



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

SISTEMA AUTOMATIZADO DE REUSO DE ÁGUAS
PLUVIAIS E RESIDUAIS PARA FINS NÃO
POTÁVEIS

JOSÉ GERALDO DINIZ JÚNIOR
NATAL- RN, 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

SISTEMA AUTOMATIZADO DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS E RESIDUAIS PARA FINS NÃO POTÁVEIS

JOSÉ GERALDO DINIZ JÚNIOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico, orientado pelo Prof. Dr. MÁRCIO VALÉRIO DE ARAÚJO.

NATAL - RN

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

SISTEMA AUTOMATIZADO DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS E RESIDUAIS PARA FINS NÃO POTÁVEIS

JOSÉ GERALDO DINIZ JÚNIOR

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso

Prof. Dr. MÁRCIO VALÉRIO DE ARAÚJO _____
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Orientador

Prof. Dr. ANDRÉS ORTIZ SALAZAR _____
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Interno

Prof. Dr. DIOGO PINHEIRO F. PEDROSA _____

NATAL - RN, 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, que sempre me deu forças para superar os desafios encontrados durante toda a jornada.

Aos meus pais pela dedicação, confiança e apoio durante meus estudos, e pelo exemplo de vida.

Ao Prof. Dr. Márcio Valério de Araújo pela orientação acadêmica e confiança na realização deste trabalho.

Aos professores membros da banca, Prof. Dr. Andrés Ortiz Salazar e Prof. Dr. Diogo Pinheiro F. Pedrosa.

Aos colegas Diego Lemos e Arthur Pordeus pelas contribuições neste trabalho.

A todos os professores da UFRN que contribuíram para minha formação.

RESUMO

O presente trabalho demonstra a concepção e integração de um sistema automatizado de reuso de águas pluviais e residuais para fins não potáveis. O sistema de reuso de águas pluviais, conta com um dispositivo de monitoramento pluviométrico interligado a um sistema de captação e descarte de águas pluviais, estes processos são realizados por meio de uma válvula de baixo custo desenvolvida para projeto. O sistema de reuso de água cinza consiste em um sistema de captação de água proveniente da máquina de lavar, este sistema é composto de um sensor de presença de água e uma válvula responsáveis pela captação e descarte da água.

Os subsistemas de reutilização de águas pluviais e residuais foram integrados e automatizados utilizando o microcontrolador "Atmega 2560". Os subsistemas possuem um software de supervisão que permite seu monitoramento em tempo real, bem como a interação do usuário de forma manual. A integração de todos os subsistemas envolvidos no projeto possibilita o funcionamento autônomo do sistema.

O sistema de controle está interligado à uma chave de nível do tipo boia, que mesmo com o controlador desligado permite o funcionamento parcial do sistema, evitando a falta de água no reservatório superior para fins não potáveis.

Palavras-chave: Automação, reuso; água.

ABSTRACT

The present work demonstrates the design and integration of an automated system for reuse of stormwater and wastewater for non-potable purposes. The reuse storm water system includes a rainfall monitoring device connected to a collection system and disposal of rainwater, these processes are performed by a low cost valve developed for the project. The gray water recycling system consists of a water collection system from the washing machine, this system consists of a sensor presence of water and a valve responsible for the collection and disposal of water.

Reuse subsystems rainwater and wastewater were integrated and automated using the microcontroller "Atmega 2560". The subsystems have a supervisory software that enables its real-time monitoring, as well as user interaction manually. The integration of all the subsystems involved in the project allows the autonomous operation of the system.

The control system is connected to a float type level switch that even with the controller switched off allows partial operation of the system avoiding the lack of water in the upper reservoir for non-potable purposes.

Keywords: Automation, reuse, Water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ciclo hidrológico da água.	3
Figura 2: Consumo médio de água em residências no Brasil.	6
Figura 3: Sistema automatizado de aproveitamento de águas residuais.	9
Figura 4: Sistema automatizado de aproveitamento de águas pluviais.....	9
Figura 5: Sistema automatizado de aproveitamento de águas pluviais.....	10
Figura 6: Hierarquia dos Sistemas Autônomos.	12
Figura 7: Arquitetura de Sistema Centraliza.....	12
Figura 8: Arquitetura de Sistema Descentralizada.	13
Figura 9: Diagrama de bloco das principais grandezas mensuráveis por sensores. .	16
Figura 10: Chave de nível tipo boia.	19
Figura 11: Instalação típica do sensor chave de nível tipo boia.	19
Figura 12: Instalação dos sensores da Anauger para acionamento de bombas.	20
Figura 13: Esquema de ligação dos eletrodos metálicos.	21
Figura 14: Sensor turbina de efeito Hall.	22
Figura 15: Eletrobomba.	24
Figura 16: Válvula solenoide.	25
Figura 17: Circuito de proteção e acionamento de relés.	26
Figura 18: Ciclo de trabalho de um microcontrolador.	28
Figura 19: Layout proposto para o sistema de reuso de águas pluviais e residuais. .	31
Figura 20: Sistema de Monitoramento Pluviométrico.	32
Figura 21: Circuito transdutor utilizado para leitura dos sinais do pluviômetro.....	32
Figura 22: Válvula utilizada no sistema de captação e descarte águas pluviais.	33

Figura 23: Layout do Sistema Pluviométrico.	34
Figura 24: Layout do Sistema de Reuso da Máquina de Lavar.	35
Figura 25: Sistema externo de fornecimento de água.	35
Figura 26: Circuito de acionamento e proteção do sistema de reuso.	37
Figura 27: Fluxograma Principal de Controle.	38
Figura 28: Fluxograma de Controle Para o Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais.	39
Figura 29: Fluxograma de controle para o sistema de aproveitamento de águas residuais.	39
Figura 30: Fluxograma de Controle para o sistema de abastecimento do reservatório superior.	40
Figura 31: Controlador desenvolvido para o sistema	41
Figura 32: Barramento de sinal do controlador.	41
Figura 33: Barramento conectado ao shield de relé.	42
Figura 34: Shield Relé.	42
Figura 35: Driver ponte H L293D.	43
Figura 36: Fonte de alimentação.	44
Figura 37: Placa Arduino Mega2560.	45
Figura 38: IDE de Programação do Arduino.	46
Figura 39: Sensor de nível tipo eletrodo metálico.	50
Figura 40: Circuito utilizado na medição descontínua de nível.	50
Figura 41: Layout do circuito transdutor utilizado na medição descontínua de nível.	51
Figura 42: Medidor de Vazão.	52
Figura 43: Válvula Solenoide.	54

Figura 44: Bomba HAMMER MP500.....	54
Figura 45: Tela Inicial do Supervisório.	56
Figura 46: Parâmetros da Comunicação Serial.....	57
Figura 47: Listagem das Portas Seriais Disponíveis no Sistema.	57
Figura 48: Comunicação Serial Estabelecida.....	58
Figura 49: Configuração do Sistema de Reuso.....	59
Figura 50: Controle Manual do Sistema.	60
Figura 51: Tela Inicial do Sistema (Layout).	60
Figura 52: Sistema de Monitoramento de vazão e volume.....	61
Figura 53: Bancada de teste para o sistema de reuso de águas pluviais.	62
Figura 54: Simulação do sistema pluviométrico (Descarte de Água).	63
Figura 55: Simulação do sistema pluviométrico (Captação de Água).	64
Figura 56: Descarte de água do pluviômetro e redirecionamento da válvula do sistema de reuso.	64
Figura 57: Acionamento manual do sistema de reuso de águas pluviais.	65
Figura 58: Estrutura utilizada no sistema de reuso de águas residuais.	66
Figura 59: Simulação do sistema de reuso da máquina de lavar (Descarte de Água).	67
Figura 60: Simulação do sistema de reuso da máquina de lavar (Captação de Água).	67
Figura 61: Acionamento manual do sistema de reuso da máquina de lavar.	68
Figura 62: Simulação do sistema de bombeamento e da CAERN.	69
Figura 63: Simulação do sistema de abastecimento da CAERN (válvula acionada).	69
Figura 64: Simulação do Sistema de bombeamento.	70

Figura 65: Acionamento manual do sistema de bombeamento e da CAERN.	71
Figura 66: chave on- off implementada no controlador	71
Figura 67: Sistema de controle off-line.....	72
Figura 68: Volume de água utilizado de cada subsistema.	72
Figura 69: Curva de calibração do sensor de vazão da CAERN.....	77
Figura 70: Curva de calibração do sensor de vazão da Bomba.	78
Figura 71: Curva de calibração do sensor de vazão da Máquina de Lavar.....	79

LISTA DE TABELAS.

Tabela 1: Distribuição de água no planeta.	4
Tabela 2: Proporção de área territorial, disponibilidade hídrica e distribuição populacional dos estados brasileiros.....	5
Tabela 3: Principais características dos atuadores.	23
Tabela 4: Especificação do Driver L293D.	44
Tabela 5: Especificações Técnicas do Arduino Mega2560.	46
Tabela 6: Associação dos pinos do microcontrolador com os dispositivos utilizado no projeto	48
Tabela 7: Dados obtidos na calibração do sensor de vazão da CAERN.....	77
Tabela 8: Dados obtidos na calibração do sensor de vazão da Bomba.	78
Tabela 9: Dados obtidos na calibração do sensor de vazão da Máquina de lavar.	79
Tabela 10: Tabela de Custos.	80

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	viii
SUMÁRIO.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 O ciclo hidrológico da água	3
2.2 Recursos hídricos no Brasil.....	4
2.3 O problema da escassez e o desperdício de água.	5
2.4 Aproveitamento de água azul e cinza.	6
2.4.1 Água azul.....	7
2.4.2 Água cinza.....	8
2.5 Automação Residencial.....	11
2.5.1 Os Níveis da Automação.....	11
2.5.2 Os Benefícios da Automação Residencial.....	13
2.6 Sensores.....	16
2.6.1 Sensores Analógicos.....	16
2.6.2 Sensores Digitais.....	17
2.6.3 As Principais Características dos Sensores.	17
2.6.4 Sensores de Nível.	18
2.6.5 Chave de Nível Tipo Boia.....	19
2.6.6 Eletrodo Metálico.....	20
2.6.7 Sensores de Vazão.	21

2.7 Atuadores.....	22
2.7.1 Eletrobombas.....	24
2.7.2 Eletroválvula.....	24
2.7.3 Relés.....	25
2.8 Controladores.....	26
2.9 O Sistema Supervisório.....	28
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 Visão Geral do Projeto.....	30
3.2 O Sistema Automatizado de Reuso de Águas Pluviais.....	31
3.3 O Sistema Automatizado de Reuso de Água Cinza.....	34
3.4 O sistema de Abastecimento da CAERN.....	35
3.5 A integração dos Sistemas.....	36
3.6 Fluxograma do Sistema de Controle.....	38
3.7 Implementação do controlador.....	40
3.7.1 A estrutura física do controlador.....	40
3.7.2 Microcontrolador Atmega 2560.....	45
3.8 Sensores de Nível Utilizados.....	49
3.8.1 Sensor de Nível Tipo Eletrodo Metálico.....	49
3.8.2 Sensor de Nível Tipo Chave de Nível Tipo Boia.....	51
3.9 Sensores de Vazão Utilizados.....	52
3.10 Válvulas Utilizadas.....	53
3.11 O Sistema de Bombeamento.....	54
3.12 Implementação do Sistema Supervisório.....	55
3.12.1 Análise dos Requisitos:.....	55
3.12.2 A implementação da Interface Gráfica do Supervisório.....	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
4.1 Simulação e Validação do Sistema de Reuso de Águas Pluviais.....	62

4.2 Simulação e Validação do Sistema de Reuso de Águas Residuais. ...	65
4.3 Simulação e Integração do Sistema de Bombeamento e da CAERN.	68
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
5.1 Conclusões.	73
5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros.	74
6 REFERÊNCIAS.	75
7 ANEXOS.....	77
ANEXO A	77
ANEXO B	80
Custos de implementação.....	80

1 INTRODUÇÃO.

A maior parte da água existente no planeta não está disponível para consumo humano, cerca de 97,500% é água salgada, encontrada em oceanos e mares, e 2,493% da água doce estão em geleiras e aquíferos de difícil acesso. Apenas 0,007% da água doce está disponível nos rios, lagos e na atmosfera sendo possível seu consumo (ANA, 2013).

A cada dia aumenta a demanda por este líquido precioso, tornando a escassez de água um problema evidente, atingindo diretamente todas as espécies que dela dependem. A escassez deste bem é resultado do crescente consumo, devido ao crescimento da população, além do uso indevido deste recurso, o que representa uma constante ameaça. O desperdício pode ser verificado tanto no uso doméstico, motivado pela falta de informação e orientação da população, quanto nas diversas etapas de coleta, armazenamento, tratamento e destinação final deste recurso.

Segundo dados da ONU, em 2025, cerca de dois terços da humanidade estará sujeita a problemas de abastecimento. Diante de tal cenário é necessário que a população se conscientize de que a água não é um bem inesgotável, e passe a adotar medidas de preservação e reuso da água.

O termo “reuso” surge das necessidades citadas anteriormente, reutilizando esse recurso natural em atividades do dia a dia é possível ter economia e diminuir os problemas relacionados a escassez de água. Para realização de forma cada vez mais eficiente do reuso da água, o conhecimento de diversos ramos da engenharia vem proporcionando o desenvolvimento de propostas e projetos aplicados a esta área.

Magalhães, 2011, em seu trabalho sobre aproveitamento de água pluviais, apresenta um sistema automatizado para estes fins. O seu funcionamento compreende os processos de captação e descarte de água de chuva para fins não potáveis. Sua estrutura é composta por dois reservatórios, um superior e outro inferior, o reservatório inferior é responsável pelo processo de captação de águas pluviais, em seguida a água captada é bombeada para o reservatório superior que armazena o fluido até que o mesmo seja usado para fins não potáveis (irrigação de jardim e descarga de vaso sanitário) o sistema utiliza o microcontrolador 80C552 responsável pelo controle e monitoramento dos processos de captação e descarte de água.

Oliveira, (2010), em seu trabalho de conclusão de curso, apresenta um sistema automatizado para aproveitamento de água servida, oriundas do chuveiro e pia do banheiro. Seu funcionamento compreende o processo de captação desta água utilizando um reservatório inferior, bem como um sistema de bombeamento responsável por bombear a água até um reservatório superior, este reservatório é responsável pelo abastecimento de água utilizada em bacias sanitárias. O controle do sistema de bombeamento utiliza um relé de duplo nível – RDN, desta forma o sistema funciona com base no monitoramento dos níveis máximo e mínimo em ambos os reservatórios utilizados.

Com o risco de escassez da água provocado principalmente pela má utilização dos recursos hídricos, faz-se necessário a utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e residuais para alguns fins, por exemplo, descarga em bacias sanitárias, lavar calçadas, sistemas de irrigação de jardim, entre outros.

O objetivo geral deste trabalho é integrar e automatizar um sistema de aproveitamento de águas pluviais e águas residuais oriundas da máquina de lavar.

O objetivo específico deste trabalho, é desenvolver um sistema de controle e supervisão automatizado, integrando os sistemas de aproveitamento de água “azul” (pluviais) e “cinza” (residuais), controlado pelo microcontrolador “ATmega 2560”, este sistema compreende os processos de captação, armazenamento, distribuição e descarte da água por meio de sensores e atuadores, além de uma interface homem máquina – IHM na qual o usuário possa acompanhar e interagir com o sistema.

Neste trabalho, pretende-se demonstrar a viabilidade de um sistema automatizado de aproveitamento de água utilizando recursos e ferramentas da engenharia, ao mesmo tempo, incentivar um consumo de água sustentável trazendo vantagens e economia para os usuários. Além do desenvolvimento de um aplicativo utilizando linguagem de programação estruturada, que seja capaz de integrar e interagir com o sistema, possibilitando o monitoramento do sistema em tempo real pelo usuário.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ciclo hidrológico da água

A água é a única substância que em circunstâncias normais coexiste nos três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso). A existência dos três estados, deve-se ao fato das contínuas transferências de energia entre seus níveis moleculares, este fenômeno é conhecido como ciclo hidrológico da água. Segundo CARVALHO, (2006), ciclo hidrológico pode ser definido, como sendo uma sucessão de vários processos na natureza pelos quais a água inicia o seu caminho, indo de um estágio inicial até retornar a sua posição primitiva. Este fenômeno global de circulação fechada da água, entre a superfície terrestre e a atmosfera, é impulsionado fundamentalmente pela energia efluente do sol, associado à gravidade e à rotação terrestre.

Figura 1: Ciclo hidrológico da água.



Fonte: John M. Evans.

Segundo Grassi (2001), o planeta Terra se encontra coberto por aproximadamente 1,4 bilhão de Km³ de água, correspondente a cerca de 71% da superfície terrestre. No entanto, a maior parte desta água não se encontra disponível para o consumo. A tabela 1 evidencia a distribuição de água no planeta em termos de volume armazenado nos diferentes tipos de reservatórios.

Tabela 1: Distribuição de água no planeta.

Reservatórios	Volume aproximado em km³ de água
Rios	1.250
Atmosfera	12.900
Umidade do solo	67.000
Lagos e mares salinos	105.000
Lagos	125.000
Lenções subterrâneo	8.328.000
Geleiras e Glaciais	29.200.000
Oceanos	1.320.000.000
Volume total de água	1.357.839.150

Fonte: (adaptado de Nace U.S. Geológica, apud ROSA, 2007).

2.2 Recursos hídricos no Brasil

O Brasil possui uma disponibilidade hídrica estimada em 35.000 m³/hab/ano, sendo considerado um país “rico em água”, (TOMAZ, 2001), o que torna a situação do Brasil um pouco mais confortável em relação aos demais países. Segundo os dados da UNESCO, 13,70% de toda a água doce superficial disponível no Planeta está localizada em solo brasileiro.

Apesar do Brasil apresentar grande disponibilidade de recursos hídricos, estes não estão distribuídos uniformemente, havendo um grande desequilíbrio entre oferta de água e demanda. Com base nos dados da Tabela 2, é possível verificar que as regiões mais populosas são justamente as que possuem menor disponibilidade de água, por exemplo a região nordeste, que abrange cerca de 3% da água disponível no Brasil e abriga 28% de sua população, por outro lado onde há uma maior disponibilidade hídrica, ocorre baixo índice populacional, por exemplo a região norte, que apresenta um potencial hídrico de aproximadamente 69% com uma população de apenas 8%.

A distribuição desigual deste recurso deve-se principalmente à diversidade do clima e relevo da região. A tabela 2 evidencia a proporção de área territorial, disponibilidade hídrica e distribuição populacional dos estados brasileiros.

Tabela 2: Proporção de área territorial, disponibilidade hídrica e distribuição populacional dos estados brasileiros.

