

Anderson Hiago Canuto da Silva

Sistema para Automatização de Venda de Água Volumétrica para Poços Artesianos

Manaus - Amazonas

Dezembro - 2014

Anderson Hiago Canuto da Silva

Sistema para Automatização de Venda de Água Volumétrica para Poços Artesianos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca avaliadora do Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Escola Superior de Tecnologia, da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia
Programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Orientador Dr. Israel Mazaira Morales

Manaus - Amazonas
Dezembro - 2014

Anderson Hiago Canuto da Silva

Sistema para Automatização de Venda de Água Volumétrica para Poços Artesianos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca avaliadora do Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Escola Superior de Tecnologia, da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Trabalho aprovado. Manaus - Amazonas, 05 de dezembro de 2014:

Dr. Israel Mazaira Morales
Orientador

**Dr. Walter Andrés Vermehren
Valenzuela**
Professor

Dr. Miguel Augel Borroto
Convidado 1

Dr. Reinel Beltrán Agüedo
Convidado 2

Manaus - Amazonas
Dezembro - 2014

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por permitir a conclusão de mais uma etapa da minha vida.

Ao meu orientador Israel Mazaira Morales por sua orientação, ajuda, incentivo e pela credibilidade depositada em mim e no trabalho.

À minha mãe Vera por me apoiar desde o início da minha graduação fornecendo todo o suporte necessário para chegar até aqui.

À Bianca Medeiros pela sua grande paciência, compreensão e ajuda para execução de diversas etapas deste trabalho.

À Adelane Canuto, Pedro Magno e Ana Medeiros pelo apoio e incentivo de fortalecimento emocional para conclusão do trabalho.

Ao Professor Moisés Pereira Bastos por todo suporte e atenção fornecidos sobre a metodologia do trabalho.

Aos meus amigos do curso, que estiveram sempre me auxiliando tirando dúvidas e fornecendo todo o suporte possível para conclusão deste trabalho.

Aos colegas de trabalho, Danilo Leite, Cinevaldo Gomes, Jefferson Almeida, Hendel Façanha, Osivaldo Gomes e Elder Bahia pela colaboração e compreensão durante o desenvolvimento de diversas etapas do trabalho.

À Universidade do Estado do Amazonas por ter fornecido a estrutura e equipamentos necessários para execução deste trabalho.

Resumo

Alguns proprietários de poços artesianos, com objetivo de recuperar parcialmente o alto investimento aplicado na sua instalação, optam em vender parte da água captada em quantidades volumétricas definidas por uma relação litro-real. Devido a esta prática ser realizada manualmente sem nenhum padrão para quantificar o volume conforme o valor pago e dependendo de uma pessoa para operar este processo, torna-se sujeito a falhas e incertezas. Portanto, visando minimizar ou eliminar os problemas apresentados no processo manual, este trabalho objetiva desenvolver um protótipo de um sistema automatizado que realize o processo de identificação do valor pago e quantificação do volume a ser disponibilizado. A automatização será realizada utilizando um controlador lógico programável, a identificação do valor pago por meio de sensores de detecção e o controle de vazão utilizará controle adaptativo por escalonamento de ganhos aplicados em uma válvula de controle proporcional. A conclusão deste trabalho se dá por meio da apresentação dos resultados adquiridos sobre o protótipo em funcionamento, bem como uma análise sobre a estimativa do rendimento financeiro do sistema automatizado proposto.

Palavras-chaves: automatização. controlador lógico programável. controle adaptativo.

Abstract

Some owners of collect system of underground water, in order to partially recover the high investment made in your installation, choose to sell part of the water collected in volumetric quantities defined by a real-size ratio. Due to this practice be performed manually without any pattern according to quantify the amount and the amount paid depending on a person to operate the process becomes subject to errors and uncertainties. Therefore, to minimize or eliminate the problems presented in the manual process, this work aims to develop a prototype of an automated system that performs the process of identification and quantification of the amount paid from the amount to be made available. The automation will be performed using a programmable logic controller, the identification of the amount paid by the detection sensors and flow control uses adaptive control gains scheduling applied on a proportional control valve. The conclusion of this work is done through the presentation of the results obtained on the working prototype as well as an analysis of the estimated financial performance of the proposed automated system.

Key-words: automation. programmable logic controller. adaptive control.

Lista de ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Diagrama de funcionamento da identificação pela lógica de detecção de sensores. | 18 |
| Figura 2 – Diagrama genérico de um controlador adaptativo. | 19 |
| Figura 3 – Diagrama de controle adaptativo por escalonamento de ganhos. | 20 |
| Figura 4 – Tipos de curvas características da válvula de controle. | 22 |
| Figura 5 – Tipos de cunhas relacionadas com as características de uma válvula de controle. | 22 |
| Figura 6 – Válvula controle proporcional VSI® EMO-35M-24. | 23 |
| Figura 7 – Aplicação geral de um controlador lógico programável. | 24 |
| Figura 8 – Exemplos de CLPs compacto e modular disponível no mercado. | 26 |
| Figura 9 – Diagrama de funcionamento da linguagem ladder. | 27 |
| Figura 10 – CLP 3722 com expansão do número de slots. | 27 |
| Figura 11 – Esquema de ligação para o módulo TSX DMZ 28DR. | 28 |
| Figura 12 – Módulo de entradas e saídas analógicas <i>TSX AMZ 600</i> | 29 |
| Figura 13 – Imagem da tela de programação do software PL7®. | 29 |
| Figura 14 – Princípio de funcionamento do sensor indutivo. | 30 |
| Figura 15 – Diagrama esquemático de um sensor indutivo mostrando seus componentes principais. | 30 |
| Figura 16 – Princípio de funcionamento sensor capacitivo. | 31 |
| Figura 17 – Funcionamento do sensor de nível de boia magnética horizontal. | 31 |
| Figura 18 – Funcionamento do sensor de nível tipo bóia magnética vertical. | 32 |
| Figura 19 – Princípio de construção e funcionamento do sensor Hall. | 33 |
| Figura 20 – Princípio funcionamento sensor de fluxo hall. | 33 |
| Figura 21 – Resultado do trabalho proposto para identificação de moedas por detecção de sensores. | 34 |
| Figura 22 – Resultado do controle do nível variando o valor de referência a ser controlado sobre trabalho de aplicação de controle com uma válvula proporcional. | 36 |
| Figura 23 – Resultado da aplicação de controle adaptativo por escalonamento de ganhos em uma planta didática de vazão e nível, onde o sinal em azul é o experimental e o vermelho o simulado. | 37 |
| Figura 24 – Diagrama do funcionamento do sistema manual de venda de água. | 39 |
| Figura 25 – Diagrama de funcionamento do sistema automatizado proposto. | 41 |
| Figura 26 – CLP utilizado neste trabalho. | 44 |
| Figura 27 – Captura da tela das entradas configuradas na programação ladder. | 44 |
| Figura 28 – Captura da tela das saídas digitais configuradas na programação ladder. | 45 |

| | |
|--|----|
| Figura 29 – Configuração do canal analógico no software de programação do CLP. . . | 45 |
| Figura 30 – Modelo do botão de comando (esq.) e sinalizador luminoso (dir.) utilizados na interface. | 46 |
| Figura 31 – Chave seletora utilizada no protótipo. | 46 |
| Figura 32 – Captura da tela da programação modo manual. | 48 |
| Figura 33 – Captura da tela da programação modo automático. | 48 |
| Figura 34 – Captura da tela da programação para a devolução do valor pago. . . . | 49 |
| Figura 35 – Captura da tela da programação de conversão do valor de 25 centavos em 5 litros. | 50 |
| Figura 36 – Captura da tela da programação para calcular o tempo em que a válvula deverá manter-se aberta. | 52 |
| Figura 37 – Resultado dos furos no painel em MDF da interface. | 53 |
| Figura 38 – Resultado da confecção do rasgo para passagem da moeda. | 54 |
| Figura 39 – Resultado final da interface com todos dispositivos posicionados e identificados. | 54 |
| Figura 40 – Captura da tela da programação para indicadores de litros na interface. . | 55 |
| Figura 41 – Captura da tela da programação dos <i>led's</i> : disponível, detecção de recipiente e enchendo. | 55 |
| Figura 42 – Captura da tela da programação para os dois cenários do <i>led</i> não inserir moedas. | 56 |
| Figura 43 – Sensor indutivo utilizado para a identificação das moedas. | 57 |
| Figura 44 – Trilho para passagem das moedas. | 58 |
| Figura 45 – Furo oblongo realizado com largura de 8 mm. | 59 |
| Figura 46 – Teste das condições do suporte montado na detecção das moedas. . . . | 59 |
| Figura 47 – Suporte completo com sensores detectando suas respectivas moedas. . . | 60 |
| Figura 48 – Ferramentas utilizadas para confecção do suporte de detecção. | 60 |
| Figura 49 – Captura da tela de programação da identificação da moeda 25 centavos. . | 61 |
| Figura 50 – Válvula de controle proporcional utilizada. | 63 |
| Figura 51 – Sensor de nível tipo bóia magnética utilizado. | 64 |
| Figura 52 – Sensores de nível posicionados antes da instalação no tanque (esq.) e após a instalação (dir.). | 65 |
| Figura 53 – Parte da instalação hidráulica do subsistema de vazão. | 66 |
| Figura 54 – Captura da tela da programação realizada para aquisição dos dados de vazão da válvula de controle. | 66 |
| Figura 55 – Obtenção dos valores de vazão para cada nível do tanque. | 67 |
| Figura 56 – Captura da tela da programação com as condições de início do subsistema de controle de vazão. | 68 |
| Figura 57 – Captura da tela da programação de envio de controle para a válvula com o tanque no nível máximo. | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 58 – Captura da tela da programação do acionamento do temporizador de minutos para manter a válvula aberta. | 69 |
| Figura 59 – Captura da tela da programação das constantes contendo os valores de tensão a serem enviados a válvula de controle. | 70 |
| Figura 60 – Esquema da ligação elétrica para interface do protótipo. | 70 |
| Figura 61 – Subsistema de identificação de moedas montado na placa da interface. | 71 |
| Figura 62 – Exibição do teste do funcionamento da interface integrada a identificação de moedas indicando nos <i>led's</i> acionados na sequência 1, 5, 10 e 20 litros. | 72 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Característica da válvula de controle EMO-35M-24. | 24 |
| Tabela 2 – Arrecadação do sistema de venda de água manual. | 40 |
| Tabela 3 – Equivalência centavos-litros utilizado no sistema. | 51 |
| Tabela 4 – Principais características do sensor utilizado. | 57 |
| Tabela 5 – Diâmetro e espessura das moedas da atual família do sistema monetário brasileiro. | 58 |
| Tabela 6 – Memórias e siglas para programação da identificação de moedas. | 62 |
| Tabela 7 – Valores de vazão coletados para cada abertura da válvula em cada nível. | 67 |
| Tabela 8 – Estimativa de rendimento da prospota automático do sistema. | 73 |

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Lista de ilustrações | 6 |
| | Lista de tabelas | 9 |
| | Sumário | 10 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Justificativa | 14 |
| 1.2 | Motivação | 14 |
| 1.3 | Objetivo Geral | 15 |
| 1.3.1 | Objetivos Específicos | 15 |
| 1.4 | Metodologia | 16 |
| 1.5 | Organização do Trabalho | 16 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 2.1 | Identificadores de Moedas | 18 |
| 2.2 | Controle Adaptativo | 19 |
| 2.2.1 | Técnica de Escalonamento de Ganhos | 20 |
| 2.3 | Válvulas de Controle de Fluxo | 21 |
| 2.3.1 | Característica de fluxo da válvula | 21 |
| 2.3.2 | Válvula de controle proporcional VSI® EMO-35M-24 | 23 |
| 2.4 | Controlador Lógico Programável | 24 |
| 2.4.1 | Arquitetura Básica | 24 |
| 2.4.1.1 | Unidade central de processamento (UCP) | 24 |
| 2.4.1.2 | Fonte de alimentação | 25 |
| 2.4.1.3 | Memória | 25 |
| 2.4.1.4 | Módulos de entrada e saída | 25 |
| 2.4.1.5 | Computador ou terminal de programação | 26 |
| 2.4.2 | Classificação dos Controladores Lógicos Programáveis | 26 |
| 2.4.3 | Linguagem de Programação Ladder | 26 |
| 2.4.4 | CLP Telemecanic® Modicon TSX 3722 | 27 |
| 2.4.4.1 | Módulo de entradas e saídas <i>TSX DMZ 28DR</i> | 28 |
| 2.4.4.2 | Módulo de entradas e saídas analógicas <i>TSX AMZ 600</i> | 28 |
| 2.4.4.3 | Software Programação PL7 PRO® | 29 |
| 2.5 | Sensores Indutivos | 29 |
| 2.6 | Sensores Capacitivos | 30 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.7 | Sensor de Nível Tipo Bóia Magnética | 31 |
| 2.8 | Sensor de Fluxo Hall | 32 |
| 2.8.1 | Sensor fluxo hall | 33 |
| 2.9 | Trabalhos Relacionados | 33 |
| 2.9.1 | Uma técnica de identificação de moedas por detecção de sensores | 34 |
| 2.9.2 | Uma aplicação de controle em um sistema com válvula proporcional | 35 |
| 2.9.3 | Uma aplicação de controle adaptativo por escalonamento de ganhos em uma planta didática de vazão e nível | 36 |
| 3 | METODOLOGIA | 38 |
| 3.1 | Processo Manual para Venda de Água | 38 |
| 3.1.1 | Estudo de Caso – Rendimento Financeiro do Sistema Manual | 39 |
| 3.2 | Sistema Automatizado Proposto para Venda de Água | 40 |
| 3.3 | Gerenciamento e Interface | 42 |
| 3.3.1 | CLP TSX 3722 <i>Telemecanic®</i> | 43 |
| 3.3.2 | Sinalizador luminoso e botão de comando 3SB6 <i>Siemens®</i> | 45 |
| 3.3.3 | Chave seletora ZB5 <i>Schneider®</i> | 46 |
| 3.3.4 | Programação do Gerenciamento | 47 |
| 3.3.4.1 | Modo Manual/Automático | 47 |
| 3.3.4.2 | Devolução valor pago | 48 |
| 3.3.4.3 | Conversão valor pago-volume disponibilizado | 50 |
| 3.3.4.4 | Cálculo tempo abertura válvula | 51 |
| 3.3.5 | Interface | 53 |
| 3.3.5.1 | Confecção da interface | 53 |
| 3.3.5.2 | Programação da interface | 54 |
| 3.4 | Identificadores de Moedas | 56 |
| 3.4.1 | Sensor indutivo – IFL-2-8M-10P <i>Schmersal®</i> | 57 |
| 3.4.2 | Suporte para detecção | 57 |
| 3.4.2.1 | Trilho para passagem da moeda | 57 |
| 3.4.2.2 | Suporte para posicionamento dos sensores | 58 |
| 3.4.3 | Programação do Identificador de Moedas | 60 |
| 3.5 | Controle de Vazão | 62 |
| 3.5.1 | Válvula de controle proporcional EMO-35M-24 <i>VSI®</i> | 63 |
| 3.5.2 | Sensor de nível tipo bóia magnética LA16M-40 <i>ICOS®</i> | 64 |
| 3.5.3 | Instalação hidráulica do subsistema de controle de vazão | 65 |
| 3.5.4 | Aquisição dos dados de vazão para cada nível | 66 |
| 3.5.5 | Programa do subsistema de controle de vazão | 68 |
| 3.6 | Instalação Elétrica do Protótipo | 70 |
| 3.7 | Teste de Funcionamento do Protótipo | 71 |
| 3.8 | Estimativa de Rendimento da Proposta | 72 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 74 |
| 4.1 | Sugestões de trabalhos Futuros | 76 |
| | Referências | 78 |

1 Introdução

A utilização de águas subterrâneas para abastecimento da população é uma realidade em todo o país, seja em regiões com escassez ou abundância de águas superficiais. E Manaus é um exemplo, abastecida por 75% de águas superficiais do Rio Negro e 25% de águas subterrâneas (SOUZA, 2010).

Segundo Silva (2010), “A superexploração do aquífero impõe obrigatoriamente aos seus usuários a necessidade de poços mais profundos e a elevação dos custos de implantação, operação e manutenção dos mesmos”.

De acordo com Guimarães (2010), Manaus possui cerca de dez mil poços artesianos conforme afirmado pela Agência Reguladora de Serviços Públicos concedidos no Amazonas (ARSA) e que a profundidade mínima para ser considerada adequada de um poço é acima de 70 metros.

O custo de implantação de um poço artesiano na cidade com a profundidade mínima exigida a ser realizado por uma empresa credenciada na Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) conforme pesquisa de mercado realizada é de vinte mil reais.

Diante deste cenário, o sistema de captação de água subterrânea possui um alto custo para a sua implantação assim, alguns proprietários com objetivo de recuperar parcialmente ou totalmente o investimento aplicado neste sistema optam em comercializar parte desta água captada. Esta geralmente vendida com um valor definido em centavos por litro disponibilizado ao cliente ainda que não seja possível nesse ambiente ter uma precisão na quantidade volumétrica fornecida.

Esta prática de venda desta água é realizada no momento em que o cliente paga o valor correspondente ao volume do produto que se está requerendo ao proprietário ou responsável pela venda e este ao receber este valor, determina quanto se deve ficar aberta a válvula que regula a passagem de água vinda de um tanque de armazenamento para o recipiente do cliente realizando então a quantificação do que se foi pago pelo volume correspondente.

Devido a este sistema depender de uma pessoa para realizar o recebimento da tarifa e fazer a quantificação do volume disponibilizado, torna-se impreciso a relação entre a tarifação e volume liberado e também não pode ser aproveitado na sua totalidade devido à indisponibilidade de tempo de ter uma pessoa durante um período maior do dia para operar.

Segundo o *Código de Águas Minerais* (Decreto-Lei Nº 7.841, de 08/08/1945), é permitido o comércio de água captada de fontes naturais ou fontes artificialmente captadas desde que atendam aos requisitos legais do código bem como análises topográficas e geológicas da área que será extraída sendo também necessário o estudo da composição físico-química da água, dentre outras condições.

Buscando automatizar este processo a fim de diminuir ou levar a zero os problemas apresentados pelo sistema manual, este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de um sistema automatizado que fará a identificação de moedas pagas e quantificação do volume a ser disponibilizado conforme a relação litro-real.

O sistema será projetado para a identificação de todas as moedas da atual família do sistema monetário brasileiro, exceto de 1 centavo, será levado em consideração que o cliente tem o valor exato para os litros que se está requerendo, não sendo possível qualquer forma de retorno de dinheiro como troco, a não ser do valor integral pago em caso que o sistema não tenha iniciado o processo de liberação da água pressionando a botoeira definida para este fim no sistema.

1.1 Justificativa

Sendo imprescindível a presença de uma pessoa para operar este processo manual de venda de água captada de poço artesiano, esta necessidade nem sempre consegue ser suprida devido à indisponibilidade de tempo em estar com a atenção voltada para este processo, principalmente por esta pessoa ser geralmente o proprietário ou responsável pelo poço artesiano e também por não ser uma atividade que requisite a contratação de um terceiro, pois devido aos encargos trabalhistas fugiria do objetivo inicial da prática desta atividade, recuperar o investimento aplicado na implantação do poço artesiano. Portanto, esta indisponibilidade de tempo para operar o sistema acaba acarretando em insatisfação ao cliente que procura o serviço e prejuízo ao proprietário, pois não consegue aproveitar o sistema de venda na sua totalidade.

Devido à operação deste processo de identificar o valor pago e quantificar o volume de água correspondente ser realizado manualmente sem qualquer padrão para determinar o tempo em que a válvula estará aberta ou que possua controle de vazão do volume fornecido, torna imprecisa esta quantificação, portanto sendo um problema tanto para quem vende quanto para quem compra esta água.

Portanto, devido a estes motivos levaram a necessidade da criação de um sistema automático de venda de água captada de poços artesianos que consiga diminuir ou levar a zero os problemas apresentados no processo manual.

1.2 Motivação

De acordo com Jewell (2013), a dificuldade de fornecer água potável para população de baixa renda na Índia, fez com que fosse desenvolvida uma máquina de venda automática de água denominada *Sarvajal*, que significa água para todos, com objetivo de realizar a filtragem e purificação da água a ser fornecida. Apesar de que esta máquina tenha seu princípio de funcionamento e criação realizada devido a um cenário diferente

do processo de venda realizada por poço artesiano, percebe-se a tendência do mercado em desenvolver estes tipos de máquinas com uma chance real de ser um produto vendável devido ao alto crescimento populacional conseqüentemente o aumento da utilização de águas subterrâneas para estes fins.

