálicos a chaves fim de curso.

No protótipo proposto, sua utilização se dá necessária para a detecção de objetos não metálicos. Como o sensor indutivo já é responsável pela identificação dos materiais metálicos, o sensor capacitivo é calibrado para reconhecer os objetos plásticos e ignorar os objetos de papel.

2.3.2. Atuadores

2.3.2.1. Motores De Indução Com Inversores De Frequência

Para que seja feita a rolagem das polias na esteira, é necessário o uso de motores de grande porte. Os mais usuais são os motores de indução. O motor de indução é um motor CA e é o tipo de motor mais utilizado devido a algumas vantagens, como sua simplicidade, construção robusta e baixo custo de fabricação. É conhecido como motor de indução devido ao fato de serem induzidas correntes alternadas no circuito do rotor, pelo campo magnético girante produzido nas bobinas do estator (HENRRIQUE, 2014).

Os inversores de frequência devem trabalhar em conjunto com os motores indutivos.

Os inversores transformam a tensão da rede, de amplitude e frequência constantes, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis. Variando-se a frequência da tensão de alimentação, varia-se também a velocidade do campo girante e conseqüentemente a velocidade mecânica de rotação da máquina. WEG EQUIPAMENTOS ELETRICOS LTDA (Guia técnico, pág. 6).

O acionamento de motores de indução por inversores de frequência é relativamente novo, mas já apresenta grandes aplicações em indústrias. Antes era necessário o uso de motores CC devido à necessidade do controle de velocidade. Mas, devido ao avanço tecnológico em eletrônica de potência, o uso de inversores

de frequência permite a utilização de motores CA em locais onde é necessário o controle de velocidade.

Os inversores de frequência atuais possuem comunicações de dados que podem ser conectados facilmente ao CLP. O inversor de frequência utilizado neste trabalho é do modelo CFW-08, do fabricante WEG, como o apresentado na Figura 7. Eles fazem parte do laboratório de automação do IFMG Campus Formiga.



Figura 7 - Motor e Inversor de Frequência WEG.

Fonte: WEG Guia técnico.

Poder controlar variáveis dos motores de indução CA, como a velocidade, é uma boa opção, caso haja a necessidade de ampliação da planta, ou até mesmo para o melhoramento do sistema de separação, devido à velocidade de rolagem da esteira transportadora.

2.3.2.2. Pistão Pneumático

O Pistão pneumático é um tipo de atuador. Atuador é um elemento que produz movimento, ou qualquer outra ação, atendendo a algum comando enviado a ele. Ele pode ser manual, elétrico, mecânico (pneumático ou hidráulico) ou misto.

Um atuador automático executa uma ação sobre o sistema de acordo com o a combinação dos estados dos sensores determinada pela lógica de programação.

Segundo Silva (2006) a função dos atuadores pneumáticos é de transformar a energia pneumática em movimento e força. Esse movimento efetuado pelo atuador pode ser linear, rotativo ou oscilante.

O atuador pneumático utilizado no protótipo é um atuador linear de ação simples com retorno por mola. A simbologia para esse tipo de atuador pode ser observada na Figura 8.

Simbologia

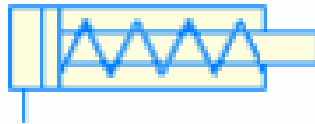


Figura 8 - Símbolo de um Atuador Linear com Retorno por Mola.

Fonte: SILVA, 2006.

O cilindro de ação simples é acionado quando é aplicado ar comprimido em apenas um de seus lados (SILVA, 2006). Assim, a mola é distendida e o ar empurra o pistão linearmente para frente. Quando o ar é liberado, a mola se estende retornando o pistão para sua posição inicial.

Segundo Filho (2014) dentre as aplicações mais comuns deste cilindro de ação simples estão a fixação, a expulsão, a extração e a prensagem de peças, entre outros. O cilindro pneumático é um excelente atuador para o processo de triagem automática, pois, assim que é identificado o objeto pelo sensor, ele poderá ser retirado da esteira com um impulso, pois sua resposta é muito rápida. Para acionar o cilindro pneumático utiliza-se uma válvula que libera ou não a passagem de ar comprimido ao cilindro, fazendo com que ele recue ou avance. O comando enviado à válvula para que ela realize essa tarefa é um comando elétrico. A essa

combinação do acionamento elétrico da válvula e do cilindro pneumático dá-se o nome de atuador eletropneumático.

2.4. Controlador Lógico Programável

Um controlador lógico programável (CLP) é um equipamento digital, que possui uma memória programável para que possa ser feito o armazenamento de instruções e, assim, ele permite a implementação de algumas funções.

A estrutura básica do CLP pode ser vista na Figura 9, onde se observa as portas de entrada, a unidade central de processamento e as portas de saída de dados.



Figura 9 - Estrutura Básica de um CLP.

Fonte: PINTO, 2008.

A unidade central de processamento (UCP) é responsável por fazer a tomada de decisão. Após verificar os sinais das entradas, ela executa a lógica do programa e altera o estado das saídas. As entradas e saídas são os meios de comunicação do CLP com o processo. O módulo de entrada é a interface entre os sensores no campo e a lógica de controle. Ela possui circuitos conversores dos sinais de entrada para níveis compatíveis com o processador da UCP. O módulo de saída é a interface entre a lógica de controle e os sensores no campo. Ela possui circuitos conversores que alteram os sinais do processador para níveis compatíveis com os do processo controlado (KOPELVSKI, 2010).

Segundo Amico (2003) pode-se dizer que na entrada de dados se coleta os sinais provenientes do processo, no processamento de dados se trabalha os dados conforme orientações do programa, e na saída de dados se repassa os comandos seguindo a lógica programada.

De acordo com as análises de Pinto (2008) os sinais de entrada e saída de dados podem ser digitais ou analógicos. Os módulos de entradas e saídas digitais correspondem à atribuição de um sinal lógico caso um evento seja detectado. Os módulos de entrada e saída analógicos necessitam de conversores A/D ou D/A para que, a cada varredura, possa se transformar o sinal analógico em digital, para que possa ser trabalhado dentro da unidade de processamento e, assim, fazer o caminho inverso, caso seja necessário um sinal analógico em sua saída.

O processamento de dados é baseado no tratamento dos dados coletados dos sensores. Quando o CLP é ligado e a lógica inicializada, ele atribui a todas as entradas e saídas, um nível lógico baixo. Então, é feita a varredura em suas portas de entrada, todos os dados lidos são transmitidos a uma memória interna de entrada. Ao final da varredura, estes dados são tratados e repassados à unidade de memória interna da saída. Assim, ele refaz o ciclo a cada varredura para que possa ser feito o monitoramento do sistema (PINTO, 2008).

A Figura 10, representa o funcionamento lógico do CLP, com as etapas para o processamento de dados. Após ser ligado, ele inicializa a lógica de controle. Então, ele faz uma varredura das portas de entrada e atribui os valores a uma tabela de dados de entrada. A UCP trata os dados coletados e atualiza uma tabela de saídas com base nos dados coletados dos sensores e na execução da lógica. A cada ciclo o CLP refaz este procedimento.

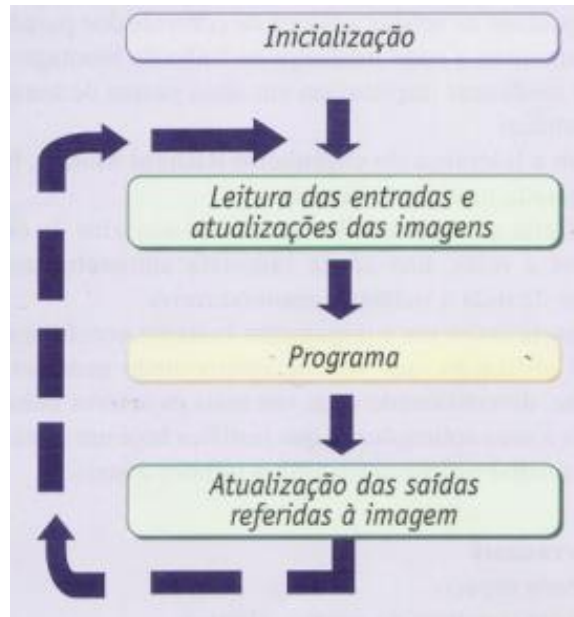


Figura 10 - Ciclo de Processamento do CLP.

Fonte: PINTO, 2008.

O Controlador Lógico Programável pode ser associado a um computador com uma construção física que possa ser utilizado em ambientes industriais. Cada CLP possui um *software* específico, para seu uso em controle e automação, possui um sistema operacional de tempo real e também um sistema com configuração fixa de memória (KOPELVSKI, 2010).

O CLP é vastamente utilizado em processos industriais. Por ser versátil, pode ser aplicado onde se há a necessidade de controles lógicos, controles sequenciais, ou ambos de forma simultânea.

Para que se possa fazer o controle baseado em tempo, se utilizam instruções de temporizadores. Dentre eles, pode-se citar o TON (*Timer On Delay*) e TP (*Timer Pulse*). A Figura 11 mostra o funcionamento de um temporizador TON. Ao se aplicar um sinal de entrada no TON ele começa a contar um tempo a partir da borda de subida. A duração da contagem de tempo é determinada pelo valor pré-definido na lógica de programação. Durante sua contagem a saída do temporizador permanece em nível baixo. Após passar o tempo pré-definido, sua saída muda para nível alto. Sua saída mantém o nível lógico alto até que sua entrada volte para o estado baixo (DAVILA, 2014).