Região do Brasil	Área Territorial (%)	Disponibilidade Hídrica (%)	População (%)
Norte	45	69	8
Centro-Oeste	19	15	7
Sudeste	11	6	43
Sul	7	6	15
Nordeste	18	3	28

Fonte: (adaptado de GUISI, 2006).

2.3 O problema da escassez e o desperdício de água.

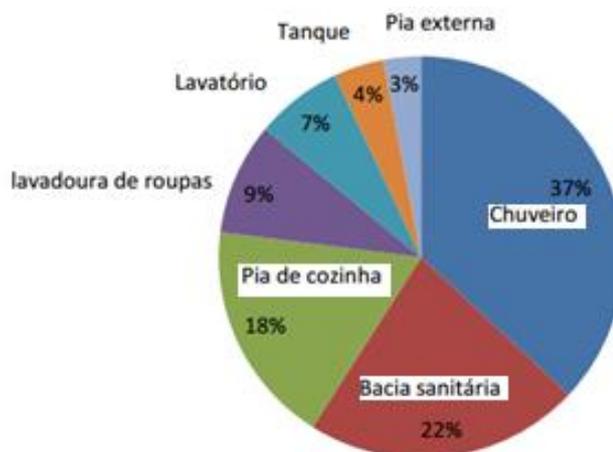
A escassez de água na Terra é um assunto que vem ganhando cada vez mais destaque em pesquisas, grupos de debate e na mídia. De acordo com os dados fornecidos pela ONU, nas últimas décadas o consumo de água cresceu duas vezes mais do que a população, e a estimativa é que a demanda cresça ainda 55% até 2050. Ainda segundo a ONU, se forem mantidos os atuais padrões de consumo, em 2030, o mundo enfrentará um déficit no abastecimento de água de aproximadamente 40%. Entre os principais tipos de consumo estão o doméstico, industrial e agricultura de irrigação. Este trabalho abordará com maior ênfase o consumo doméstico.

A água limpa está cada vez mais rara e a água de beber cada vez mais valiosa. Segundo um estudo do Instituto Internacional de Gerenciamento de Água (IWMI), a escassez de água poderá atingir até mesmo as regiões com maior abundância desse recurso, entre os fatores que poderiam levar a este fato, está o desperdício, a contaminação dos aquíferos e a falta de obras de saneamento básico para a coleta e tratamento de esgotos.

O desperdício de acordo com o Instituto Sócio Ambiental - ISA (2010), atinge entre 50% e 70% do consumo de água potável nas cidades, associado à baixa eficiência das empresas de abastecimento, o que agrava ainda mais esse quadro, pois as perdas na rede de distribuição e vazamentos atingem entre 30% e 40% do volume.

O consumo médio atual de água no Brasil, envolvendo o setor residencial, está na faixa de 187 litros por habitante/dia, de acordo com pesquisa divulgada pelo Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (Snis). De acordo com Hafner (2007), a distribuição percentual média de consumo de água em residências de pequeno e médio porte no Brasil, encontra-se distribuída conforme a figura 2.

Figura 2: Consumo médio de água em residências no Brasil.



Fonte: (HAFNER, 2007, apud Machado, Santos).

Com base na figura 2, observa-se que os principais responsáveis do consumo de água em uma residência, são os chuveiros e as bacias sanitárias, os quais juntos representam cerca de 59% do consumo total da residência. Diante deste cenário surge a necessidade de utilizar de forma eficiente este recurso, evitando desperdício e reutilizando a água em atividades menos nobre, por exemplo uso em bacia sanitária.

2.4 Aproveitamento de água azul e cinza.

O uso de água pluvial e/ou água residual, é uma das formas de se realizar o reuso da água. Segundo, PIO, (2005), o reuso de água é classificado e caracterizado quanto á fonte, quanto ao processo de tratamento aplicado e quanto á qualidade final da água.

2.4.1 Água azul.

Mais conhecida como água de chuva, pode ser coletada de diversas formas. A mais comum é a partir do telhado residencial. O manejo e o aproveitamento deste recurso têm sido praticados por diferentes civilizações ao longo dos tempos. Dillaha e Zolan (1985) relatam a existência de um sistema integrado de manejo de água de chuva há 2.000 anos, no deserto de Negev, atualmente território de Israel.

Novos conceitos para o gerenciamento de água de chuva, seja em áreas urbanas ou rurais, estão surgindo praticamente em todas as partes do mundo. A escassez, a perda da qualidade dos mananciais pela crescente poluição, associadas a serviços de abastecimento públicos ineficientes, são fatores que têm despertado diversos setores da sociedade para a necessidade da conservação da água. Entre estas práticas está o aproveitamento da água da chuva (RAINWATER HARVESTING, 2002 apud PROSAB, 2006).

A principal utilização das águas pluviais, praticadas atualmente, baseia-se na Norma NBR 15527, que estabelece o uso de águas pluviais para fins menos nobres como por exemplo, em descargas em vasos sanitários, reserva de proteção contra incêndios em edifícios, irrigação de jardins, praças, canteiros, utilização industrial, irrigações de lavouras, campos de futebol, sistemas decorativos aquáticos, lavagem de automóveis dentre outros, além de reduzir a conta da água e servir como reserva no período de estiagem .

Em alguns estados do Brasil há leis que tornam obrigatório o uso de águas pluviais para fins menos nobres, como é o caso do Distrito Federal, que editou recentemente as leis nº. 3.677, de 13 de outubro de 2005 e a Lei nº. 4.181, de 21 de julho de 2008 que, no entanto, não foram regulamentadas. Estas legislações especificamente condicionam a instalação de reservatórios de captação de águas pluviais à concessão de carta de habite-se nas unidades habitacionais do Distrito Federal.

Um sistema de aproveitamento de águas pluviais que seja seguro, depende de uma gestão adequada durante todas as fases do processo, desde a captação, separação, tratamento específico para o fim que se destina, e distribuição para pontos de utilização. Todos esses cuidados são necessários, pois existem agentes

contaminantes comumente encontrados nas águas pluviais, principalmente no que se refere a elementos presentes nos telhados ou mesmo devido às condições inadequadas de acondicionamento deste fluido.

2.4.2 Água cinza.

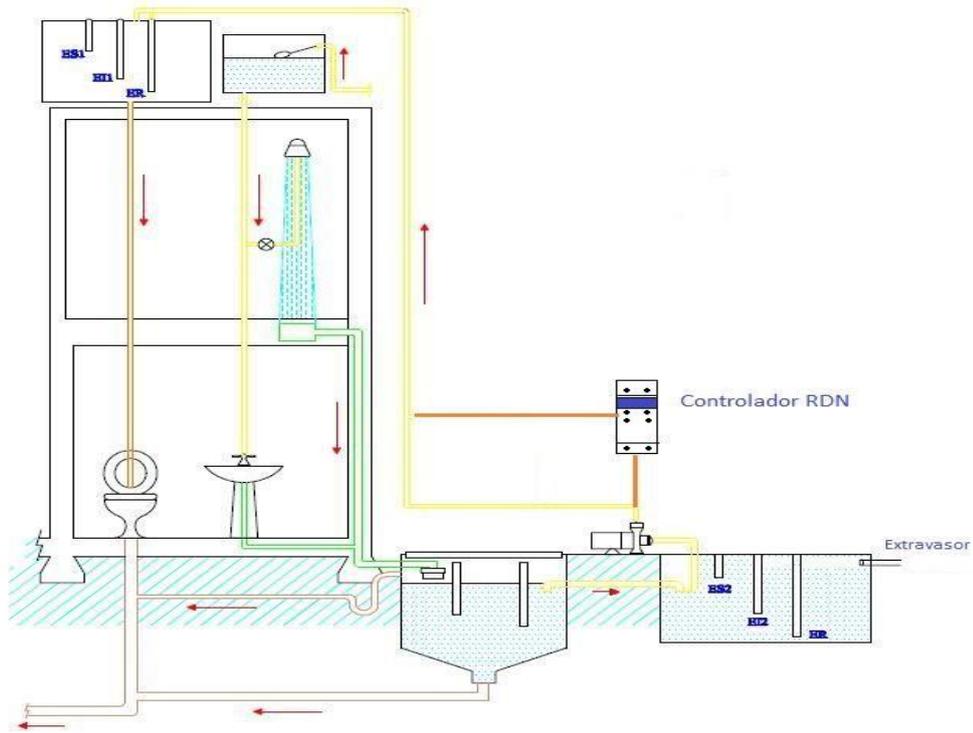
O termo água cinza, é utilizado em geral, para designar água servida, oriunda de residência ou edifícios, que não possui contribuição de efluentes de vasos sanitários. Ela geralmente é proveniente de lavatórios, chuveiros, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanques Jefferson, (2009). Nolde, (2009), não considera como água cinza os efluentes oriundos da cozinha, por considerá-los muito poluído, devido a presença de óleos e gorduras em geral.

A água cinza em geral apresenta em sua composição alguns produtos químicos, por exemplo sabões, detergentes, xampus, perfumes, produtos de limpeza, etc. Os sistemas de desvio direto de água cinza, em geral, utilizam como fonte a máquina de lavar, pia de banheiro e chuveiro, sem que haja necessidade de realizar alterações na qualidade da água. Neste caso a água não pode ser armazenada por mais de 72 horas (Bazzarela, 2005).

Para que a água cinza possa ser usada e armazenada por mais tempo, sem a necessidade de tratamentos químicos ou processos que exigem maior complexidade, faz-se necessário técnicas de separação da água com base em parâmetros estabelecidos por norma, por exemplo a turbidez da água, a fonte de captação, entre outros.

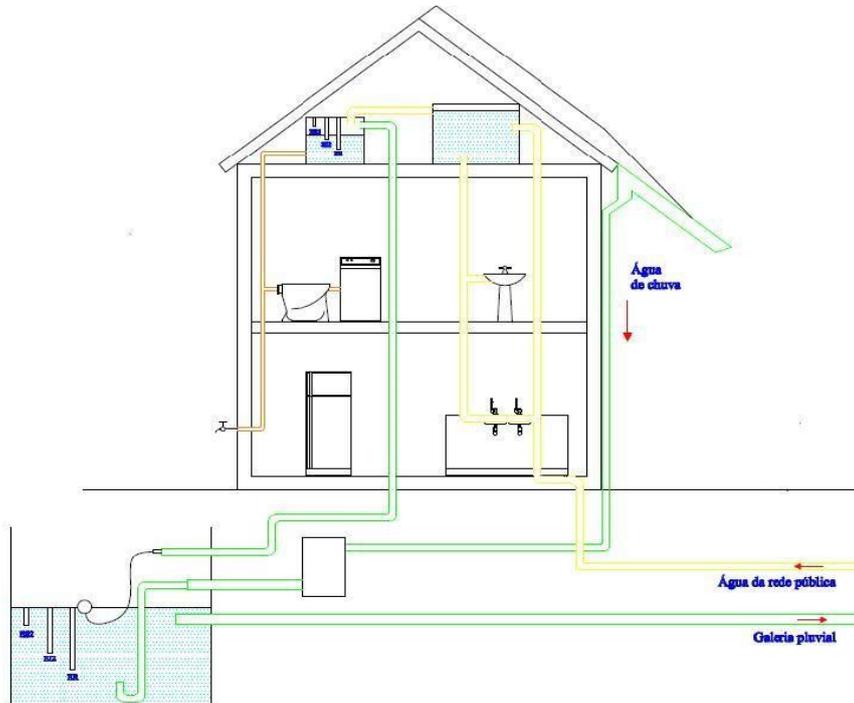
Oliveira, (2010), em seu trabalho, propôs a implementação de um sistema automatizado de aproveitamento de água de chuva, e água cinza oriunda do banheiro (pia e chuveiro). Seu trabalho consiste na utilização de um controlador do tipo RDN utilizado para controle de nível e acionamento de bombas, além de um sistema de descarte inicial das primeiras águas de chuva, e um sistemas de filtragem e cloração de águas residuais. Entre suas principais limitações destaca-se a forma de implementação dos sistemas, ambos os sistemas são implementados de forma separado, a figura 3 e 4 exibe o layout do sistema desenvolvido por Oliveira.

Figura 3: Sistema automatizado de aproveitamento de águas residuais.



Fonte: adapt. Oliveira, (2010)

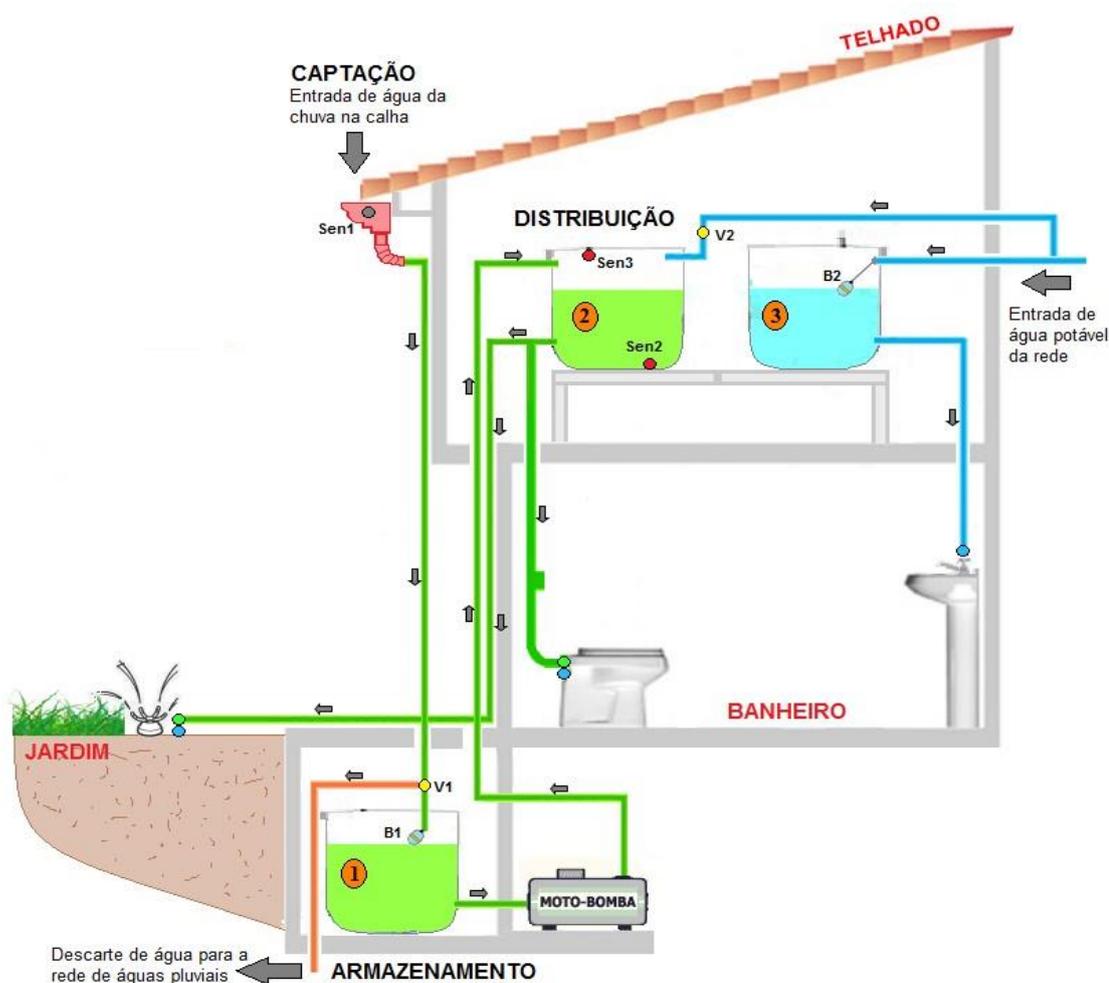
Figura 4: Sistema automatizado de aproveitamento de águas pluviais



Fonte: adapt. de Márcio L. de Oliveira Possa.

Magalhães, (2011), em seu trabalho, propõe a implementação de um sistema automatizado para aproveitamento de água de chuva, para fins não potáveis. Em seu trabalho foi utilizado o microcontrolador 80C552, acoplado ao kit de desenvolvimento CW 552 para realizar o controle do sistema, seu funcionamento compreende a detecção de chuva por meio de um sensor, a verificação de níveis máximo e mínimo no reservatório superior, bem como o controle de fluxo de água na entrada dos reservatórios inferior e superior por meio de duas válvulas solenoide. Entre suas principais limitações, estão a falta de sensores de monitoramento no reservatório inferior, o que dificulta o processo de automação no sistema de bombeamento entre os reservatórios. A figura 5 exibe o layout do sistema desenvolvido por Magalhães.

Figura 5: Sistema automatizado de aproveitamento de águas pluviais.



Fonte: adapt. Magalhães, (2011).

2.5 Automação Residencial.

Com o avanço da tecnologia, e a redução dos custos de fabricação de equipamentos e componentes eletrônicos, a automação residencial vem ganhando cada vez mais espaço no mercado atual, substituindo atividades manuais e rotineiras por métodos e/ou mecanismos automáticos. Além do conforto, segurança, economia de tempo e recursos, a automação residencial traz consigo o símbolo da era digital.

Segundo Neto (2004), “automação residencial tem a finalidade de minimizar a intervenção do homem nas rotinas da vida contemporânea, tornando a vida no lar mais prática, segura e confortável, sem deixar de lado o aspecto pessoal e familiar necessário a um ambiente agradável.

Entre estas rotinas, encontra-se por exemplo, o monitoramento de sistemas de segurança compostos de sensores e sistemas de supervisão em tempo real, soluções inteligentes de controle e monitoramento de nível em cisternas e/ou caixas de água, sistemas de iluminação, climatização entre outros.

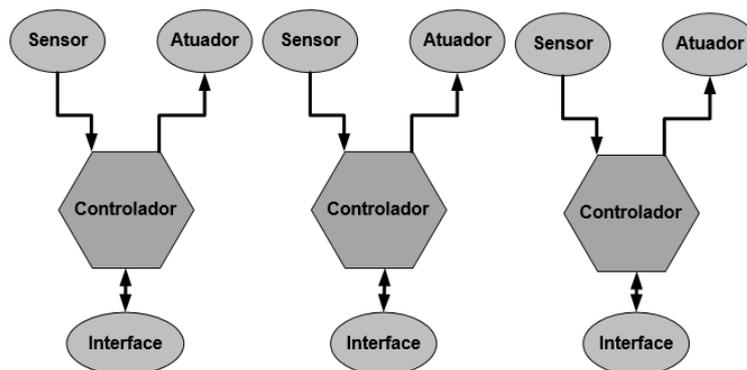
A automação residencial é um mercado em crescente expansão. A Associação Brasileira de Automação Residencial – AURESIDE, estima que no Brasil, nos próximos anos cerca de 40% das residências de médio e alto padrão, apresentarão algum tipo de sistema automatizado.