A possibilidade de propor uma solução, realizando e implementando automatização em um processo puramente manual, por si só, já se mostra um projeto ideal para que se ponham em prática os conhecimentos necessários de um engenheiro de controle e automação, porém a aplicação de controle em um atuador real utilizando um controlador lógico programável em um processo automatizado mostra a importância deste tipo de estudo.

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de um sistema automatizado que realize a identificação das moedas pagas e por meio de técnicas de controle aplicadas à vazão do sistema, quantifique o volume necessário utilizando um controlador lógico programável (CLP) e uma válvula de fluxo de controle proporcional.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento da bibliografia sobre formas de controle de vazão e de identificadores de moedas;
- Aplicar uma técnica para a identificação das moedas que seja possível implementar em um CLP;
- Aplicar uma técnica de controle que permita controlar a vazão do sistema conforme a variação do nível do tanque de armazenamento da água captada do poço;
- Desenvolver um programa em ladder que realize em conjunto a identificação das moedas e o controle da vazão;
- Implementar o controlador projetado em uma válvula de controle proporcional utilizando um CLP;
- Desenvolver uma interface entre o CLP e o usuário final;
- Realizar o teste do sistema de identificação utilizando todas as moedas aceitas no protótipo da atual família do sistema monetário brasileiro.

1.4 Metodologia

O trabalho apresentado será uma pesquisa aplicada e terá como objetivo a realização de pesquisa exploratória sobre o material bibliográfico e de laboratório colhido sobre o assunto. Serão utilizados os procedimentos técnicos de pesquisa bibliográfica e experimental para a realização do trabalho.

Inicialmente foram realizadas pesquisas bibliográficas nas áreas de controle de processos, válvulas solenoides de controle, sensores, identificadores de moeda e controlador lógico programável.

Em seguida definiu-se o princípio de funcionamento do sistema e como realizariam seus controles baseado nas pesquisas bibliográficas realizadas. Logo após, verificou-se quais materiais e equipamentos deveriam ser adquiridos, realizando uma pesquisa de mercado para verificar a viabilidade da implantação dos mesmos no projeto.

A realização da identificação das moedas a serem pagas pelo cliente baseou-se na técnica pela detecção de sensores indutivos.

Também realizou-se no protótipo, a aplicação um controlador do tipo adaptativo para o controle da vazão do sistema baseando-se na variação da altura do nível do tanque de armazenamento da água, utilizando como atuador uma válvula solenóide proporcional.

O sistema será realizado em um controlador lógico programável que deve tratar do seu gerenciamento, aplicação do controle e fornecimento de dados para um painel onde possuirá uma interface entre o usuário final (cliente) e o sistema, permitindo a visualização de informações sobre o processo e realização do acionamento do sistema.

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. O Capítulo 1 aborda uma breve introdução sobre o processo de venda de água de poços artesianos e conceitua o projeto por meio da justificativa e motivação. Também traz objetivos a serem alcançados e a metodologia seguida.

Já no Capítulo 2 se dá a apresentação do referencial teórico necessário ao desenvolvimento do projeto e de trabalhos relacionados com as teorias e tecnologias utilizadas. Isso ocorrerá apresentando os tópicos por meio da visão de autores de obras consultadas e de trabalhos de pesquisa voltados para teorias e tecnologias aplicadas em automatização e controle do processo a ser desenvolvido, o que resultará em um referencial teórico direto e aplicado.

Em seguida, o Capítulo 3 descreve como foi realizado o processo do desenvolvimento do protótipo. Então ele é composto de uma abordagem resumida do sistema manual de venda que existe atualmente, estudo de caso sobre o rendimento financeiro deste sistema, o processo automatizado proposto, desenvolvimento do protótipo físico tais como instalação

hidráulica e elétrica realizadas e a programação em ladder do trabalho. Está dividido em secções sobre cada subsistema do protótipo a fim de facilitar o entendimento da construção do protótipo. Possuindo também uma análise sobre o custo para implantação do protótipo, além de estimativa do rendimento financeiro para o sistema automatizado

E, por fim, no Capítulo 4 serão discutidos os resultados obtidos com as considerações finais sobre o projeto e de propostas para trabalhos futuros sobre este tema.

2 Referencial Teórico

Para o desenvolvimento do presente trabalho necessitou-se de uma pesquisa bibliográfica abrangente sobre teorias relacionadas à execução do protótipo, como: técnicas de identificação de moedas, teoria de controle adaptativo com escalonamento de ganhos e controle de fluxo de processos.

Fez-se necessário também adquirir conhecimento sobre as tecnologias e dispositivos possíveis para aplicação das teorias estudadas, tais como: tipos de válvulas de controle de fluxo, controlador lógico programável, tipo de sensores para fins de detecção, medição de nível e fluxo.

2.1 Identificadores de Moedas

Existem três principais formas de realizar a identificação de uma moeda, a primeira utiliza-se da técnica de Khashman, Sekeroglu e Dimililer (2006) que identifica através de processamento digital de imagens com aplicação de redes neurais. A segunda forma é a de Ekman (1982) que utiliza a intensidade da interferência da moeda em um campo magnético gerado entre duas bobinas para identificação.

A terceira forma é realizada com a detecção de sensores posicionados em alturas iguais a de cada moeda, proposta por Turatti et al. (2010). O princípio de funcionamento desta técnica utiliza o diâmetro de cada moeda a ser detectada como referência para posicionar um sensor em um trilho, onde irá passar a moeda, com a altura equivalente a este valor, conforme é exibido na figura 1.

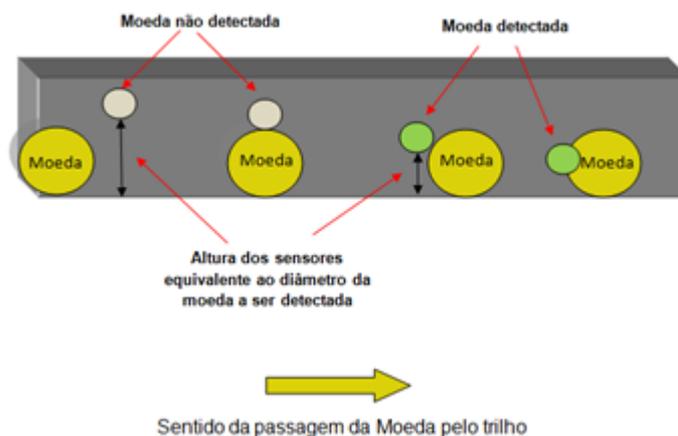


Figura 1 – Diagrama de funcionamento da identificação pela lógica de detecção de sensores.

Ao passar pelo trilho, a moeda será detectada pelo o sensor posicionado na altura igual ao seu diâmetro, bem como todos os sensores que estiverem abaixo desta altura, portanto

de acordo com a lógica desenvolvida na programação do equipamento que irá gerenciar estas detecções é possível identificar o seu valor.

2.2 Controle Adaptativo

O termo adaptação é definido na biologia como uma conformação vantajosa de um organismo à mudanças no seu ambiente. Inspirados por esta definição Drenick e Shahbender (1957) introduziram o termo sistema adaptativo na teoria de controle, para representar sistemas de controle que monitoram o seu próprio desempenho e ajustam seus parâmetros de forma a melhorá-lo.

Amplamente aceito, um sistema de controle adaptativo é uma classe especial de sistemas não lineares que surge ao se tentar controlar plantas com parâmetros desconhecidos através da variação automática dos parâmetros do controlador Narendra e Annaswamy (2012), conforme exibido na figura 2.

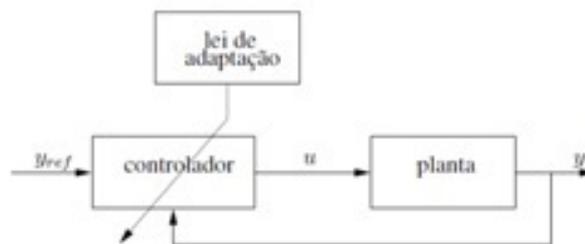


Figura 2 – Diagrama genérico de um controlador adaptativo.

Fonte: Lages (2007)

Controle adaptativo é particularmente interessante para sistemas cujos parâmetros da planta são desconhecidos ou variam com o tempo, em outras palavras, assume-se que a estrutura da planta é conhecida, mas os valores dos parâmetros não são. O geralmente adota-se a combinação de técnicas de estimação de parâmetros com técnicas de projeto de sistemas de controle. Podendo assim, supor diversas estratégias de controle adaptativo combinando-se cada uma das possíveis técnicas de estimação de parâmetros com cada uma das técnicas de projeto de controladores (LAGES, 2007).

Diferentes enfoques para o controle adaptativo foram propostos na literatura sobre este tema, mas três são os mais utilizados: Escalonamento de Ganho (*Gain Schedule*), Controle Adaptativo por Modelo de Referência (*Model-Reference Adaptive Control*) e Regulador Auto-Sintonizável (*Self-Tuning Regulator*).

2.2.1 Técnica de Escalonamento de Ganhos

Escalonamento de ganho é o enfoque mais antigo e mais intuitivo para controle adaptativo. A idéia consiste em utilizar alguma variável auxiliar, que seja correlacionada com as alterações na dinâmica da planta, em função da qual os parâmetros do controlador são ajustados, como mostra a figura 3. Tipicamente os parâmetros do controlador são variados de forma discreta dentro de um conjunto pré-definido. Ou seja, são projetados controladores fixos para diversas regiões de operação da planta e o algoritmo de controle adaptativo consiste em selecionar, em função das variáveis auxiliares, qual destes controladores é o mais adequado em um dado instante de tempo (ASTROM; WITTENMARK, 1994).

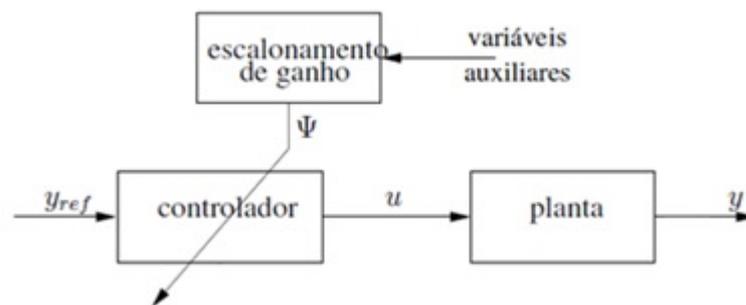


Figura 3 – Diagrama de controle adaptativo por escalonamento de ganhos.

Fonte: Lages (2007)

O ajuste do controlador ocorre de maneira pré-programada, ou seja, após um estudo com relação ao comportamento dinâmico da planta, é projetado um conjunto de controladores sintonizados de acordo com as diferentes faixas de operação da planta.

O escalonamento de ganhos é um método conveniente apenas se a dinâmica da planta varia de forma bem conhecida em função de poucas variáveis facilmente medidas. No entanto, apesar de ser um método bastante utilizado na prática, o escalonamento de ganho tem a desvantagem de ser um mecanismo de adaptação em malha aberta. Caso o número de regiões de operação da planta for elevado, o esforço necessário para projeto pode ser muito grande, devido a necessidade de projetar um controlador para cada região. Outra dificuldade inerente a este método é a prova de estabilidade do controlador resultante. Mesmo que se possa provar a estabilidade para todos os controladores associados a cada uma das regiões de operação, não há garantias de que ao se chavear entre eles o sistema resultante continuará estável. (LAGES, 2007)

2.3 Válvulas de Controle de Fluxo

Segundo, Ribeiro (1999), válvula de controle é um equipamento operado por energia que forma o elemento final em um sistema de controle de processo, onde é destinado à regulação das vazões de fluidos. Consistindo de um subconjunto de corpos internos para mudança de vazão do sistema de processo, neste o corpo é conectado a um atuador na qual responde a um sinal transmitido por um elemento controlador.

Uma válvula de controle deve responder ao sinal de atuação do controlador, um sinal padrão é aplicado ao atuador da válvula, que o converte em uma força, movimentando a haste, em cuja extremidade inferior está o obturador, que varia a área de passagem do fluido pela válvula.

O controle pode ser feito de modo contínuo ou liga-desliga. Na filosofia contínua ou analógica, a válvula pode assumir, de modo estável, as infinitas posições entre totalmente fechada e totalmente aberta. Na filosofia digital ou liga-desliga, a válvula só fica em duas posições discretas: ou totalmente fechada ou totalmente aberta. O resultado do controle é menos satisfatório que o obtido com o controle proporcional.

A válvula de controle age como uma restrição variável na tubulação do processo. Alterando a sua abertura, ela varia a resistência à vazão e como consequência, a própria vazão.

2.3.1 Característica de fluxo da válvula

A característica de fluxo da válvula de controle é definida como a relação entre a vazão através dela e a posição da haste, variando ambas de 0 a 100%. O objetivo da caracterização da vazão é o de fornecer um ganho do processo total relativamente constante para a maioria das condições de operação do processo. A característica da válvula depende do seu tipo e divide-se em três principais: abertura rápida, linear e igual porcentagem conforme exibido na figura 4.

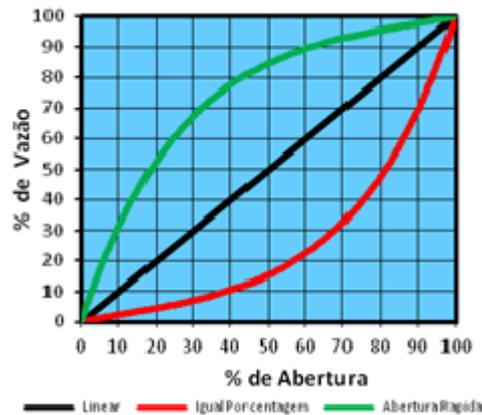


Figura 4 – Tipos de curvas características da válvula de controle.

Fonte: Zambon (2014)

As características de fluxos inerentes às válvulas se distinguem em diversos tipos, dependendo do formato da cunha que controla a abertura do orifício de passagem, são apresentadas as formas básicas dos diversos tipos de cunhas usadas em válvulas de controle na figura 5.



Figura 5 – Tipos de cunhas relacionadas com as características de uma válvula de controle.

Fonte: Ribeiro (1999)

São definidas duas características da válvula: inerente e instalada. A característica inerente se refere à observada com uma queda de pressão constante através da válvula, ou seja, é a característica construída e fora do processo. A instalada se refere à característica quando a válvula está em operação real, com uma queda de pressão variável e interagindo com as influências do processo não consideradas no projeto.

Devido à válvula de controle a ser utilizada no projeto ser de igual porcentagem, será descrito somente este tipo de característica de fluxo.

Na válvula de igual porcentagem, a porcentagem da variação de abertura da válvula corresponde à mesma de variação da vazão. Matematicamente, a vazão é proporcional exponencialmente à abertura. O índice do expoente é a porcentagem de abertura.

A válvula de igual porcentagem produz uma vazão muito pequena para grande variação da abertura, no início de sua abertura, mas quando está próxima de sua abertura total,

pequenas variações da abertura produzem grandes variações de vazão. Ela exibe melhor controle nas pequenas vazões e um controle instável em altas vazões.

Têm-se como exemplo para característica de igual porcentagem, uma válvula de controle, muda a sua abertura, de 20% para 26%, isto é, um aumento de 30% no curso e a taxa de fluxo era de 10 l/h passará agora para 12 l/h, um aumento de 20%. Quando o processo exigir um aumento no curso de abertura do obturador de 26% para 33,8%, novamente um aumento de 30% no curso irá ocorrer, enquanto a taxa de fluxo passará de 12 l/h para 14,4 l/h. Portanto, novamente um aumento de 20%. Podemos verificar com este exemplo que o aumento na taxa de fluxo ocorre de forma exponencial e não linear (MATHIAS, 2008).

2.3.2 Válvula de controle proporcional VSI® EMO-35M-24

A válvula de controle proporcional VSI EMO-35M-24, figura 6, possui atuação elétrica da posição de abertura. Atuadores elétricos ou eletromecânicos consistem de um sistema de motor-redução, acoplado à haste da válvula e umas de suas características é o fato de seu atuador ser bastante lento, porém em função da sua robustez, elevado torque desenvolvido e devido a ser de acionamento elétrico, não impondo limites práticos de distância para o elemento gerador de sinal, faz com que este atuador tenha um segmento de mercado bastante definido e fiel.



Figura 6 – Válvula controle proporcional VSI® EMO-35M-24.

A principal característica desta válvula é a possibilidade de controle da abertura da haste por meio do envio de tensão contínua dentro de um range $0-10V$, fazendo com que a mesma possua uma posição proporcional a cada valor de tensão enviado por um controlador.

Na tabela 1 detalha as demais características do modelo dessa válvula de controle fornecida pelo fabricante:

Tabela 1 – Característica da válvula de controle EMO-35M-24.

| MODELO | TORQUE | TENSÃO | SINAL DE CONTROLE | TEMPO DE ABERTURA/FECHAMENTO | ÂNGULO DE SAÍDA | DIÂMETRO | COEFICIENTE DE VAZÃO | CARACTERÍSTICA DA VÁLVULA |
|------------|--------|--------------|-------------------|------------------------------|-----------------|----------|----------------------|---------------------------|
| EMO-35M-24 | 4 N/m | 24VCC/A C | 0(2) – 10VDC | 80 a 150s | 0° a 95° | ½" | CV = 2,9 | Igual porcentagem |

2.4 Controlador Lógico Programável

O controlador lógico programável, CLP, pode ser definido como um dispositivo de estado sólido, com memória programável para armazenamento de instruções para controle lógico programável e pode executar funções equivalentes às de um painel de relés ou de um sistema de controle lógico, também realizando operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de sistemas automatizados (MORAIS; CASTRUCCI, 2001).

2.4.1 Arquitetura Básica

O CLP e seus periféricos, ambos associados, são projetados de forma a poder ser integrados dentro de um sistema de controle industrial e finalmente usados a todas as funções às quais são destinados. A figura 7 apresenta uma aplicação do CLP.



Figura 7 – Aplicação geral de um controlador lógico programável.

Fonte: Moraes e Castrucci (2001)

De acordo com Moraes e Castrucci (2001), o sistema que constitui um CLP é constituído basicamente das seguintes partes:

2.4.1.1 Unidade central de processamento (UCP)

A UCP é responsável pela execução do programa. Sua tarefa consiste em coletar os dados dos dispositivos de entrada por meio de um driver de entrada no CLP, processá-los

de acordo com o programa do usuário, gravado na memória, e enviar o resultado para o driver de saída do CLP encaminhando para o dispositivo destinado.

2.4.1.2 Fonte de alimentação

É o elemento responsável por converter corrente alternada em contínua, alimentando a UCP e os demais subsistemas do controlador. A fonte de alimentação pode ser de dois tipos:

- Source: fonte interna ao controlador.
- Sink: fonte externa ao controlador.

2.4.1.3 Memória

O sistema de memória é uma parte de importância vital para o controlador programável, pois armazena todas as instruções do programa a ser executado, bem como variáveis inerentes ao seu funcionamento.

Existem vários tipos de memória, com diferentes características. Um CLP pode fazer uso de vários desses tipos. As memórias podem ser divididas em áreas principais:

- Memória Executiva: Armazena o sistema operacional do controlador programável.
- Memória do Sistema: Armazena os resultados das operações efetuadas pela UCP.
- Memória de Status de E/S: Armazena os dados lidos nos dispositivos de entrada e os dados a serem lançados nos dispositivos de saída.
- Memória de Dados: Armazena os valores do processamento das instruções utilizadas pelo programa do usuário.
- Memória do Usuário: Armazena o programa do usuário.

2.4.1.4 Módulos de entrada e saída

Os módulos de entrada são responsáveis pela aquisição de dados do meio externo tais como sinais elétricos de sensores, medidores, botões, etc. Existem módulos de entrada para sinais digitais ($110VCA$, $24VCC$, etc) ou analógicos ($\pm 10VCC$, 0 a $10V$ ou 4 a $20mA$) por meio de conversores analógicos/digitais, contemplando os mais diversos tipos de dispositivos de instrumentação existentes.

Os módulos de saída podem emitir sinais analógicos ou digitais dependendo das configurações do sistema a ser controlado. Existem basicamente três tipos de módulos de saídas digitais: a relé, a transistor e a tiristor. O emprego de cada tipo depende da carga a ser acionada pelas saídas.

2.4.1.5 Computador ou terminal de programação

É um computador que contém o software de programação do CLP e por meio deste o programa aplicativo é descarregado para a memória do CLP. O terminal de programação pode ser um computador específico para esse fim ou um PC como é mais usual atualmente

2.4.2 Classificação dos Controladores Lógicos Programáveis

Segundo Georgini (2006), os CLPs são divididos em dois grupos:

- CLP Compacto: que tem quantidade fixa de pontos de I/O contendo também no mesmo dispositivo todos os componentes da arquitetura básica de um CLP.
- CLP Modular: que permite a configuração, por parte do usuário, da quantidade e combinação dos pontos de I/O, podendo conter ou não todos os componentes da arquitetura básica no mesmo dispositivo.