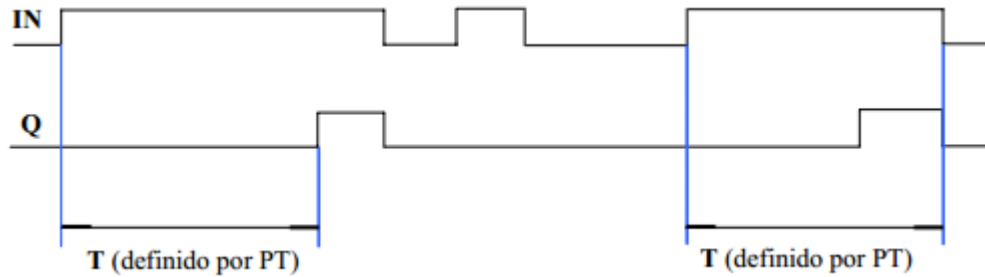


Figura 11 - Temporizador TON.

Fonte: DAVILA, 2014.

A Figura 12 mostra o funcionamento de um temporizador TP. Ao se aplicar um sinal de nível lógico alto em sua entrada, o temporizador emite em sua saída um pulso com nível lógico alto. Esse pulso tem uma duração pré-programada na lógica de programação. O pulso de saída é independente do tempo do pulso de entrada no que diz respeito à duração. A entrada influencia no momento em que o pulso irá ocorrer, mas a duração desse pulso é dada pelo *Preset* do temporizador.

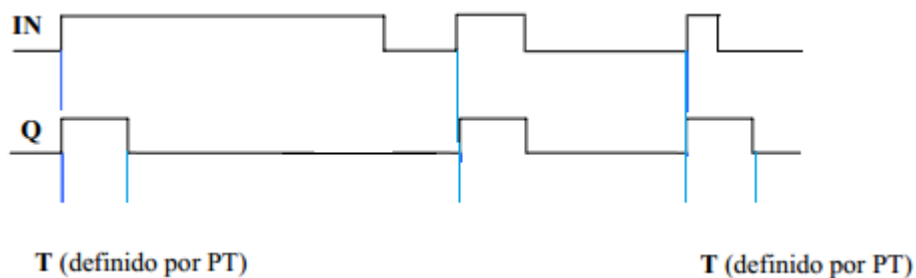


Figura 12 - Temporizador TP.

Fonte: Adaptado de DAVILA, 2014.

Para se especificar o CLP que irá ser utilizado como controlador em um processo, é importante observar a quantidade e o tipo de portas de entrada e saída de dados que o mesmo possui. Para o protótipo proposto neste trabalho foi necessário um CLP com, no mínimo, duas portas de entrada digitais e três portas de

saída digital. A Figura 13 - CLP Siemens SIMATIC S7-1200., apresenta um CLP de uso industrial. Este é modelo de CLP o utilizado no projeto e se encontra no laboratório de automação do IFMG Campus Formiga. Com ele é possível fazer o controle completo de um sistema, ou apenas de algumas partes isoladas.

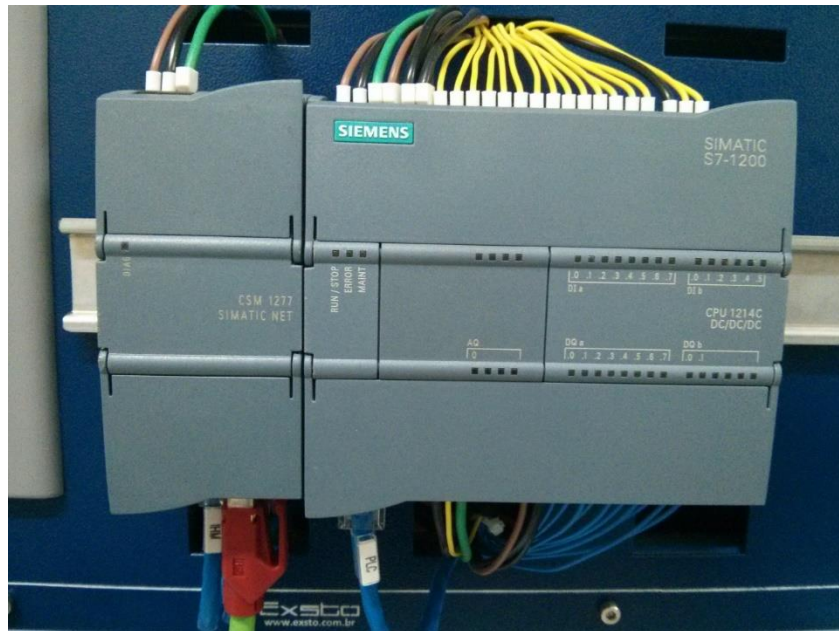


Figura 13 - CLP Siemens SIMATIC S7-1200.

Fonte: Foto do autor.

Uma das linguagens de programação do CLP é a *Ladder*. Ela segue o padrão IEC 61131-3, que contempla linguagens de programação. Ela é constituída por um conjunto de sequências que são executadas pelo CLP. Uma sequência é um conjunto de elementos gráficos que são ordenados da esquerda para a direita.

Ladder é uma linguagem de programação gráfica, apresenta uma estrutura em formato de diagrama e é de fácil criação e entendimento. Ela representa a ligação física entre os componentes eletrônicos, como sensores e atuadores, presentes no ambiente industrial.

A Figura 14, apresenta uma linha de código na linguagem *Ladder*. Nesse diagrama pode-se observar o controle de um elemento final, M1, este elemento final de controle é um atuador. Os elementos S1 e S2 aparecem do lado esquerdo do

diagrama, com o elemento gráfico no formato de colchetes ([]). Esse elemento gráfico representam as variáveis que devem ser avaliadas para definir o estado dos atuadores, ou seja, eles representam normalmente os sensores (CORTELETTI, 2014). S1 e S2 são elementos sensores, quando S1 detectar algum evento ele comuta sua saída porem M1 não é acionado. O mesmo acontece quando apenas S2 detecta algum evento. O acionamento do elemento final de controle M1 só irá ocorrer quando ambos os sensores S1 e S2 estiverem detectados algum evento simultâneo.

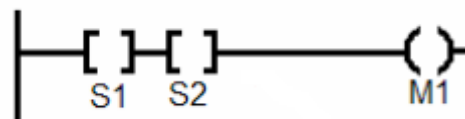


Figura 14 - Linha de Programação *Ladder*.

Fonte: CORTELETTI, 2014.

No protótipo proposto o CLP é responsável por controlar o inversor de frequência que faz o acionamento do motor de indução para o funcionamento da esteira, recebe o sinal dos sensores discretos, responsáveis pela identificação dos materiais e controla também os atuadores eletropneumáticos, possibilitando, assim, o fechamento ou abertura de um caminho específico para o direcionamento do material.

2.5. Sistema Supervisório

Os sistemas supervisórios, também conhecidos como sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), são sistemas de monitoração, acionamento remoto e controle supervisório de processos industriais. O objetivo principal destes sistemas é proporcionar uma interface de alto nível com o operador, informando todos os eventos do processo em tempo real (COELHO, 2009).

O sistema SCADA permite que sejam monitoradas à distância as informações de um processo. Elas são coletadas por meio de equipamentos de aquisição de

dados, como os CLPs ou remotas, por exemplo. Posteriormente elas são analisadas e manipuladas. Os componentes físicos monitorados são os sensores e atuadores. Essa monitoração é feita a partir da comunicação de redes de dados e estações remotas de controle (SILVA, 2005).

Eles permitem informar periodicamente o estado corrente do processo industrial. Ele monitora os sinais de medidas e o estado de dispositivos através de um painel com recursos gráficos para um maior entendimento e manuseio do operador. Para permitir isso o sistema identifica as tags. Elas correspondem a todas as variáveis de um sistema controlado. Os dados apresentados ao operador têm como base os valores contidos nas tags (SILVA, 2005).

O sistema supervisório utiliza a representação de objetos estáticos ou animados. Que em conjunto conseguem representar todo o processo da planta em uma interface homem-máquina (IHM). Ele opera em dois modos distintos: modo de desenvolvimento e modo de *run time* (KONDRASOVAS, 2015).

O modo de desenvolvimento é onde se cria as telas gráficas ou animadas. O modo *run time* mostra a janela animada criada no modo de desenvolvimento onde se dá sua operação integrada com o CLP, monitorando a planta em tempo real (KONDRASOVAS, 2015). A Figura 15 mostra a tela *run time* de um sistema industrial real.