2.5.1 Os Níveis da Automação.

Segundo (Dorf, 2010), o conceito de automação pode ser dividido em três níveis: sistemas autônomos, sistemas integrados e sistemas complexo. Os tópicos a seguir descrevem cada tipo de sistema.

- I. **Sistemas Autônomos** – também chamados de independentes, são sistemas de uso específico, em geral utilizados para controle de dispositivos específicos, não havendo interação entre os demais dispositivos do sistema. A figura 6, mostra a hierarquia dos sistemas autônomos.

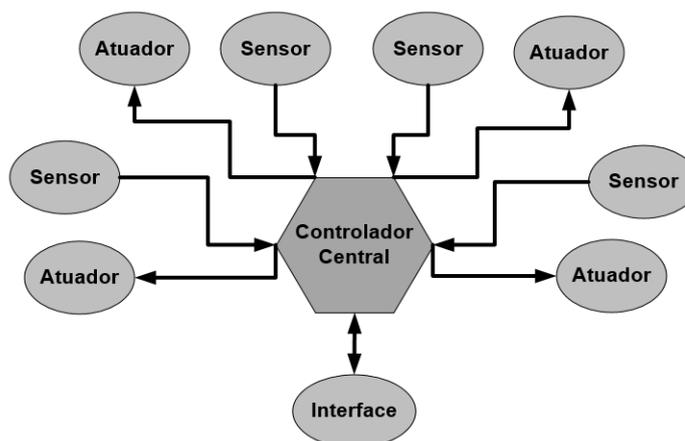
Figura 6: Hierarquia dos Sistemas Autônomos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

- II. Sistemas Integrado** – são sistemas projetados para integrar subsistemas dedicados, a partir de um controlador central, sua principal característica e sua arquitetura centralizada, ou seja, com base nas informações recebidas de um subsistema, o controlador central toma uma decisão e enviar um comando para outro subsistema executar, este tipo de arquitetura pode ser visto na figura 7.

Figura 7: Arquitetura de Sistema Centraliza.

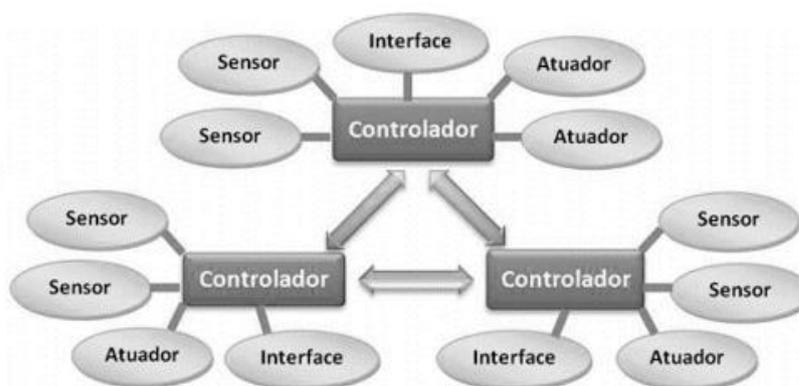


Fonte: Elaborada pelo autor.

- III. Sistemas Complexo** - também conhecido como sistema inteligente ou personalizável, o sistema e/ou produtos podem ser personalizados de acordo com a necessidade do cliente. O projetista do sistema em conjunto com o cliente, delinearão instruções específicas para seu sistema, desta forma, o sistema e

considerando como um gerenciador e não apenas um controlador. Este sistema depende de comunicação de retroalimentação de status entre os demais subsistemas. Outra característica importante deste sistema é a integração com usuários a partir de softwares personalizados. Os sistemas do tipo complexo, possuem arquitetura descentralizada, ou seja, os controladores são interligados por um barramento físico ou wireless formando uma malha de controle interligada entre sensores, atuadores e interfaces de usuário, esta arquitetura pode ser vista na figura 8.

Figura 8: Arquitetura de Sistema Descentralizada.



Fonte: (adaptado de: Danise Suzi, 2008).

2.5.2 Os Benefícios da Automação Residencial.

O mercado doméstico de automação também é caracterizado por um número crescente de dispositivos e periféricos, dotados ou não, de algum tipo de processamento, associados a equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos que, apesar de não ter ainda o mesmo apelo tecnológico dos sistemas de automação industriais e comerciais, tornou-se uma vitrine para esta área, possibilitando a integração de itens sofisticados de tecnologia, e demonstrando na prática as vantagens proporcionadas pelo processo de automação.

Segundo (Silva, 2009), “o conceito de automação pode ser definido de maneira simplificada, como sendo, qualquer sistema que substitua ou facilite o esforço muscular e mental do homem através de soluções práticas e rápidas, proporcionando

assim uma série de vantagens e benefícios, entre eles: segurança, conforto, economia, acessibilidade, entretenimento e sofisticação ”.

I. Segurança.

A segurança certamente é um dos pilares do desenvolvimento da automação residencial. Poder acompanhar à distância tudo o que acontece em casa, ou ainda programar sistemas para que em determinada hora realizem funções do mais variado tipo, como por exemplo, acender luzes em períodos que estamos ausentes. Hoje, quem procura o serviço de um especialista em automação doméstica já tem consciência de que é possível integrar uma gama de equipamentos e/ou serviços a este sistema, tais como:

- ✓ Monitoramento de ambientes ou equipamentos domésticos através de câmara conectadas à internet.
- ✓ Controle de acesso (sistema biomédico ou de retina).
- ✓ Alarme de vazamento de gás ou incêndio.

II. Conforto.

A automação residencial deve ajudar de forma eficiente nas atividades diária, proporcionando conforto e simplificação de algumas atividades, pelo simples fato de que algumas atividades podem ser realizadas através de programação de horários, ou controlada por um Smartphone ou Tablet conectado à rede. A seguir será exibido uma lista de atividades que se enquadram neste cenário.

- ✓ Acionamento automático de luzes através de sensores (de presença ou de luminosidade), ou através de comandos enviados por dispositivos conectados ao sistema.
- ✓ Controle da intensidade luminosa do ambiente.
- ✓ Controle de temperatura.
- ✓ Cortinas e/ou persianas elétricas.
- ✓ Irrigação de jardim.
- ✓ Controle de nível em reservatório.

Os sistemas de iluminação e irrigação de jardim, em geral, apresentam uma parcela significativa da procura dos sistemas de automação residencial, fato este, que se deve a sua simplicidade no processo de instalação associado à sua comodidade e beleza estética de um sistema de iluminação automatizado.

III. Economia.

Dentro de um contexto socioeconômico, existe um paradigma entre a eficiência de um processo e o custo operacional do mesmo. Na automação residencial o processo é semelhante. Sua implementação exige um investimento inicial para implementação do sistema, que por sua vez visa melhorar a eficiência do processo e/ou baratear o custo operacional, seja reduzindo gastos ou aproveitando melhor os recursos envolvidos, por exemplo, o volume de água entregue por uma companhia hídrica a uma residência pode ser medido e comparado com o consumo real gasto, desta forma é possível detectar vazamento nas tubulações hidráulicas da residência, além de monitorar o consumo na residência.

IV. Acessibilidade.

A partir da década de 1990, a abertura dos mercados de informática e de telecomunicações no Brasil, possibilitou a popularização de diversas tecnologias de controle e serviços de automação. Sistemas que antes eram utilizados exclusivamente nos ambientes corporativos das empresas e do comércio, passaram a ser projetados e utilizados também nos ambientes domésticos

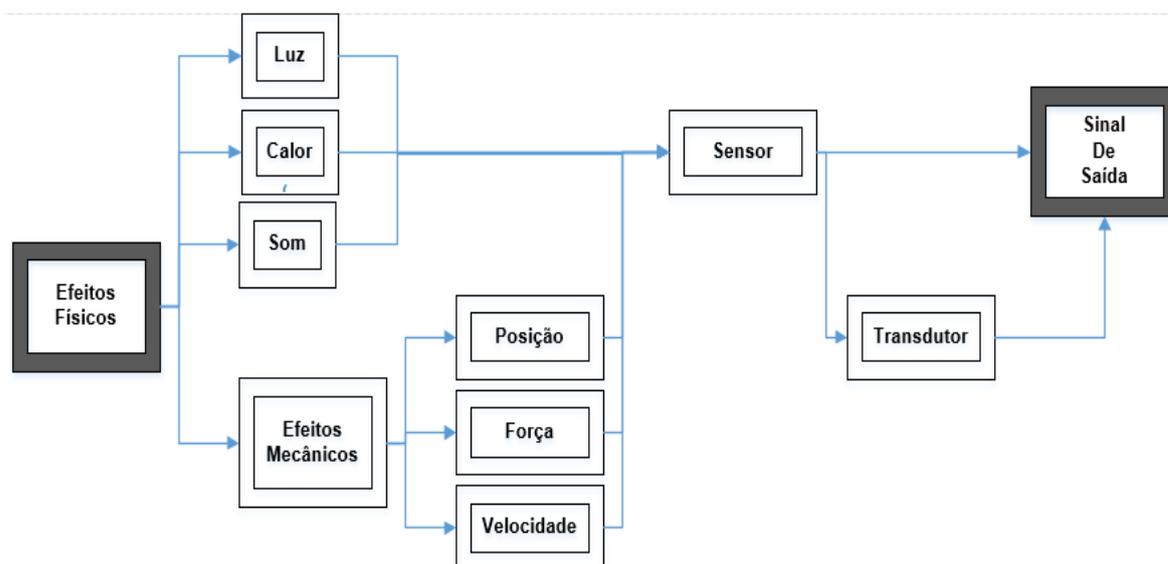
Com a crescente avanço da tecnologia empregada nos mais diversos tipos de equipamentos, é a redução do custo no processo de fabricação, as residências passaram a utilizar mais equipamentos interligados. Atualmente, é comum encontrar em uma residência computadores, notebooks, impressora, celulares, smart TV's, Tablet, todos conectados a uma rede doméstica, alguns destes sistemas podem comandar outros sistemas interligados a rede, seja por comando de voz, telas "touch pad", ou por um simples teclado.

2.6 Sensores.

Os sensores constituem a base de qualquer sistema de automação, seja residencial ou industrial. Segundo (Thomazini et al., 2005), “sensor é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis á alguma forma de energia do ambiente: luminosa, térmica, elétrica, cinética, entre outras, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser mensurada”.

Os sensores nem sempre apresentam características elétricas necessárias para serem utilizadas nos sistemas de controle, necessitando de circuitos auxiliares, chamados de transdutor, segundo (Thomazini et al., 2005), “transdutor é um dispositivo ou circuito que converte uma grandeza física em um sinal de tensão ou corrente, em geral estes valores são padronizados por normas que regem a automação industrial. A figura 9, mostra um diagrama de bloco das principais grandezas mensuráveis por sensores.

Figura 9: Diagrama de bloco das principais grandezas mensuráveis por sensores.



Fonte: (adaptado de: Thomazini et al., 2005).

2.6.1 Sensores Analógicos.

Este tipo de sensor pode assumir qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo, respeitando sua faixa de operação. Algumas das principais grandezas físicas que podem assumir qualquer valor dentro do seu range de medição, são:

pressão, temperatura, velocidade, umidade, vazão, força, ângulo, luminosidade, etc. Essas variáveis são mensuradas por dispositivos analógicos, por exemplo, resistores, capacitores, indutores, transistores, etc. Os padrões mais utilizados para transmissão de sinais analógicos são: 3 a 15 PSI para sistemas pneumáticos, 4 a 20 mA ou 0 a 10 V para sistemas elétricos.

2.6.2 Sensores Digitais.

Este tipo de sensor pode assumir dois valores, “0” ou “1” (baixo e alto) que podem ser interpretados pelo sistema digital. Na prática não existem grandezas físicas que assumam esses valores, porém eles são assim interpretados por sistemas de controle digital.

Em geral a transmissão de sinais digital utilizam-se de protocolos de comunicação para redes industriais (fieldbus). Os protocolos mais usados são: HART, Asi, Fieldbus Foundation, PROFIBOS – PA, RS – 232 e RS - 422. Os padrões mais adotados na automação residência são o serial RS -232 e RS – 422 e RS - 485.

2.6.3 As Principais Características dos Sensores.

Há uma série de características relacionadas aos sensores que devem ser levadas consideração na hora da seleção do instrumento mais indicado para uma aplicação, entre eles:

a.) Tipo do sinal de saída:

- Digital ou binário: a saída do dispositivo (sensor ou transdutor) é discreta, ou seja, só assume valores “0” e “1” lógicos (também conhecida como saída on-off).
- Analógico: o sensor ou transdutor possui uma saída contínua, assumindo qualquer valor dentro do seu limite operacional.

b.) Sensibilidade ou ganho:

É a razão entre o sinal de saída e de entrada para um dado sensor ou transdutor.

c.) Exatidão:

É a aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro.

d.) Precisão:

É a característica relativa ao grau de repetitividade do valor medido por um sensor.

e.) Linearidade:

Aplicada em sensores analógicos, consiste na obtenção da curva do instrumento plotando os valores medidos por um transdutor sob testes contra os valores de um padrão.

2.6.4 Sensores de Nível.

Os sensores de nível são utilizados nos sistemas de automação residencial com foco em reuso de água, para monitorar o nível dos reservatórios envolvidos no processo. O sistema de medição de nível pode ser classificado em três níveis:

- ✓ **Medição direta:** é a medição para qual adota-se como referência a posição do plano superior da substância a se medida. Em geral, neste tipo de medição utilizasse régua ou gabaritos, visores de nível, boia, flutuadores, etc.
- ✓ **Medição indireta:** é o tipo em que o nível é aferido indiretamente em função de grandezas físicas, por exemplo: pressão, empuxo, radiação e propriedades elétricas. Este tipo de medição é feito em geral a partir de sonares, radar, laser, medidores de pressão hidrostática, etc.
- ✓ **Medição descontínua:** é empregada para fornecer indicação apenas quando o nível atingir certos pontos desejados, como por exemplo, em sistemas de alarme e segurança de nível alto ou baixo. Em geral é utilizado chaves de nível do tipo boia, eletrodos metálicos, etc.

Nos sistemas de automação residencial com foco para sistemas de reuso de água, é comum o uso de sensores de medição de nível do tipo descontínua, por exemplo, a chave de nível do tipo boia e o eletrodo metálico. Este tipo de sensor

permite além da função de indicador de nível, sua utilização como chave de acionamento para um sistema de bombeamento.

2.6.5 Chave de Nível Tipo Boia.

A característica mais importante desse dispositivo é seu pequeno tamanho, confiabilidade e alta capacidade de comutação obtida com a utilização de uma microchave (microswitch).

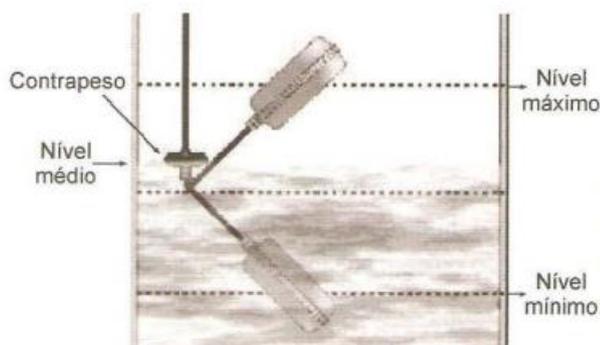
Figura 10: Chave de nível tipo boia.



Fonte: <http://www.anauger.com.br>.

Este tipo de dispositivo pode ser acionado quando o reservatório a ser medido atinge o nível de máximo ou mínimo, dependendo da aplicação. Este sensor é isento de mercúrio, atendendo a norma IEC 60730-2-16, que estipula os requisitos particulares para controladores elétricos de nível de água do tipo flutuante, para aplicações domésticas do tipo analógica. A figura 11, mostra a instalação do sensor do tipo chave de nível.

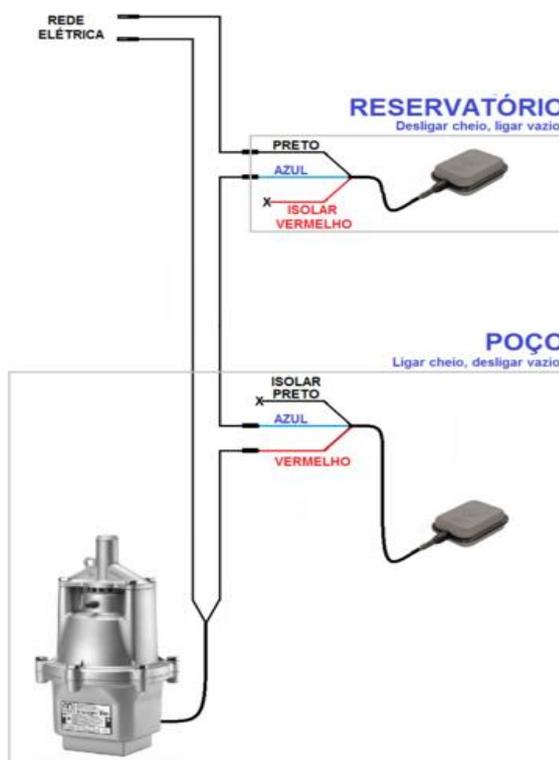
Figura 11: Instalação típica do sensor chave de nível tipo boia.



Fonte (adaptado de: Thomazini et al., 2005).

Em geral, nos sistemas de automação residencial que utiliza um sistema de bombeamento entre reservatórios, é comum utilizar dois sensores do tipo chave de nível para realizar o acionamento da bomba. A figura 12, mostra a ligação dos sensores neste tipo de acionamento.

Figura 12: Instalação dos sensores da Anauger para acionamento de bombas.



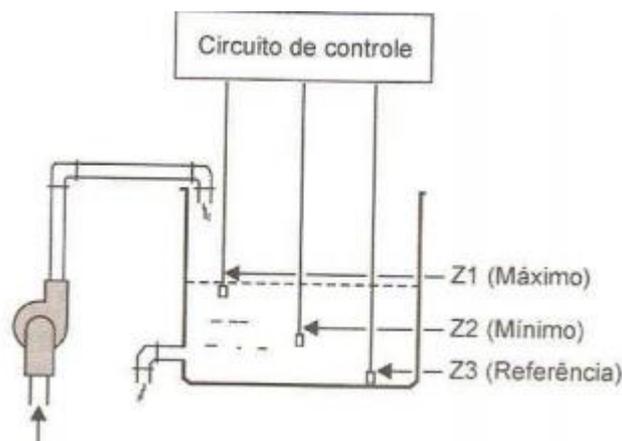
Fonte: www.anauger.com.br.

2.6.6 Eletrodo Metálico.

Os medidores de nível do tipo eletrodo metálico funcionam utilizando a condutividade dos líquidos a serem monitorados. Estes sensores, consistem basicamente de dois ou mais eletrodos (hastes), montados em uma estrutura que permite o fluxo de corrente entre seus terminais a partir do fluido a ser medido.