É exibido na figura 8 um exemplo para cada grupo:



Figura 8 – Exemplos de CLPs compacto e modular disponível no mercado.

Fonte: Georgini (2006)

2.4.3 Linguagem de Programação Ladder

A linguagem de programação que será utilizada neste trabalho para implementação nos CLP é a linguagem ladder. Essa é uma linguagem gráfica baseada em símbolos, semelhantes aos contatos de bobinas nos esquemas elétricos. Por sua semelhança com sistemas de controle a relés é facilmente compreendida.

A linguagem ladder é baseada na lógica de relés e contatos dos painéis de comando tradicionais. É a linguagem mais difundida entre os engenheiros, pois a semelhança com os diagramas de comando tradicionais torna fácil o aprendizado e a modernização de sistemas de comando antigos.

Além dos elementos básicos dos diagramas a relé (contatos, bobinas, etc), os diversos modelos de CLP possuem uma série de outros recursos, tais como: temporizadores, contadores, operações algébricas e lógicas, funções de controle contínuo, manipulação de

memória, etc, conforme exibido na figura 9. A denominação ladder vem da forma como as linhas de programa são escritas entre duas barras verticais como se fosse uma escada (ladder, em inglês). (FRANCHI; CAMARGO, 2008).

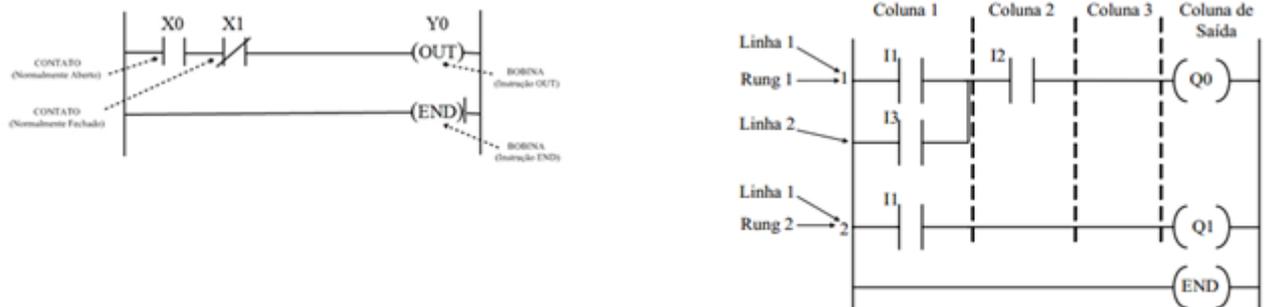


Figura 9 – Diagrama de funcionamento da linguagem ladder.

Fonte: Franchi e Camargo (2008)

2.4.4 CLP Telemecanic® Modicon TSX 3722

O CLP TSX 3722 tem como fabricante a Telemecanique, do tipo modular que possui as seguintes características (ELECTRIC, 2001):

- Aceita até 140 entradas e saídas com bornes para conexão;
- Não possui módulos de entrada e saída embutidos;
- Memória de programa do usuário pode ser expandida;
- Funções de contagem rápida e analógicas;
- Permite a expansão do número de slots para a inserção de módulos através de um rack de extensão, conforme mostrado na figura 10.

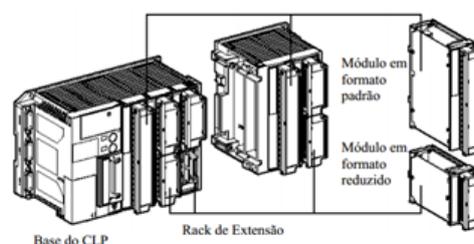


Figura 10 – CLP 3722 com expansão do número de slots.

Fonte: Electric (2001)

2.4.4.1 Módulo de entradas e saídas *TSX DMZ 28DR*

Será utilizado no CLP TSX 3722 para este trabalho o módulo de entrada/saída *TSX DMZ 28DR* que possui 16 bornes de entrada, podendo ser do tipo PNP ou NPN de 24VCC e 12 saídas do tipo relé, tem como função interligar os sensores/atuadores do tipo digitais ao CLP para integração física do sistema e execução da programação realizada (ELECTRIC, 2001). Exibe-se por meio da figura 11 o esquema de ligação utilizando entradas PNP, a mesma utilizada no trabalho.

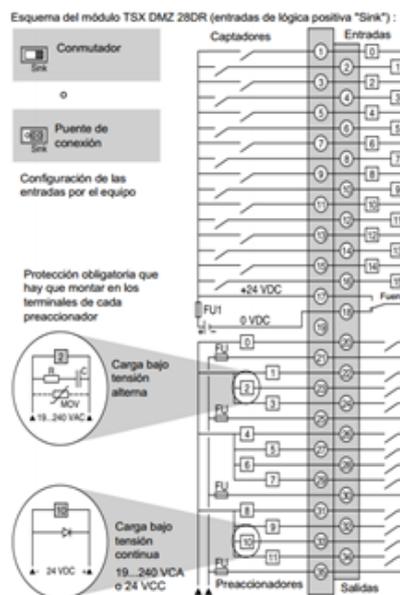


Figura 11 – Esquema de ligação para o módulo TSX DMZ 28DR.

Fonte: Electric (2001)

2.4.4.2 Módulo de entradas e saídas analógicas *TSX AMZ 600*

Será utilizado no CLP TSX 3722 para este trabalho o módulo de entradas e saídas analógicas *TSX AMZ 600* possuindo 4 canais de entradas analógicos e 2 canais de saídas, ambos podendo a partir de configuração no software de programação ser do tipo corrente (4-20mA) ou tensão (0-10V ou $\pm 10V$) (ELECTRIC, 2001).

No presente trabalho, este módulo será utilizado para envio de sinais de controle à válvula proporcional com objetivo de manter a vazão do sistema de forma constante, exibe-se na figura 12 o módulo analógico.

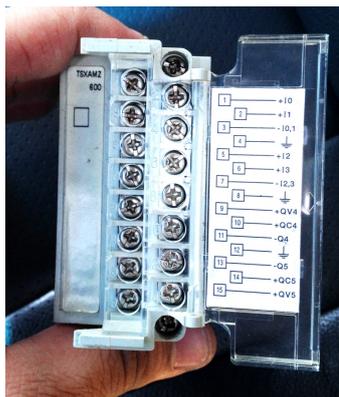


Figura 12 – Módulo de entradas e saídas analógicas *TSX AMZ 600*.

2.4.4.3 Software Programação PL7 PRO®

O programa *PL7 PRO*® é um software de programação projetado para o CLP TSX 3722, operando em ambiente Windows. O programa é composto pelas principais linguagens de programação, conforme norma IEC 61131.

Estas linguagens formulam blocos de funções (predefinidas temporizadores, contadores etc), funções específicas (analógica, comunicação, contagem etc) e funções particulares (controle de tempo, cadeia de caracteres etc). Os objetos da linguagem podem ser simbolizados mediante o editor de variáveis na área de trabalho do programa conforme exibido na figura 13.

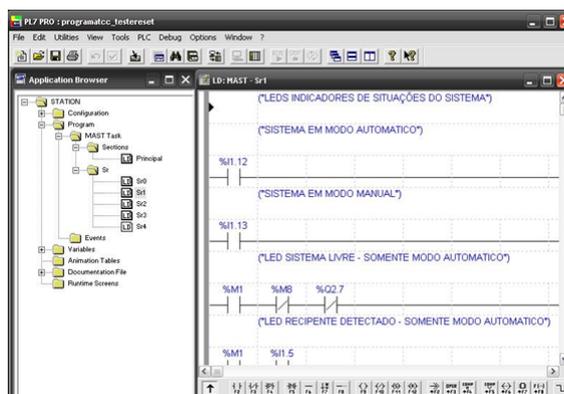


Figura 13 – Imagem da tela de programação do software PL7®.

2.5 Sensores Indutivos

De acordo Bonacorso (2004), sensores indutivos são sensores ativos de presença para objetos metálicos e tem seu princípio de funcionamento baseado na detecção da variação do campo magnético de alta frequência devido à aproximação de um objeto metálico, conforme mostra a figura 14.

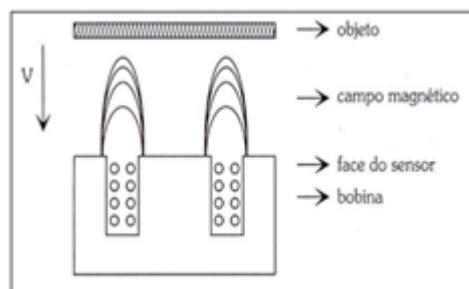


Figura 14 – Princípio de funcionamento do sensor indutivo.

Fonte: Mazzaroppi (2007)

O sensor indutivo consiste de um núcleo de ferrite envolvido por uma bobina, um oscilador, um circuito de disparo de sinais de comando e um circuito de saída, como mostrado na figura 15. O oscilador alimenta a bobina a uma determinada frequência, e uma corrente de natureza alternada circula pela mesma. Esta corrente alternada gera um campo magnético e uma vez que um objeto metálico entra neste campo, a natureza alternada induzirá correntes neste objeto, chamadas de correntes de fuga. As correntes de fuga geram um fluxo magnético no sentido de enfraquecer o campo existente, e desta forma o circuito de disparo detecta a variação do campo e ocorre o chaveamento do circuito de saída (HAYT; BUCK, 2013).

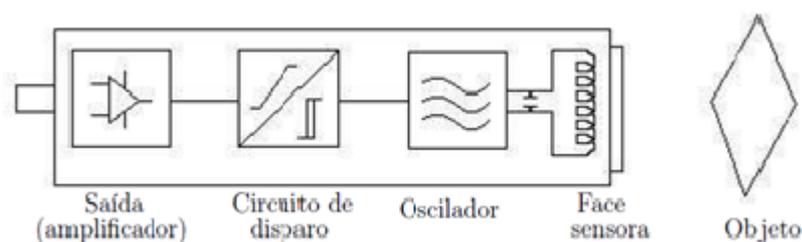


Figura 15 – Diagrama esquemático de um sensor indutivo mostrando seus componentes principais.

Fonte: Mazzaroppi (2007)

2.6 Sensores Capacitivos

Um sensor ou transdutor capacitivo é um condensador que exibe uma variação do valor nominal da capacidade em função de uma grandeza não elétrica. Uma vez que um condensador consiste basicamente num conjunto de duas placas condutoras separadas por um dielétrico, as variações no valor nominal da capacidade podem ser provocadas por redução da área frente a frente e da separação entre as placas, ou por variação da constante dielétrica do material (BONACORSO, 2004).

O seu princípio de funcionamento, ilustrado na figura 16, baseia-se na mudança de frequência de oscilação de um circuito ressonante com a alteração do valor de capacitância formada pela placa sensível e o ambiente, devido à aproximação de um corpo qualquer. Esta capacitância pode ser alterada, praticamente por qualquer objeto que se aproxime do campo de atuação do sensor.

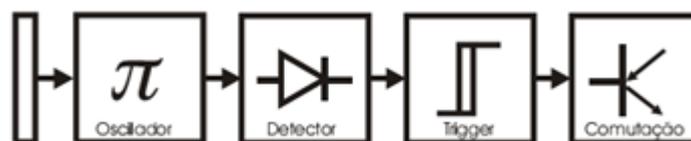


Figura 16 – Princípio de funcionamento sensor capacitivo.

Fonte: Mazzaroppi (2007)

A mudança de frequência ocasionada pela alteração da capacitância da placa sensível é enviada a um circuito detector que transforma a variação da frequência em nível de tensão. O circuito trigger, trata de receber o sinal de tensão gerado no detector e transformá-lo em onda quadrada adequada à excitar um circuito de comutação o que já é o suficiente para acionar circuitos externos.

Os sensores capacitivos são largamente utilizados para a detecção de objetos de natureza metálica ou não. Os líquidos de maneira geral são ótimos atuadores para os sensores capacitivos, independente de condutividade ou viscosidade.

2.7 Sensor de Nível Tipo Bóia Magnética

Os sensores de boia magnética funcionam com o movimento de um flutuador magnético (ímã), nesse tipo de sensor, o flutuador move de acordo com a superfície da água, indicando o nível. A medição pode ser tanto contínua, gerando um sinal analógico ao variar a resistência da haste que segura o flutuador, quanto discreta fazendo com que seja aberto ou fechado um contato elétrico na parte interna do sensor de acordo com a posição do flutuador magnético (QUINTANILHA; ESTEVÃO, 2013).

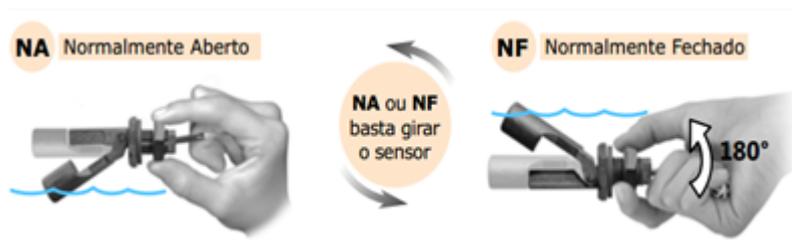


Figura 17 – Funcionamento do sensor de nível de boia magnética horizontal.

Fonte: ICOS (2014)

Estes sensores podem funcionar tanto na horizontal quanto na vertical. Na horizontal exibido na figura 17, atuam de maneira similar como citado acima, com o fechamento do contato ocorre com a aproximação de um campo magnético do ímã, porém na vertical é comumente colocado no topo do tanque e a bóia é instalada sob uma mola, que ao ser tensionada, resulta em um movimento vertical tanto do núcleo quanto da haste, levando o magneto para fora, retirando o contato com a chave conforme é exibido na figura 18.

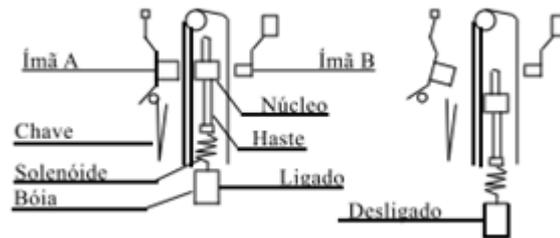


Figura 18 – Funcionamento do sensor de nível tipo bóia magnética vertical.

Fonte: Quintanilha e Estevão (2013)

As aplicações deste tipo de sensor estão nos maior variados setores de mercados, tendo como principal vantagem a operabilidade em uma grande gama de líquidos, inclusive corrosivos, devido a seu material ser em grande maioria de poliacetal, além de ser simples e de baixo custo quando comparados com os existentes no mercado. Tendo como desvantagem não poder operar em fluidos que possuem metais ou os que são altamente viscosos.

2.8 Sensor de Fluxo Hall

O sensor Hall recebe este nome, pois é baseado no efeito Hall descoberto em 1879 por Edwin Hall. Este efeito hall pode ser descrito, considerando um determinado material com espessura d , conduzindo uma corrente I ao longo de seu comprimento e sujeito a um campo magnético B aplicado perpendicularmente à direção de sua espessura, conforme exibido na figura 19. O resultado destas condições é a geração de tensão conhecida como tensão de Hall, V_{hall} , cuja magnitude é dada por:

$$V_{hall} = (Rh \frac{1}{d}) * I * B$$

Sendo, Rh a constante Hall do material.

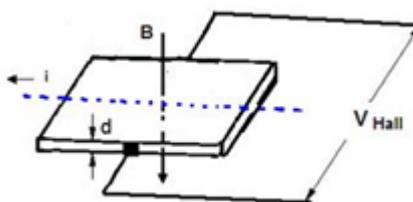


Figura 19 – Princípio de construção e funcionamento do sensor Hall.

Fonte: Cassiolato (2006)

Portanto, o sensor hall é um transdutor que se baseia na variação de sua tensão de saída em resposta às mudanças na densidade de fluxo magnético. Estes são comumente aplicados em sistemas de posicionamento, detecção de velocidade, medição de tensão e corrente elétrica (CASSIOLATO, 2006).

2.8.1 Sensor fluxo hall

O princípio de funcionamento do sensor de fluxo Hall, exibido na figura 20, funciona com uma válvula onde possui internamente um rotor de água, um ímã na hélice e um sensor de efeito Hall. Quando a água flui através do rotor sua velocidade muda com diferentes taxas de fluxo e a cada passagem do ímã pelo sensor de efeito Hall emite o sinal de pulso correspondente, assim conforme a quantidade de pulsos gerados a cada segundo é possível determinar a vazão instantânea.

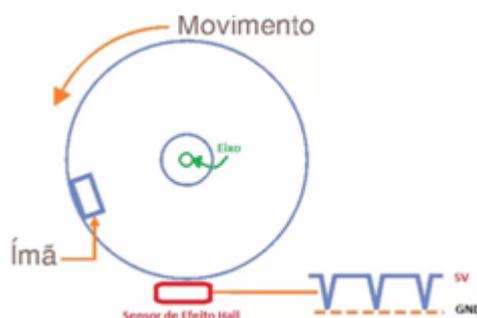


Figura 20 – Princípio funcionamento sensor de fluxo hall.

2.9 Trabalhos Relacionados

Com a evolução das tecnologias, surgem novas técnicas para melhorias de processos automatizados e controle de processos. Baseando-se nisso alguns estudos em novas formas de reconhecimento de moedas são desenvolvidos com a aplicação dessas tecnologias, visando ter alternativas de implementação deste tipo de sistema, bem como melhorar a forma de detecção. Também desenvolve-se cada vez mais estudos práticos da aplicação

de teorias de controles em variados ambientes, com objetivo de analisar o comportamento destes tipos de controle em situações reais nas diversas áreas da engenharia.

2.9.1 Uma técnica de identificação de moedas por detecção de sensores

Segundo o trabalho de (TURATTI et al., 2010), com objetivo de desenvolver uma máquina que conte e separe as moedas que seja de baixo custo comparado com as que existem no mercado atualmente e tendo como público alvo empresas de pequeno porte que não possuem capital para investir em uma máquina mais cara. O trabalho propõe o desenvolvimento de um contador automático de moedas, aceitando as moedas da atual família do sistema monetário brasileiro e selecionando-as pelo seu tamanho com o uso de sensores e as separando em reservatórios diferentes. Enquanto isso, na tela do computador são mostrados os totais (quantidade e financeiro) para todas as moedas.

O protótipo desenvolvido tem como principio de funcionamento, a moeda é inserida em uma rampa e esta é identificada baseando-se no seu diâmetro por meio de sensores, ao detecta-la o software desenvolvido para aplicação em um microcontrolador aciona um servomotor no fim da rampa onde este destina a moeda para um depósito específico para seu valor, além disso exibe-se na tela de um computador, o valor acumulado das moedas que foram inseridas.

O desenvolvimento deste trabalho utilizou-se um microcontrolador *Arduino Diecimilla (ATMEGA328)*, o sistema foi projetado desde a sua fonte de alimentação convertendo tensão da rede elétrica convencional em contínua de 5V com utilização de circuitos integrados, diodos e resistores, a parte de sensoriamento para detecção das moedas utilizou-se de *led's* de alto brilho em conjunto com fotoreceptores, onde a moeda ao passar causaria interferência na recepção da luz do *led* fazendo com o que fotoreceptor detectasse a moeda.

Exibe-se por meio da figura 21 o resultado do trabalho de (TURATTI et al., 2010) com a rampa para detecção e o separador de moedas pelo seu valor.

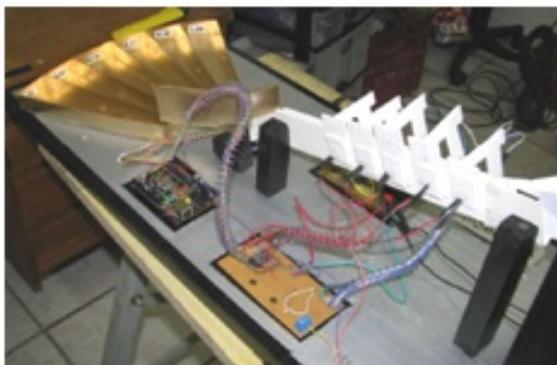


Figura 21 – Resultado do trabalho proposto para identificação de moedas por detecção de sensores.

Fonte: Turatti et al. (2010).

O protótipo desenvolvido funcionou adequadamente, porém os maiores problemas foram encontrados no ajuste dos sensores, visto que as diferenças entre eles seriam em micrômetros em alguns casos, estes ajustados com a utilização de pseudo-garras, presas à rampa, bem como na sincronização dos servos e nos delays aplicados às moedas, para que as mesmas percorram com segurança ao longo do caminho sendo sanados pela edição do código-fonte do programa.