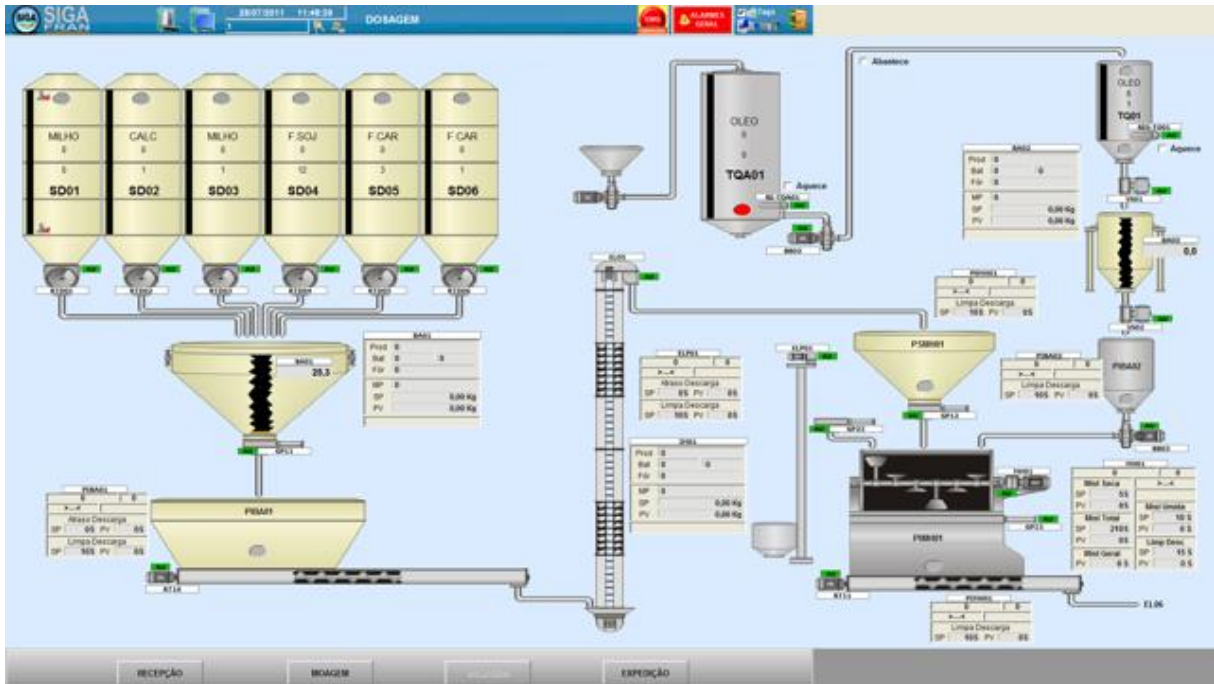


Figura 15 - Sistema Supervisório Industrial.

Fonte: SÓ ELÉTRICA, 2015.

A comunicação entre o CLP e o sistema supervisório foi feita por meio da conexão física do computador diretamente ao CLP por um cabo Ethernet Categoria 6, blindado. A implementação de *software* dessa comunicação é realizada por um protocolo. Um protocolo controla e possibilita uma conexão, comunicação, transferência de dados entre dois sistemas computacionais. O CLP Siemens S7-1200 se comunica com o Elipse E3 por meio de um *driver* que implementa o protocolo ISOTCP. Esse *driver* é fornecido pela Elipse e é exclusivo para o par E3 – S7-1200.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Protótipo da Esteira

O sistema apresentado na Figura 16, representa o modelo de triagem proposto. Para sua montagem são utilizados vários equipamentos e sensores a fim de separar os dejetos recicláveis.

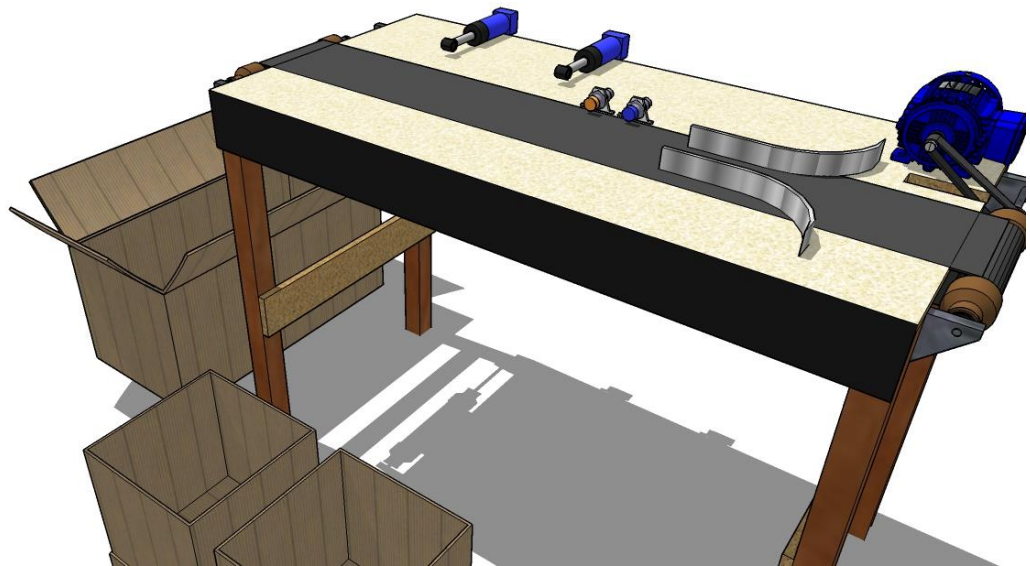


Figura 16 - Projeto do Protótipo de Triagem.

Fonte: Desenhado pelo autor.

Como apresentado no Capítulo 2, uma esteira transportadora é constituída de duas polias conectadas fisicamente a um motor que gera o torque necessário para que sua rotação movimente uma superfície onde são colocadas as cargas ou objetos para transporte.

Para a construção da plataforma foi utilizado MDF branco no tampo da mesa, e peças de madeira para sustentação da mesa. A correia transportadora foi construída com pedaços de E.V.A. costurados e colados. Foi escolhido este material por apresentar textura emborrachada, o que diminuiu o escorregamento com a polia de torque.

A Figura 17 apresenta uma foto da plataforma desenvolvida para suportar a esteira e os demais equipamentos do projeto. A plataforma tem dimensões de 1x0,5x0,8 m. A esteira apresenta um direcionador de fluxo que faz com que o material a ser separado passe por um pequeno caminho com uma certa proximidade dos sensores para que possam ser identificados e direcionados aos seus destinos.



Figura 17 - Esteira Montada.

Fonte: Foto do autor.

Na Figura 18 pode-se observar com mais detalhe um dos eixos presentes na esteira. Os eixos foram confeccionados com um redutor de cano PVC de 60x25 mm, um cano de 50 mm, quatro rolamentos 628-RZ, e uma barra rosqueada de 8 mm.

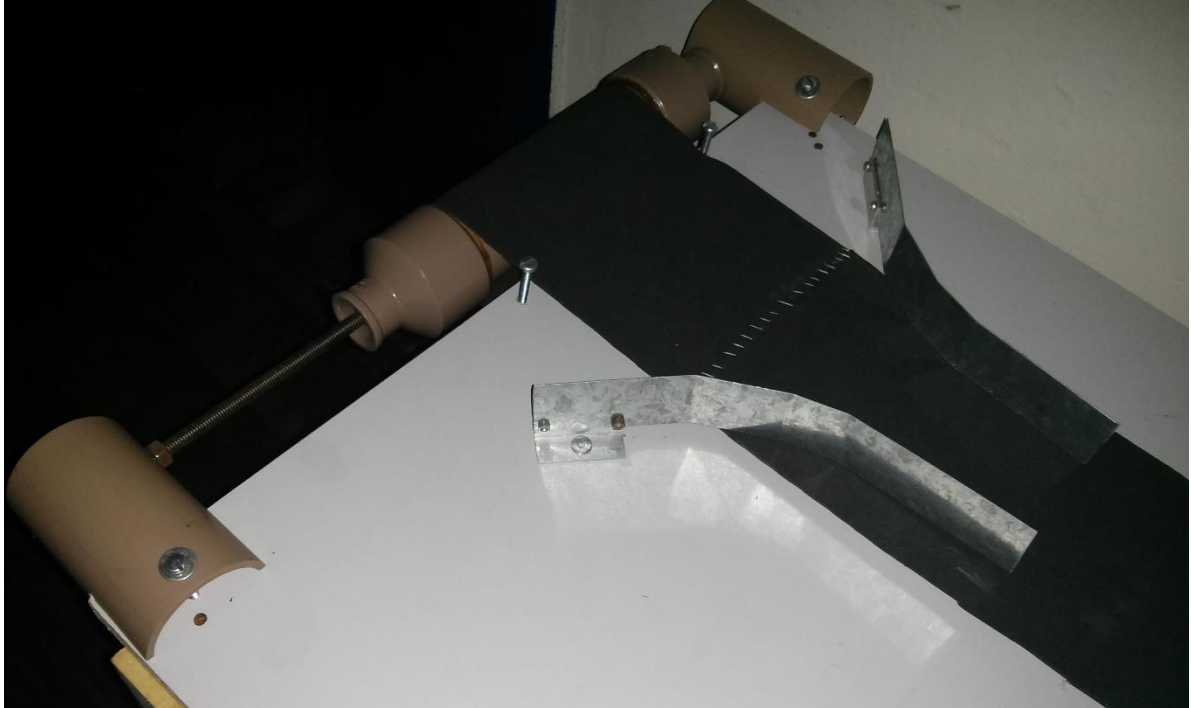


Figura 18 - Polia e Direcionador de Fluxo.

Fonte: Foto do autor.