Quando o líquido atinge um dos eletrodos, o sistema se comporta como condutor, fechando o circuito entre o eletrodo de referência e o eletrodo indicador. A figura 13, exibe o princípio de funcionamento do eletrodo metálico para medição descontínua de nível.

Figura 13: Esquema de ligação dos eletrodos metálicos.



Fonte: (adaptado de: Thomazini et al., 2005).

2.6.7 Sensores de Vazão.

A vazão representa em um sistema, a quantidade de líquidos ou gases que passa em um determinado ponto de medição, durante um certo período de tempo. Sua principal finalidade nos processos de automação, é monitorar a quantidade de fluido que passa em uma tubulação durante um certo período de amostragem, ou contabilizar o volume total de líquido utilizado em determinado processo.

Em geral, os medidores de vazão utilizam sistema de medição indireta, utilizando outras grandezas do sistema, que são convertidas por transdutores em unidades equivalentes de vazão.

Nos sistemas de automação residencial, é comum o uso de sensores de medição de vazão do tipo turbina de efeito Hall. Este tipo de equipamento, consiste de um sensor de efeito Hall e um sistema composto por um conjunto de hélices, em geral de plástico, onde é introduzido um ímã permanente em uma das hélices. O sensor de efeito Hall, é um transdutor que quando submetido à aplicação de um campo magnético, responde com uma variação em sua tensão de saída.

O sistema de hélices no interior da tubulação, gira a uma velocidade proporcional o fluxo de líquido que escoar em seu interior, desta forma, a rotação do rotor gera um fluxo magnético que é captado pelo sensor de efeito Hall, este fluxo é

convertido em um sistema de pulsos de tensão, que é proporcional a vazão que escoar no duto. A figura 14, exibe um modelo de sensor do tipo turbina de efeito hall.

Figura 14: Sensor turbina de efeito Hall.



Fonte (<http://www.seeedstudio.com>).

2.7 Atuadores.

Atuadores são elementos que produzem movimentos, atendendo a comandos ou estímulos, que podem ser manuais ou automáticos. São usados em automação para entregar ao sistema a excitação necessária para seu funcionamento, na forma de energia adequada (PETROBRAS, 2008).

Segundo (Thomazini et al., 2005), “atuadores são dispositivos que modificam uma variável controlada. Recebem um sinal proveniente de um sistema de controle e agem sobre o sistema controlado”.

Os atuadores abrangem em seu contexto uma vasta área dos conceitos e tecnologias aplicadas a engenharia, entre elas, os campos da mecânica, elétrica, pneumática e hidráulica. Os atuadores dividem-se em três categorias: os Hidráulicos, pneumáticos e elétricos.

- I. **Atuadores Hidráulicos** – são caracterizados por terem como fluido de trabalho, um líquido que se desloca por um duto com uma pressão adequada, geralmente óleo ou água. Em geral são projetados para gerar movimentos que podem ser lineares ou axiais.
- II. **Atuadores Pneumáticos** - são caracterizados por terem como fluido de trabalho um gás pressurizado. Em geral são elementos mecânicos que por meio de

movimentos lineares ou rotativos transformam a energia cinética gerada pela compressão e expansão de um gás, em energia mecânica (força ou torque) transferidos a uma carga, produzindo algum tipo de trabalho.

III. **Atuadores Elétricos** são caracterizados por terem como fonte de energia, o sistema elétrico. Em geral são elementos que convertem energia elétrica em trabalho.

Em comum em um sistema de automação, utilizar-se mais de um tipo de atuador, ou a junção destes, por exemplo os atuadores eletromecânicos (relés, válvulas solenoides).

Tabela 3: Principais características dos atuadores.

	Elétrico	Hidráulico	Pneumático
Vazamentos	Não há.	Existe com risco de Contaminação.	Existe com risco de Contaminação.
Influências ambientais	Risco de curto circuito, sobrecargas e, conseqüentemente, incêndio. Insensível à temperatura.	Sensível em função da temperatura	Resistente à Explosão, Insensível à Temperatura.
Reserva de energia	Em pequenas quantidades – baterias	Limitada, com ajuda de gases.	Fácil
Transmissão de energia	Limitada, com perda.	Velocidade do fluxo limitada (>100 m, v= 2 a 6m/s)	Velocidade do fluxo (>100 m v=20 a 40 m/s).
Velocidade de operação	Limitado no trabalho retilíneo	V = 0,5 m/s retilíneo	V = 1,5 m/s retilíneo
Força	Elevada Magnitude	Proteção contra sobrecarga. Forças elevadas podem ser geradas F<3000 KN a 600 bar de pressão. Em função do limite da pressão, não são executados trabalhos acima do limite.	Proteção contra sobrecarga. Forças limitadas por pressão F<30 KN a 6 bar de pressão. Em função do limite da pressão, não são executados trabalhos acima do limite.
Precisão	Precisão para +- 1µm é fácil de atingir	Precisão de +- 1µm.	Sem mudança de carga precisão de 1/10 mm.

Fonte: (PETROBRAS, 2008).

Entre os principais tipos de atuadores utilizados no processo de automação residencial, estão os eletromecânicos, pôr exemplo, as eletrobombas, eletroválvulas e os relés.

2.7.1 Eletrobombas.

As eletrobombas são amplamente utilizadas no processo de automação residencial que envolve sistemas fluídicos, dentre os diversos tipos de modelos disponíveis no mercado, o modelo centrífugo ganha maior destaque.

Segundo Santos, (2006), bomba centrífuga é uma turbo-máquina utilizada para bombear líquidos, elevando, pressurizando e transferindo-os de um ponto a outro. O rotor de uma bomba centrífuga é uma turbina que cede energia para o fluido à medida que este escoar continuamente pelo interior de suas palhetas. A potência necessária para girar o rotor é fornecida em geral por um motor elétrico. A transferência de energia é efetuada por um ou mais rotores que giram dentro do corpo da bomba.

O fluido entra na bomba a partir do bocal de sucção, neste bocal, a pressão manométrica pode ser superior (positiva) ou inferior (pressão negativa, vácuo) à atmosférica. Após a entrada no bocal de sucção, o fluido é encaminhado para o rotor que fornece energia cinética ao fluido, em seguida o fluido é liberado pelo bocal de recalque devido a diferença de pressão. A figura 15, mostra a vista em corte (parcial) de uma bomba centrífuga.

Figura 15: Eletrobomba.



Fonte: <http://www.excellbombas.com.br>.

2.7.2 Eletroválvula.

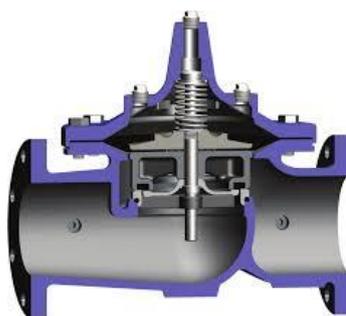
Atualmente, em qualquer processo de automação em que são manipulados fluidos, sejam líquidos, vapores ou gases, existe uma válvula de controle como dispositivo de automação ou de segurança.

A válvula solenoide, é a combinação de duas unidades funcionais: a parte eletromagnética, constituído por um solenoide e seu correspondente núcleo móvel, e um corpo de válvula contendo os orifícios de entrada e saída. Sobre os orifícios de passagem atuam dispositivos mecânicos tipo agulha, guilhotina de metal, discos de vedação de elastômeros ou politetrafluoretileno (PTFE), em alguns modelos, o fechamento é correção, com anéis de vedação.

Estas válvulas possui uma bobina que é formada por um fio enrolado através de um cilindro. Quando uma corrente elétrica passa por este fio, ela gera uma força no centro da bobina solenoide, fazendo com que o êmbolo da válvula seja acionado, criando assim o sistema de abertura ou fechamento.

As válvulas solenoides são classificadas pelo número de entradas e saídas (número de vias, 2, 3, 4 ou 5 vias). As válvulas podem ser monoestáveis ou biestáveis. Nas monoestáveis, quando ocorre a interrupção de energia, seu único solenoide volta para uma posição estável, a partir da energia elástica da mola de retorno acoplada a bobina. Já as biestáveis contêm duas bobinas, uma para cada posição, e podem funcionar com pulsos de corrente. A figura 16, mostra a vista em corte de uma válvula solenoide.

Figura 16: Válvula solenoide.



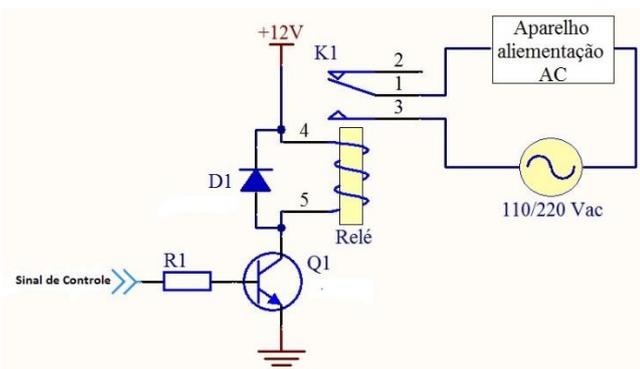
Fonte: www.cla-val.com.

2.7.3 Relés.

Os relés são dispositivos comutadores eletromecânicos amplamente utilizados nos sistemas de automação. Nas proximidades de um eletroímã é instalada uma armadura móvel que tem por finalidade abrir ou fechar um jogo de contatos. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é gerado um campo magnético que

atua sobre a armadura, atraindo-a. Nesta atração ocorre um movimento que ativa os contatos, os quais podem ser abertos, fechados ou comutados, dependendo de sua posição. Na comutação de cargas indutivas é conveniente agregar-se ao circuito elementos de proteção, tais como diodos, resistores e capacitores. A figura 17, exhibe o circuito de acionamento e proteção de um relé.

Figura 17: Circuito de proteção e acionamento de relés.



Fonte: <http://www.labdegaragem.com>.

2.8 Controladores.

Na automação, os controladores são equipamentos responsáveis pelo controle de um processo ou parte dele, através de algoritmos de controle específicos, tais como PID, lógica fuzzy, redes neurais, entre outros. Podem ser ainda equipamentos programáveis capazes de realizar diversos tipos de algoritmos lógicos e matemáticos.

Os controladores surgiram em meio ao setor industrial, durante muito tempo seu uso era restrito a indústria, com o advento da microeletrônica e o avanço das tecnologias envolvidas, surgiram a família dos microcontroladores, estes dispositivos começarão a integrar parte do mercado de automação residencial.

Dentre os principais tipos de controladores utilizados no processo de automação residencial, destaca-se os controladores Lógico Programável - CLP's. Este equipamento pode ser definido como um dispositivo computacional, capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle, por exemplo sequência lógica, temporização e contagem, além de realizar operações aritméticas,

manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de sistemas automatizados [Georgini, 2000].

O CLP é baseado em microprocessadores, o que possibilita a execução e o aperfeiçoamento de atividades mecânicas, elétricas, e eletrônicas objetivando facilitar o funcionamento de máquinas ou equipamentos em que venha a ser utilizado. A estrutura de um CLP é composta por: entradas, unidade central de processamento (CPU) e saídas, permitindo a monitoração contínua do estado da máquina (ou de seu processo) sob seu controle.

Atualmente, o mercado da automação residencial, tem grande destaque para o uso de sistemas embarcados. Segundo (Wilmshurst, 2012) “um sistema embarcado (ou sistema embutido) é um sistema micro processado, no qual o controlador é completamente encapsulado e dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla”. Diferente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos.

Em geral, é comum a integração dos subsistemas dedicados, por meio do uso dos microcontroladores, interligando o sistema de modo a criar uma malha de controle. As principais características dos sistemas micro processados são:

- Menor espaço;
- Menor consumo de energia elétrica;
- Reutilizáveis;
- Programáveis;
- Flexibilidade para expansão do número de entradas e saídas.

O princípio de funcionamento dos microcontroladores, baseia-se na execução de programas executados de forma cíclica (loop), reiniciando-se automaticamente a execução a cada ciclo de programa. A execução completa das linhas que compõem um programa é chamada de ciclo de varredura “scan cycle”, [Natale, 2003].

Na execução de tarefas ou resolução de problemas com dispositivos micro processados, é necessária a utilização de uma linguagem de programação, através

da qual o usuário programa as instruções que a máquina deve realizar. A linguagem de programação é uma ferramenta imprescindível para gerar o programa, que vai coordenar e sequenciar as operações que o microprocessador deve executar [Vianna, 2008]

A estrutura de um microcontrolador divide-se em três partes: entrada, processamento e saída. O microcontrolador lê ciclicamente os sinais dos sensores, estes sinais são associados entre si e aos sinais internos. Ao término do ciclo de varredura, os resultados são aplicados aos terminais de saída. Este ciclo está representado na Figura 18.

Figura 18: Ciclo de trabalho de um microcontrolador.



Fonte: (adaptado de: Danise Suzi, 2008).

2.9 O Sistema Supervisório.

O supervisório de qualquer sistema de automação, baseia-se no princípio da interação homem – máquina, permitindo de forma clara e objetiva, a interpretação de dados do sistema, sejam dados enviados ao sistema ou recebidos do sistema. Os softwares utilizados no processo de supervisão, são de uso específicos, são desenvolvidos e personalizados para cada aplicação. Em geral, são utilizados para configurar e monitorar as variáveis controladas de um sistema de automação.

O "projeto de software" é um conjunto de documentos com especificações detalhadas de todas as estruturas necessárias para a construção de sua aplicação, este processo é composto por diversas etapas, entre elas estão:

- ✓ **Análise de requisitos.** - é o processo de entender e colocar no papel, uma declaração do que uma aplicação se destina a fazer depois de construída.
- ✓ **Projeto** – é o processo que modela as partes que compõem a aplicação, e como elas devem ser montadas. De modo geral, consiste em um conjunto de diagramas que especifica e modela o que foi definido nos requisitos, por exemplo, nele são especificadas as classes, funções, estruturas, variáveis, tipos de variáveis etc. Na área de Engenharia de Software, a Linguagem de Modelagem Unificada, do inglês, UML – (Unified Modeling Language) é uma linguagem de modelagem, que permite representar um sistema de forma padronizada. Basicamente, a UML permite que desenvolvedores visualizem os produtos de seus trabalhos em diagramas padronizados. z
- ✓ **Implementação do projeto** - nada mais é do que a digitação do código-fonte detalhado e comentado. Nesta fase também é feita a interpretação completa da aplicação. As palavras "codificação" e "programação" também são utilizadas nesta fase.
- ✓ **Testes e validação** – Esta fase consiste em testar e validar as classes e métodos implementados no processo de codificação.
- ✓ **Manutenção** - Chamamos de manutenção o trabalho realizado em uma aplicação, que ocorre em dois momentos, um após a fase de testes e validação, em geral para realizar a remoção de defeitos, e outro após a finalização do software, em geral, para introduzir e satisfazer novos requisitos.
- ✓ **Finalização** – Esta fase consiste na finalização de toda a estrutura, documentação, manual e registro do software.

3 METODOLOGIA.

Para a implementação deste projeto, é necessário a utilização de diversas ferramentas de hardware e software que possibilitam a validação e execução do projeto. Este capítulo, aborda as diversas ferramentas utilizadas na construção do sistema bem como sua implementação.

3.1 Visão Geral do Projeto.

O projeto visa o desenvolvimento de um sistema de automação residencial integrado, com foco para o reuso de águas pluviais e residuais para fins não potáveis. O projeto consiste na integração de dois subsistemas de reuso de água em conjunto com uma fonte de alimentação externa de água potável, e um sistema supervisor de monitoramento.

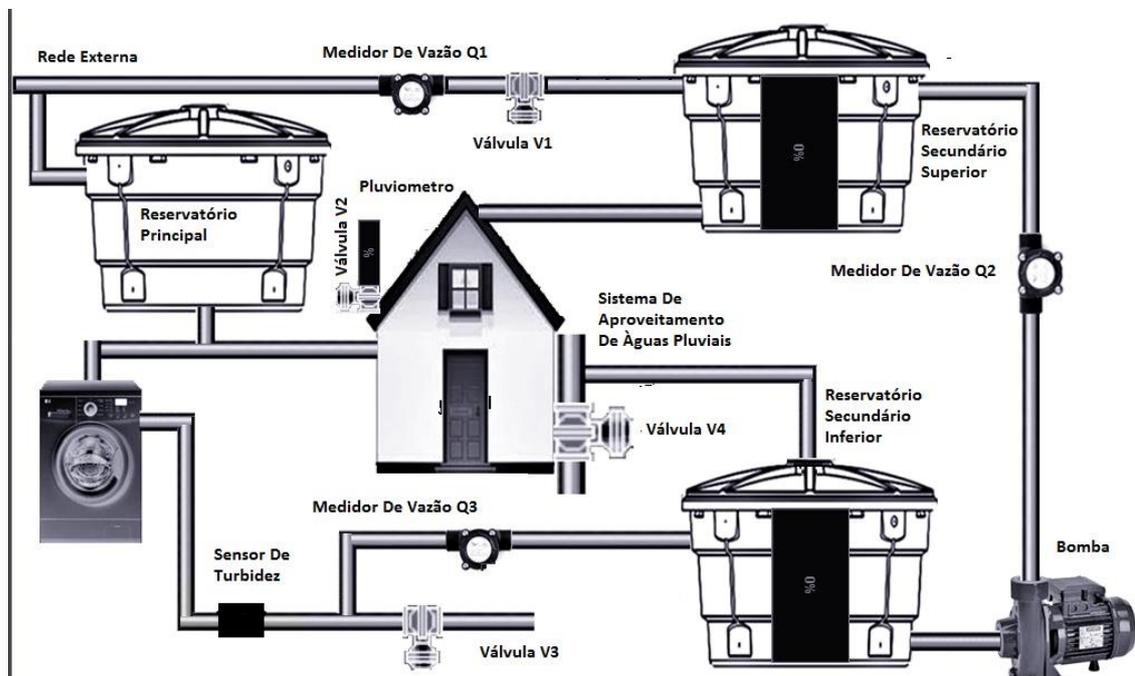
O primeiro subsistema, é responsável pelo processo de captação e descarte de águas pluviais, o segundo, é responsável pela captação e descarte de águas residuais oriundas da máquina de lavar. O projeto conta com uma fonte de alimentação externa de água potável, responsável pelo fornecimento de água ao sistema principal sempre que os subsistemas de reuso não suprirem a demanda de água para fins não potáveis. O projeto conta ainda com uma interface de monitoramento do sistema em tempo real, responsável pela interação do usuário com o sistema.