2.9.2 Uma aplicação de controle em um sistema com válvula proporcional

Segundo o trabalho de (COELHO, 2006), foi motivado pelo aumento da importância e do número cada vez maior de aplicações dos controladores preditivos em diversos processos industriais ultimamente. O trabalho tem objetivo de aplicar, por meio de simulação, uma estratégia de Controle Preditivo Baseado em Modelo (CPBM) aplicando em uma válvula proporcional o controle de nível e pressão de um tanque pressurizado, utilizando técnicas de identificação de sistemas, controle preditivo e algoritmo de otimização por meio do software *MATLAB*®.

O estudo foi realizado em uma planta-piloto didática do Laboratório de Controle de Processos Multivariável (LCM) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro. A planta multivariável com tanques acoplados é constituída por um tanque de alimentação (tanque 1) que fornece água para outros dois tanques (tanque 2 e tanque 3), através de duas bombas (b_2 e b_3), e um compressor de ar que pressuriza os tanques 2 e 3. Porém, para realização do estudo utilizou-se apenas a interligação do tanque 1 com tanque 2. O aplicação de controle do nível é realizado por meio da válvula proporcional vn_2 posicionada na saída do tanque 2, que conforme a sua abertura obtem-se os valores desejados para a variável controlada.

Neste trabalho foi realizado a identificação do sistemas, por meio de dados adquiridos variando a posição da válvula proporcional para obtenção do modelo matemático do sistema de nível, esta identificação foi desenvolvida por meio da função *IDENT* (*MATLAB*®). O controlador preditivo para o sistema de nível foi projetado por meio da função *FMINUNC* (*MATLAB*®). O resultado controle é exibido por meio da figura 22.

O trabalho obteve sucesso nos objetivos propostos e como considerações sobre os resultados obteve-se que após vários testes de sintonias com a finalidade de observar o efeito de cada parâmetro sobre o desempenho do controlador, observou-se que fator de supressão foi o parâmetro que mais influenciou no desempenho do controlador com o aumento deste fez com que a ação de controle das válvulas se tornasse mais suave, aumentando o tempo de subida e diminuindo o sobre-sinal da resposta do nível e da pressão à variação do valor de referência, também observou a influência da malha de controle do nível sobre a pressão dificultando identificar corretamente o sistema de pressão.

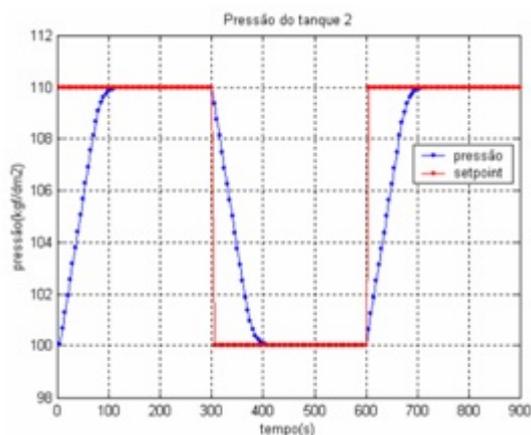


Figura 22 – Resultado do controle do nível variando o valor de referência a ser controlado sobre trabalho de aplicação de controle com uma válvula proporcional.

Fonte: Coelho (2006).

2.9.3 Uma aplicação de controle adaptativo por escalonamento de ganhos em uma planta didática de vazão e nível

Nesta dissertação de mestrado de (FONSECA, 2012), motivou o autor a desenvolvê-la devido ao fato da planta do trabalho ser do tipo didática, a elaboração da modelagem e controle desta possibilita o desenvolvimento de um simulador para a planta capaz de auxiliar no estudo de suas características, sem gastos com a operação do processo real. O trabalho tem como objetivo modelar e controlar um planta didática, T5552 - Amatrol®, que consiste de um sistema de controle de vazão e nível com instrumentação industrial, aplicando nesta planta por meio de uma válvula pneumática, controle adaptativo por meio do tipo auto-sintonizável direto e escalonamento de ganhos.

A modelagem matemática da planta foi realizada baseando nos conceitos tradicionais de sistemas dinâmicos bem como as características dimensionais de cada componente da planta.

Foi implementado os dois tipos de controle adaptativos para controle da vazão: auto-sintonizável e escolanamento de ganhos. Para o escalonamento de ganhos utilizou-se um controlador do tipo proporcional-integral (PI) e como variável auxiliar, definiu-se o nível para enviar informações da dinâmima do sistema. No projeto do controlador PI definiu-se nove medições de nível implementando uma sintonia para cada medida.

Após o desenvolvimento do controlador, implementou-se o teste na bancada utilizando um CLP fazendo papel de uma ponte interligando a planta ao computador, onde este por sua vez realiza os cálculos do controlador e retorna para planta o comando pelo CLP. O resultado do teste com o controlador adaptativo por meio de escalonamento de ganhos é exibido na figura 23.

O resultado do trabalho foi dado como satisfatório, pois o modelo desenvolvido foi validado com a ajuda de um simulador, em que foi possível comparar com o real, o erro

médio quadrático de aproximadamente 4,5% em um ensaio comparativo entre a simulação e o experimental de uma operação em malha aberta da planta.

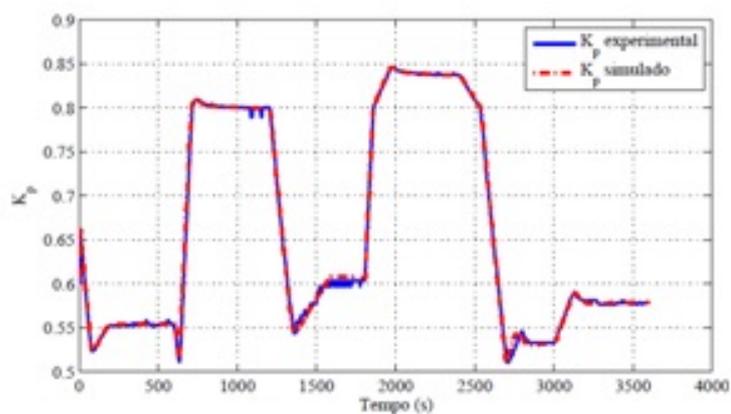


Figura 23 – Resultado da aplicação de controle adaptativo por escalonamento de ganhos em uma planta didática de vazão e nível, onde o sinal em azul é o experimental e o vermelho o simulado.

Fonte: Fonseca (2012).

3 Metodologia

Para o trabalho em questão foi criado um projeto que visa automatizar o sistema de venda de água captada de poços artesianos, utilizando um CLP com linguagem de programação *ladder*, fazendo a identificação das moedas pagas por meio de sensores indutivos convertendo-as em um valor equivalente em litros e fornecendo então este volume requerido por meio de um controle de vazão aplicando em uma válvula de proporcional, técnicas de controle adaptativo com método de escalonamento de ganhos.

Para atingir o objetivo desejado, foi realizado levantamento em campo de como funciona o atual sistema e coleta de dados sobre rendimentos financeiros, para definição de viabilidade de implantação e melhorias sobre o atual processo.

O projeto foi desenvolvido baseando-se em estudos bibliográficos, publicações *online* e de experimentos práticos sobre as atuais formas de identificação de moedas e definir qual destas é possível aplicá-la em conjunto com um CLP, assim como tipos de válvulas existentes no mercado e como realizar o controle destas. A programação em *ladder* realizada no CLP Modicon 3722 foi por meio da versão de teste do software PL7 Pro® da Telemecanic.

3.1 Processo Manual para Venda de Água

O processo é realizado a partir do momento que o cliente possui consigo um recipiente e paga o valor equivalente ao volume que se deseja encher o mesmo, este pagamento é comumente realizado em moedas, pois o proprietário do sistema define uma relação litro por valor em centavos.

Ao ser recebido o valor pago, o proprietário ou pessoa responsável em operar o sistema quantifica o volume de água que se deve ser disponibilizado para o recipiente do cliente respeitando a equivalência da relação litro/centavos e então por meio de uma válvula manual regula a passagem da água oriunda de um tanque de armazenamento após a sua captação subterrânea, com a figura 24 é possível visualizar por meio de um diagrama o funcionamento do sistema.

A definição de quando deve-se fechar a válvula é de forma empírica e sem qualquer padrão, baseando-se apenas na experiência do operador do sistema em contabilizar o volume disponibilizado e na análise do nível do recipiente fornecido pelo cliente.

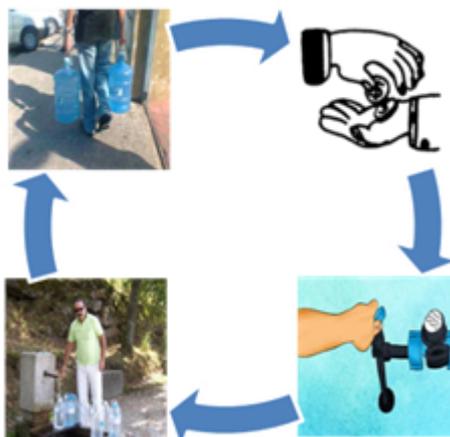


Figura 24 – Diagrama do funcionamento do sistema manual de venda de água.

3.1.1 Estudo de Caso – Rendimento Financeiro do Sistema Manual

Realizado por meio de uma entrevista informal com um proprietário deste sistema manual de venda de água, localizado na Zona Norte de Manaus, com o objetivo de conhecer o arrecadamento diário, levantando dados também de quantas horas há uma pessoa para operar o sistema diariamente e semanalmente.

A informação sobre o rendimento diário fornecido leva-se em consideração dois cenários para que se possa definir o valor total, o primeiro cenário é uma situação em que não há falhas no sistema de abastecimento de água do bairro sendo definido como normal e o segundo cenário leva-se em consideração uma falha, seja durante todo o dia ou parte dele, no sistema de abastecimento fornecido pela empresa concessionária deste serviço há portanto um aumento na demanda por água consequentemente o arrecadamento é maior sendo então caracterizado este cenário como atípico.

Neste local o proprietário definiu a relação litros/centavos em 5 centavos o equivalente a 1 litro de água fornecida, tendo como o operador o próprio proprietário ou o seu filho. O sistema fica disponível no período de 08h às 20h, semanalmente não há uma definição de dias para parar, porém devido aos operadores em alguns dias necessitarem de se ausentar, há dias que não se disponibiliza o fornecimento da água, foi relatado que queixas de clientes sobre indisponibilidade são frequentes.

O resultado obtido deste levantamento é exibido na tabela 2, tendo como exibição o valor diário e anual. Foi considerado neste levantamento uma estimativa de 15% dos dias em que o sistema está disponível como cenário atípico conforme informação repassada sobre as falhas de abastecimento no bairro. O total de dias considerados como sistema disponível para efeito de cálculo foram de 320 dias, de acordo com as informações.

Tabela 2 – Arrecadação do sistema de venda de água manual.

| Cenário | Quantidade de Dias | Rendimento Diário | Rendimento Anual |
|----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Normal | 272 | R\$ 17,00 | R\$ 4080,00 |
| Atípico | 48 | R\$ 40,00 | R\$ 1920,00 |
| Total | 320 | - | R\$ 6000,00 |

3.2 Sistema Automatizado Proposto para Venda de Água

O sistema automatizado para venda de água captada de poços artesianos proposto tem dois subsistemas: um para identificar as moedas pagas pelo cliente e o outro para o controle da vazão da água vinda de um tanque após ser captada da fonte subterrânea. Para o gerenciamento desses subsistemas existe um terceiro que terá função de gerenciar o processo e fornecer dados para a interface entre o cliente e o sistema automatizado, neste contera um CLP que irá fazer o cálculo da relação valor pago/volume liberado, assim como enviar os sinais de controle para o atuador da vazão e também para a interface, contendo sinalizadores luminosos indicando a quantidade de litros a ser fornecida dentre outros indicadores.

O funcionamento do subsistema de identificação de moedas é pela lógica de detecção de sensores utilizando este do tipo indutivo para detecção dos metais contidos nas moedas e posicionados em alturas equivalentes a cada valor de moeda a ser detectado, aceitando moedas de 5, 10, 25, 50 centavos e de 1 real da atual família do sistema monetário brasileiro. A identificação é realizada por meio da programação desenvolvida no CLP.

O subsistema de controle de vazão tem como objetivo manter a vazão em um valor definido para que se possa ser contabilizado o volume disponibilizado ao cliente, possui uma válvula de controle proporcional e um tanque de 65L, onde neste existem quatro sensores de nível do tipo bóia magnética posicionados em alturas diferentes de distâncias iguais entre si. O princípio de funcionamento deste subsistema baseia-se no acionamento de cada sensor de nível, pois a cada altura acionada pelo sensor, o CLP envia um sinal de controle diferente para a posição de abertura da válvula, mantendo a vazão dentro de um valor definido.

O subsistema de gerenciamento e interface possui a função de interligar os subsistemas de controle de vazão e de identificação de moedas por meio da programação desenvolvida no CLP, essa interligação entre os subsistemas se faz recebendo os dados fornecidos pelos sensores de identificação das moedas convertendo este valor para volume a ser disponibilizado, por meio da relação 5 centavos para 1 litro e após o acionamento do usuário (cliente) de uma botoeira para iniciar o processo, sinal de controle é enviado para a válvula de controle proporcional baseando-se nos acionamentos dos sensores de nível para

manter a vazão constante, dessa forma é possível saber quanto tempo será necessário para fornecer o volume requerido. Contém também neste subsistema uma interface do sistema com o cliente, com sinalizadores luminosos indicando as condições do sistema durante o processo, assim como a quantidade de litros equivalente ao valor pago.

Na figura 25, exibe-se um diagrama sobre o funcionamento do sistema automatizado de venda de água captada de poço artesiano, dividindo-se nos três subsistemas citados, sendo as setas em vermelho a identificação da moeda, as amarelas do gerenciamento e fornecimento de dados para a interface e as azuis para o controle de vazão.

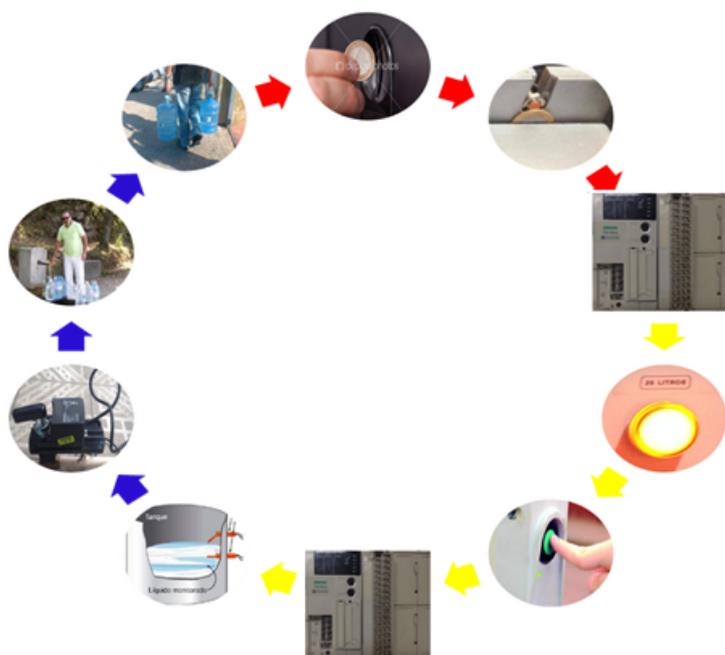


Figura 25 – Diagrama de funcionamento do sistema automatizado proposto.

O ponto de partida do sistema será quando o cliente inserir a moeda, então identifica-se o valor e enviando o sinal do sensor ao CLP, onde este acionará o sinalizador luminoso indicando a quantidade de litros correspondente ao valor pago, então depois de inserir a quantidade desejada de moedas, o cliente iniciará o sistema pressionando uma botoeira destinada a este fim. Neste momento o CLP verificará qual o sensor de nível está acionado enviando o sinal de controle correspondente para a válvula proporcional movimentando sua abertura para adquirir valor de vazão determinado a ser constante e conforme for variando o nível serão acionados os outros sensores e conseqüentemente será enviado novos sinais de controle para válvula realizando portanto um controle adaptativo na mesma.

Com a vazão constante em todo processo é possível calcular quanto tempo é necessário deixar aberta a válvula para fornecer o volume requerido, este cálculo será realizado pelo subsistema de gerenciamento a partir do momento que o sistema for iniciado. O cliente poderá ter seu valor depositado de moedas devolvido se desejar, desde que não tenha pressionado o botão de início, sendo realizada a devolução ao pressionar uma outra

botoeira destinada a este fim. Não será fornecido qualquer forma de devolução parcial, troco, apenas o valor integral nas condições citadas acima.

Haverá também neste sistema, um sensor capacitivo de presença para detectar a existência do recipiente no local, caso contrário o sistema poderia liberar a água sem a presença do mesmo acarretando em desperdício. Só será iniciado o processo se o sensor detectar este recipiente, na interface haverá um sinalizador luminoso indicando se houve ou não a detecção.

3.3 Gerenciamento e Interface

O subsistema de gerenciamento e interface possui um CLP modular 3722 do fabricante *Telemecanic®*, neste equipamento há dois módulos de entradas/saídas sendo um digital *TSX DMZ 28DR* para interligar os sensores e atuadores discretos dos dois subsistemas e outro analógico *TSX AMZ 600* para envio dos sinais para a válvula de controle proporcional. Contém também neste subsistema uma interface entre o usuário (cliente) e o sistema com sinalizadores luminosos led, traduzindo para português diodo emissor de luz, e botoeiras para envio de comandos dispostos em uma placa em MDF.

A função deste subsistema é administrar todo o processo fornecendo/recebendo os dados necessários para o controle de vazão, identificador de moedas e interface do usuário, interligando-os e realizando os cálculos de conversão do valor pago em volume a ser disponibilizado respeitando a relação 5 centavos/litro e do tempo em que deverá manter-se aberta a válvula, também deve ser realizado o controle dos acionamentos dos led's da interface do usuário, onde estes tem função de indicar quantos litros equivalente ao valor pago assim que se identifica a moeda inserida e também exibir as condições do sistema, se disponível ou enchendo.

A interface entre o cliente e o sistema automatizado tem como objetivo exibir as condições deste indicando se o mesmo está disponível para utilização ou realizando a liberação de água, bem como indicação de quantos litros fora identificado após a inserção da moeda e acionamento de comandos para iniciar e parar/devolver valor pago. A interface contém nove *led's* e dois botões de comandos dispostos em uma placa de material MDF.

O sistema possui uma chave seletora de duas posições onde o proprietário poderá escolher o modo automático ou manual do processo de venda de água.

Alguns conceitos foram definidos para desenvolver a programação do CLP:

- Modo Manual: Neste modo os subsistemas de identificação de moedas e de controle de vazão ficam desativados, o acionamento por meio do botão de início de processo libera a quantidade de água em que se mantiver pressionado o mesmo.
- Modo Automático: Neste modo todos os subsistemas são executados conforme a programação.

- Capacidade máxima do sistema: Caracteriza-se quando o sistema recebeu um valor em moedas superior ou igual ao fornecimento de 38 litros, este número foi definido baseando-se em todos os led's indicadores de litros acionados.
- Sistema disponível: Caracteriza-se quando o sistema está em modo automático, não está enchendo o recipiente e o não está na capacidade máxima de fornecimento de água.
- Sistema enchendo: Caracteriza-se quando é acionado o botão de início e então o sistema realiza a liberação do volume requerido, enchendo o recipiente.
- Não inserir moedas: Possui duas circunstâncias para que seja solicitado não inserir moedas, o momento durante os três segundos subsequentes à inserção de uma moeda para que seja correta a identificação da moeda e outro momento quando a capacidade máxima do sistema é atingida.
- Recipiente detectado: Caracteriza-se após o acionamento do sensor capacitivo instalado na região onde se posiciona o recipiente para a coleta da água, o sistema não pode ser iniciado sem que o mesmo esteja acionado.
- Início de processo: Caracterizado após o usuário pressionar o botão correspondente a essa função. O acionamento do botão por parte do cliente implicará em aceitar o valor exibido nos led's indicadores de quantidade de litros.
- Parada / Devolução Valor: Possui duas circunstâncias para seu acionamento, a primeira se dá no momento em que o cliente após inserir as moedas por algum motivo desiste de requerer a água então pressiona o botão correspondente a esta função e seu valor é devolvido integralmente, somente para o caso em que não tenha pressionado o início do processo. A segunda, após iniciar o processo da liberação da água, por alguma circunstância o usuário necessita parar o sistema, não sendo possível neste protótipo o reinício do processo após o acionamento deste botão.

Para o desenvolvimento desta etapa do trabalho foi necessário pesquisas bibliográficas na área de automatização de processos utilizando controlador lógico programável, para definição da estrutura a ser programada como subrotinas e subsistemas, também aprender sobre a forma de programação em ladder do software PL7® utilizado no CLP, bem como quais *led's* e botoeiras disponíveis no mercado atendiam a necessidade do protótipo, manuseio de ferramentas.