Para a rotação da esteira, é conectado ao eixo um motor de indução. O motor é acionado por um inversor de frequência a fim de controlar de sua velocidade de rotação. Este inversor é acionado remotamente via CLP.

3.2. Motor de Indução e Inversor de Frequência

Para se determinar o motor que é utilizado na esteira deve seguir os seguintes passos:

- Determinar o tamanho da esteira, assim a potencia do motor deve ser correspondente ao seu tamanho;
- Decidir o tipo de motor que será utilizado (CA ou CC);
- Definir um motor que traga benefícios ao usuário (baixo consumo, boa qualidade e alta vida útil).

Por atender às especificações da esteira montada, foi utilizado o motor de indução trifásico da marca WEG, modelo W22 Plus. Ele se encontra no laboratório de automação do IFMG Campus Formiga e pode ser observado na Figura 19.



Figura 19 - Motor de Indução Trifásico.

Fonte: Foto do autor.

Os dados de placa do motor são apresentados a seguir:

- Potência: 0,25 HP;
- Frequência: 60 Hz;
- Tensão Nominal: 220/380 V;
- Número de Polos: 4;

Para o cálculo de velocidade do motor pode ser utilizada a Equação 1:

$$V_{rpm} = \frac{120 * F}{P}$$

1

Onde:

- V_{rms} : Velocidade em revoluções por minuto (RPM);
- F: Frequência de operação;
- P: número de polos do motor.

Como a frequência programável pelo inversor é de no máximo 2Hz, a velocidade de rotação em RPM calculada pela Equação 1, obtendo-se o valor de 60 RPM. Para o acionamento do motor e controle da planta é utilizado o kit didático da Exsto XC201 presente no laboratório de automação do IFMG campus Formiga. Ele é composto de chaves de acionamento, um CLP Siemens, um inversor de frequência WEG, além de botoeiras, sinaleiros, fonte DC 24V e potenciômetros. Para a confecção do projeto foram utilizados o CLP, o inversor de frequência e um relé. Esse kit é apresentado na Figura 20.



Figura 20 - Kit Didático de Controle.

Fonte: Foto do autor.

Para se especificar o inversor em função do motor que será utilizado devem-se observar as seguintes características do motor (MECATRÔNICA, 2013): Potência do motor, tensão de alimentação, corrente de operação, velocidade mínima e máxima.

É também importante o tipo de máquina que é acionada, pois algumas delas possuem características particulares e outras podem agregar vantagens como economia de energia.

O inversor de frequência utilizado também está presente no kit e atende as características do motor utilizado. Ele é da marca WEG, modelo CFW 08, pode ser observado em detalhe na Figura 21. O inversor de frequência tem uma interface de

programação própria e sua programação é feita com base nos dados de placa do motor, utilizando suas teclas frontais.



Figura 21 - Inversor de Frequência.

Fonte: Foto do autor.

Após realizar a configuração dos parâmetros apresentados a seguir, é possível acionar o inversor de forma remota.

- P000 – Parâmetro de acesso;
- P204 – Carrega padrões de fábrica;
- P133 – Frequência mínima;
- P134 – Frequência máxima;
- P202 – Tipo de controle;
- P408 – Auto ajuste;
- P002 – Valor proporcional à frequência;
- P221 – Seleção de referência de velocidade, situação local;

- P222 – Seleção de referência de velocidade, situação remota.

A Figura 22 apresenta a ligação física necessária para a conexão entre o inversor e o motor de indução. Como a frequência de rotação máxima e mínima são iguais, o potenciômetro de ajuste de velocidade pode ter um valor fixo de resistência. Para o acionamento da chave S3 são utilizados os contatos de um relé presente no kit. O relé é acionado pelo CLP.

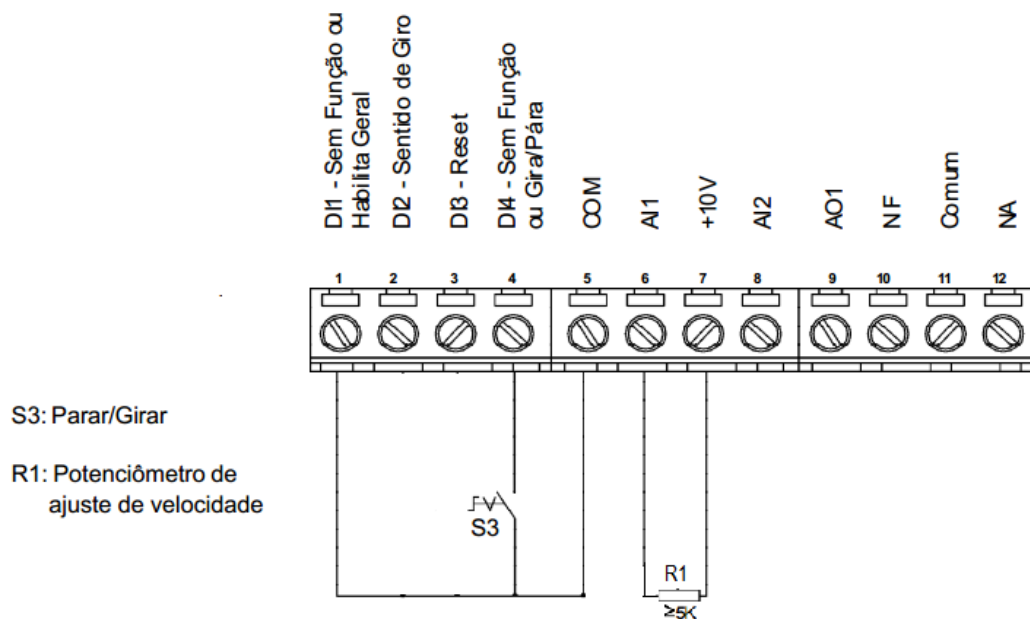


Figura 22 - Montagem Remota do Inversor.

Fonte: Adaptada de WEG CWF-08, 2014.

3.3. Sensores e Atuadores Discretos

Para a detecção dos objetos foram utilizados dois sensores discretos: um indutivo para detectar metais, e um capacitivo para detectar plástico.

Ao especificar o sensor indutivo deve-se atentar qual tipo construção é a mais adequada ao processo que será controlado, já que nem sempre a detecção lateral é desejada. Também se deve levar em consideração o tipo de material que ele irá detectar, pois cada material possui uma resistividade que influenciará na distância sensora. O modelo utilizado possui detecção lateral, e identificará alumínio. O

sensor indutivo (Figura 23) apresenta um esquema simples de ligação a três fios, sendo dois deles para a alimentação, e um para o sinal de saída (FESTO, 2014).

Os dados técnicos do sensor são:

- Distância de sensorização: 5 mm;
- Tensão de alimentação: 10Vcc a 30Vcc;
- Frequência máxima: 800 Hz;
- Sinal de saída: 24Vcc PNP;
- Led indicador de operação.



Figura 23 - Sensor de Proximidade Indutivo.

Fonte: FESTO, 2014.

Ao especificar o sensor capacitivo deve-se atentar a distancia entre o material e o sensor, e também se deve levar em consideração o material que será detectado. Embora ele detecte todos os materiais deve-se atentar a constante dielétrica do material que será detectado. O modelo utilizado atende bem o protótipo e ainda possui um *trimpot* de regulagem.

O sensor capacitivo (Figura 24) tem um esquema simples de ligação a quatro fios. Sendo eles dois para a alimentação, e dois para a saída (um PNP e um NPN) (FESTO, 2014).

Os dados técnicos do sensor são:

- Distância de sensorização: 50 mm;
- Tensão de alimentação: 10Vcc a 30Vcc;
- Frequência máxima: 100 Hz;

- Sinal de saída: 24Vcc PNP;
- Led indicador de operação.



Figura 24 - Sensor de Proximidade Capacitivo.

Fonte: FESTO, 2014.

Como já mencionado, o sensor capacitivo possuiu um *trimpot* para o ajuste de sensibilidade ao material a ser detectado. Dessa forma, é possível realizar sua calibração para detectar apenas o material de interesse – o plástico, neste caso.

Para expulsar os materiais da esteira são utilizados dois cilindros de ação simples com retorno por mola (Figura 25). Nestes há apenas uma entrada de ar comprimido e, assim que o ar é desligado, ele tem seu retorno à posição inicial devido à força da sua mola.

Para que este atuador opere de forma correta, ele deve operar com uma mesma faixa de pressão fornecida pelo compressor. Além de se observar qual a distância máxima da haste ao se estender.

O cilindro de ação simples utilizado apresenta os seguintes dados técnicos:

- Avanço pneumático com retorno por mola;
- Pressão mínima de trabalho 4 bar;
- Pressão máxima de trabalho: 10 bar;
- Haste: 50 mm.



Figura 25 - Pistão Pneumático de Ação Simples.

Fonte: FESTO, 2014.

Para o acionamento dos pistões, é necessária a utilização de eletroválvulas. Elas são responsáveis por receber o sinal elétrico de comando do CLP e permitir ou não a passagem do ar a cada pistão.

Neste trabalho foi utilizada uma eletroválvula direcional 3/2 vias NF (Figura 26). Ao alimentar a sua bobina com 24Vcc, ela permite a passagem de ar em uma direção. Assim, o cilindro de ação simples é acionado. Caso a bobina da eletroválvula seja desenergizada, a saída de ar é fechada, fazendo com que o pistão retorne pela ação da mola.