A figura 19 exibe a proposta inicial do layout do projeto automatizado de reuso de água. O projeto é composto por três reservatórios utilizados para armazenamento e distribuição da água, o primeiro reservatório (reservatório principal) e responsável pelo fornecimento de água potável a residência, o reservatório inferior e responsável pela captação de água oriunda dos subsistemas de aproveitamento, a água armazenada no reservatório inferior e bombeada até um reservatório superior responsável pela distribuição do sistema de água utilizada para fins não potáveis.

O sistema conta com uma série de sensores e atuadores interligados a um controlador central, possibilitando o funcionamento automatizado de todo sistema.

Nos tópicos seguintes será abordado a implementação de cada subsistema, bem como seu modo de funcionamento.

Figura 19: Layout proposto para o sistema de reuso de águas pluviais e residuais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 O Sistema Automatizado de Reuso de Águas Pluviais.

O sistema automatizado de reuso de águas pluviais, conta com um sistema de monitoramento pluviométrico interligado com o sistema de reuso e descarte de águas pluviais. Este sistema foi desenvolvido inicialmente como trabalho de conclusão de curso pelo aluno Diego Lemos, do curso de Engenharia Mecânica da UFRN.

O sistema de monitoramento pluviométrico, foi desenvolvido em uma estrutura de PVC contendo um conjunto de anéis metálicos internos, que detectam a presença de chuva e referenciam os níveis pluviométricos de 2mm e 4mm (pluviômetro da figura 19), além de uma válvula solenoide (válvula 2 da figura 19) responsável pelo descarte da água do pluviômetro após a chuva. A figura 20 exhibe o pluviômetro desenvolvido para o projeto.

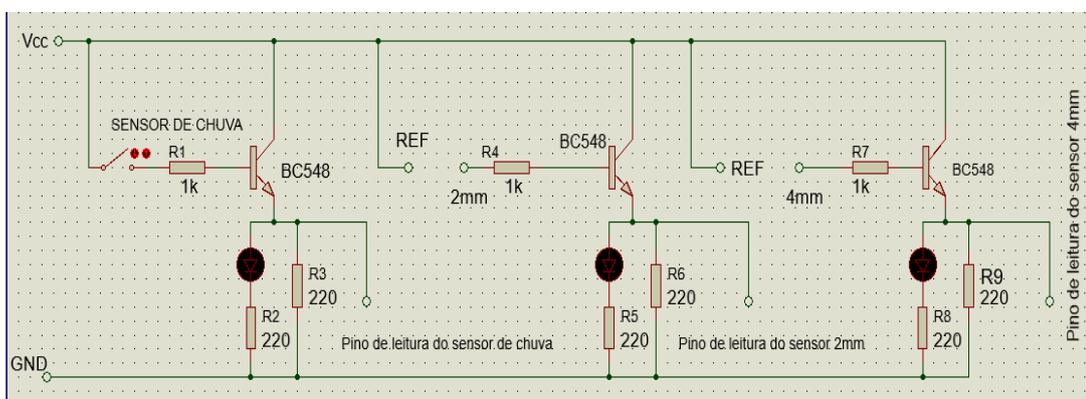
O pluviômetro conta com um circuito transdutor de sinal que possibilita a leitura dos sinais digitais do sistema pluviométrico pelo microcontrolador, a figura 32 exibe o esquemático do circuito utilizado.

Figura 20: Sistema de Monitoramento Pluviométrico.



Fonte: Cortesia de Diego Lemos.

Figura 21: Circuito transdutor utilizado para leitura dos sinais do pluviômetro.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema de captação e descarte de águas pluviais utiliza uma válvula desenvolvida por Diego Lemos para desvia a água do dispositivo de captação pluviométrico para o reservatório de armazenamento, ou para o de descarte de água. A figura 22 exibe a válvula utilizado no sistema de reuso de águas pluviais.

Figura 22: Válvula utilizada no sistema de captação e descarte águas pluviais.



Fonte: Cortesia de Diego Lemos.

Especificações da Válvula:

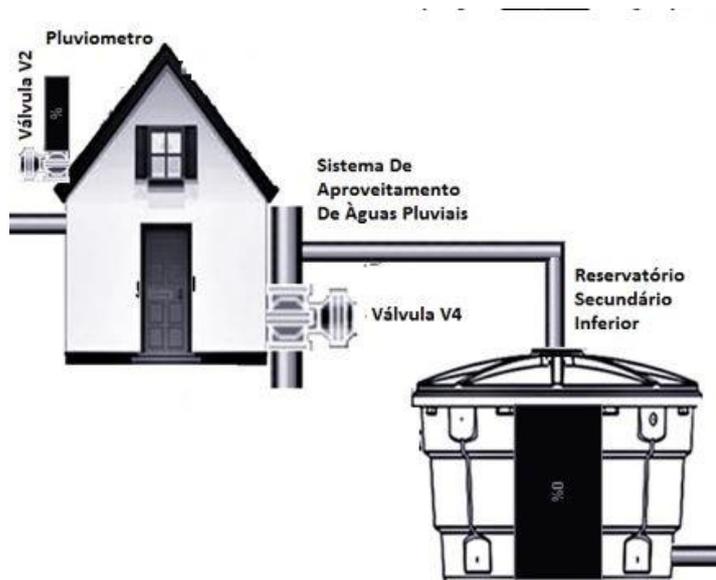
- Tensão de Operação: 5V
- Vazão máxima: 175 l/min
- Estrutura: PVC
- Diâmetro interno: 100mm

O sistema inicia com a válvula de descarte (Válvula 4 da figura 19) aberta por default, quando o sensor detecta a presença de chuva, o controle do sistema fica aguardando os níveis de referência de 2 ou 4 mm de chuva serem atingidos, este parâmetro pode ser configurado via software. Enquanto os níveis de referência não forem alcançados, ocorre o descarte de água de chuva, este procedimento baseia-se na norma NBR 15527, que menciona o descarte de 2 a 4 milímetros de chuva para lavar a área de captação.

Quando o sistema detecta o nível de referência, o controlador direciona a válvula pluviométrica para o reservatório de armazenamento (reservatório secundário inferior da figura 19), após o fim da chuva, o controlador conta com um temporizador

interno que determina o intervalo em que a válvula deve ser redirecionada para o modo de descarte, bem como o descarte da água contida no medidor pluviométrico por meio da válvula solenoide (válvula 2 da figura 19). A figura 23 exibe o layout do sistema de reuso de águas pluviais.

Figura 23: Layout do Sistema Pluviométrico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3 O Sistema Automatizado de Reuso de Água Cinza.

A estrutura física do sistema de reuso de água cinza, foi desenvolvida como trabalho de conclusão de curso pelo aluno Arthur Pordeus, do curso de Engenharia Mecânica da UFRN.

O sistema automatizado de reuso de água cinza, consiste em um sistema de captação de água proveniente da máquina de lavar, através de uma estrutura composto de tubulações, nas quais estão inseridos um sensor de presença de água (ver figura 24), um medidor de vazão (Q1 da figura 24), e um atuador (válvula 3 da figura 24), responsáveis pela captação e descarte da água.

O sensor detecta a presença de água na tubulação proveniente do primeiro ciclo de descarte de água da máquina, esta abordagem considera máquinas com dois ciclos de descarte. Esta primeira água será descartada considerando o fato de que esta água contém uma quantidade elevada de partículas indesejadas (sabão, sujeira,

cabelo, células mortas da pele, entre outras), quando o sensor detectar a presença de água oriunda do segundo ciclo de descarte, o sistema redirecionará o fluxo de água para o reservatório de armazenamento (reservatório inferior, ver figura 24), após o término da lavagem, o controlador aguarda até que ocorra um novo ciclo de descarte. A figura 24 exhibe o layout do sistema de reuso de água da máquina de lavar.

Figura 24: Layout do Sistema de Reuso da Máquina de Lavar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.4 O sistema de Abastecimento da CAERN.

Este sistema garante o abastecimento do reservatório superior com água potável, sempre que o reservatório inferior estiver baixo ou vazio, fato que impossibilita o acionamento da bomba. O sistema conta com um sensor de vazão (Medidor Q1 da figura 25) responsável por determinar o consumo de água oriundo da CAERN (fonte externa de fornecimento de água potável), é uma válvula solenoide (válvula V1 da figura 25) responsável pelo controle de fluxo, a figura 25 exhibe a estrutura utilizada para este projeto.

Figura 25: Sistema externo de fornecimento de água.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5 A integração dos Sistemas.

A integração de todos os subsistemas envolvidos no projeto, possibilita o funcionamento autônomo do sistema, garantido que o reservatório superior utilizado para fins não potáveis esteja sempre com água.

Os subsistemas de reuso de água da máquina de lavar e de águas pluviais, são responsáveis pelo abastecimento do reservatório inferior de coleta de água (reservatório inferior da figura 19). Este reservatório por sua vez garante o abastecimento do sistema de bombeamento entre os reservatórios inferior e superior do sistema de reuso.

Ambos os reservatórios, contam com um sistema de monitoramento de nível utilizando os sensores de medição descontínua de nível, com base nestes níveis o controlador atua no sistema. Quando o sensor detecta que o reservatório superior atinge o nível baixo ou vazio, o sistema verifica o nível do reservatório inferior, caso este nível esteja médio ou alto o controlador aciona o mecanismo de bombeamento até que uma das condições de parada seja satisfeita, a primeira condição e que o reservatório inferior atinja nível baixo, a segunda e que o reservatório superior atinja nível alto.

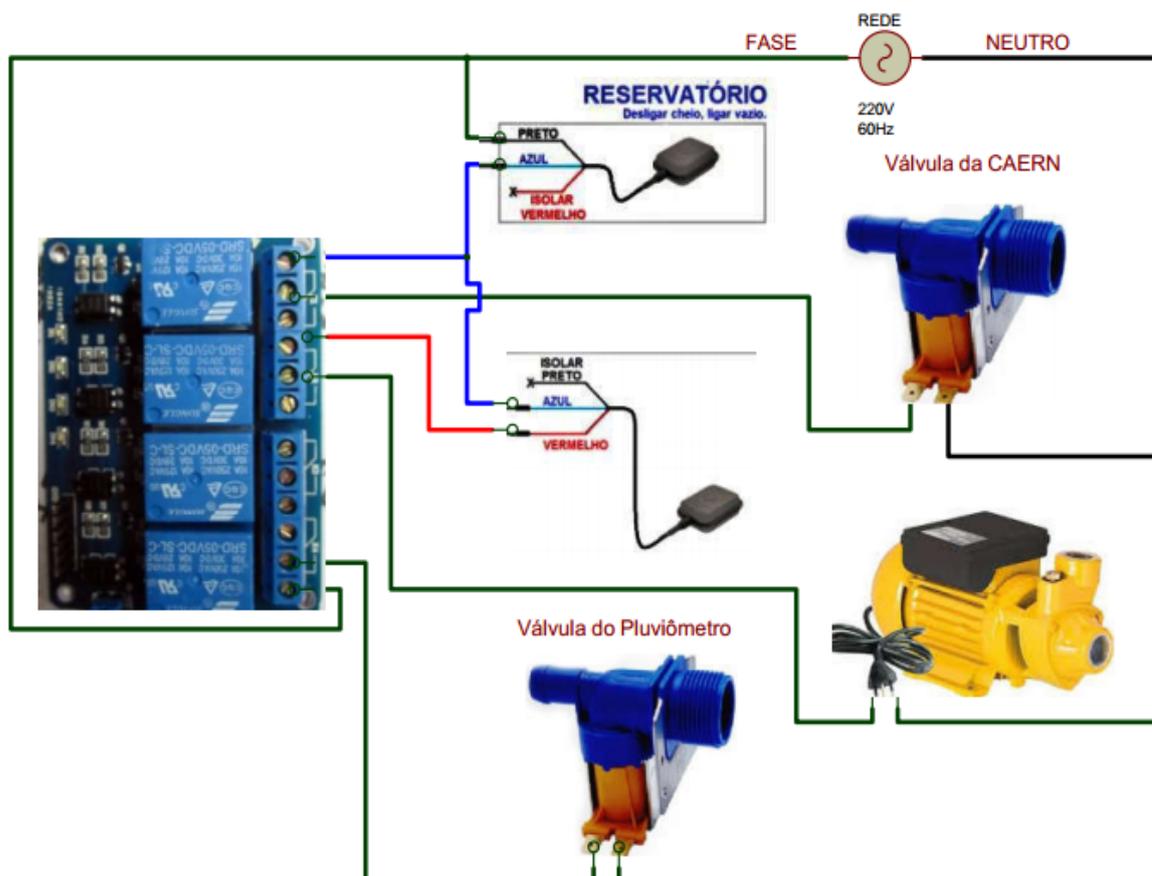
Caso a primeira condição de parada seja satisfeita, e o reservatório superior não tenha atingido o nível alto, o sistema de abastecimento da CAERN entra em funcionamento até que o reservatório superior atinja nível alto, ou o sistema de bombeamento esteja apto a funcionar novamente antes que o reservatório superior esteja em nível alto, desta forma o controlador prioriza o uso da água oriunda do sistema de reuso.

Além do sistema automatizado convencional utilizando o microcontrolador, os subsistemas de acionamento da bomba, bem como o de abastecimento da CAERN, contam com um dispositivo de proteção contra pane (falha) eletrônica, evitando danos aos demais componentes utilizados e garantido o funcionamento autônomo de uma parte do sistema, mesmo com o controlador desligado.

O acionamento dos atuadores em ambos os subsistemas mencionados anteriormente, foi implementado utilizando o Shield de relé, sua ligação utiliza os terminais de contato normalmente fechado NF do módulo de rele, ligado ao fio de fase

que alimentam os subsistemas, e o terminal comum do módulo ligado em série com a chave de nível do tipo boia, desta forma, mesmo com o controlador desligado o sistema continua funcionando, neste caso o controle do sistema será realizado pelas chaves de nível do tipo boia, a figura 26 exhibe o circuito de proteção e acionamento de ambos os subsistemas.

Figura 26: Circuito de acionamento e proteção do sistema de reuso.



Fonte: Elaborada pelo autor.

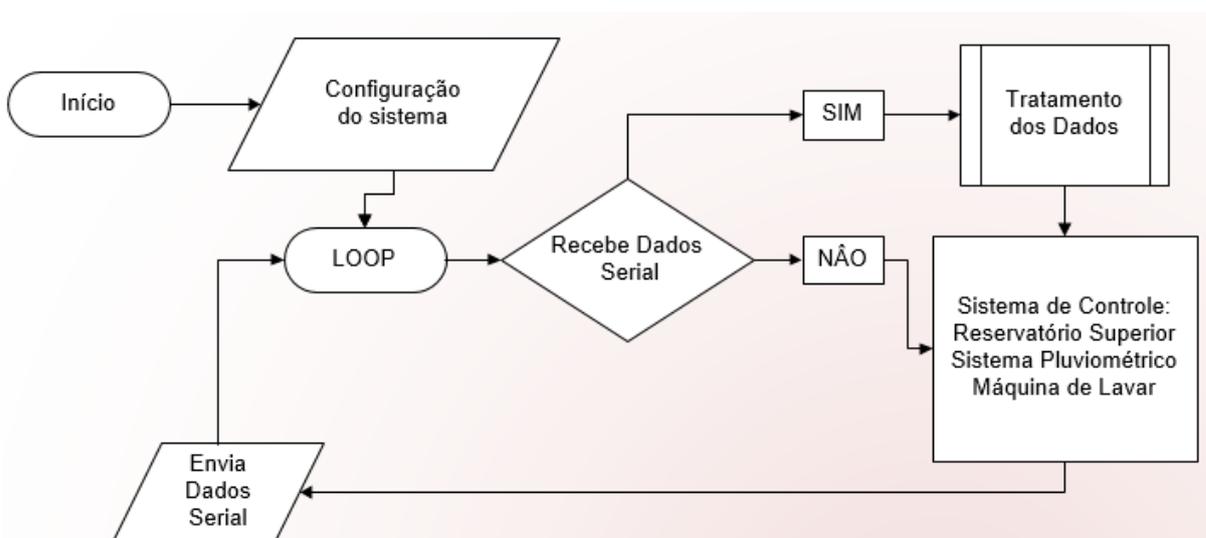
Enquanto o controlador estiver desligado o sistema de aproveitamento de águas pluviais e da máquina de lavar não funcionará de forma autônoma, estes sistemas permaneceram em seu último status antes do desligamento do controlador.

3.6 Fluxograma do Sistema de Controle.

Com base no princípio de funcionamento do sistema, foi desenvolvido um fluxograma de controle para implementação das sub-rotinas executadas pelo controlador do sistema.

A figura 27 exibe o fluxograma principal do sistema de controle, esta rotina principal chama sub-rotinas, que são necessárias para o funcionamento e integração do sistema. O sistema inicia configurando os parâmetros iniciais necessários para o funcionamento do hardware, após a configuração o controlador executa a rotina principal do programa. Esta rotina verifica se chegou algum dado pela serial, caso tenha chegado o controlador deve tratar estes dados e em seguida continua com a execução do programa. Após a verificação dos dados o sistema executa um bloco de controle responsável por chamar sub-rotinas de controle do sistema, por último o controlador envia os dados de feedback ao sistema supervisor.