3.3.1 CLP TSX 3722 *Telemecanic*®

A escolha do controlador lógico programável baseou-se nos equipamentos em que a instituição poderia fornecer para a realização deste trabalho, portanto dentre os que estavam disponíveis o CLP TSX 3722, figura 26, era o único a possuir módulo para saída

analógica além de ter a quantidade necessária de portas no seu módulo de entradas e saídas digitais para implementar no protótipo.

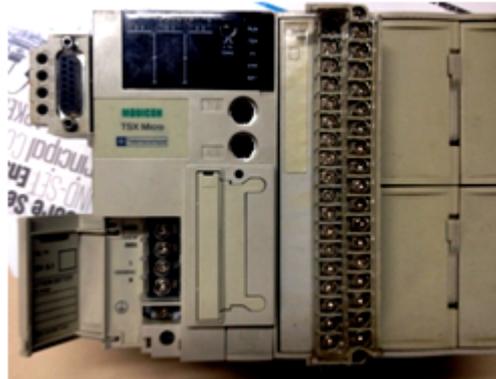


Figura 26 – CLP utilizado neste trabalho.

O módulo TSX DMZ 28DR possui capacidade para 16 entradas digitais, podendo ser PNP ou NPN, para este trabalho o tipo de entrada configurada foi PNP devido aos sensores possuírem o sinal de controle de saída do tipo positivo e utilizou-se 14 destas entradas para o desenvolvimento do protótipo, conforme exibido na figura 27.

| Address | Type | Symbol | Comment |
|------------|-------|---------------|----------------------------|
| %I1.0 | EBOOL | Sensor_5c | SENSOR DETECCAO 5c |
| %I1.0.ERR | BOOL | | |
| %I1.1 | EBOOL | Sensor_10c | SENSOR DETECCAO 10c |
| %I1.1.ERR | BOOL | | |
| %I1.2 | EBOOL | Sensor_25c | SENSOR DETECCAO 25c |
| %I1.2.ERR | BOOL | | |
| %I1.3 | EBOOL | Sensor_50c | SENSOR DETECCAO 50c |
| %I1.3.ERR | BOOL | | |
| %I1.4 | EBOOL | Sensor_treal | SENSOR DETECCAO IREAL |
| %I1.4.ERR | BOOL | | |
| %I1.5 | EBOOL | Sdr | SENSOR DETECCAO RECIPIENTE |
| %I1.5.ERR | BOOL | | |
| %I1.6 | EBOOL | Sn25 | SENSOR NIVEL 25% |
| %I1.6.ERR | BOOL | | |
| %I1.7 | EBOOL | Sn50 | SENSOR NIVEL 50% |
| %I1.7.ERR | BOOL | | |
| %I1.8 | EBOOL | Sn75 | SENSOR NIVEL 75% |
| %I1.8.ERR | BOOL | | |
| %I1.9 | EBOOL | Sn100 | SENSOR NIVEL 100% |
| %I1.9.ERR | BOOL | | |
| %I1.10 | EBOOL | Botao_iniciar | BOTAO INICIAR |
| %I1.10.ERR | BOOL | | |
| %I1.11 | EBOOL | Botao_parar | BOTAO PARAR |
| %I1.11.ERR | BOOL | | |
| %I1.12 | EBOOL | Chave_auto | CHAVE MODO AUTOMATICO |
| %I1.12.ERR | BOOL | | |
| %I1.13 | EBOOL | Chave_manu | CHAVE MODO MANUAL |
| %I1.13.ERR | BOOL | | |

Figura 27 – Captura da tela das entradas configuradas na programação ladder.

Este módulo possui também 12 saídas do tipo relé, sendo utilizadas 9 destas, conforme exibido na figura 28.

| | Address | Type | Symbol | |
|---|-------------|-------|-------------------|---------------------------|
| | %CH2.MOD | CH | | |
| | %I2.MOD.ERR | EBOOL | | |
| + | %MV2.MOD | WORD | | |
| + | %MV2.MOD.1 | WORD | | |
| + | %MV2.MOD.2 | WORD | | |
| + | %MV2.MOD.3 | WORD | | |
| + | %KV2.MOD | WORD | | |
| | %Q2.0 | EBOOL | Led_1It | LED INDICADOR 1L |
| | %I2.0.ERR | BOOL | | |
| | %Q2.1 | EBOOL | Led_2It | LED INDICADOR 2L |
| | %I2.1.ERR | BOOL | | |
| | %Q2.2 | EBOOL | Led_5It | LED INDICADOR 5L |
| | %I2.2.ERR | BOOL | | |
| | %Q2.3 | EBOOL | Led_10It | LED INDICADOR 10L |
| | %I2.3.ERR | BOOL | | |
| | %Q2.4 | EBOOL | Led_20It | LED INDICADOR 20L |
| | %I2.4.ERR | BOOL | | |
| | %Q2.5 | EBOOL | Led_sistema_livre | LED SISTEMA LIVRE |
| | %I2.5.ERR | BOOL | | |
| | %Q2.6 | EBOOL | Lar | LED AGUARDANDO RECIPIENTE |
| | %I2.6.ERR | BOOL | | |
| | %Q2.7 | EBOOL | Lench | LED ENCHENDO |
| | %I2.7.ERR | BOOL | | |
| | %Q2.8 | EBOOL | Lwait | LED NAO INSERIR MOEDA |
| | %I2.8.ERR | BOOL | | |

Figura 28 – Captura da tela das saídas digitais configuradas na programação ladder.

O módulo TSX AMZ 600 possui capacidade para 4 sinais de entrada e 2 para saídas, podendo estes serem do tipo tensão (0-10V) ou corrente (4-20mA), definiu-se este módulo devido o mesmo conter o sinal de saída necessário para enviar os comandos para a válvula de controle proporcional, neste caso tensão. Exibe por meio da figura 29 a configuração deste canal no software PL7®.

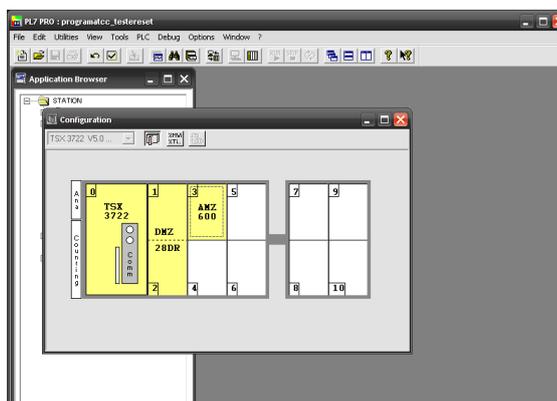


Figura 29 – Configuração do canal analógico no software de programação do CLP.

3.3.2 Sinalizador luminoso e botão de comando 3SB6 *Siemens*®

Foram utilizados para o desenvolvimento da interface os sinalizadores luminosos e botões de comando da linha 3SB6 do fabricante *Siemens*®. A escolha destes baseou-se no seu aspecto dimensional, diâmetro de 22 milímetros, para inserção em uma placa em MDF, levando em consideração também a alimentação elétrica para o padrão utilizado no desenvolvimento do protótipo, sendo este em 24V do tipo contínuo.

Os sinalizadores luminosos possuem alimentação em 24V do tipo contínuo ou alternado e foram utilizados nas cores: amarela para os indicadores de litros, vermelha para os indicadores de atenção (não inserir moedas e enchendo), branca para detecção do recipiente e verde para o sistema disponível.

Os botões de comando utilizados podem ser energizados em tensões do modo contínuo ou alternado variando 13 a 230V, possuem dois contatos para interligar aos comandos, sendo normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF), para o protótipo foram utilizados os botões de comando na cor vermelha com os contatos NA.

Exibe-se na figura 30 o modelo de botão de comando e sinalizador luminoso utilizados:



Figura 30 – Modelo do botão de comando (esq.) e sinalizador luminoso (dir.) utilizados na interface.

3.3.3 Chave seletora ZB5 *Schneider*®

Utilizou-se uma chave seletora da família ZB5 do fabricante *Schneider*®, figura 31, para que fosse possível o proprietário optar em utilizar o sistema no modo manual ou automático.

Esta chave seletora possui um contato NA e outro NF e são acionados de acordo com a posição da chave, há neste dispositivo também um contato para acionamento de um *led* interno para exibição do modo acionado conforme a configuração realizada pelo usuário na sua instalação.



Figura 31 – Chave seletora utilizada no protótipo.

3.3.4 Programação do Gerenciamento

O desenvolvimento da programação em ladder do subsistema de gerenciamento foi dividido em algumas subrotinas:

- Modo Manual/Automático, definindo o funcionamento dos demais subsistemas em cada modo;
- Devolução do valor pago, definindo o modo e momento em que será realizado a devolução;
- Conversão valor pago-volume disponibilizado, realizando o cálculo para converter a quantidade depositada em moedas para o volume a ser liberado;
- Tempo abertura válvula, definindo por meio de cálculo o tempo necessário para fornecer o volume requerido com a vazão constante.

3.3.4.1 Modo Manual/Automático

Definiu-se dois modos para o funcionamento do sistema devido à algum motivo de manutenção ou necessidade do proprietário do sistema em liberar a quantidade de água sem ter que inserir alguma moeda, portanto utilizando dos conceitos definidos na seção 3.3 o sistema deve funcionar conforme a descrição abaixo.

No modo Manual todos os subsistemas ficam desativados, durante o acionamento deste modo todos os *led's* não podem ser acionados, apenas o botão de início de processo deve estar disponível para acionar. Para liberação da água, o usuário ou proprietário deve manter pressionado o botão para iniciar o processo, então o CLP envia o sinal de abertura máxima da válvula (10 VCC), somente será interrompido este sinal no momento em que o botão seja desacionado, ou seja, enquanto este estiver pressionado a água será liberada. Houve a necessidade de criar uma memória interna que define este modo, sendo esta definida na programação como *%M2*.

Neste modo, todas as variáveis e memórias são zeradas, caso o processo esteja no modo automático e a chave seletora seja posicionada para manual, o sistema interrompe todo o processo, paralizando-o e zerando as informações.

Exibe-se por meio da figura 32 a programação para este modo conforme descrito.



Figura 32 – Captura da tela da programação modo manual.

No modo Automático todos os subsistemas ficam disponíveis, impossibilitando de realizar qualquer processo independente ou manual. Criou-se a memória interna $%M1$ para representar o acionamento da chave seletora no modo definido, sendo esta endereçada no CLP como entrada $%I1.12$, conforme exibido na figura 33. A caracterização ao cliente que o sistema está em modo automático é representada pelo *led* sistema disponível acionado.

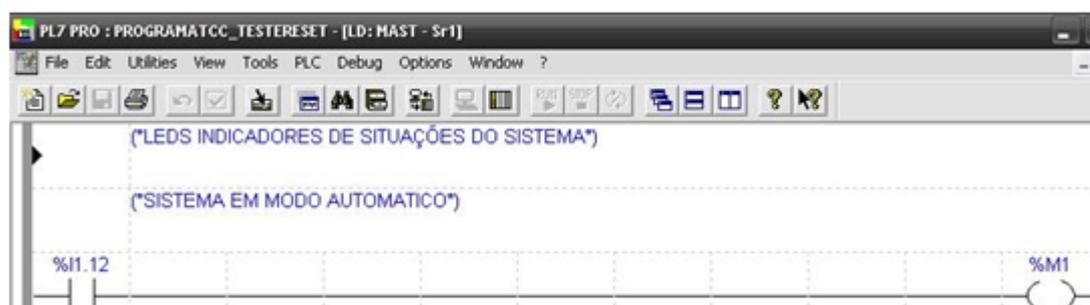


Figura 33 – Captura da tela da programação modo automático.

O acionamento elétrico do *led* foi definido para o modo manual, assim com a chave no modo automático este não irá permanecer aceso, somente para o acionamento do outro modo.

3.3.4.2 Devolução valor pago

Para o processo de devolução do valor pago, neste protótipo, não será implementado fisicamente devido a necessidade de adquirir um atuador linear elétrico para que se possa definir o destino das moedas ao inseri-la, portanto foi desenvolvido a programação para a realização desta função integrada a todo sistema, porém somente poderá ser visualizado a sua atuação diante de uma simulação no software.

As condições para ocorrer a devolução são sistema em modo automático, por meio do botão de comando parar/devolver $%I1.11$ somente para o caso em que não foi iniciado o sistema de enchimento, esta estratégia foi adotada levando em consideração que o cliente tem como visualizar por meio dos *led's* indicadores de litros, o quanto foi identificado sabendo a relação litro-volume. Portanto, para o projeto do sistema definiu-se que o

cliente sabe o valor que irá depositar e quanto terá em equivalência de água, logo se por algum motivo o cliente desistir de adquirir o produto pode pressionar o botão e haverá a devolução integral do valor.

O funcionamento idealizado para este sistema, caso houvesse o atuador linear, seria as moedas após a identificação percorreriam um segundo trilho levando-as para um bifurcação onde neste local haveriam dois autadores lineares ou pistões elétricos, onde conforme o acionamento dos botões de comando seriam acionados permitindo a passagem das moedas para um cofre ou devolução de volta ao cliente.

Foi desenvolvida a programação para esta situação, porém devido a não possuir o dispositivo, definiu-se as memórias internas do sistema como $\%M40$ e $\%M41$ para as condições de devolução ao cliente e passagem ao cofre respectivamente, porém para tornar mais fácil a visualização durante a simulação desta etapa definiu-se a saída que estava livre $\%Q2.9$ para ser acionada indicando o pistão de devolução do valor, conforme exibido na figura 34.

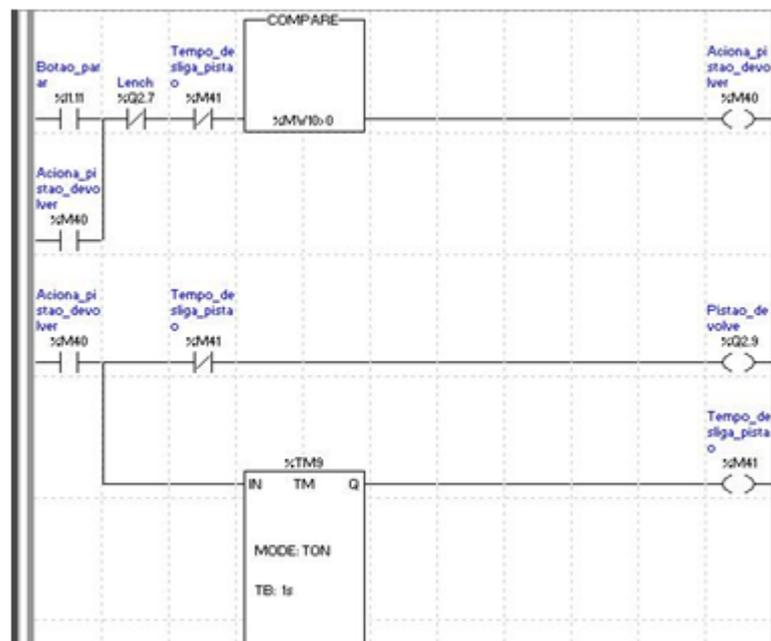


Figura 34 – Captura da tela da programação para a devolução do valor pago.

Observa-se que as condições para funcionamento da devolução são representadas na programação, necessitando que o sistema não esteja enchendo e que alguma moeda tenha sido detectada, sendo representada pelo armazenamento de $\%MW10$ e também a necessidade de pressionar o botão parar/devolver. Ao pressionar o botão aciona-se um temporizador para 5 segundos $\%TM9$, onde após este tempo o pistão deve fechar a passagem das moedas.

3.3.4.3 Conversão valor pago-volume disponibilizado

Para a conversão do valor inserido em moedas para o volume a ser disponibilizado ao cliente utiliza-se a relação de 5 centavos equivalente a 1 litro, portanto para a realização desta conversão foi necessário a criação de uma memória interna do tipo *WORD*, 16 bits, isto deve-se ao fato de ter que se manusear números inteiros decimais, portanto sendo de 16 bits é possível que o valor atinja de -32768 a +32768, esta memória foi definida como *%MW10*.

A utilização de *%MW10* na programação serviu como registrador da quantidade de litros após a identificação, pois a cada valor inserido de moeda incrementa-se o correspondente em litros nesta variável, respeitando a relação centavos-litros definida e representada na tabela 3, na figura 35 representa-se o processo de conversão para a moeda de 25 centavos.

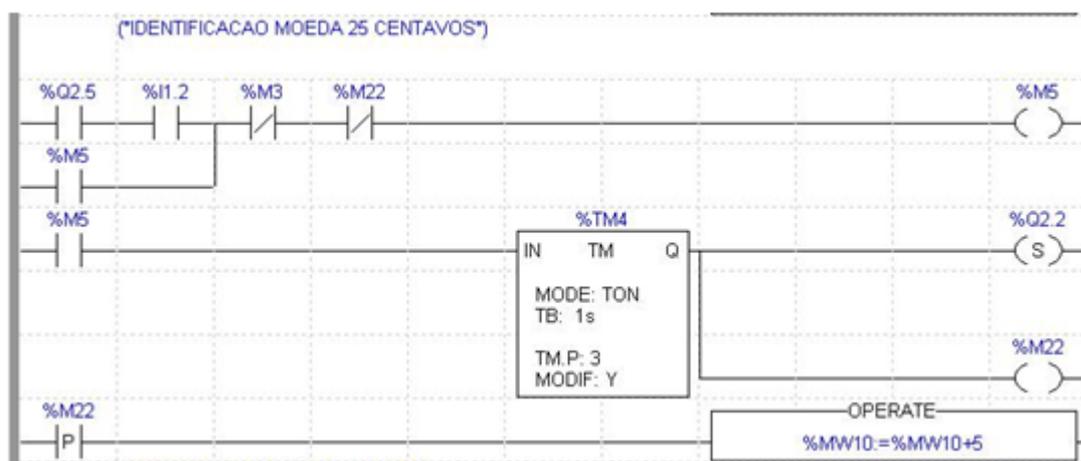


Figura 35 – Captura da tela da programação de conversão do valor de 25 centavos em 5 litros.

Observa-se que ao identificar a moeda de 25 centavos, realizada após o acionamento do temporizador *%TM4*, a memória interna *%M22* é setada a nível lógico alto e na borda de subida do acionamento desta memória aciona-se a operação de incremento de *%MW10* somando 5 ao seu valor atual, representando a quantidade de litros equivalente.

A programação segue o mesmo princípio para os demais valores de moedas conforme relação apresentada na tabela 3 a ser incrementado na memória *%MW10*.

O valor armazenado em *%MW10* é movimentado para realização do cálculo do tempo de abertura da válvula no instante em que o botão de início de processo é acionado e neste momento também é movimentado o valor 0 para esta memória.

Tabela 3 – Equivalência centavos-litros utilizado no sistema.

| VALOR IDENTIFICADO | QUANTIDADE DE LITROS EQUIVALENTE |
|--------------------|----------------------------------|
| 5 centavos | 1 Lt |
| 10 centavos | 2 Lt |
| 25 centavos | 5 Lt |
| 50 centavos | 10 Lt |
| 1 real | 20 Lt |

3.3.4.4 Cálculo tempo abertura válvula

Sabendo que a vazão será controlada e seu valor manter-se dentro de uma faixa, é possível definir quantos litros foram disponibilizado por meio do tempo em que a válvula se manteve aberta. Portanto, partindo deste princípio é necessário que a cada início do processo de liberação do volume de água para o cliente seja calculado um novo tempo para manter a válvula aberta tendo como referência o valor pago.

O valor para a vazão (litros/minuto) a ser controlado definido foi armazenado como uma constante do tipo *WORD*, 16 bits, definida como *%KW0*, a utilização deste tipo de constante deve-se ao mesmo motivo para a memória *%MW10*.

O software *PL7@* dispõe para sua programação dois tipos de operação aritmética para divisão para utilizar com variáveis do tipo *WORD*, sendo estas:

- Operação de divisão comum, utilizando como sintaxe $Variável_{resultado} := Var_1 / Var_2$ por meio do bloco de função *Operate*, sendo o valor da divisão um número inteiro devido ao tipo de variável utilizada na divisão e o resultado necessita que seja também do tipo *WORD*.
- Operação de divisão tendo como resultado o resto desta operação, utilizando a sintaxe $Variável_{resultado} := Variável_1 \text{ REM } Variável_2$ por meio do bloco de função *Operate*, sendo nesta operação o valor a ser armazenado no resultado do tipo *WORD* e inteiro.

O cálculo do tempo será baseado em duas operações de divisão onde o resultado destas será aplicado em dois temporizadores, onde no primeiro constará o tempo em minutos em que a válvula necessitará ficar aberta e o outro temporizador constará o resultado dos segundos restantes da divisão. Isso deve-se ao fato que a divisão fornecida para programação só utiliza números inteiros e é necessário então ter uma segunda operação para que seja levada em consideração o tempo “quebrado” da divisão.