Para a especificação da válvula a ser utilizada, deve-se respeitar os limites de pressão que o cilindro pneumático consegue suportar e a pressão máxima que pode ter o compressor. Também é necessário verificar o número de posições de comando necessário para o controle dos atuadores.

Foram utilizadas neste trabalho duas eletroválvulas, cujas características são:

- 3 vias de trabalho;
- 2 posições de comando;
- Acionamento por servocomando, elétrico por solenoide de 24Vcc e piloto;
- Retorno por mola;
- Possibilidade de acionamento manual de emergência;
- Led indicador de operação.



Figura 26 - Eletroválvula 3/2 NF.

Fonte: FESTO, 2014.

3.4. Descrição Da Lógica De Funcionamento Do Sistema

Para controlar o sistema e determinar em que momento os atuadores devem ser acionados de acordo com o objeto detectado pelos sensores, foi desenvolvida uma lógica de programação. Essa lógica é descrita a seguir e apresentada na Figura 27 na forma de um fluxograma. Após a planta ser ligada remotamente, por meio do sistema de supervisão, o motor funciona com uma velocidade constante até o comando de desligamento da planta. O CLP faz uma varredura das entradas (sensores) para que possa verificar se há algum material que deve ser detectado e, de acordo com a lógica de programação, ativar os atuadores. O Sensor indutivo é responsável por identificar os materiais com propriedades metálicas, enquanto o sensor capacitivo foi regulado para que possa identificar materiais plásticos. Caso nenhum dos sensores identifique o material, ele passa por toda a extensão da esteira e decai em um depósito colocado no final dela. Considerando que a esteira receberá objetos de três diferentes materiais (metal, plástico e papel), o objeto que não é detectado por nenhum dos dois sensores deve ser de papel. Caso um dos sensores detecte algum material, o CLP verifica qual dos sensores detectou e então

envia um comando para acionar o pistão correspondente por um determinado período para encaminhar o material ao recipiente localizado à frente daquele pistão. Ao final do ciclo, o CLP faz uma nova varredura das portas de entrada e a lógica se reinicia.

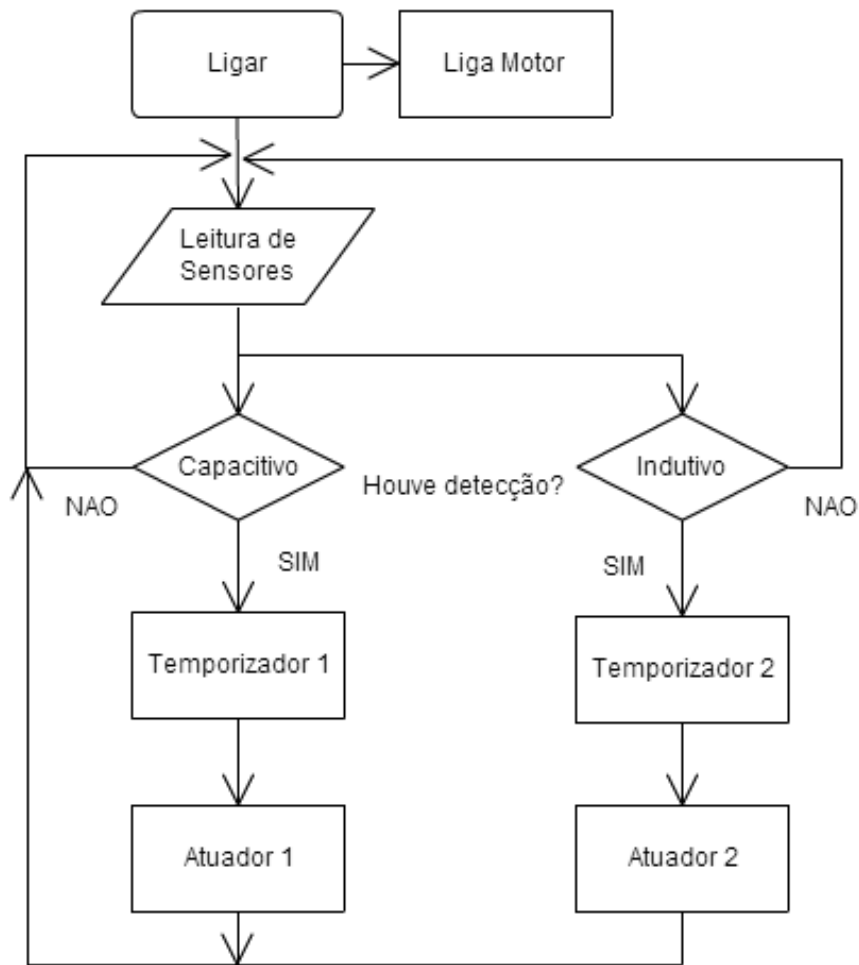


Figura 27 - Fluxograma do Processo.

Fonte: Desenhado pelo autor.

3.5. Lógica de Programação do CLP

A lógica exposta na Figura 27 comanda o funcionamento automático do processo. Para programar o CLP com essa lógica, foi utilizada a linguagem.

Após um dos sensores detectar algum material, uma instrução de temporizador é acionada. Essa instrução é do tipo *Timer on Delay* (TON). Assim que terminada a contagem do temporizador TON, ele emite um pulso em sua saída e um segundo temporizador, do tipo *Timer Pulse* (TP), é ativado para delimitar o tempo de atuação do pistão. O tempo do TON é ajustado de acordo com a distância entre o sensor e o pistão que deve ser acionado após ser ativado o sensor correspondente ao material que deve ser expulso.

O tempo que o objeto leva para ser detectado e passar em frente ao atuador que deve empurrá-lo é de 500 ms. Para calcular esse tempo, foi utilizado o seguinte cálculo: como o rotor gira a 60 RPM, entende-se que ele dá uma volta completa em seu eixo a cada 1 segundo. Como os raios da circunferência da polia da esteira e a da circunferência da polia acoplada ao rotor tem quase os mesmos comprimentos a diferença de tamanho entre eles foi desprezada. Sabe-se que quando duas polias estão sobrepostas no mesmo eixo a sua velocidade angular é igual, independentemente do seu raio. Então foi calculado o perímetro:

$$P = 2 * \pi * r \quad 2$$

Onde:

- P: perímetro;
- r: raio;

Como o raio do eixo onde passa a lona da esteira é de 0,0275 m, a distância percorrida ao dar uma volta em seu eixo pode ser calculado pela Equação 2, obtendo um valor de 0,1727 m.

Logo a cada segundo a esteira se movimentava a uma velocidade de 0,1727 m/s. O tempo pode ser calculado com base na velocidade linear da esteira pela Equação 3.

$$t = \frac{d}{v} \quad 3$$

Onde:

- t: tempo;
- d: distancia percorrida;
- v: velocidade linear;

Como a distância entre o sensor e o atuador era de 0,085 m, o tempo gasto pela peça ao passar pelo sensor e chegar ao atuador pode ser calculado utilizando a Equação 3, obtendo um valor de 0,4919 s.

O tempo do TP é definido pelo período estritamente necessário para realizar o movimento de expulsão do objeto, ou seja, um pulso suficiente para acionar o pistão, que retorna em seguida pela ação da mola.

A lógica para acionamento de um dos pistões é apresentada na Figura 28. A lógica para o acionamento do segundo pistão é similar, adequando apenas as variáveis aos endereços físicos correspondentes aos sensores e atuadores.

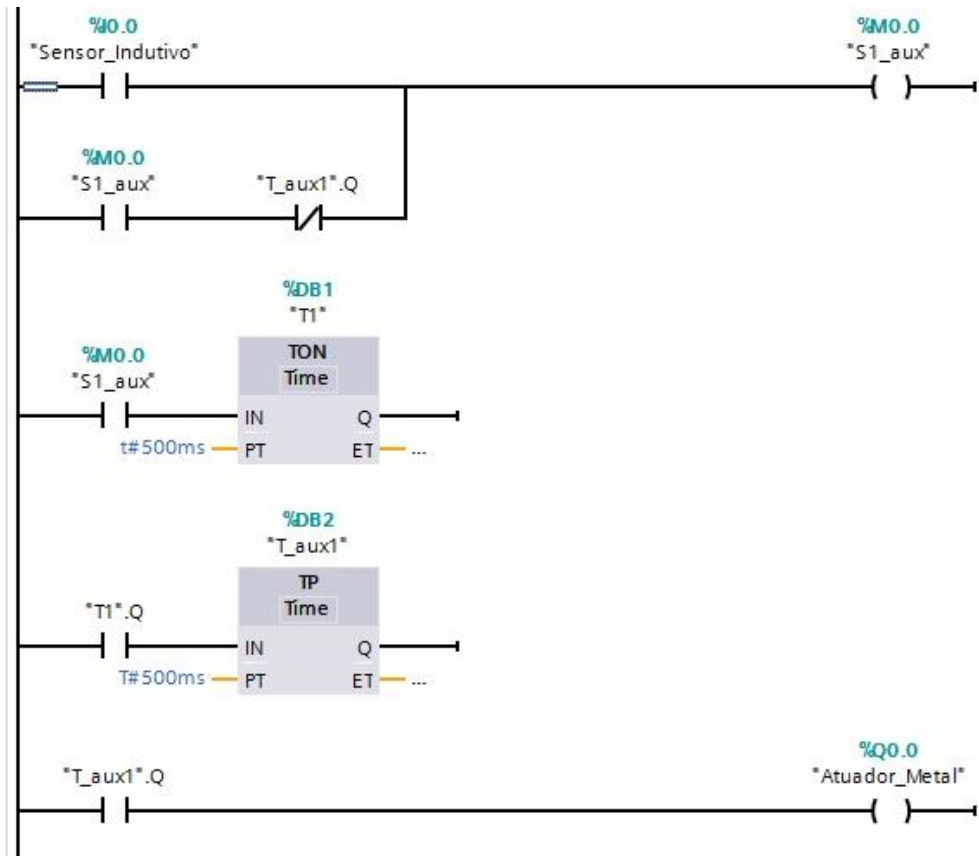


Figura 28 - Lógica *Ladder* de Acionamento dos Atuadores.