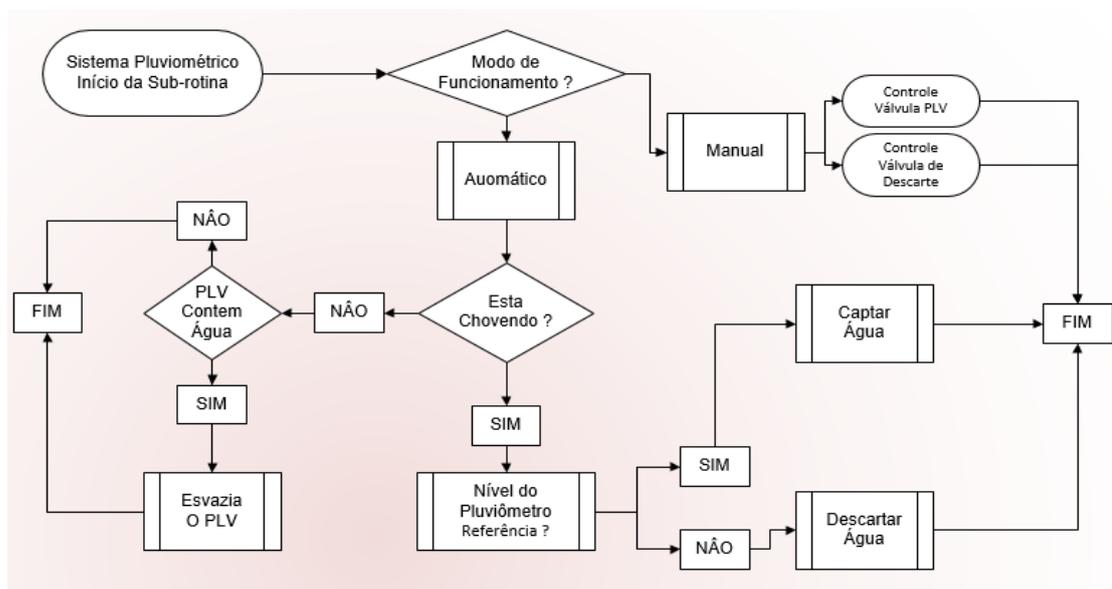
Figura 27: Fluxograma Principal de Controle.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 28 exibe o fluxograma de controle para o sistema de aproveitamento de águas pluviais, o fluxograma tem como base o funcionamento do sistema descrito no item 3.2. A execução desta rotina consiste na leitura e interpretação dos sinais oriundos dos sensores do sistema pluviométrico

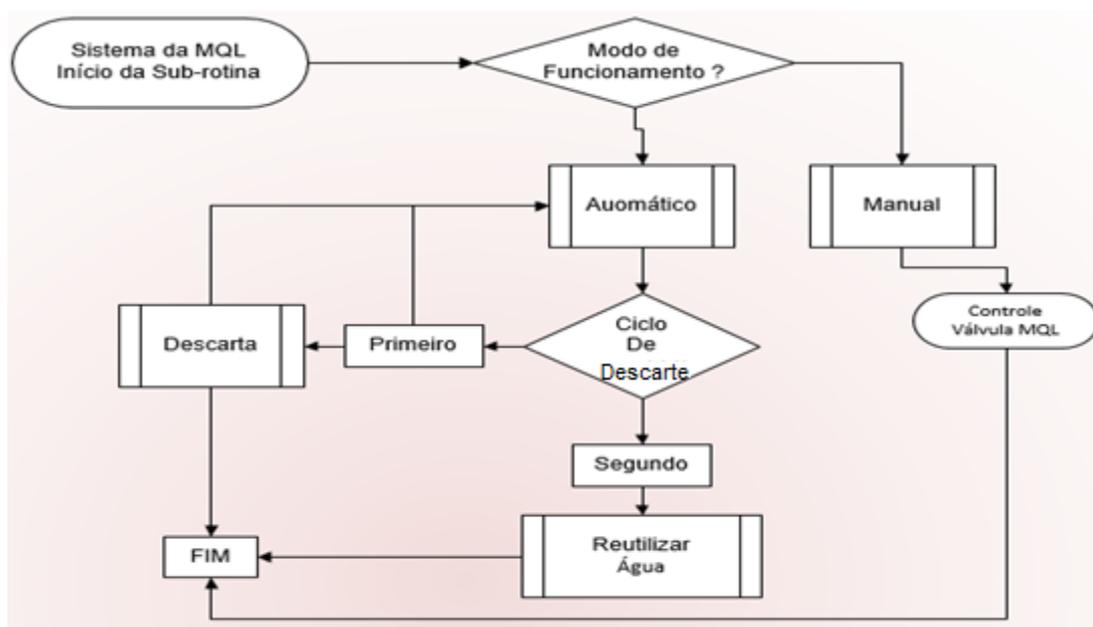
Figura 28: Fluxograma de Controle Para o Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 29 exibe o fluxograma de controle para o sistema de aproveitamento de água da máquina de lavar, o fluxograma tem como base o funcionamento do sistema descrito no item 3.3.

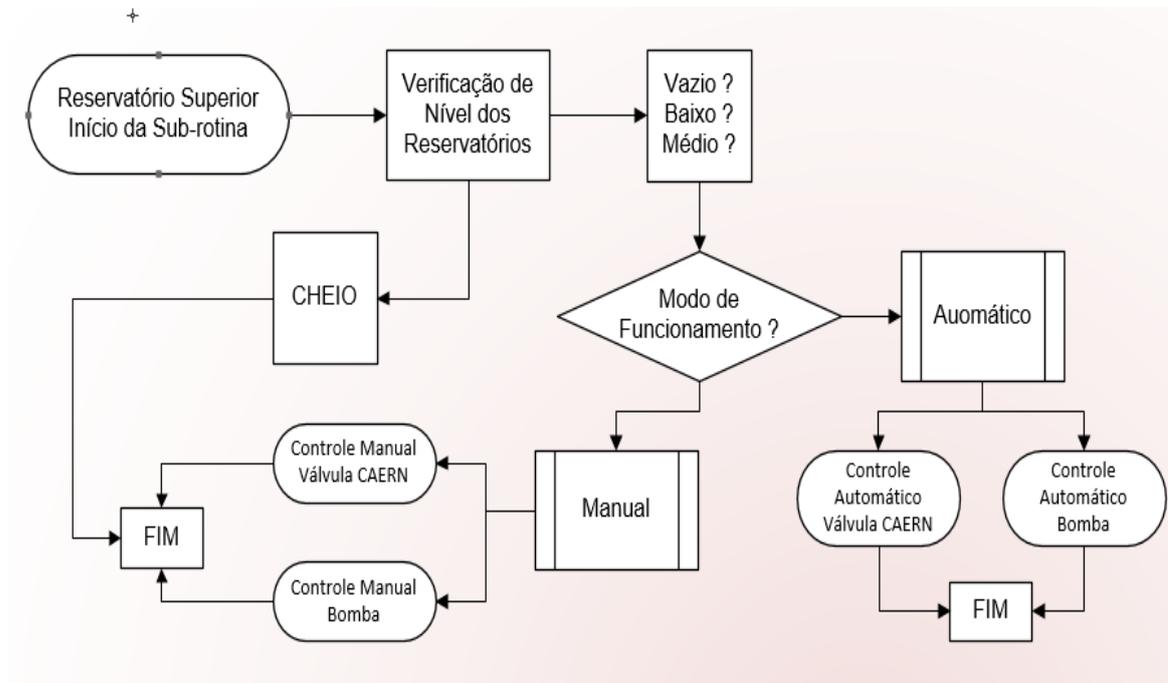
Figura 29: Fluxograma de controle para o sistema de aproveitamento de águas residuais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 30 exibe o fluxograma de controle para o sistema de abastecimento do reservatório superior.

Figura 30: Fluxograma de Controle para o sistema de abastecimento do reservatório superior.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.7 Implementação do controlador.

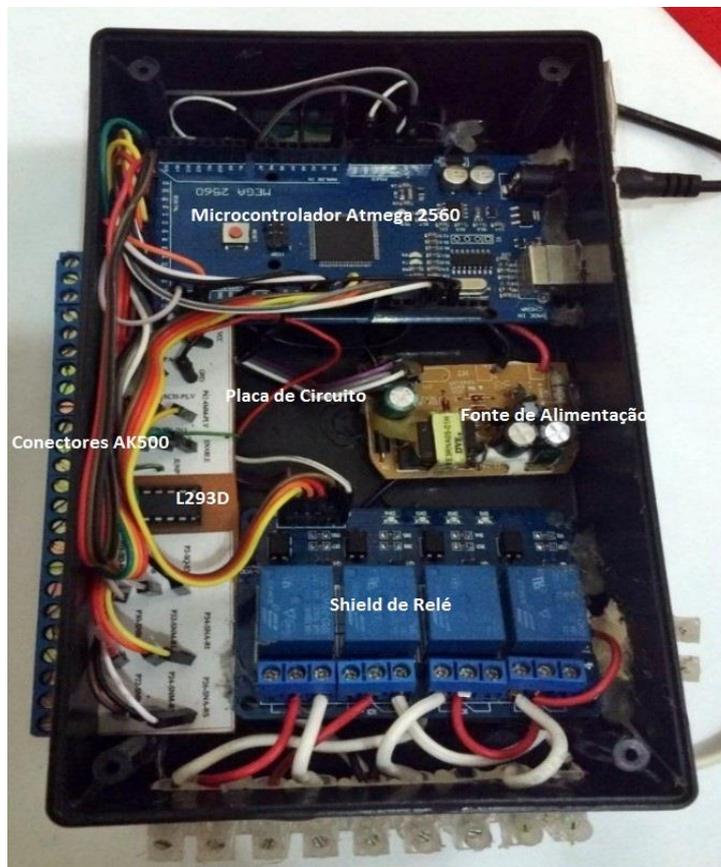
Com base nas especificações de funcionamento do projeto foi desenvolvido um controlador para atua no sistema, este dispositivo utiliza como unidade de processamento o microcontrolador ATmega2560 incorporado a placa de desenvolvimento arduino mega 2560, a figura 31 exibe o controlador desenvolvido para o sistema.

3.7.1 A estrutura física do controlador.

O controlador conta com um barramento lateral de sinal conectado as entradas e saídas (digitais e analógicas) do ATmega2560, este barramento e responsável por receber e/ou enviar sinais ao sistema, sua estrutura foi desenvolvida

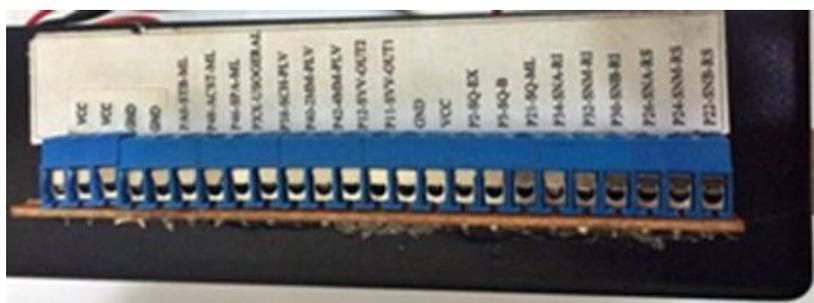
utilizando uma placa de fenolite para criação das trilhas de circuito e conectores de parafuso modelo AK500. A figura 32 exibe o barramento de sinal do controlador.

Figura 31: Controlador desenvolvido para o sistema



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 32: Barramento de sinal do controlador.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O controlador também conta com um barramento inferior responsável pela conexão com os atuadores do sistema acionados por corrente alternada, sua estrutura é composta de um shield de relé controlado pelo Atmega2560. A figura 33 exibe o barramento conectado ao shield de relé.

Figura 33: Barramento conectado ao shield de relé.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O shield relé é uma placa desenvolvida para acionar cargas que necessitam de correntes maiores do que as fornecidas pelo microcontrolador, além de servir como isolador entre a carga e o microcontrolador. Este dispositivo funciona como um interruptor eletrônico, o acionamento do módulo é feito pelo controlador que envia uma corrente energizando a bobina de acionamento, seu hardware é composto de dispositivos de proteção que evitam danos ao controlador proveniente de picos de tensão e corrente de acionamento.

O shield utilizado no projeto é composto de 4 canais, o módulo possui 6 pinos, sendo 2 de alimentação, e 4 pinos de sinal digital que funcionam com lógica invertida, ou seja, quando ligados a nível lógico zero os contatos normalmente abertos – NA e o pino comum encontra-se conectados, quando aplicado nível lógico alto, os terminais normalmente fechados – NF encontra-se conectado ao pino comum. A figura 23 exibe o shield utilizado no protótipo.

Figura 34: Shield Relé.



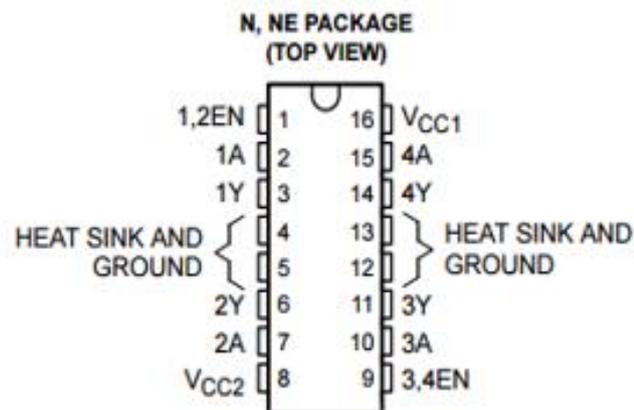
Fonte: Elaborada pelo autor.

Especificações do módulo:

- Modelo: SRD-05VDC-SL-C (Datasheet, ver anexo)
- Tensão de operação: 5V-DC
- Corrente típica de operação: 15~20mA
- LED indicador de status
- Conector de Saída: Normal Aberto, Normal Fechado e Comum
- Tensão de saída: (30V-DC a 10A) ou (250V-AC a 10A)
- Tempo de resposta: 5~10ms

Para realizar o acionamento do motor que aciona a válvula de aproveitamento de águas pluviais, foi utilizado o driver ponte H L293D, a utilização do driver deve-se a necessidade de inverter o giro do motor para abrir ou fechar a válvula. A tabela 4 exhibe às principais especificações necessárias para utilização deste driver.

Figura 35: Driver ponte H L293D



Fonte: Texas Instrumentos.

Tabela 4: Especificação do Driver L293D.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC1} (see Note 1)	36 V
Output supply voltage, V_{CC2}	36 V
Input voltage, V_I	7 V
Output voltage range, V_O	-3 V to $V_{CC2} + 3$ V
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \leq 5$ ms): L293	± 2 A
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \leq 100 \mu\text{s}$): L293D	± 1.2 A
Continuous output current, I_O : L293	± 1 A
Continuous output current, I_O : L293D	± 600 mA
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Notes 2 and 3)	2075 mW
Continuous total dissipation at 80°C case temperature (see Note 3)	5000 mW
Maximum junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

Fonte: Texas Instrumentos.

O controlador possui uma fonte de alimentação independente, responsável pela alimentação do microcontrolador, bem como alimentação dos sensores utilizados, a figura 36 exibe a fonte utilizada no fornecimento de energia do sistema.

Figura 36: Fonte de alimentação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Especificações:

Input: AC 100 – 250V 50/60Hz 20mA

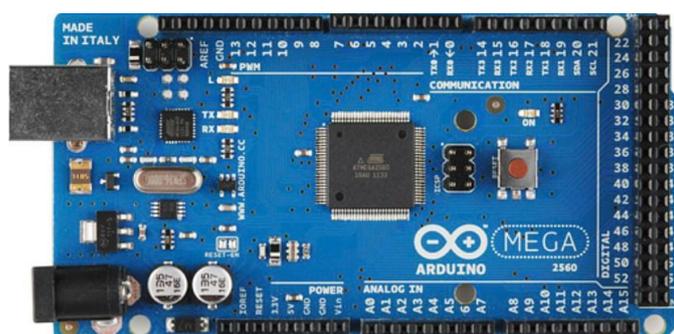
Output: DC 5V \pm 0.5V 700~850mA

3.7.2 Microcontrolador Atmega 2560.

O microcontrolador é considerado como o núcleo do projeto, todo o controle e gerenciamento dos periféricos envolvidos neste projeto, dependem de sinais de comando enviados e/ou recebidos pelo controlador central.

Por questões de praticidade, custo e flexibilidade, utilizou-se na implementação do projeto uma placa de desenvolvimento da linha Arduino modelo “Mega 2560”, ver figura 37, esta placa possui o microcontrolador ATmega2560 da Atmel incorporada em sua estrutura. Seu hardware é composto de 54 pinos digitais de entrada e/ou saída (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB com conversor serial RS-232. A tabela 5 exibe as principais características desta placa.

Figura 37: Placa Arduino Mega2560.



Fonte: (<https://www.arduino.cc>).

O microcontrolador Mega 2560, vem pré-programado com um arquivo bootloader que permite a programação do microcontrolador via software sem a necessidade do uso de um dispositivo de hardware externo.

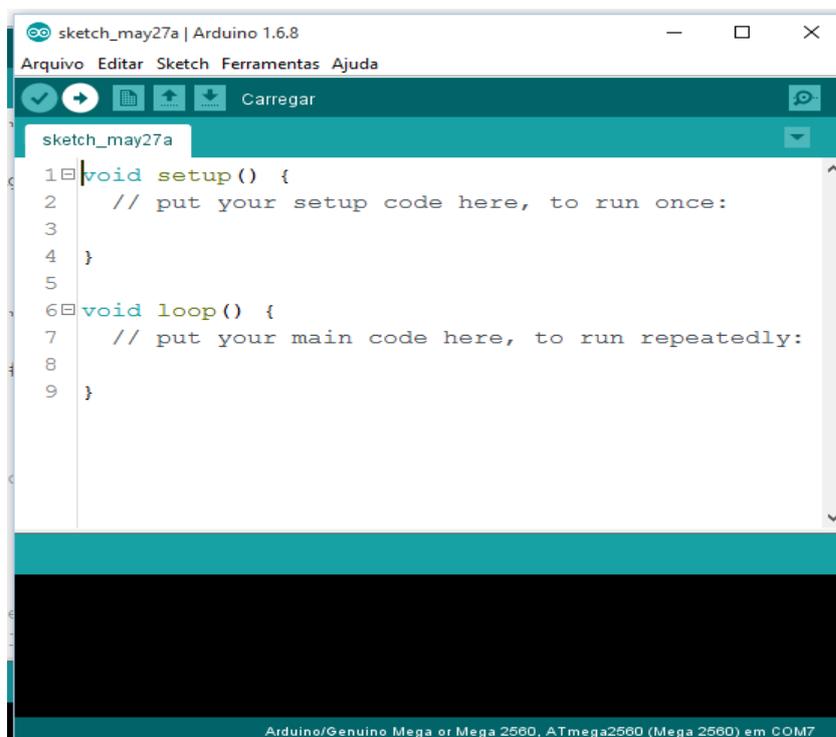
A programação do microcontrolador pode ser feita via Ambiente de desenvolvimento integrado - IDE, fornecida gratuitamente pela Arduino. A figura 38 exibe a IDE utilizada na programação da placa.

Tabela 5: Especificações Técnicas do Arduino Mega2560.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Fonte: (<https://www.arduino.cc>).

Figura 38: IDE de Programação do Arduino.



Fonte: (<https://www.arduino.cc>).

A linguagem de programação utilizada para programar o microcontrolador via IDE é o “C” e/ou “C++”. Sua estrutura básica conta com duas funções principais, “**void Setup()**” executada uma única vez quando o microcontrolador é iniciado ou resetado, esta função tem a finalidade de definir o estado dos registradores de entrada e/ou saída bem como os parâmetros de comunicação utilizado, e a função “**void loop()**”, esta função é executada ciclicamente até o que o sistema seja reiniciado ou desligado, dentro desta função devem ser implementadas e/ou chamadas, todas as rotinas de execução do programa de controle.

O microcontrolador pode ser alimentado através da conexão USB ou com uma fonte de alimentação externa, a fonte de alimentação é selecionada automaticamente pelo microcontrolador. A energia externa pode vir de um adaptador AC-DC ou de uma bateria de 9V. A placa pode operar com uma fonte externa de 6 a 20 volts DC, o intervalo recomendado pelo fabricante é de 7 a 12 volts.