Portanto, na programação o resultado das operações de divisão são movimentadas para dois temporizadores, onde o primeiro contará os minutos e o segundo contará os segundos, sendo que este só deve iniciar o tempo após o término do primeiro temporizador.

Para o cálculo do tempo em que a válvula deve ficar aberta utilizou-se as duas funções disponíveis para a operação de divisão para obter os tempos em minutos e segundos e a programação definida deve-se respeitar a ordem na sequência apresentada:

1. Para cálculo dos minutos a se manter aberto, utiliza-se o valor armazenado na memória de incremento do volume pago $\%MW10$, este valor é então dividido por meio da função de divisão comum pelo valor armazenado e definido para a vazão, $\%KW0$, obtendo o tempo em minutos a ser mantido aberta a válvula conforme a equação: $\%MW_x := \%MW10/\%KW0$
2. Para cálculo dos segundos, utiliza-se o valor armazenado na memória de incremento do volume pago $\%MW10$, este valor é então dividido por meio da função REM por $\%KW0$, o resultado desta operação deve-se então multiplicar por 10 para que seja um número inteiro e então o resultado desta multiplicação divide-se por 6 obtendo o resultado em segundos, segue a ordem das operações: $\%MW_y := \%MW10 \text{ REM } \%KW0 \rightarrow \%MW_z := \%MW_y * 10 \rightarrow \%MW_k := \%MW_z/6$
3. Movimenta-se o resultado $\%MW_x$ para o temporizador a contar minutos e o resultado $\%MW_k$ para o temporizador dos segundos, o temporizador 2 iniciará somente após acionamento da saída do temporizador 1 indicando término do seu tempo. Ao iniciar o primeiro temporizador, o CLP envia um sinal para a válvula abrir conforme o controle aplicado para manter a vazão constante.
4. Após os tempos, envia-se o sinal OV para a válvula de controle fechar.

Exibe-se na figura 36 o resultado da programação para o cálculo de tempo a se manter aberta a válvula com aplicação das regras definidas.³⁶

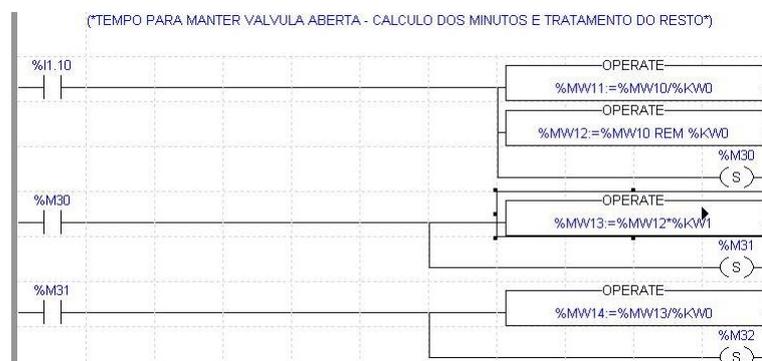


Figura 36 – Captura da tela da programação para calcular o tempo em que a válvula deverá manter-se aberta.

3.3.5 Interface

A interface entre o usuário e o sistema foi montada em material MDF, contendo nove *led's*, sendo cinco na cor amarela para indicar a quantidade correspondente de litros do valor depositado que representam 1, 2, 5, 10 e 20 litros, dois para informar o estado do sistema, disponível na cor verde e enchendo na cor vermelha, um *led* na cor branca para informar a detecção do recipiente realizada por um sensor capacitivo e o outro na cor vermelha para indicar ao cliente a não inserir moedas de acordo com as situações programadas para seu acionamento. Possui também nesta interface, dois botões, sendo um para iniciar o processo e o outro com duas funções, parada de emergência ou devolução do valor integral depositado. Além disso, possui também nesta interface o rasgo para inserção da moeda no identificador.

O desenvolvimento da interface baseou-se na necessidade em ter alguma forma de indicar ao cliente o quanto ele pagou e assim como acionar o início do processo, tendo como modelo painéis elétricos de comando utilizados na indústria com objetivo de desenvolver um painel de fácil entendimento ao usuário.

3.3.5.1 Confeção da interface

Para a confecção da interface utilizou-se uma placa em material MDF branco com 130 centímetros (cm) de altura, 52 cm de largura e 1.5 cm de espessura.

Foram realizados onze furos na placa para posicionamento dos *led's* e botões de comandos, o diâmetro realizado destes furos definiu-se em 22 mm devido a característica dimensional dos dispositivos a serem utilizados.

Os furos foram realizados por meio de uma furadeira com um broca do tipo serra copo bimetálica de 22 mm, exibe-se na figura 37 o resultado dos furos:

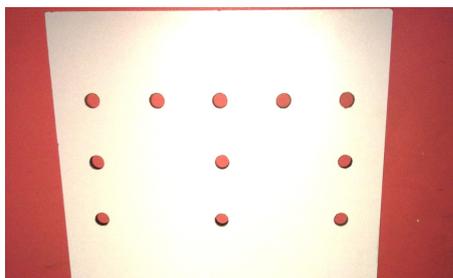


Figura 37 – Resultado dos furos no painel em MDF da interface.

A realização do rasgo para passagem da moeda, levou-se em consideração os aspectos dimensionais destas exibidos na tabela 5 para fosse definido a altura e largura do rasgo para permitir a passagem de todas as moedas e por meio de um serra tico-tico, figura 48, realizou-se a abertura na placa em MDF com altura de 35 mm e largura em 5mm, o resultado do rasgo é exibido na figura 38.



Figura 38 – Resultado da confecção do rasgo para passagem da moeda.

O resultado final da interface, após o posicionamento de todos os dispositivos na mesma e identificados com cada função é exibido na figura 39.



Figura 39 – Resultado final da interface com todos dispositivos posicionados e identificados.

3.3.5.2 Programação da interface

Devido a possuir na interface indicadores com diferentes significados, a programação para os *led's* foi dividida em dois tipos, indicadores de litros e indicadores do sistema.

Indicadores de litros: têm a função de indicar quantos litros é o equivalente ao armazenado na variável $\%MW10$, utilizada para incrementar a quantidade de litros a cada inserção de moeda, portanto os sinalizadores luminosos ficam dispostos em maneira crescente na interface sendo: 1, 2, 5, 10 e 20 litros.

A programação para este baseia-se na quantidade armazenada na variável antes de ser pressionado o botão de início do processo, a cada valor incrementado os *led's* são acionados para representar a quantidade atual da variável, por exemplo, ao inserir a moeda de 50 centavos, incrementa-se a quantidade de litros equivalente em $\%MW10$ e então o sistema aciona o *led* para a quantidade de 10 litros, $\%Q2.3$, caso o usuário insira uma nova moeda dessa vez com valor de 10 centavos, incrementa-se a quantidade de litros equivalente e o novo valor de $\%MW10$ é 12, portanto acionando os *led's* para 2 e 10 litros, $\%Q2.1$

e %Q2.3 respectivamente. Exibe-se na figura 40 a programação para interface do tipo indicadores de litros.

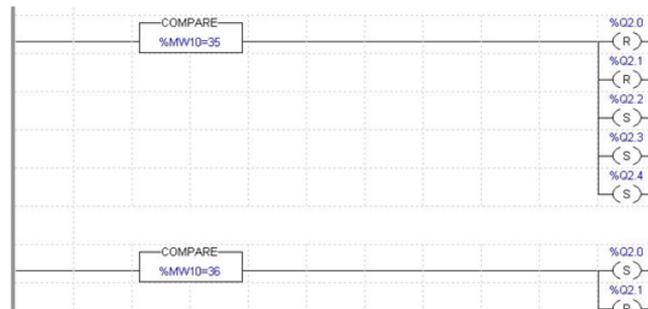


Figura 40 – Captura da tela da programação para indicadores de litros na interface.

Indicadores do sistema: têm a função de indicar ao usuário a situação atual do processo como, disponível, enchendo, recipiente detectado e não inserir moedas. Este indicadores só devem funcionar no modo automático.

Para o sistema disponível e enchendo os *led*'s correspondentes são acionados conforme definição na secção 3.3, para o enchendo há a condição que as saídas dos temporizadores de tempo de abertura da válvula não tenham sido concluídos..

Para o recipiente detectado, o sensor capacitivo posicionado em altura para detecção do recipiente %I1.5, envia o sinal para o acionamento do *led* correspondente, a necessidade de implantar a indicação do recipiente deve-se a evitar o desperdício de água em caso do sistema estiver liberando água ou o não acionamento da liberação da água por não detectar o recipiente.

Exibe-se por meio da figura 41 o acionamento dos *led*'s: disponível, detecção de recipiente e enchendo.



Figura 41 – Captura da tela da programação dos *led*'s: disponível, detecção de recipiente e enchendo.

Para a indicação de não inserir moedas, têm-se dois cenários para o seu acionamento, o primeiro momento é o instante em que o usuário insere a moeda e o *led* é acionado durante três segundos com objetivo de fazer correntemente a identificação do valor, o outro momento é quando o sistema atinge a capacidade máxima, percebido por meio de

um bloco para comparar se o valor de $\%MW10$ é maior ou igual a 38, e então o *led* de sistema disponível apaga-se e o não inserir moeda mantém-se acionado até o momento que o usuário aciona o botão de início de processo.

Exibe-se por meio da figura 42 a programação do acionamento das duas condições para o *led* não inserir moeda.

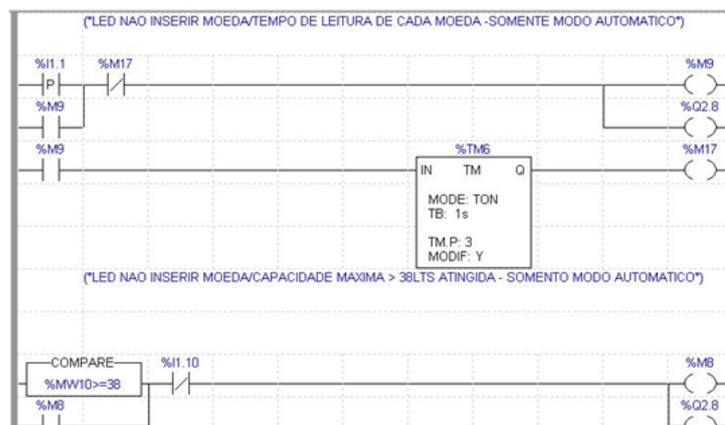


Figura 42 – Captura da tela da programação para os dois cenários do *led* não inserir moedas.

3.4 Identificadores de Moedas

Para a realização da identificação das moedas utilizou-se o princípio da lógica de detecção dos sensores. A escolha baseou-se após uma pesquisa bibliográfica abrangente sobre as formas existentes para a identificação de moedas, em escolher uma técnica que fosse possível aplicá-la em um CLP.

A escolha desta técnica foi definida levando em consideração as duas possíveis formas de identificação possíveis para aplicação, uma delas e comumente utilizada no mercado proposta por (EKMAN, 1982), onde nesta utiliza um campo magnético e a interferência gerado pela passagem da moeda a identifica e a outra proposta por (TURATTI et al., 2010), utilizando a lógica de detecção dos sensores.

Para aplicação da primeira técnica citada necessitaria de sensores de campo magnético, sendo que possuem um alto custo para aquisição e aplicação voltada principalmente para utilização em sistemas embarcado com microcontroladores, o que dificultaria na implantação no protótipo em um CLP. Portanto, para a segunda técnica citada, para aplicação e desenvolvimento do protótipo seria necessário apenas à aquisição de sensores indutivos, estes com custo de aquisição significativamente menor comparado ao de campo magnético.

Para o desenvolvimento desta técnica é necessário que tenha sensores indutivos de tamanhos iguais e um suporte contendo um trilho onde a moeda deve passar e neste deverá conter e uma placa em ângulo reto com o trilho para que seja possível posiciona os sensores conforme a altura de cada moeda para sua detecção. A lógica de detecção será

feita de acordo com o sinal dos sensores enviado ao CLP, onde este irá tratar estes dados identificado-as.

3.4.1 Sensor indutivo – IFL-2-8M-10P *Schmersal*®

O sensor indutivo utilizado foi do fabricante Schmersal de referência IFL-2-8M-10P, figura 43. As características principais deste sensor fornecidas pelo fabricante são descritas na tabela 4.

Tabela 4 – Principais características do sensor utilizado.

| Sensor | Tipo Sinal de Controle | Alimentação | Diâmetro | Distância Detecção (Sn) |
|--------------|------------------------|-------------|----------|-------------------------|
| IFL-2-8M-10P | PNP | 10 – 30 VCC | 8 mm | 2 mm |

A escolha deste sensor levou-se em consideração a distância de detecção, pois a diferença dos diâmetros de 80% das moedas é igual a 2 milímetros (mm), portanto um sensor com um raio de detecção maior que este valor não estaria de acordo com a proposta.



Figura 43 – Sensor indutivo utilizado para a identificação das moedas.

3.4.2 Suporte para detecção

A confecção do suporte para detecção dividiu-se em duas etapas: trilho para passagem da moeda e suporte para posicionamento dos sensores. A matéria-prima do suporte para detecção utilizado foi MDF, *Medium Density Fiberboard*, cujo significado em português é placa de fibra de média densidade, sendo material oriundo da madeira, fabricado com resinas sintéticas.

3.4.2.1 Trilho para passagem da moeda

Para confecção do trilho foi levado em consideração alguns aspectos físicos das moedas que serão utilizadas no sistema tais como: largura da moeda de maior espessura e diâmetro da menor moeda conforme exibido na tabela 5.

Tabela 5 – Diâmetro e espessura das moedas da atual família do sistema monetário brasileiro.

| MOEDA | DIÂMETRO | ESPESSURA |
|-------------|----------|-----------|
| 5 centavos | 22 mm | 1,65 mm |
| 10 centavos | 20 mm | 2,23 mm |
| 25 centavos | 25 mm | 2,25 mm |
| 50 centavos | 23 mm | 2,85 mm |
| 1 Real | 27 mm | 1,95 mm |

O conhecimento sobre a largura da moeda de maior espessura definiu o tamanho da abertura do trilho, caso o valor fosse menor ou igual à espessura verificada na tabela 5 a passagem da moeda seria lenta ou travaria, porém em caso que fosse muito maior inclinaria a moeda horizontalmente e acarretaria em detecções errôneas dos diâmetros por parte dos sensores. Portanto, este valor ficou definido em 3 mm o tamanho da abertura do trilho após da realização de testes para verificar do quão inclinada passaria todas as moedas, no qual este valor pareceu ser ideal.

O trilho necessitou de um guia para que as moedas ao passar mantivesse uma inclinação horizontal constante, para isso a informação sobre o menor diâmetro foi utilizada, pois baseado nele foi determinado que a altura deste fosse em 15 mm de modo a não atrapalhar a detecção conseguindo então atingir o objetivo deste guia.

O resultado a confecção do trilho é exibido na figura 44.

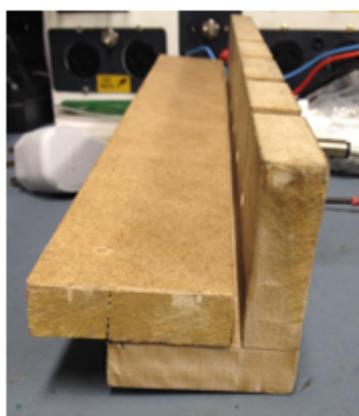


Figura 44 – Trilho para passagem das moedas.

Foram utilizados para confecção do trilho uma serra tico-tico, parafusos para madeira e três placas pequenas de MDF.

3.4.2.2 Suporte para posicionamento dos sensores

Devido ao sistema aceitar cinco tipos de moedas e estas com diâmetros diferentes, necessitou-se de realizar a mesma quantidade de furos no suporte, sendo este com matéria-

prima do tipo madeira em MDF.

O diâmetro dos furos baseou-se na mesma característica dimensional do sensor conforme exibido na tabela 4, 8 mm. A distância entre o trilho e cada furo levou-se em consideração os valores de diâmetros das moedas, exibido na tabela 5.

A realização dos furos no suporte foi realizada na ordem crescente dos valores na tabela 5, iniciando com a moeda de 10 centavos e encerrando com a de 1 real. O furo realizado foi do tipo oblongo, furo passante elíptico conforme exibido na figura 45, devido à necessidade de se fazer ajustes mais precisos na altura optou-se por este tipo de furação.

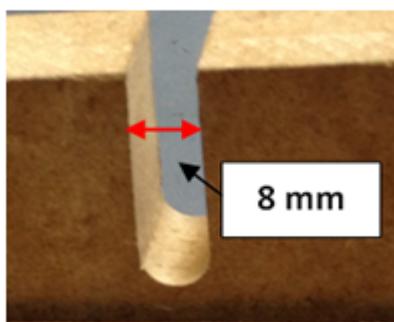


Figura 45 – Furo oblongo realizado com largura de 8 mm.

Na figura 46 é exibido o suporte montado completo e utilizando o sensor indutivo em um dos furos com objetivo de testar as condições do suporte completo na detecção das moedas.

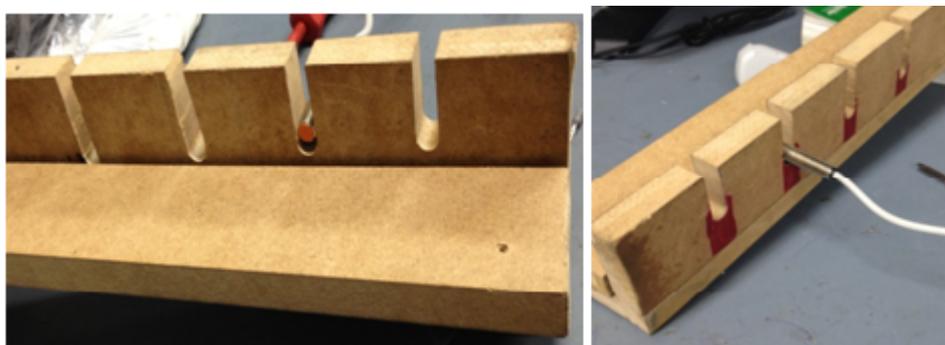


Figura 46 – Teste das condições do suporte montado na detecção das moedas.

O teste realizado teve objetivo de verificar a condição de atrito do trilho, a fim de detectar pontos de travamento da passagem da moeda, assim como verificação do diâmetro de cada furo com o posicionamento do sensor e também se com as alturas dos furos seria possível detectar as moedas. O sensor foi energizado e com o teste conclui-se que o suporte necessitava apenas do desbaste nos furos para fixação dos sensores.

O sensor indutivo utilizado por ter o corpo em formato rosqueado foi necessário que realizasse um desbaste na peça para que fosse possível a entrada da porca fixadora do mesmo, aplicando este processo de usinagem em toda extensão do furo oblongo, o tamanho foi determinado pela largura externa da porca sextavada.

Para fins de acabamento e conservação da peça foi aplicada uma tinta para madeira na cor prata. O resultado final da peça com os sensores posicionados com suas respectivas moedas a serem detectadas é exibido na figura 47.

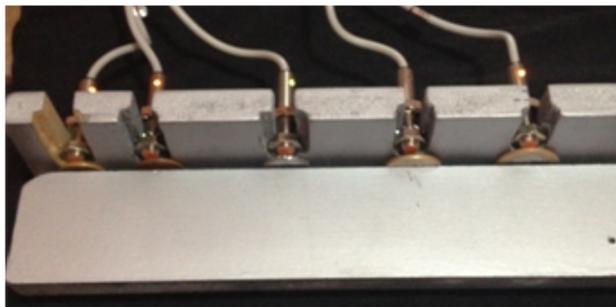


Figura 47 – Suporte completo com sensores detectando suas respectivas moedas.

Para a realização destas atividades foram utilizadas as seguintes ferramentas: serra tico-tico e furadeira de bancada exibidos na figura 48.

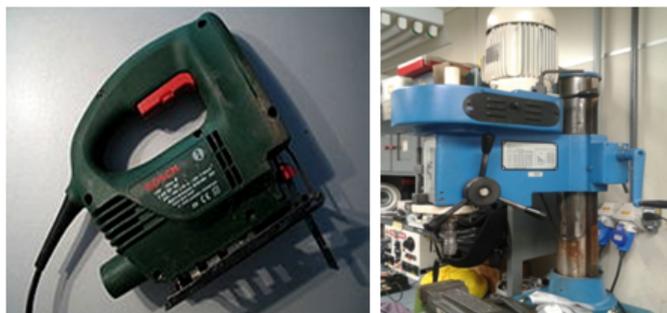


Figura 48 – Ferramentas utilizadas para confecção do suporte de detecção.