Fonte: Desenho do autor.

Para o acionamento remoto da esteira, foi configurada uma chave ON/OFF remota que pode ser acionada por meio de um sistema supervisório. Ao enviar o comando LIGA, uma saída física do CLP é ativada para o acionamento do inversor. A lógica *Ladder* correspondente a esse funcionamento pode ser observada na Figura 29.

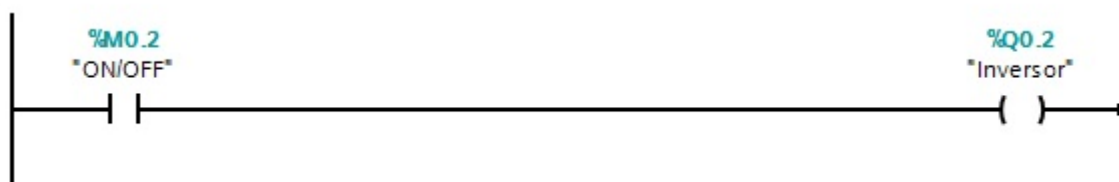


Figura 29 - Lógica de Acionamento da Esteira.

Fonte: Desenho do autor.

3.6. Sistema SCADA

Para o desenvolvimento do sistema supervisorio da planta deste projeto foi utilizado o *software* Elipse E3. Utilizando o *software* na versão demo é possível criar no máximo 20 *tags* de serviço. O *software* apresenta uma interface de fácil utilização. Através do modelo do protótipo desenhado no *software SketchUp*, foi possível montar uma tela de monitoração do sistema.

Para que ocorra um correto funcionamento do sistema supervisorio, ele deve ter uma constante troca de dados com o CLP. Logo, deve-se ter um meio de comunicação entre o CLP e o SCADA. O *hardware* é utilizado para como via de comunicação foi uma placa de rede conectada ao CLP por meio de um cabo de par trançado. Para que o *software* opere corretamente é necessário que o *driver* de comunicação esteja instalado no computador com o sistema SCADA, assim, ele é executado de forma simultânea ao supervisorio (CASILLO, 2010).

A Figura 30 apresenta a tela sinóptica do sistema de monitoramento da planta. A demonstração dos efeitos mencionados está presente no Capítulo 4. Ao identificar a operação de um atuador ou uma comutação de estado de algum sensor, os equipamentos em que houve mudança de estado terão sua cor alterada conforme é escolhido pelo desenvolvedor do sistema. A cor verde representa que o sensor ou atuador estão ativados e a cor vermelha indica que o elemento está desativado ou desligado. O *software* altera a cor da figura como foi estabelecido pelo desenvolvedor do sistema SCADA, assim é possível identificar quando o motor é acionado para movimentar a esteira. No momento em que os sensores identificam o objeto, as figuras que o representam também têm suas cores alteradas. Por meio de um botão na tela do Supervisorio é possível ligar ou desligar remotamente o motor da esteira.



Figura 30 - Sistema Supervisório.

Fonte: Print da tela de supervisão do sistema desenvolvido.

O *driver* é um *software* responsável pela comunicação correta entre os sistemas e ele possui o protocolo de comunicação do equipamento. O *driver* utilizado foi o *M-Prot*, ele é um *driver* da Siemens. Com ele é possível fazer a comunicação do *software* Elipse E3 com a família de CLP's Siemens S7 usando o protocolo de comunicação ISOTCP. Esse protocolo é o indicado pelo manual do *driver* para o par Elipse E3 e CLP Siemens S7-1200.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a confecção do protótipo, foi possível fazer alguns testes para a verificação do seu funcionamento. Foram feitos testes de detecção com a passagem sequencial dos seguintes materiais: uma garrafa PET de 500 ml, uma caixa de papel e uma lata de alumínio. Cada um destes materiais passou pela esteira por dez vezes consecutivas. A Figura 31 mostra o protótipo já concluído em fase de testes. Após os testes, foi possível analisar os resultados e tirar algumas conclusões sobre o funcionamento do protótipo.

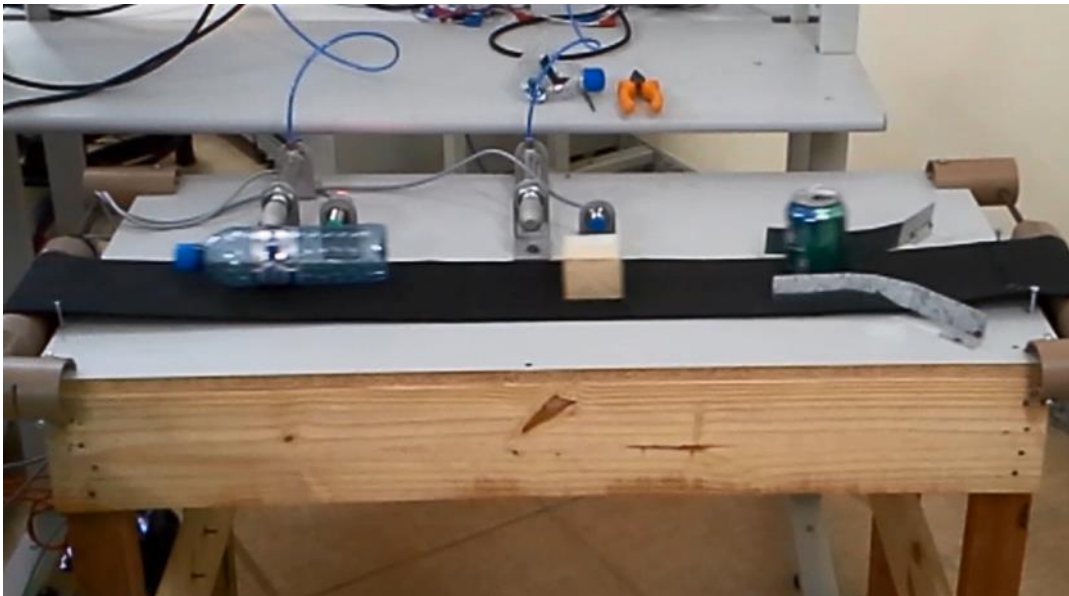


Figura 31 - Testes de Separação.

Fonte: Foto do autor.

O sensor indutivo atuou de forma eficaz, sendo ele responsável pela detecção correta de nove em dez produtos (90%) dos materiais metálicos durante o teste final. Foi possível observar que a distância do objeto influencia na detecção do mesmo. Como sua face sensora tem uma baixa zona de detecção frontal, o sensor identifica apenas materiais metálicos que passam a uma distância máxima de 5 mm à sua frente. Com a utilização do direcionador de fluxo, quase todo material passou a essa distância. Em uma situação real essa proximidade poderia fazer com que objetos de

maior porte danificassem o cabeçote do sensor. Uma solução seria a utilização de outro sensor para a detecção dos metais ou até mesmo a utilização de uma peneira para a separação dos tamanhos dos materiais a serem detectados. Assim, cada material iria passar por um sensor indutivo que já estivesse apto a reconhecer uma peça de um tamanho elevado.

Para o sensor capacitivo, mesmo realizando o ajuste do *trimpot* presente no sensor para uma detecção mais apurada, ele atuou de forma menos eficaz que o sensor indutivo. Obteve-se um resultado de detecção de sete acertos em dez produtos (70%).

O sensor capacitivo também detectou a caixa de papel em quatro vezes entre as dez passagens dela pelos sensores. Um dos motivos que comprometeu o número de acertos do sensor capacitivo na separação entre esses dois materiais foi a proximidade do valor das constantes dielétricas entre o papel e o plástico, pois elas contemplam uma mesma faixa de valores. Para a identificação única do papel poderiam ser testadas novas formas de detecção, como a utilização de um sensor específico para a sua detecção ou a utilização de um sensor ultrassônico para medir a densidade do objeto.

Segundo Allen Bradley (2014) a constante dielétrica do papel varia entre 1,6 a 2,6, já a constante dielétrica do plástico da garrafa PET varia entre 2 e 2,3, que são valores muito próximos e que se sobrepõem. Como o *trimpot* de regulação do sensor capacitivo não apresenta um ajuste fino, o sensor opera na mesma faixa de valores. Sendo assim ele poderia identificar tanto o plástico ou o papel.