Cada um dos 54 pinos digitais do Atmega 2560, pode ser usado como entrada ou saída digital, as definições dos pinos devem ser feitas dentro da função **Setup()** usando a função **pinMode(arg1, arg2)**, esta função recebe dois argumentos, o primeiro é referente ao endereço do registrador, ver datasheet no anexo deste documento, e o segundo o modo de operação do registrador, “**INPUT**” para funcionar como entrada e “**OUTPUT**” para funcionar como saída.

Cada pino funciona com uma tensão de 5 volts e podem fornecer ou receber 20 mA de corrente. A função **digitalWrite(Arg1, Arg2)**, é utilizada para definir o estado do pino de saída, o primeiro argumento é referente ao endereço do registrador, e o segundo defini o nível lógico do registrador, “**HIGH**” para nível lógico “**Alto**”, e “**LOW**” para nível lógico “**Baixo**”. A função **digitalRead(Arg1)** é utilizada para ler o nível lógico do registrador e retornar seu status, “**HIGH**” para nível lógico “**Alto**”, e “**LOW**” para nível lógico “**Baixo**”, esta função apresenta apenas um argumento que se refere ao endereço do registrador a ser lido. Além disso, alguns pinos têm funções específicas:

- **Serial 0:** pino 0 (RX) e pino 1 (TX);
- **Serial 1:** pino 19 (RX) e pino 18 (TX);
- **Serial 2:** pino 17 (RX) e pino 16 (TX);
- **Serial 3:** pino 15 (RX) e pino 14 (TX).

O pino (RX) é utilizado para receber e o pino (TX) para transmitir dados via serial.

Os pinos usados como Interrupções externas são: 2 (interromper 0), 3 (interromper 1), 18 (interrupção 5), 19 (interromper 4), 20 (interromper 3), e 21 (interrupção 2). Estes pinos podem ser configurados para disparar uma interrupção quando atingirem nível lógico baixo, alto, ou uma mudança de nível.

Além dos pinos digitais, o microcontrolador possui 16 entradas analógicas, cada entrada conta com um conversor AD-DA de 10 bits de resolução (1024 valores diferentes). De forma semelhante as entradas digitais, estes pinos podem ser programados com uso das funções **analogWrite(Arg1, Arg2)** para escrita analógica, onde o primeiro argumento refere-se ao endereço do registrador, e o segundo argumento o valor de tensão aplicado ao pino, é a função **analogRead(arg1)** retorna o valor analógico lido no pino passado como argumento da função.

Em seguida, foram definidos os pinos do microcontrolador a serem utilizados por cada dispositivo, de acordo com a relação abaixo:

Tabela 6: Associação dos pinos do microcontrolador com os dispositivos utilizado no projeto

Pinos do Microcontrolador	Dispositivo Associado
D2 (INT0)	Sensor de vazão da CAERN
D3 (INT3)	Sensor de vazão da bomba
D21(INT2)	Sensor de vazão da máquina de lavar
D5	Controle da válvula da CAERN
D6	Controle da bomba
D7	Controle da válvula do Pluviômetro
D8	Controle da válvula de descarte da máquina de lavar
D11	Controle da válvula pluviométrica do sistema de reuso
D12	Controle da válvula pluviométrica do sistema de reuso
D52	Enable da válvula do sistema pluviométrico
D22	Sensor de nível baixo reservatório superior

D24	Sensor de nível médio reservatório superior
D26	Sensor de nível alto reservatório superior
D30	Sensor de nível baixo reservatório inferior
D32	Sensor de nível médio reservatório inferior
D34	Sensor de nível alto reservatório inferior
D20(INT3)	Sensor de chuva
D40	Sensor pluviométrico de 2mm
D42	Sensor pluviométrico de 4mm
D46	Sensor de presença de água da máquina
A0	Analógico de uso geral
D48	Digital de uso geral
D50	Digital de uso geral

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.8 Sensores de Nível Utilizados.

Para realizar o controle do sistema, faz necessário a leitura de nível de ambos os reservatórios envolvidos no processo. O sistema conta com um conjunto de sensores de nível do tipo eletrodo metálico e chave de boia, sua escolha tem como base as necessidades apresentadas no projeto, associadas ao baixo custo de aquisição e implementação deste tipo de sensor.

3.8.1 Sensor de Nível Tipo Eletrodo Metálico.

Com base na estrutura exibida na figura 13 da revisão bibliográfica, foi desenvolvido uma estrutura em PVC (tubos e conexões) contendo 4 parafusos metálicos, correspondentes ao sistema de hastes de medição, além de um circuito transdutor de sinal, ver figura 39.

O Sensor conta com uma haste metálica inferior de referência ligada ao Vcc do circuito de alimentação, e três hastes indicadoras de nível (baixo, médio e alto) ligados a base dos transistores transdutores de sinal, que funcionam como chaves de acionamento.

Figura 39: Sensor de nível tipo eletrodo metálico.

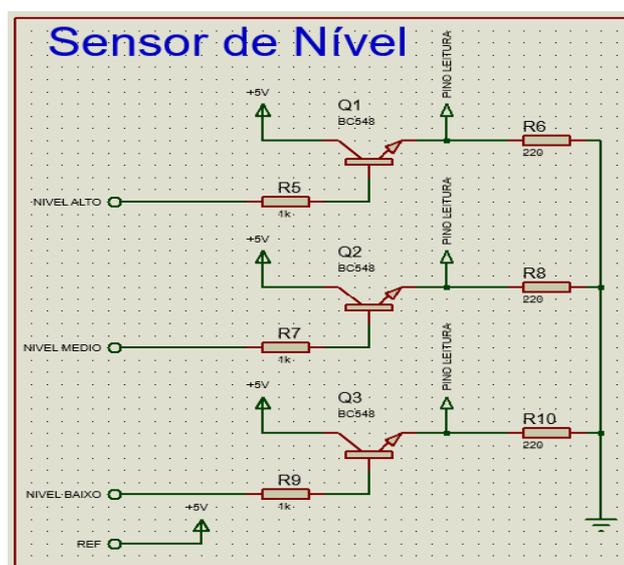


Fonte: Elaborada pelo autor.

O sinal de leitura é feito entre o emissor do transistor e um resistor de pull-Down, que garante nível lógico zero de referência quando o transistor não está conduzido, funciona como um divisor de tensão quando o transistor está conduzindo. A figura 40 exibe o esquemático do circuito transdutor utilizado para realizar a leitura do sensor de nível.

Quando o nível de água fecha o circuito entre a haste de referência e a haste de medição, flui uma corrente de base sobre o transistor de sinal, fechando o canal entre o coletor e emissor do transistor, desta forma, utilizando o controlador desenvolvido para o sistema e possível realizar a leitura do sinal lógico referente ao nível do reservatório em questão.

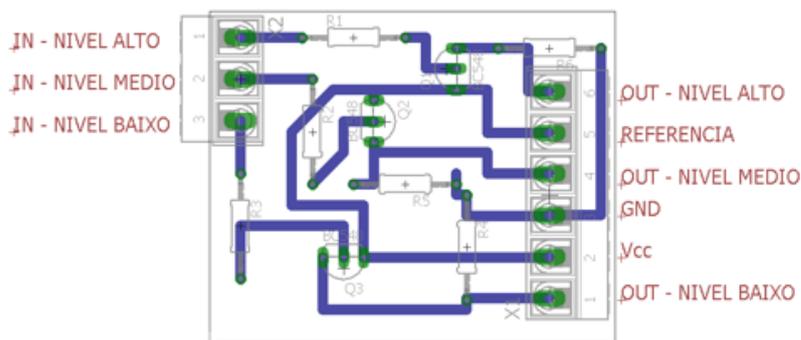
Figura 40: Circuito utilizado na medição descontínua de nível.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a simulação e teste do circuito utilizando o software de desenho e simulação Proteus VSM, foi gerado o layout para impressão da placa de circuito impresso, a figura 41 exibe o layout do circuito utilizado na medição de nível dos reservatórios.

Figura 41: Layout do circuito transdutor utilizado na medição descontínua de nível.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.8.2 Sensor de Nível Tipo Chave de Nível Tipo Boia.

Conforme citado no item 2.6.5, este tipo de dispositivo é bastante utilizado na medição descontínua de nível e acionamento de dispositivos de bombeamento, ver figura 12 da revisão bibliográfica. O sensor utilizado no projeto apresenta as seguintes características:

Meio líquido: água

Corrente máxima dos contatos: 15A

Tensão de operação: 100 - 254V

Temperatura máxima da água 60°C (140°F)

Submersão máxima 10m

Potência máxima do motor: 3/4HP (560W) em 127V

1,5HP (1120W) em 220V

Este dispositivo foi inserido no projeto visando a proteção do sistema contra falhas eletrônicas, garantindo o funcionamento do sistema mesmo quando o controlador estiver desligado.

3.9 Sensores de Vazão Utilizados.

O protótipo conta com três sensores de vazão que permitem o monitoramento do sistema em tempo real, desta forma o usuário pode acompanhar o consumo e fornecimento de água de todos os subsistemas envolvidos no projeto, a figura 42 exhibe o modelo dos sensores utilizados no projeto.

Figura 42: Medidor de Vazão.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Especificações técnicas:

Tensão de trabalho: 5 - 24 VDC

Corrente de trabalho: máximo 15 mA (DC 5 mA)

Temperatura de trabalho: Até 80°C

Fluxo: 1-60L/Min

Precisão: 0.5~60 L/min $\pm 1\%$

Pressão máxima: 1.75Mpa

Faixa de umidade de operação: 35% ~ 90% RH (sem gelo)

Roscas externas: 3/4"

Material: PVC

Peso: 51g

Dimensões: 6,2 cm x 3,6 cm x 3,5 cm

Este sensor utiliza a conversão de pulso digitais (frequência) em vazão. Esta conversão é feita a partir da equação ($Q = K \cdot P$), onde Q representa a vazão em l/mim, “ k ” constante de proporcionalidade e “ P ” a quantidade de Pulsos em um minuto.

Para o processo de calibração dos sensores foi levantado a curva de calibração para obtenção da constante de proporcionalidade de cada sensor. O procedimento utilizou um reservatório com volume conhecido para conferir o volume de água contabilizado pelo sensor. O sensor foi conectado a uma torneira aberta de forma gradual e em seguida cronometrado o tempo necessário para que o reservatório atingisse o volume estabelecido para averiguar o sensor, este processo foi feito para 10 valores diferentes de vazão. Com os valores obtidos na medição (volume, tempo e quantidade de pulsos) foi utilizando a relação à baixo para determinas a vazão:

$$\dot{Q} = \frac{V}{T} \text{ (l/min)}$$

Onde “V” e o volume medido e “T” o tempo decorrido.

Em seguida obteve-se os valores das constantes de calibração de cada sensor a partir da relação:

$$K = \frac{\dot{Q}}{P}$$

$K_1 = 0.397$ (Sensor de vazão da CAERN).

$K_2 = 0.406$ (Sensor de vazão da Bomba).

$K_3 = 0.400$ (Sensor de vazão da Máquina).

A curva de calibração e os dados obtidos no processo encontrasse no anexo deste trabalho.

3.10 Válvulas Utilizadas.

O sistema conta com um conjunto de quatro válvulas, sendo duas válvulas solenoides encontradas comercialmente, ver figura 43, e duas válvulas desenvolvidas para uso do projeto.

Figura 43: Válvula Solenoide.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As válvulas solenoides utilizadas no projeto apresentam as seguintes especificações:

- Conexão de entrada 3/4" rosca.
- Conexão de saída de 1/2"
- Modo de operação normalmente fechada, NF, (NC).
- Pressão de operação:
há 0,2kgf/cm², vazão mínima= 7 l/min.
há 8 kgf/cm², vazão máxima= 40 l/min.
- Tensão de operação: 220 VCA/ 50-60Hz

3.11 O Sistema de Bombeamento.

O projeto conta com um sistema de bombeamento automático entre o reservatório inferior e superior. Para a implementação do projeto foi utilizado uma bomba centrífuga modelo HAMMER MP500, a figura 44 exibe a bomba utilizada no projeto.

Figura 44: Bomba HAMMER MP500.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Especificações:

Voltagem: 220V.

Potência do motor: 1/2 HP - 0,37 KW

Rotação: $n = 3450$ RPM

Altura manométrica máxima: 26 metros

Sucção máxima: 8 metros

Vazão máxima: 33 litros/minutos

Temperatura máxima da água: 60°C

Temperatura máxima do ambiente: 80°C

Peso aproximado: 4,8kg

3.12 Implementação do Sistema Supervisório.

Com base na estrutura descrita no item 2.9 sobre o desenvolvimento de software, foi desenvolvido um software para interação entre o sistema de controle e o usuário final, este software permite ao usuário interagir com o sistema de forma manual, bem como acompanhar através da interface o controle automático de todos os subsistemas.

3.12.1 Análise dos Requisitos:

A análise prévia do sistema possibilita uma visão geral sobre os requisitos que o software de monitoramento deve apresentar em sua funcionalidade, a seguir e exibido um levantamento contendo as principais funcionalidades que o sistema de supervisão deve apresentar.

- Apresentar uma interface amigável e de fácil manuseio.
- Adotar um protocolo de comunicação compatível entre o computador e o controlador utilizado.

- Possibilitar o monitoramento do sistema em tempo real.
- Detalhamento do volume de água utilizado de cada sistema.
- Interação do sistema de forma manual pelo usuário.

3.12.2 A implementação da Interface Gráfica do Supervisório.

O supervisório foi implementado utilizando a IDE do Visual Studio 2016, que é uma ferramenta open source para desenvolvimento de aplicativos e programas, o software conta com uma interface de monitoramento permitindo ao usuário monitorar o sistema em tempo real, bem como sua intervenção manual no sistema. A tela inicial do software desenvolvido pode ser visualizada na figura 45.

A tela inicial do software encontrasse dividida em três áreas: a primeira área (área destacada em vermelho da figura 45) é responsável por estabelecer a conexão entre o computador e o controlador, configurando a porta serial utilizada na comunicação, a segunda área (área destacada em verde da figura 45) é responsável pelo controle manual do mecanismo de bombeamento e todas as válvulas envolvidas, e por último a área apresentando uma interface (área destacada em azul da figura 45) contendo um modelo simplificado do layout do projeto.

Figura 45: Tela Inicial do Supervisório.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A primeira área da interface do usuário, ver figura 46, apresenta o campo referente ao endereço da porta serial necessários para estabelecer a comunicação com o sistema. O usuário ao clicar no botão “Buscar” da interface, faz com que o software faça uma varredura no sistema operacional buscando por dispositivos periféricos conectados ao computador via serial.

Figura 46: Parâmetros da Comunicação Serial.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Desta forma ao terminar a varredura no sistema, o software retorna as portas listadas pelo sistema operacional, ver figura 47, após a seleção dos parâmetros adequados o usuário deve pressionar o botão conectar estabelecendo a conexão com o sistema, caso a comunicação entre o software e o controlador tenha sido estabelecida corretamente o sistema apresentará a tela exibida na figura 48.

Figura 47: Listagem das Portas Seriais Disponíveis no Sistema.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 48: Comunicação Serial Estabelecida.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Esta primeira área conta com uma aba denominada de configurações, responsável pela alteração dos parâmetros auxiliares utilizados na comunicação serial, bem como as configurações do sistema pluviométrico e da máquina de lavar.

Em relação aos parâmetros auxiliares utilizadas na comunicação serial, o software permite que o usuário altere as configurações padrão utilizadas na comunicação serial, entre elas: o “Bauld Rate” taxa de transmissão de bits por segundo, “Data Bits” a quantidade de bits utilizada para representar os dados transmitidos, “Stop Bits” o bit de parada e “Paryti” o bit de paridade.

O controle pluviométrico permite ao usuário escolher a quantidade de milímetros iniciais de chuva que deseja descartar, os valores disponíveis são 2 e 4mm. Quanto ao sistema de reuso da máquina de lavar, o usuário pode escolher qual ciclo de descarte o sistema deve reutilizar.

Esta área apresenta um botão de reset do sistema permitindo ao sistema voltar para as configurações iniciais de funcionamento, restaurando todas as configurações para seus respectivos valores iniciais. A figura 49 exibe a aba de configuração do sistema após a inicialização do software.

Figura 49: Configuração do Sistema de Reuso.

Com. Serial Configurações

Baud Rate 9600

Data Bits 8

Stop Bits One

Parity NONE

Alterar Configuração

Sistema pluviométrico

Ref 2 mm. Ref 4 mm.

Ciclo de Reuso da Máquina de Lavar

Ref 1 Ciclo Ref 2 Ciclo

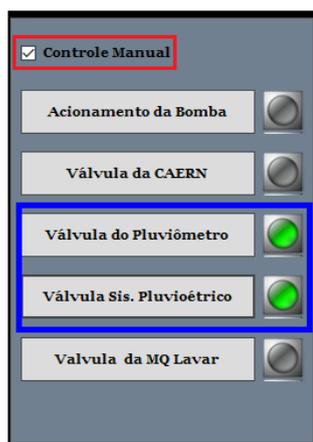
Reset do Sistema

Fonte: Elaborada pelo autor.

A segunda área da interface do usuário, é responsável pelo controle manual do sistema, ver figura 50. Após estabelecida a comunicação com o controlador o usuário pode selecionar a forma de controle manual do sistema (campo destacado em vermelho na figura 50), marcando o campo de seleção manual.

Quando acionado, o software apresenta em sua interface um indicador luminoso (LED) indicando o status de funcionamento do equipamento (área destacada em azul na figura 50), a indicação verde representa que o sistema encontrasse em funcionamento, a indicação cinza representa o equipamento em repouso ou desligado.