3.4.3 Programação do Identificador de Moedas

O desenvolvimento da programação para o subsistema de identificação de moedas necessitou que algumas regras fossem definidas para que o sensor ao detectar a moeda possa ser identificada corretamente pelo programa.

Primeira regra, para a detecção de cada valor os sensores devem estar em altura crescente de acordo com os valores de diâmetros exibidos na tabela 5. Portanto o primeiro sensor a ser detectado será para moeda de 10 centavos (S10), em seguida 5 centavos (S5), 50 (S50), 25 (S25) e 1 Real (S1r).

Segunda regra, a lógica dos acionamentos definida foi a detecção do sensor atual na sequência da rampa irá anular a mesma realizada pelo sensor que o antecede para a mesma moeda, por exemplo, a de 25 centavos tendo o segundo maior diâmetro será respectivamente detectada ao passar pelos sensores S10, S5, S50 e S25, sendo que este último irá anular a detecção do S50 onde este já haverá realizado o mesmo processo

para o anterior. Caso não seja respeitado esta lógica implicará que uma moeda irá ser identificada pelo programa erroneamente.

Terceira regra, a definição de qual moeda foi identificada se dá após o acionamento do seu sensor, onde este inicializa um temporizador com tempo definido em três segundos cujo objetivo é de confirmar que esta não será detectada por nenhum outro sensor no trilho.

Quarta regra, há um sinalizador luminoso na interface entre usuário e o sistema que indicará para não inserir uma nova moeda durante o três segundos seguintes a inserção de uma anterior, esta necessidade deve-se ao tempo que a moeda termina de percorrer a rampa e identifica pelo sistema.

Quinta regra, o sistema deve estar no modo automático e disponível conforme será indicado por meio de sinalizadores luminosos para o usuário.

Para o caso em que não for respeitado alguma desta regra, o sistema irá identificar erroneamente ou não identificará nenhuma moeda que passar pelo trilho.

Foram criadas algumas memórias internas e também algumas siglas representando o acionamento das entradas no CLP por parte dos sensores instalados, com objetivo de facilitar a programação e sendo estas exibidas na tabela 6.

Exibe-se na figura 49 a programação realizada para a identificação da moeda de 25 centavos.

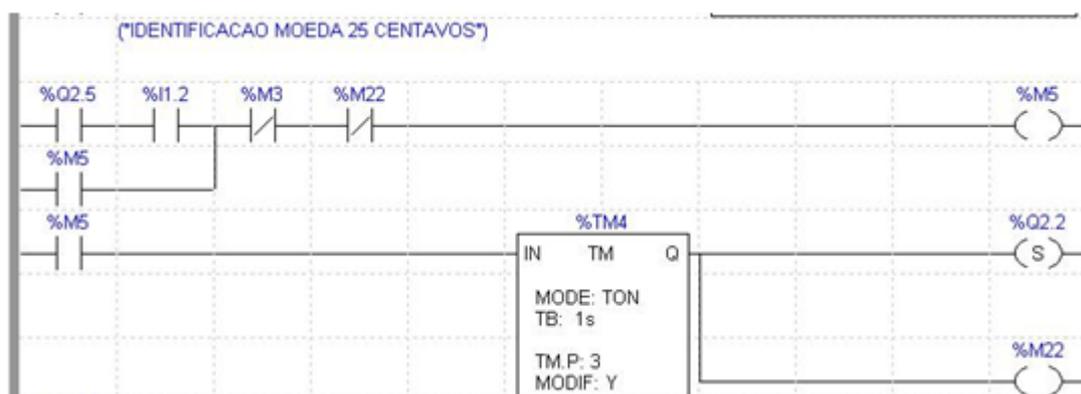


Figura 49 – Captura da tela de programação da identificação da moeda 25 centavos.

Na figura 49, observa-se o processo seguindo as regras determinadas, podendo ser descrito na sequencia lógica da linha como: o sistema deve estar disponível, após o pulso do sensor S25 é enviado um sinal lógico de nível 1 para a memória M5 desde que não tenha sido acionado a memória M3, esta acionada em caso de detecção do sensor seguinte S1r. A memória M5 inicializa na linha seguinte o temporizador para confirmar a identificação da moeda e então após o tempo programado desaciona M5. A programação segue o mesmo padrão para os demais acionamentos, com variação apenas das variáveis e entradas de acordo com cada moeda a ser identificada.

Tabela 6 – Memórias e siglas para programação da identificação de moedas.

| VARIÁVEL | TIPO | FUNÇÃO NO SISTEMA |
|----------|------------------------------|---|
| S5 | Entrada CLP – Endereço %I1.0 | Deteccção moeda 5 centavos |
| S10 | Entrada CLP – Endereço %I1.1 | Deteccção moeda 10 centavos |
| S25 | Entrada CLP – Endereço %I1.2 | Deteccção moeda 25 centavos |
| S50 | Entrada CLP – Endereço %I1.3 | Deteccção moeda 50 centavos |
| S1r | Entrada CLP – Endereço %I1.4 | Deteccção moeda 1 real |
| M3 | Memória interna | Acionamento após deteccção S1r |
| M4 | Memória interna | Acionamento após deteccção S50 |
| M5 | Memória interna | Acionamento após deteccção S25 |
| M6 | Memória interna | Acionamento após deteccção S10 |
| M7 | Memória interna | Acionamento após deteccção S5 |
| M20 | Memória interna | Acionamento após tempo de confirmação temporizador %TM2 - 5 centavos |
| M21 | Memória interna | Acionamento após tempo de confirmação temporizador %TM1 - 10 centavos |
| M22 | Memória interna | Acionamento após tempo de confirmação temporizador %TM4 - 25 centavos |
| M23 | Memória interna | Acionamento após tempo de confirmação temporizador %TM3 - 50 centavos |
| M24 | Memória interna | Acionamento após tempo de confirmação temporizador %TM5 - 1 real |
| LSL | Saída CLP - Endereço %Q2.0 | Indicador para o usuário que o sistema está disponível |

3.5 Controle de Vazão

O subsistema de controle de vazão possui um tanque de armazenamento com capacidade de 65 litros, onde neste posicionados em alturas diferentes e de iguais distâncias entre si, quatro sensores do tipo bóia magnética que indicam o nível da água nestes pontos e uma válvula de controle proporcional que regula a vazão de saída deste tanque.

Sabendo-se que a variação do nível em um tanque causa diferentes valores para vazão, foi necessário conhecer uma forma de controle que mantivesse a vazão dentro de um valor determinado. Devido aos sensores de níveis não serem da forma contínua no tempo, a teoria de controle mais indicada para este tipo de sistema é por meio do controle adaptativo utilizando a técnica de escalonamento de ganhos, onde os valores discretos da variável auxiliar (nível) que influenciam diretamente na dinâmica da planta servem de ajuste para o parâmetro do controlador, no caso ganho ou tensão aplicada na válvula de controle para ajustar a sua abertura.

Portanto, durante o processo de liberação do volume pago, cada acionamento do sensor de nível será enviado por meio do CLP um sinal analógico de tensão para a válvula de

controle a fim de ajustar a sua abertura e manter a vazão dentro de um valor definido.

Sabendo que a vazão mantém-se em torno de um valor constante, pode-se definir por meio de cálculo realizado pelo subsistema de gerenciamento quanto tempo a válvula deve ficar aberta para fornecer o volume requerido.

A amplitude do sinal analógico a ser enviado foi determinada realizando testes com um sensor de fluxo de efeito hall por meio de um microcontrolador, testando em cada posição dos níveis a variação da abertura da válvula e adquirindo os dados de vazão para cada valor de tensão aplicada ao atuador.

Para a realização deste subsistema de controle de vazão necessitou-se de conhecer quais válvulas de controle possuíam no mercado, sua viabilidade financeira na implantação do projeto e adquiri-la, bem como montar a estrutura hidráulica do sistema e adequar o tanque reservatório e os sensores de nível para o presente trabalho.

3.5.1 Válvula de controle proporcional EMO-35M-24 VSI®

A válvula de controle para a regulação da vazão de saída do tanque que foi utilizada é do tipo proporcional, modelo EMO-35M-24 do fabricante VSI® exibida na figura 50, com característica de abertura do tipo igual porcentagem e o seu sinal de controle proporcional de 2 a 10VCC, o diâmetro do corpo da válvula é de ½”, 15 milímetros.



Figura 50 – Válvula de controle proporcional utilizada.

Para a escolha da válvula de controle levou-se em consideração qual o valor da vazão que se pretendia controlar baseando-se no coeficiente de vazão da válvula, nesta tem-se $CV=2,9$ galão/minuto para uma pressão de 1 psi e conforme Ribeiro (1999), convertendo este valor para unidade do sistema internacional KV ($m^3/h.bar$) utilizando a equação:

$$KV = 0,865 * CV$$

Utilizando o valor resultante da equação convertendo-o para litros/minutos, tem-se que a válvula completamente aberta para uma diferença de pressão em 1 bar tem a vazão de 41,80 litros/minutos.

Portanto, considerando que o protótipo do atual trabalho não necessita de um valor maior que este para a vazão e sendo este o menor valor fornecido pela maioria dos fabricantes para este tipo de atuador, logo esta válvula se mostrou ideal para aplicação no sistema proposto.

3.5.2 Sensor de nível tipo bóia magnética LA16M-40 ICOS®

O sensor de nível utilizado para realizar a medição dos quatro níveis diferentes no tanque foi LA16M-40 do fabricante ICOS® exibido na figura 51, onde este possui os contatos normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF) apenas girando sua posição conforme exibido na figura 17, este dispositivo permite que seja aplicado uma diversa gama de tensões para funcionar.



Figura 51 – Sensor de nível tipo bóia magnética utilizado.

O funcionamento deste sensor é semelhante a uma chave, quando o nível movimentada a sua haste para 180° na horizontal, o contato se fecha permitindo o envio da tensão aplicada para o dispositivo de controle. A escolha deste sensor caracterizou-se principalmente pela simplicidade para sua implementação e por ser um equipamento de baixo custo comparado com os demais disponível no mercado.

Para a instalação dos sensores utilizou-se um adaptador fornecido pelo fabricante para encaixe em uma tubulação soldável de 25 mm, onde dentro desta foi passado os cabos de acionamentos de elétrico.

O tanque tem uma altura de 45 cm, portanto o primeiro sensor ($S_{n1/4}$) localizado mais próximo do fundo do tanque foi instalado a uma altura de 4 cm e o seu encaixe na tubulação foi realizado por meio de um cotovelo de mesmo diâmetro, sendo os outros três encaixados utilizando um TEE de mesmas características com distância entre estes de 13 cm.

As distâncias foram baseadas na divisão na altura do tanque, dividindo em tamanhos iguais este valor foi definido em 13 cm. Exibe-se por meio da figura 52 os sensores posicionados antes e depois de ser instalados no tanque.



Figura 52 – Sensores de nível posicionados antes da instalação no tanque (esq.) e após a instalação (dir.).

Observa-se que o sensor $Sn1/4$ foi instalado de forma invertida horizontalmente para que este sensor seja de contato normalmente fechado e os demais normalmente aberto, isto deve-se ao fato que o $Sn1/4$ por ser o mais próximo do fundo do tanque ao baixar seu nível a haste enconstaria no fundo.

3.5.3 Instalação hidráulica do subsistema de controle de vazão

A instalação hidráulica deste subsistema foi definida em tubulações de diâmetro 1/2” devido ser a mesma bitola da válvula de controle. Utilizou-se um tanque de 65 litros para simular uma caixa d’água de armazenamento, onde neste foi furado com o tamanho do diâmetro da tubulação utilizada para a inserção de uma conexão hidráulica para interligar a saída deste tanque com a instalação hidráulica.

A tubulação de 1/2” utilizada foi do tipo rosqueável devido a facilidade no manuseio para inserir novas ramificações. Na saída do tanque um TEE e uma válvula do tipo fechamento rápido para uma necessidade de escape caso a válvula de controle esteja fechada.

A válvula de controle foi instalada após o TEE e a sua saída levada até o painel de interface, onde neste contém o furo para a saída na água para o recipiente do cliente.

Por meio da figura 53 é exibido parte da instalação hidráulica do subsistema, contendo o tanque e a interligação com a válvula de controle.



Figura 53 – Parte da instalação hidráulica do subsistema de vazão.

3.5.4 Aquisição dos dados de vazão para cada nível

A aquisição dos dados da vazão da válvula foi realizado por meio de uma programação no microcontrolador *Arduino*, com a utilização de um sensor de fluxo hall.

Os dados da vazão foram adquiridos utilizando a programação exibida na figura 54.

```

Programa_aquisicao_dados_valvula
float vazao=0; //Variável para armazenar o valor em L/min
float media=0; //Variável para tirar a média a cada 1 minuto
int contaPulso; //Variável para a quantidade de pulsos
int i=0; //Variável para contagem

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Inicia a serial com um baud rate de 9600

  pinMode(2, INPUT);
  attachInterrupt(0, incpulso, RISING); //Configura o pino 2(Interrupção 0) para trabalhar como interrupção
  Serial.println("\n\nInicio\n\n"); //Imprime Inicio na serial
}

void loop ()
{
  contaPulso = 0; //Zera a variável para contar os giros por segundos
  sei(); //Habilita interrupção
  delay (1000); //Aguarda 1 segundo
  cli(); //Desabilita interrupção

  vazao = contaPulso / 7.5; //Converte para L/min
  media=media+vazao; //Soma a vazão para o calculo da media
  i++;

  Serial.print(vazao); //Imprime na serial o valor da vazão
}

```

Figura 54 – Captura da tela da programação realizada para aquisição dos dados de vazão da válvula de controle.

A programação realizada baseou-se nos dados fornecidos pelo fabricante do sensor de fluxo, onde em cada segundo, para calcular o valor da vazão em litros/minutos deve-se dividir a quantidade de pulsos emitidas pelo sensor durante este tempo utilizando a equação: $Vazão_{litros/minutos} = quantidade_{pulsos} / 7.5$, com esta equação programou-se que o microcontrolador realizaria a contagem de pulsos por meio da função *sei()*; aguardando o tempo de 1 segundo *delay (1000)*; e então fechava a contagem dos pulsos utilizando *cli()*; com o valor armazenando na variável *contaPulso* calcula-se utilizando a equação fornecida para determinar a vazão instantânea da válvula.

Portanto, o procedimento foi realizado aplicando na válvula de controle tensões de 2V (tensão inicial aceita) a 10 V por meio de uma fonte de corrente contínua variável com objetivo de adquirir os valores de vazão para cada abertura corresponde a tensão aplicada, este procedimento foi realizada para cada nível do tanque com objetivo de obter uma interseção de valores para que fosse definida uma vazão igual para todos os quatros nível, sendo este o valor de vazão a ser controlado no protótipo.

Exibe-se por meio da figura 55 a obtenção dos dados para um nível.



Figura 55 – Obtenção dos valores de vazão para cada nível do tanque.

Os valores adquiridos para cada nível do tanque são exibidos por meio da tabela 7.

Tabela 7 – Valores de vazão coletados para cada abertura da válvula em cada nível.

| Nível | Tensão (Volts) | Vazao (litros/minutos) | Nível | Vazao (litros/minutos) |
|------------|----------------|------------------------|-----------|------------------------|
| 100% (4/4) | 10 | 5.35 | 75% (3/4) | 4.60 |
| | 9 | 4.8 | | 3.80 |
| | 8 | 3.14 | | 2.74 |
| | 7 | 2.27 | | 1.80 |
| | 6 | 2.00 | | 1.53 |
| | 5 | 1.23 | | 1.01 |
| | 4 | 0 | | 0 |
| | 3 | 0 | | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | |
| Nível | Tensão (Volts) | Vazao (litros/minutos) | Nível | Vazao (litros/minutos) |
| 50% (2/4) | 10 | 3.43 | 25% (1/4) | 1.25 |
| | 9 | 3.20 | | 0.86 |
| | 8 | 1.80 | | 0 |
| | 7 | 1.26 | | 0 |
| | 6 | 1.00 | | 0 |
| | 5 | 0.73 | | 0 |
| | 4 | 0 | | 0 |
| | 3 | 0 | | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | |

Observa-se que há valores preenchidos com 0 devido a pressão de passagem da água não ser suficiente para o sensor identificar o valor da vazão.

Na tabela 7 nota-se que possui um valor de vazão comum para todos os níveis, *1.25 litros/minuto*, este valor pequeno deve-se a baixa pressão hidrostática gerada devido a tanque ser pequeno e de baixa altura. Portanto, sabendo a vazão a ser controlado e a tensão que deve ser aplicada ao chegar no nível referenciado é possível realizar a programação do subsistema de controle de vazão.

3.5.5 Programa do subsistema de controle de vazão

O subsistema de controle de vazão tem a função de controlar a vazão a partir do início do processo de liberação da água baseando-se na medição dos níveis do tanque, portanto conforme o valor definido para a vazão a ser controlada por meio da análise da tabela 7 a programação foi realizada o seguinte principio:

1. O sistema deve estar no modo automático, com valor armazenado em *%MW10* e só deve enviar algum comando para a válvula após acionamento o *led* detectado recipiente, exibe-se na figura 56 este trecho da programação;

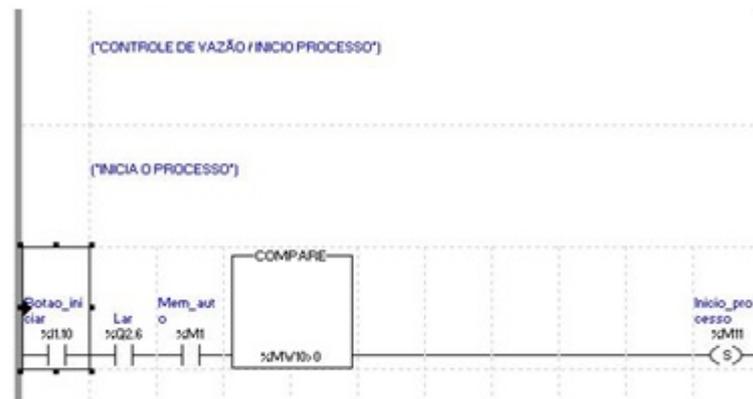


Figura 56 – Captura da tela da programação com as condições de início do subsistema de controle de vazão.

2. O envio dos sinais dos sensores de níveis determinam o valor que deve ser movimentado o valor da saída *%QW3.4*, onde este por sua vez é o endereço da saída do módulo analógico, para a tensão a ser ajustada a manter a vazão constante, exibe-se na figura 57 a programação para a detecção do nível máximo, denominado para fins de programação nível 100%, onde *%M15* é a memória acionada quando o sensor detecta o nível citado e *%M28* é a memória a acionar o temporizador dos minutos *%TM8*.

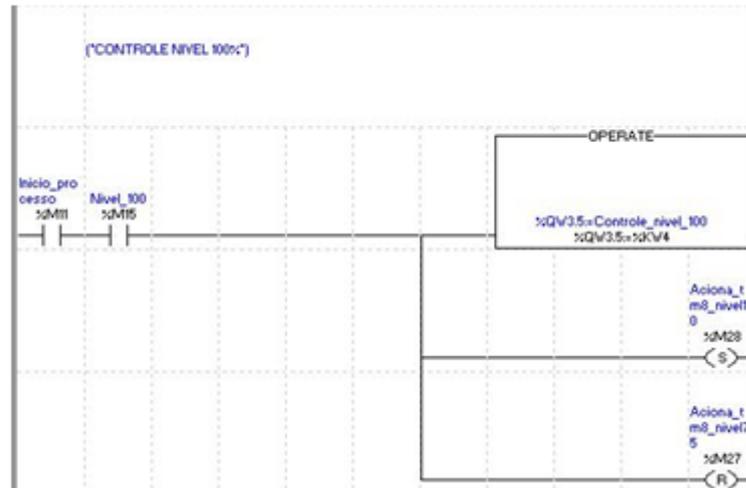


Figura 57 – Captura da tela da programação de envio de controle para a válvula com o tanque no nível máximo.

3. O tempo em que a válvula deve permanecer aberta é definida pelos temporizadores de minutos $%TM7$ e segundos $%TM8$, exibe-se na figura 58 o trecho da programação para acionamento do temporizador de minutos, onde $%M29$ representa o acionamento de todas as memórias de acionamento de comando da válvula, como a citada $%M28$.

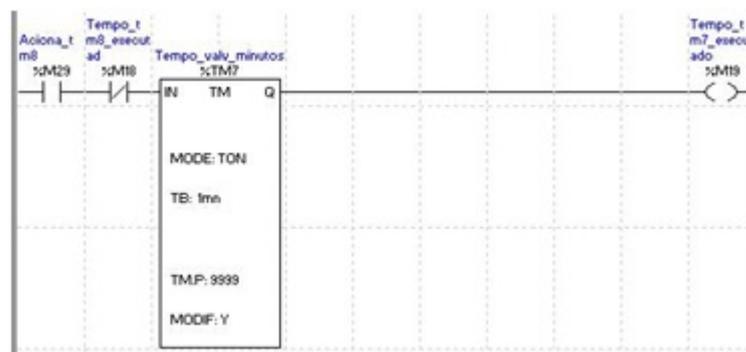


Figura 58 – Captura da tela da programação do acionamento do temporizador de minutos para manter a válvula aberta.