Foi possível observar, porém, que era mais difícil a detecção do papel que do plástico. Isto se deve a outro fato: o plástico de garrafas PET não chega “puro” a detecção, isto é, como a garrafa já havia sido utilizada, ela continha agentes contaminadores presentes na sua superfície interna, no caso, a água. Logo, na detecção da garrafa PET o sensor detectava a constante dielétrica da garrafa em conjunto com a água, que é algo próximo de 80. Por isso a garrafa foi detectada com maior facilidade que o papel.

Ainda segundo Allen Bradley (2014), sabe-se que a capacitância do circuito do sensor com a ponta de compensação é determinada pelo tamanho do alvo, sua constante dielétrica e distância até a ponta. Também se sabe que quanto maior o

tamanho e a constante dielétrica de um alvo, mais este aumenta a capacitância ou que quanto menor a distância entre a ponta e o alvo, maior a capacitância. Com base nesses conceitos, se vê a real necessidade do direcionador de fluxo presente na esteira, pois ele tende a deixar todos os objetos com a mesma distância das faces sensoras.

Com base nas afirmações anteriores, nota-se que outro fator decisivo na detecção dos materiais, além das constantes dielétricas, foi a distância do objeto à face sensora. Como foi mencionado, o sensor identificou um dielétrico maior que o do plástico da garrafa e, como a distância permaneceu constante, obteve-se um maior acerto no número de garrafas detectadas do que no número de caixas de papel detectadas.

O sistema de controle feito através do CLP não apresentou problemas, pois todos os comando enviados foram atendidos em tempo real e todas as vezes que os sensores detectaram algum objeto, o atuador correspondente foi acionado. A configuração do inversor de frequência para atuar de forma remota foi a parte mais trabalhosa do processo de controle automático e acionamento remoto. A lógica *Ladder* foi simples e de fácil entendimento. A Figura 32 apresenta o sistema de controle feito no CLP e a tela do sistema supervisório em funcionamento.

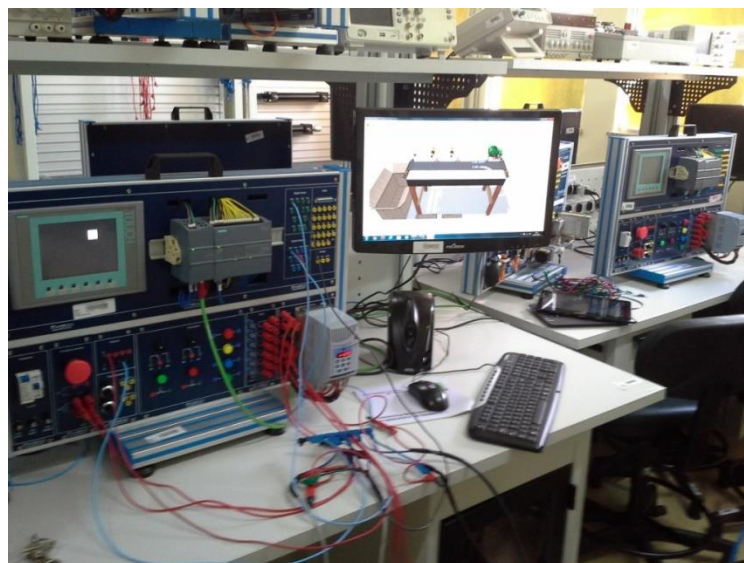


Figura 32 - Sistema de Controle e Supervisório.

Fonte: Foto do autor.

O sistema supervisório, embora esteja operando corretamente, apresenta um atraso de funcionamento em relação ao tempo real. Isso se deve à velocidade de comunicação entre o CLP e o Sistema SCADA não é instantânea. Devido às comutações de estado de alta velocidade atuadores pneumáticas (em torno de 500 ms), a tela pode não ser capaz de apresentar a condição da mudança de estado dos mesmos em todas às vezes.

A maior dificuldade encontrada para a confecção do sistema supervisório foi a instalação e configuração do *driver M-Prot* no computador, para que pudesse ser feita a comunicação entre o Elipse E3 e o CLP Siemens S7-1200.

A Figura 33 mostra o sistema supervisório atuando. Observando a figura, pode-se dizer que a esteira está ligada e o sensor capacitivo e atuador de separação de plástico estão operantes.



Figura 33 - Sistema Supervisório Atuando.

Fonte: Print da tela de supervisão.

5. CONCLUSÕES

Hoje em dia tem aumentado a preocupação com a reutilização dos produtos recicláveis, tanto por fatores econômicos quanto ambientais. O lixo produzido por milhões de brasileiros pode gerar renda, empregos e pesquisas, se for separado, reciclado ou reutilizado.

Com a construção deste protótipo foi possível notar que, embora ele apresente um bom funcionamento em um ambiente controlado, a sua implementação em ambientes de trabalho reais é muito limitada.

Embora a implementação da lógica de controle descrita permita uma otimização da produção em ambientes controlados, mais fatores devem ser levados em consideração para a sua implementação em sistemas reais. Como exemplo pode-se citar o problema ocorrido na detecção do plástico. Em ambientes reais, todos os materiais a serem separados apresentaram diferentes tipos de contaminadores, dificultando a detecção de um único tipo de material. Uma das maneiras de se evitar contaminadores seria o pré-tratamento dos materiais direcionados à separação. Porém, o processo de triagem ficaria mais lento e mais caro.

A lógica de controle da planta funciona de maneira correta e pode ser aplicada a qualquer sistema com as mesmas características.

Algumas sugestões para trabalhos futuros seria a utilização de um maior número de sensores para garantir um maior grau de automatização na planta. Como a utilização de sensor ótico para a ligação ou parada automática da esteira ou até mesmo fazer a contagem de materiais que chegam para a separação.

Outra sugestão é a utilização de um sensor capacitivo previamente calibrado para a identificação papel. Assim se pretende aumentar o número de acertos na separação dos materiais.

REFERÊNCIAS

ALLEN BRADLEY. **Princípio de Operação dos Sensores de Proximidade Capacitivos**, 2014. Disponível em: < http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/~taytche/lib/exe/fetch.php?id=links&cache=cache&media=automacao_pneumatica:sensor_cacpac_-_allen_bradley_-_pg_5_e_6.pdf>. Acesso em 20 de Dez. de 2014.

AMICO, R. **Princípios básicos de CLP**. SMC Pneumáticos do Brasil Ltda. Jan. de 2013. Disponível em: < <ftp://ftp.mecanica.ufu.br/LIVRE/SCHP/arquivos/CLP.pdf>> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

ANSI/ISA. **Instrumentation Symbols and Identification**. Norma Técnica ISA-S5.1. 13 de Jul. 1992. Disponível em: < http://instrumentacionhuertas.files.wordpress.com/2013/07/s_51.pdf > Acesso em 5 de Jan. de 2015.

ARGENTA, V. **Sistema automatizado coleta o lixo por tubulações subterrâneas**, Coletivo Verde. 20 de Jul. de 2011. Disponível em: <<http://www.coletivoverde.com.br/recolhimento-lixo/>>. Acesso em 16 de Jul. de 2014.

CASILLO, D. Apostila: **Automação e Controle Sistemas Supervisórios**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). 2010. Disponível em: < http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/166/arquivos/Automacao%20e%20Controle%202010_2/Automa%C3%A7%C3%A3o%20e%20Controle%20-%20Supervis%C3%B3rio.pdf> Acesso em 5 de Jan. de 2014.

COEL. **Sensores indutivos e capacitivos**. SYAR Industries, COEL – Controles elétricos Ltda. 2014. Disponível em: <http://www.syar.com.uy/pdf/coel/inductivos_capacitivos.pdf> Acesso em 26 de Ago. de 2014.

COELHO, M. **Apostila de Sistemas Supervisórios**. Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo (CEFET-SP). Cubatão. Jan. de 2009.

CORTELETTI, D. Apostila: **Linguagem ladder p/ microcontroladores microchip PIC**, Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI. 2014. Disponível em: <<http://www.mecatronica.org.br/disciplinas/programacao/019/LADDER.pdf>> Acesso em 20 de Ago. de 2014.

DAVILA. **Bloco de função temporizadores**. CEFETSP. São Paulo. 2014. Disponível em: < <http://www.cefetsp.br/edu/davila/CLP/Temporizadores.pdf>> Acesso em 19 de Jan de 2015.

FESTO. Painel Simulador de Pneumática e Eletropneumática. Manual de Operação. 2014.

FILHO, J. Apostila: **Circuitos hidráulicos e pneumáticos**. UNESP – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba. 2014. Disponível em < http://www2.sorocaba.unesp.br/professor/luizrosa/index_arquivos/PARTE_V_PNEU.pdf> Acesso em 8 de Out. de 2014.

FRAGMAQ. **Esteira Transportadora**. Catálogo de Produtos – Fragmaq Ltda. 2014. Disponível em: <<http://www.fragmaq.com.br/produtos/esteira-transportadora/>> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

FUENTES, R. **Apostila de Automação Industrial**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2005. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/CA03.pdf> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

GUERBER, C. **Apostila TCP/IP**. Universidade do Contestado. Santa Catarina. 24 de Mar. De 2008. Disponível em: < <http://www.mfa.unc.br/info/carlosrafael/lre/tcpip.pdf>> Acesso em 19 de Jan. de 2015.

HENRRIQUE, H. **Motores Trifásicos de CA**, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Mossoró. 2014. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-e-acionamentos-eletricos-ii/motor-de-inducao-trifasico-1>> Acesso em: 11 de Ago. de 2014.

IGUAÇUMEC. **Usina de reciclagem e compostagem**. Catálogo de Produtos Iguazu Eletromecânica Ltda. 2014. Disponível em: <<http://www.iguacumec.com.br/produtos/montagem-usina.pdf>> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

KONDRASOVAS, I. **Sistemas Supervisórios e Protocolos de Comunicação Industriais**. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Joinville. 2015. Disponível em: < http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/kondrasovas/materiais/5_Sistemas_Super.pdf> Acesso em 5 de Jan. de 2015.

KOPELVSKI, M. **Teoria de CLP**, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo. São Paulo. Mar. de 2010. Disponível em: <http://www.cefetsp.br/edu/maycon/arqs/ap_clp_rev00.pdf> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

LICHT, A. **Ele acha (muito) dinheiro no lixo**. Planeta Sustentável - Lixo. 2011. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/wilson-quintella-filho-empresa-estre-explorar-aterros-sanitarios-682299.shtml>> Acesso em 16 de Jul. de 2014.

LIMA, H. **Sensores indutivos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica, 2008. Disponível em: <http://www.dee.ufrn.br/~luciano/arquivos/ins_ele/Apresenta%E7%F5es_2008_2/HUDSON%20LEGNAR/Sensores_Indutivos.pdf> Acesso em 26 de Ago. de 2014.

LINO, L. **O que é um sensor capacitivo?** Artigos Técnicos - DIGEL Elétrica Ltda. 2014a. Disponível em: <http://www.digel.com.br/novosite/index.php?option=com_content&view=article&id=68:o-que-e-um-sensor-capacitivo&catid=42:tecnicos&Itemid=69> Acesso em: 26 de Ago. 2014.

_____. **O que é um sensor indutivo?** Artigos Técnicos – DIGEL Elétrica Ltda. 2014b. Disponível em: http://www.digel.com.br/novosite/index.php?option=com_content&view=article&id=67:o-que-e-um-sensor-indutivo&catid=42:tecnicos&Itemid=69> Acesso em 26 de Ago. de 2014.

MAGALHÃES, D. **Elementos Para O Diagnóstico E Gerenciamento Dos Resíduos Sólidos Urbanos Do Município De Dores De Campos – Mg**. 28 de Jul. de 2008. 60 págs. Universidade Federal de Juiz de Fora – Curso de Especialização em Análise Ambiental. Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/D%C3%A9borah-Neide-de-Magalh%C3%A3es.pdf>> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

MARICÁ. **Reciclagem**. 2014. Prefeitura de Maricá. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.marica.rj.gov.br/ambiente/?a=reciclagem>> Acesso em 19 de Jan. de 2015.

MECATRÔNICA. **Como especificar um Inversor de Frequência?**. 2013. Mecatrônica Atual. Tatuapé. São Paulo. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/939-como-especificar-um-inversor-de-freqncia>> Acesso em 19 de Jan. de 2015.

MORENO, B. **Reciclagem de lixo: Minas recupera apenas 1% dos resíduos.** Hoje em dia. 21 de Mai. De 2014. Disponível em: < <http://www.hojeemdia.com.br/horizontes/reciclagem-de-lixo-minas-recupera- apenas-1-dos-residuos-1.242683>> Acesso em 19 de Jan. de 2015.

OLIVEIRA, B. SILVA, L. PEREIRA, M. GONÇALVES, V. **Orientações básicas para operação de usina de triagem e compostagem de lixo.** Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). 2006. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Usina2.pdf>> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

PINTO, P. **Funcionamento de um controlador lógico programável (CLP).** Pharmaster Ltda. Jun. de 2008. Disponível em: <http://www.pharmaster.com.br/artigos/docs/20080703_7439_Funcionamento%20de%20um%20CLP.pdf> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

PRS. **Central de Triagem,** Portal Resíduos Sólidos. 2 de Jul. de 2013. Disponível em: < <http://www.portalresiduossolidos.com/central-de-triagem/> > Acesso em 16 de Jul. de 2014.

RECICLAR. **A coleta seletiva no Brasil.** Projeto Reciclar UFV. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Minas Gerais. 2015. Disponível em: < http://www.projutoreciclar.ufv.br/?area=brasil_recicla> Acesso em 19 de Jan. de 2015.

SAMPA. **Centrais de triagem automatizadas: catadores saúdam implantação, mas exigem maior inclusão,** Rede Cata Sampa. 6 de Ago. de 2014. Disponível em: < <http://catasampa.org/centrais-de-triagem-automatizadas-catadores-saudam-implantacao-mas-exigem-maior-inclusao/>> Acesso em 19 de Jan. de 2015.

SEOANE, T. **Coleta de lixo subterrânea e a vácuo.** Infraestrutura Urbana. 11 de Dez de 2011. Disponível em: < <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/coleta-d.aspx> > Acesso em 19 de Jan. de 2015.

SILVA, A. SALVADOR, M. **O que são sistemas supervisórios?** Clube da eletrônica, 21 de Dez. de 2005. Disponível em < <http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/oQueSaoSistemasSupervisorios.pdf> > Acesso em 12 de Dez. de 2014.

SILVA, C. **Introdução a pneumática**. Centralmat, 21 de Set. de 2006. Disponível em <<http://www.clubedaeletronica.com.br/pneumatica/PDF/Pneumatica%20aplicada.pdf>> Acesso em 8 de Out. de 2014.

SISTEMA COSTA NORTE DE COMUNICAÇÕES. **Plano de Resíduos Sólidos é detalhado, em Bertioga**. TV Costa Norte. 4 de Nov. de 2011. Disponível em: <<http://www.costanorte.com.br/blog/editorias/cidades/bertioga/plano-de-residuos-solidos-e-detalhado-em-bertioga>> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

SÓ ELÉTRICA. **Tecnologia em automação e sistemas industriais**. Joaçaba. Santa Catarina. 2014. Disponível em: <<http://www.soeletrica.ind.br/supervisorio.php>> Acesso em 19 de Jan. de 2015.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Esteira para triagem de lixo**. Catálogo de Produtos – Soluções Industriais Ltda. 2014. Disponível em: <http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/transportadores_elevacao_e_manipulacao_industrial/lemaqui-equipamentos-industriais-/produtos/transportadores-elevacao-e-manipulacao/esteira-para-triagem-de-lixo> Acesso em 11 de Ago. de 2014.

SOTECNISOL. **Tratamento de resíduos**. Sotecnisol Ambiente. Disponível em: <<http://www.sotecnisol.pt/ambiente/biogas/tratamento-de-residuos/>> Acesso em 19 de Jan. de 2015.

TRIGUEIRO, A., **Volume de lixo cresce em proporção maior que a população brasileira**. Jornal o Globo. 28 de Mai. De 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2013/05/volume-de-lixo-cresce-em-proporcao-maior-que-populacao-brasileira.html>>. Acesso em 16 de Jul. de 2014.

VIALLI, A. **Brasil aumenta em 6,8% a geração de lixo, mas coleta seletiva cresce apenas 1,6%**. Jornal o Estadão. 20 de Abr. de 2011. São Paulo. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,brasil-aumenta-em-6-8-geracao-do-lixo-mas-coleta-seletiva-cresce-so-1-6-imp-,710666>> Acesso em 16 de Jul. de 2014.

WEG CWF-08. **Manual do Inversor de Frequência**. 2015. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/1-577.pdf>> Acesso em: 19 de Jan. de 2015.

WEG EQUIPAMENTOS ELETRICOS LTDA. **Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM**. Guia Técnico. 2014. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por>>

inversores-de-frequencia-pwm-027-artigo-tecnico-portugues-br.pdf > Acesso em 11 de Ago. de 2014.

WENDLING, M. **Sensores**. Universidade Estadual Paulista – Campus Guaratinguetá, Guaratinguetá, São Paulo, 2010. Disponível em <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>> Acesso em 26 de Ago. de 2014.

ANEXO A - Dados de placa do motor WEG, modelo W22 Plus

Carcaça: **63**

Potência: **0,25 HP**

Frequência: **60 Hz**

Polos: **4**

Rotação nominal: **1710**

Escorregamento: **5,00 %**

Tensão nominal: **220/380 V**

Corrente nominal: **1,14/0,660 A**

Corrente de partida: **5,36/3,10 A**

I_p / I_n : **4,7**

Corrente a vazio: **0,780/0,452 A**

Conjugado nominal: **1,01 Nm**

Conjugado de partida: **220 %**

Conjugado máximo: **240 %**

Categoria: **N**

Classe de isolamento: **F**

Elevação de Temperatura: **80 K**

Tempo de Rotor Bloqueado: **16 s (quente)**

Fator de serviço: **1,15**

Regime de serviço: **S1**

Temperatura Ambiente: **-20°C – +40°C**

Altitude: **1000 m**

Proteção: **IP55**

Massa aproximada: **7 kg**

Momento de inércia: **0,00055 kgm²**

Nível de ruído: **48 dB(A)**