A programação do valor de tensão a ser enviado para o controle da válvula foi programado inserindo valor às constantes $%KW1$, $%KW2$, $%KW3$ e $%KW4$ para os níveis na ordem crescente de altura e são exibidos na figura 59 sendo estes os valores iguais aos exibidos pela figura 57.

| Address | Type | Symbol | Value | Base |
|---------|------|--------------------|-------|---------|
| %KV0 | WORD | | 0 | Decimal |
| %KV1 | WORD | Controle_nivel_25 | 10 | Decimal |
| %KV2 | WORD | Controle_nivel_50 | 7 | Decimal |
| %KV3 | WORD | Controle_nivel_75 | 6 | Decimal |
| %KV4 | WORD | Controle_nivel_100 | 5 | Decimal |
| %KV5 | WORD | Fecha_valvula | 0 | Decimal |
| %KV6 | WORD | | 0 | Decimal |

Figura 59 – Captura da tela da programação das constantes contendo os valores de tensão a serem enviados a válvula de controle.

3.6 Instalação Elétrica do Protótipo

Os subsistemas de controle de vazão, identificadores de moedas e gerenciamento foram montados na mesma placa de MDF que foi confeccionado a interface. Portanto, com o CLP instalado na interface e centralizado, foi possível dimensionar o tamanho da fiação necessária para interligação com os demais subsistemas.

A tensão utilizada em todos os dispositivos do protótipo foi definida em 24VCC com objetivo de padronizar para que se fosse possível utilizar uma fonte de alimentação externa com saída de mesmo valor.

O cabo elétrico utilizado para acionamento dos comando do subsistema de interface e controle de vazão ao CLP foi de 1.5 mm² e para o de identificação de moedas utilizou-se o próprio cabeamento disponibilizados nos sensores indutivos.

Utilizou-se numeradores para identificar os cabos de comando e alimentação, sendo que as entradas e saída foram identificados com o mesmo endereço dos bornes do CLP, conforme diagrama exibido na figura 11.

O esquema de ligação para interface é exibido por meio da figura 60.

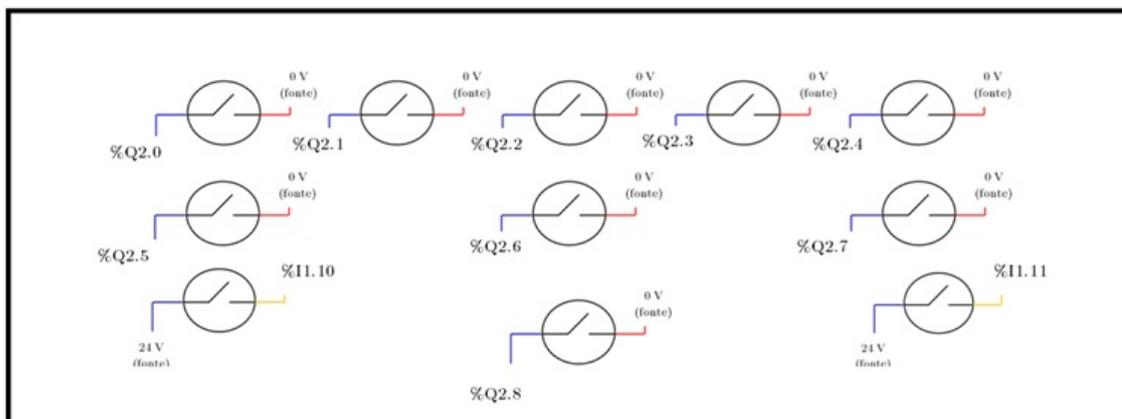


Figura 60 – Esquema da ligação elétrica para interface do protótipo.

3.7 Teste de Funcionamento do Protótipo

Foram realizados o teste e a simulação do protótipo para os subsistemas de identificação de moedas e o de gerenciamento e interface, sendo o de controle de vazão a próxima etapa a ser desenvolvida do trabalho.

O teste para o sistema de identificação de moedas foi realizado com o sistema todo montado e posicionado na rampa de passagem da moeda pela interface. O objetivo do teste era verificar se as moedas seriam identificadas corretamente e se toda instalação elétrica estava interligada pelo sistema corretamente.

Foram testadas todas as moedas aceitas pelo sistema e durante o teste percebeu-se a necessidade de fazer alguns ajustes nas alturas dos sensores indutivos posicionados para identificação das moedas, também ajustar o ângulo de inclinação da rampa para as moedas não ficarem travadas.

Ilustra-se por meio da figura 61 o subsistema de identificação montado na placa de MDF da interface após os ajustes dos sensores e da angulação.



Figura 61 – Subsistema de identificação de moedas montado na placa da interface.

O subsistema de gerenciamento e interface foi testado, com objetivo de verificar se os led's funcionariam conforme a programação realizada e verificar se ao inserir as moedas o mesmo iria indicar corretamente os valores de litros correspondentes.

O resultado obtido para este subsistema é exibido por meio da figura 62, onde percebe-se em um dos testes inserindo os valores de 5, 25, 50 centavos e 1 real o led's foram acionados corretamente, indicando 1, 5, 10 e 20 litros exibidos na figura.



Figura 62 – Exibição do teste do funcionamento da interface integrada a identificação de moedas indicando nos *led's* acionados na sequência 1, 5, 10 e 20 litros.

Verificou-se também o incremento da variável %MW10, onde esta exibia na programação exatamente o valor inserido de moedas, assim como o teste do cálculo para o tempo obteve-se o mesmo resultado.

Portanto, para os subsistemas de identificação de moedas e de gerenciamento e interface o protótipo, após alguns ajustes funcionou corretamente e conforme a lógica programada.

3.8 Estimativa de Rendimento da Proposta

Para execução do protótipo investiu-se aproximadamente R\$1200,00, para aquisição dos sensores, válvula de controle, sinalizadores e botões de comando, além de aplicar também este investimento na instalação elétrica e hidráulica deste sistema. Porém, devido ao controlador lógico programável ter sido fornecido pela instituição, estima-se que a aquisição deste incremento R\$1000,00, além da implementação dos atuadores lineares elétricos a estimação do custo total do protótipo fique em torno de R\$ 2800,00.

Baseando-se na tabela 2, utilizando como base o sistema manual atual, com a mesma relação litros-centavos, porém estimando que o sistema automatizado permaneça disponível quatros horas a mais diariamente, sendo de 06h às 22h, calculando que a cada hora trabalhada o sistema no cenário normal forneça R\$1,40 e no atípico R\$3,35 o aumento deste tempo acarretariam em R\$5,60 e R\$13,40 a mais por dia respectivamente.

Considerando também que por ser um sistema automatizado, a quantidade de dias em um ano em que o sistema esteja indisponível para fins de manutenção ou falha em abastecimento de energia elétrica seja de 5%, portanto 347 dias o sistema estará em funcionamento e utilizando a mesma relação do sistema manual para o cenário atípico como 15% dos dias totais, tem-se o resultado exibido por meio da tabela 8.

Tabela 8 – Estimativa de rendimento da prosota automático do sistema.

| Cenário | Quantidade de dias | Rendimento Diário | Rendimento Anual |
|----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Normal | 295 | R\$ 22,60 | R\$ 6.665,87 |
| Atípico | 52 | R\$ 53,40 | R\$ 2.779,47 |
| Total | 347 | - | R\$ 9.445,34 |

4 Considerações Finais

Uma proposta de automatização tem como um dos seus objetivos principais redução de tempo, mão-de-obra e custos. Portanto, visando estes objetivos, neste trabalho foi apresentado uma proposta de automatização aplicada em um protótipo do sistema de venda de água captada de poço artesianos, sendo possível identificação do valor pago e fornecimento do produto conforme o pagamento sem a necessidade de interferência humana por parte do proprietário do sistema para execução deste processo.

Traduzindo os traços necessários para seu desenvolvimento, este projeto foi dividido em sete objetivos específicos que consistiram em: realizar uma pesquisa bibliográfica sobre formas de controle de vazão e identificação de moedas, aplicar uma técnica de identificação de moedas que seja possível implementar em um CLP, desenvolver um programa em ladder que realize em conjunto a identificação das moedas e o controle da vazão, implementar o controlador projetado em uma válvula de controle proporcional utilizando um CLP, desenvolver uma interface entre o CLP e o usuário final, realizar o teste do sistema de identificação utilizando todas as moedas aceitas no protótipo da atual família do sistema monetário brasileiro. Cada uma destas etapas foi desenvolvida e descrita evidenciando o cumprimento dos objetivos propostos e culminando na execução do protótipo contendo o identificador do valor pago e um controle de vazão.

As pesquisas bibliográficas realizadas sobre identificação de moedas trouxe consigo muitas informações importantes sobre as formas atuais de realizar este processo devido este ser um tema em que há necessidade de aperfeiçoamento visando não somente desenvolvimento em máquinas como também em propostas para acessibilidade a pessoas com deficiência, porém houve uma dificuldade em encontrar trabalhos acadêmicos relacionados a novas técnicas de identificação de moedas uma vez que as existentes atualmente já são bem difundidas e consolidadas no mercado.

A técnica de identificação de moedas baseada no modelo de (TURATTI et al., 2010) mostrou-se bastante eficiente para seu objetivo, uma vez que com a utilização de sensor indutivos possibilitou a detecção somente de materiais metálicos. Apesar de que neste protótipo, o sistema fica vulnerável a possíveis tentativas de fraudes na identificação, o atual sistema existente nas máquinas caça-níqueis que utilizam a proposta de (EKMAN, 1982) possuem também fragilidades na sua detecção, sendo estas minimizadas por obstáculos físicos para a passagem do tamanho exato da moeda. Pode-se propor para a implementação em um ambiente real do atual trabalho, o desenvolvimento de peças que possuam chanfros e/ou curvas que possibilitem reduzir a fragilidade desta técnica permitindo a passagem de moedas com características dimensionais específicas.

Porém, mesmo com as diversas tentativas de minimizar a fragilidade desta técnica, esta sempre existirá, a única forma de reduzir consideravelmente a possibilidade de fraudes

seria a implementação de processamento digital de imagem, o que para este protótipo e projeto não seria viável financeiramente.

Para o desenvolvimento da programação em ladder do subsistema de identificação de moedas não houveram grandes dificuldades, uma vez que esta técnica é de fácil adequação a qualquer ambiente de programação. Na execução dos suportes, utilização de ferramentas desconhecidas até então por parte do autor deste dificultou inicialmente sua execução, porém com apoio de pessoas com conhecimento sobre tais equipamentos e pesquisas permitiram a conclusão.

O protótipo inicialmente não contemplava a devolução seja por qualquer motivo do valor inserido, uma vez que suporia que o cliente já tinha em mente quantos litros equivaleria ao valor pago, porém para garantir isto necessitaria de um sistema de identificação com um elevado grau de eficiência e sem possibilidades de falhas, logo, devido ao fato de utilizar uma técnica de identificação pouco difundida no mercado, com apenas execuções em protótipos, garantir essa eficiência não seria possível, portanto, por este fator implementou-se a possibilidade de devolução do valor pago integralmente, entretanto como esta etapa foi proposta após aquisições de praticamente todos os dispositivos utilizados neste projeto, ficou financeiramente inviável para o protótipo adquirir um pistão elétrico, permitindo somente a simulação desta etapa.

A pesquisa bibliográfica sobre a técnica de controle de vazão mostrou uma gama diversa para utilização, porém pela necessidade de não utilizar equipamentos que possuem um alto consumo de energia e tenham periféricos, como bombas de vazão constante, a válvula de controle proporcional mostrou-se ideal pela sua facilidade de aplicação e comparado com os demais, possuía um baixo consumo de energia. Porém, inicialmente idealizou-se uma forma de aplicação de teorias clássicas de controle do tipo contínuo, porém devido ao alto custo para aquisição de um sensor ultrassônico para medição do nível, esta idéia foi desconsiderada, sendo por este motivo a utilização de controle adaptativo por escalonamento de ganhos.

A definição da utilização de controle adaptativo por escalonamento de ganhos para o controle de vazão mostrou-se ideal pela necessidade do sistema em possuir variáveis auxiliares do tipo discreta que enviariam comandos ao controlador, apesar de que esta forma de controle proposta a execução no protótipo não possuir os termos clássicos de um controle, como definição de planta, projeto e simulação de controlador, o conceito e a teoria de controle adaptativo facilitou a escolha de tal técnica.

A aquisição dos dados de vazão para cada nível foi uma etapa importante do projeto, porém os resultados não foram satisfatórios, pois não foi possível coletar a vazão para todos os valores de tensões nos quatros níveis do tanque, devido o mesmo ser pequeno não gerando pressão hidrostática mínima para o sensor de fluxo realizar as detecções fazendo com que sua medição exibesse valor zero, entretanto com os resultados adquiridos foi possível definir a vazão a ser programada para envio do sinal de controle a válvula.

A programação foi realizada e simulada, porém o teste no protótipo com todo o sistema em funcionamento será a próxima etapa ser desenvolvida.

O desenvolvimento da interface entre o sistema automatizado e o usuário, no caso o cliente, mostrou-se eficiente para o que se foi proposto, mas acredita-se que não é a forma ideal de exibição de dados ao cliente, uma vez que existem uma grande de quantidade de *led's* para o usuário interpretar, não há uma facilidade em compreender, apesar de serem bem identificados e definidos estes *led's* podem causar confusão ao usuário caso este não saiba ler, portanto, para uma implementação em ambiente real seria mais simples para compreensão um display para exibição destas informações em forma de dados e também como imagens, facilitando a compreensão.

Na estimativa de rendimento do sistema do sistema proposto observou-se que houve um aumento no arrecadamento em 57% comparado com o processo manual, além deste fato pode-se citar como umas das principais vantagens na utilização deste sistema o fato de não necessitar mais de uma pessoa disponível para operar o sistema, porém, como no estudo de caso o proprietário do sistema utilizava a própria mão-de-obra para operar o sistema, não tendo despesas com isto, não foi levado em consideração a economia em caso de um sistema que possua uma mão-de-obra paga para operar o sistema.

Portanto, com estes resultados o sistema proposto automatizado mostrou-se um produto facilmente vendável, tendo como seu público alvo proprietários de poços artesianos já perfurados, com objetivo de recuperar o investimento aplicado no sistema de captação de água.

4.1 Sugestões de trabalhos Futuros

Este protótipo tem como diferencial ter sido desenvolvido para teste em um ambiente controlado, porém com o máximo de condições reais, portanto buscando a resolução de problemas surgidos durante o desenvolvimento do trabalho e tendo-o como base é possível realizar os seguintes trabalhos para complemento do projeto:

- Desenvolver dispositivos para diminuição da possibilidade de fraude do sistema de identificação de moedas, baseando-se no utilizado atualmente no mercado;
- Realizar um estudo de comparação entre o sistema de identificação de moedas proposto no trabalho com o utilizado no mercado, exaltando vantagens e desvantagens reais na utilização de cada;
- Implementar fisicamente o sistema de devolução das moedas para o cliente;
- Desenvolver um sistema para seja separados as moedas pelo seu valor;
- Desenvolver um sistema que aceite o pagamento em cédulas;

- Desenvolver uma forma de fornecimento de "troco" para o cliente;
- Modelar a planta, projetar e modelar um controlador baseando nas teorias de controle clássicas para controlar a vazão utilizando um sensor de medição contínua para o nível;
- Desenvolver um sistema para o fornecimento de energia alternativa para o protótipo com objetivo de eliminar a possibilidade de paralização por falhas no abastecimento na rede elétrica;

Enfim, como este trabalho representa um protótipo, todos os elementos utilizados podem ser otimizados por meio de estudos mais específicos, o que gera um número considerável de trabalhos seguintes a serem realizados.

Referências

- ASTROM, K. J.; WITTENMARK, B. *Adaptive control*. 2ª edição. ed. [S.l.]: Prentice-Hall, 1994. Citado na página 20.
- BONACORSO, N. G. *Automação Eletropneumática*. 11 edição. ed. [S.l.]: São Paulo: Érica, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- CASSIOLATO, C. *Sensor Hall: A tecnologia dos Posicionadores Inteligentes de última geração*. [S.l.], 2006. Citado na página 33.
- COELHO, S. S. *Controle preditivo de nível e pressão de um sistema de tanques*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- DRENICK, R. F.; SHAHBENDER, R. A. Adaptive servomechanisms. *American Institute of Electrical Engineers Transactions*, v. 76, n. 5, p. 286–292, Nov 1957. ISSN 0097-2185. Citado na página 19.
- Timo J Ekman. *Method and apparatus for the identification of coins or equivalent*. 1982. US Patent 4335604. US Patent 4,335,604. Citado 3 vezes nas páginas 18, 56 e 74.
- ELECTRIC, S. *Micro: Configuración del Modicon TSX Micro*. 2001. Acessado em 26 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/plc/Micro.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- FONSECA, D. G. V. de. *Modelagem e Controle Adaptativo de uma planta didática de nível com Instrumentação Industrial*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. *Controladores lógicos programáveis: Sistemas Discretos*. [S.l.]: São Paulo, 2008. Citado na página 27.
- GEORGINI, M. *Automação aplicada: descrição e implementação de sistemas sequenciais com PLCs*. 6ª edição. ed. [S.l.]: São Paulo, 2006. Citado na página 26.
- GUIMARÃES, P. Contexto do abastecimento: da má gestão à perfuração indiscriminada. *Água e Meio Ambiente Subterrâneo*, v. 18, Novembro 2010. Acessado em 08 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://www.abas.org/imagens/revista18.pdf>>. Citado na página 13.
- HAYT, W. H. J.; BUCK, J. A. *Eletromagnetismo*. 8ª edição. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro, 2013. Citado na página 30.
- ICOS. *Folheto Técnico para Instalação Sensor Nível LA16M-40*. 2014. Acessado em 10 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://www.icos.com.br/Downloads/manual-sensores-de-nivel-interno-icos.pdf>>. Citado na página 31.
- JEWELL, C. Water atms create a splash. *Wipo Magazine*, v. 5, Setembro 2013. Acessado em 29 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://web.mit.edu/12.000/www/m2017/pdfs/atms.pdf>>. Citado na página 14.

- KHASHMAN, A.; SEKEROGLU, B.; DIMILILER, K. Intelligent coin identification system. In: IEEE. *International Conference on Control Applications*. [S.l.], 2006. p. 1226–1230. Citado na página 18.
- LAGES, W. F. *Controle Adaptativo de Sistemas Estocásticos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- MATHIAS, A. C. *Válvulas: Industriais, Segurança e Controle*. [S.l.]: Rio de Janeiro, 2008. Citado na página 23.
- MAZZAROPPI, M. *Sensores de Movimento e Presença*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Novembro 2007. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.
- MORAIS, C. C.; CASTRUCCI, P. M. *Engenharia de Automação Industrial*. [S.l.]: Rio de Janeiro, 2001. Citado na página 24.
- NARENDRA, K. S.; ANNASWAMY, A. M. *Stable adaptive systems*. [S.l.]: Courier Dover Publications, 2012. Citado na página 19.
- QUINTANILHA, I. M.; ESTEVÃO, R. d. M. F. Sensores de nível. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- RIBEIRO, M. A. *Válvulas de controle e segurança*. [S.l.], 1999. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22 e 63.
- SILVA, G. A. d. Construção de vários poços tubulares numa mesma região compromete a quantidade de Águas disponível aos usuários? e a qualidade? *Revista Água e Meio Ambiente Subterrâneo*, v. 18, Novembro 2010. Acessado em 08 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://www.abas.org/imagens/revista18.pdf>>. Citado na página 13.
- SOUZA, E. Manaus, análises e muito mais. *Água e Meio Ambiente Subterrâneo*, v. 18, Novembro 2010. Acessado em 08 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://www.abas.org/imagens/revista18.pdf>>. Citado na página 13.
- TURATTI, A. J. et al. *Coolpacoin Contador de Moedas Automático*. 2010. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Acessado em 10 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://afonsomiguel.com/content/coolpacoin>>. Citado 4 vezes nas páginas 18, 34, 56 e 74.
- ZAMBON, J. P. *A Importância da Prevenção de Vazamentos na Geração de Energia*. YGB: [s.n.], 2014. Acessado em 28 de Setembro de 2014. Disponível em: <<http://www.ygb.com.br/index.php/artigos-tecnicos/>>. Citado na página 22.