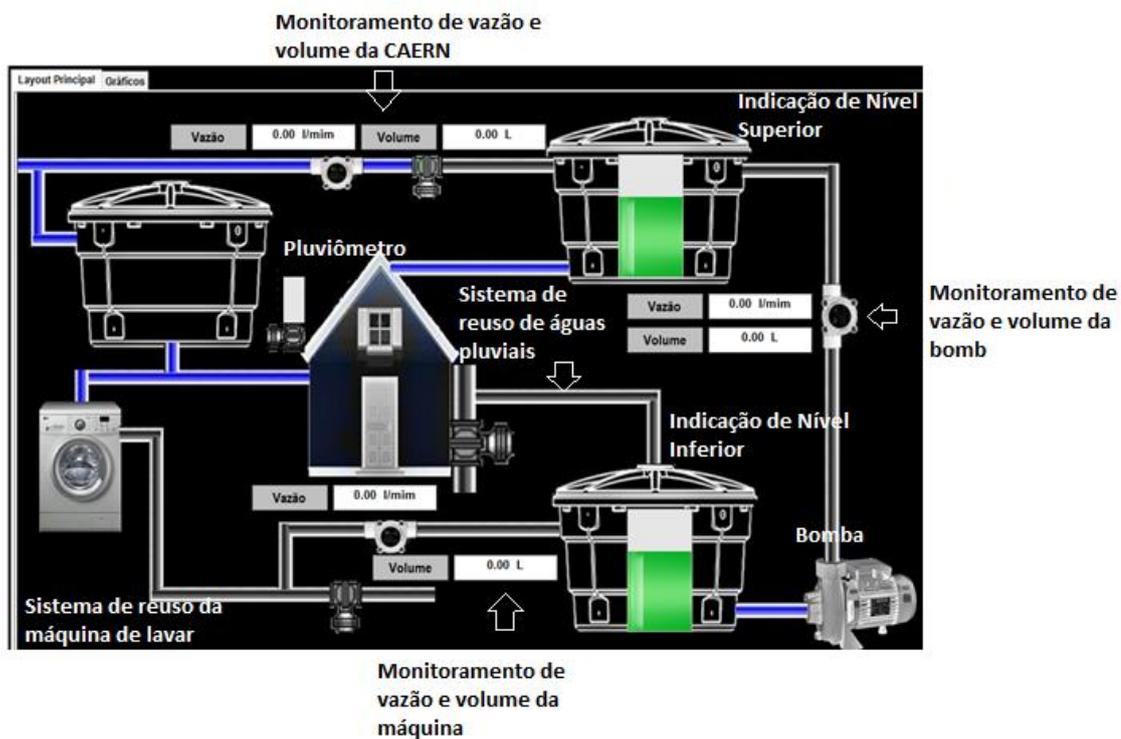
Figura 50: Controle Manual do Sistema.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A última área é responsável por exibir o layout do sistema, nesta área o usuário pode acompanhar a animação gráfica de funcionamento do sistema, bem como monitorar os dados referentes a volume, vazão e nível de cada subsistema, ver figura 51.

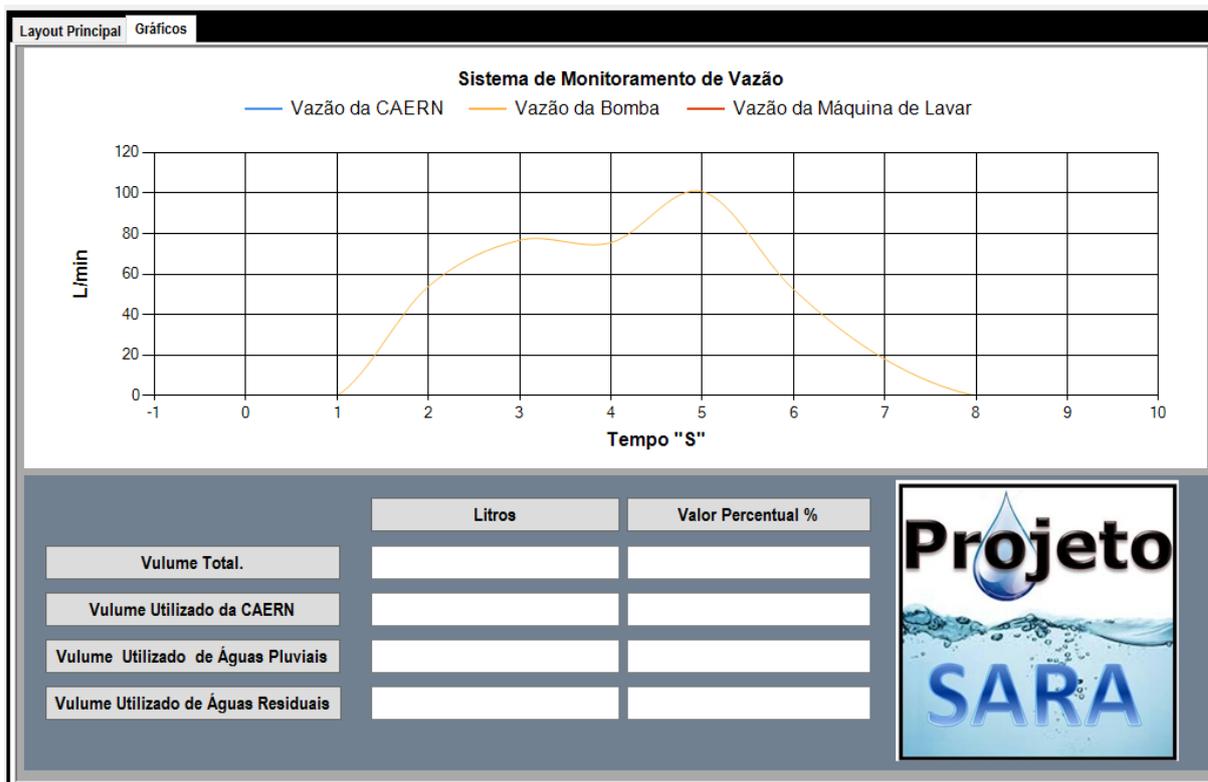
Figura 51: Tela Inicial do Sistema (Layout).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Esta área conta com uma subárea na qual é possível monitorar o sistema de vazão e volume de cada subsistema em tempo real, a figura 52 exibe o gráfico de monitoramento de vazão do sistema, e um resumo contendo o volume mensal utilizado de cada subsistema.

Figura 52: Sistema de Monitoramento de vazão e volume.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Este capítulo aborda os dados obtidos no processo de simulação do sistema de reuso de águas pluviais e residuais para fins não potáveis. Para obtenção dos resultados, utilizou-se de uma bancada experimental para teste e validação do protótipo. A bancada conta com a utilização de uma estrutura montada em PVC para simular o processo de reuso de águas pluviais, simulando os estágios de captação e descarte, uma estrutura contendo uma eletrobomba simulando as etapas de reuso e descarte de águas residuais, além da integração à rede de distribuição de água potável (CAERN).

4.1 Simulação e Validação do Sistema de Reuso de Águas Pluviais.

A figura 53 exibe a bancada utilizada para teste do sistema de reuso de águas pluviais, inicialmente foi introduzido com uso de uma seringa um volume conhecido de água no sistema de monitoramento pluviométrico, simulando a presença de chuva (dispositivo exibido no lado esquerdo da figura 53), ao mesmo tempo foi introduzido água na estrutura responsável pela captação e descarte de água de chuva (dispositivo exibido no lado direito da figura 53).

O controlador detecta a presença de chuva a partir do sensor de monitoramento pluviométrico (pluviômetro), desta forma, enquanto os níveis de referência pré-estabelecido de 2mm de chuva não forem atingidos, ocorre o descarta de água do sistema pluviométrico, assim que o controlador detecta que o nível de referência foi alcançado, o fluxo de água e redirecionado para o reservatório de armazenamento.

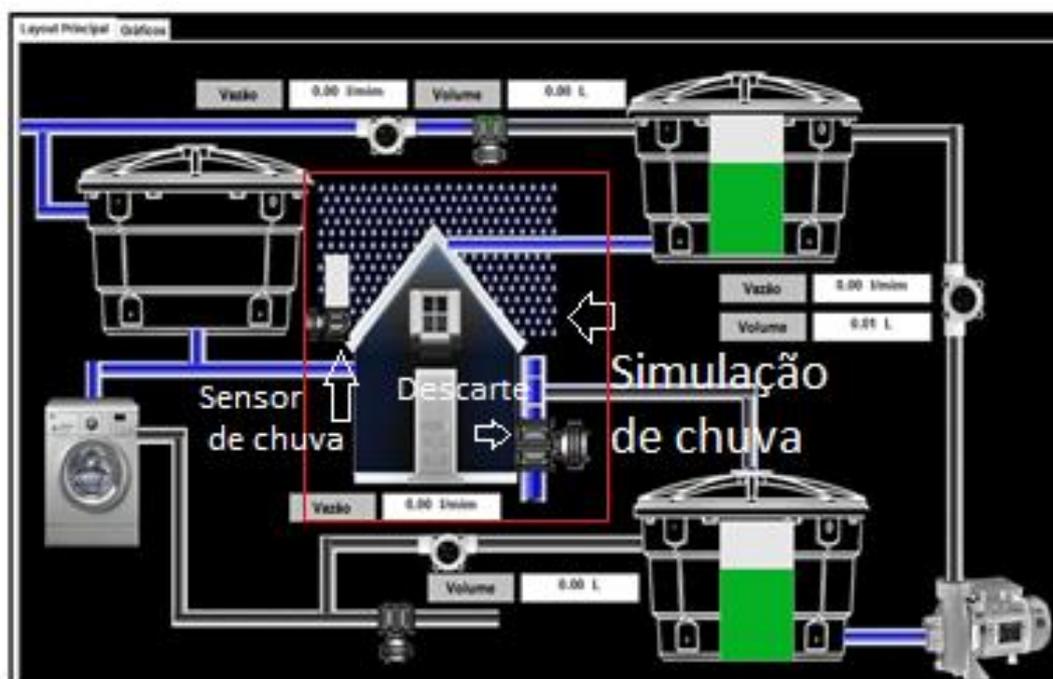
Figura 53: Bancada de teste para o sistema de reuso de águas pluviais.



Fonte: Cortesia de Diego Lemos.

A figura 54 exibe a interface do supervisório no momento da simulação, inicialmente o controlador detecta a presença de chuva a partir do sensor pluviométrico, imediatamente uma animação simulando chuva aparece sobre a interface do supervisório (área destacada em vermelho na figura 53). Neste momento, ocorre o descarte de água de chuva até que o pluviômetro alcance o valor de referência de 2mm de precipitação pluviométrica.

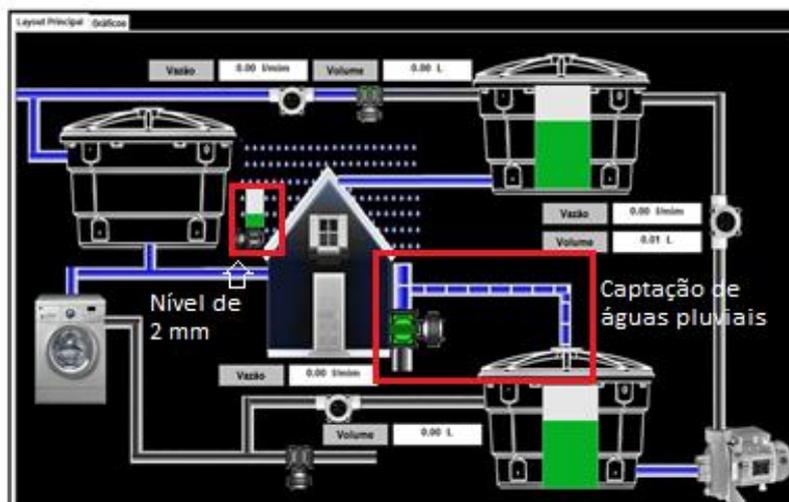
Figura 54: Simulação do sistema pluviométrico (Descarte de Água).



Fonte: Elaborada pelo autor.

No instante que o controlador detecta que o dispositivo de monitoramento pluviométrico atingiu o valor de referência de 2mm de chuva, o fluxo de água é direcionado para o reservatório de armazenamento, neste momento será exibido na interface do software, uma animação simulada o processo de captação de água pelo sistema de reuso de águas pluviais, bem como a indicação do acionamento da válvula (a válvula muda a cor para verde) responsável pelo redirecionamento de águas pluviais, a figura 55 exibe em destaque os campo mencionados anteriormente.

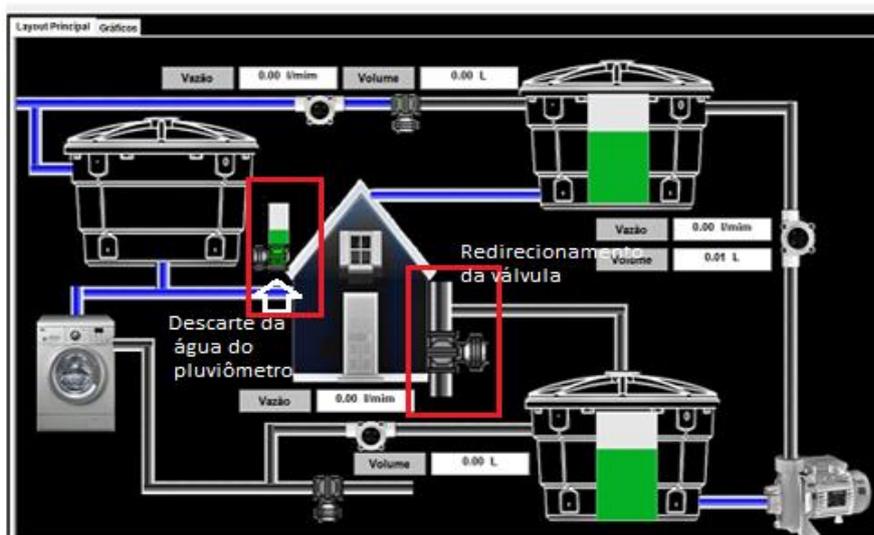
Figura 55: Simulação do sistema pluviométrico (Captação de Água).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o final da chuva, o controlador aguarda por um tempo preestabelecido de 24h (este tempo pode ser reconfigurado via software) para esvaziar o pluviômetro e redirecionar a válvula para o sistema de descarte, este tempo tem como base a ocorrência de várias precipitações de chuva durante um dia chuvoso, desta forma o sistema estará apto a captar o máximo volume de chuva suportado pelos reservatórios envolvidos. A figura 56 exibe o descarte de água do sistema pluviométrico e o redirecionamento da válvula do sistema de reuso para o descarte.

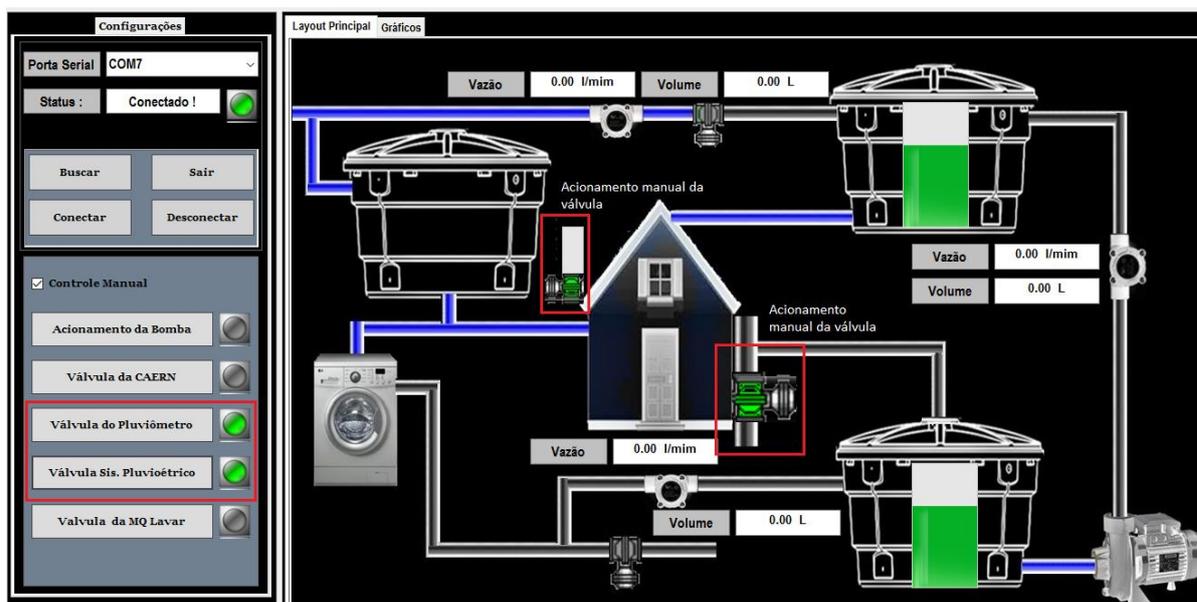
Figura 56: Descarte de água do pluviômetro e redirecionamento da válvula do sistema de reuso.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema de reuso de águas pluviais também pode ser acionado de forma manual através do acionamento dos respectivos botões presentes na interface do supervisor, desta forma o usuário pode controlar tanto a válvula do pluviômetro quanto a válvula do sistema de redirecionamento de águas pluviais. A figura 57 exhibe o acionamento dos botões de forma manual bem como a indicação luminosa das válvulas do pluviômetro e do sistema de reuso de águas pluviais.

Figura 57: Acionamento manual do sistema de reuso de águas pluviais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Simulação e Validação do Sistema de Reuso de Águas Residuais.

A figura 58 exhibe a estrutura utilizada no sistema de reuso de águas residuais da máquina de lavar. O sistema conta com uma entrada de água que deve ser acoplada a saída de água da máquina de lavar, um sensor responsável pela identificação dos ciclos de descarte de água da máquina, e duas saídas de água, uma para o sistema de descarte (saída inferior do dispositivo) e outra para o sistema de armazenamento (saída superior direita do dispositivo).

Inicialmente foi acoplado a saída de água da máquina de lavar à entrada do sistema de reuso (dispositivo de captação da figura 58), em seguida a saída superior do dispositivo foi acoplada ao reservatório de armazenamento (saída superior direita do dispositivo da figura 58).

Figura 58: Estrutura utilizada no sistema de reuso de águas residuais.



Fonte: cortesia de Arthur Pordeus.

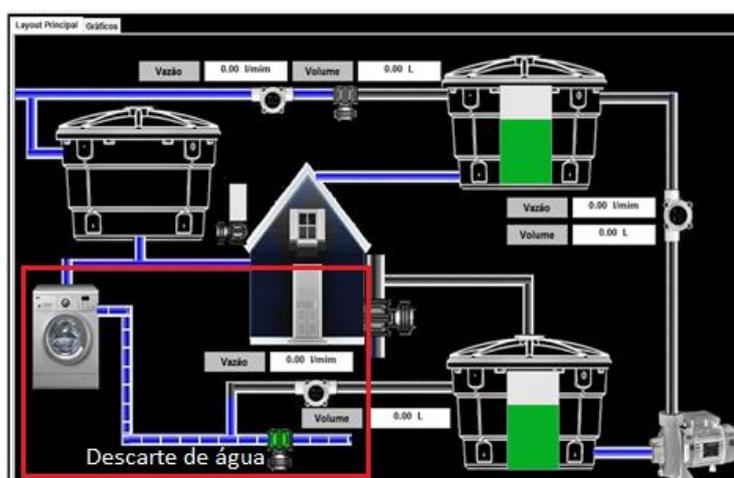
Após concluída todas as conexões necessárias para o funcionamento do protótipo, foi iniciado o processo de simulação. Este processo consiste na detecção de água oriundas do descarte de água da máquina de lavar, através do sensor de presença de água.

Assim que o controlador detecta a presença do primeiro ciclo de descarte da máquina, a válvula do sistema é direcionada para o descarte (saída inferior), quando o controlador detecta a presença do segundo ciclo, a válvula é redirecionada para o reservatório de armazenamento permitindo a reutilização da água, neste momento aparece na tela do supervisor uma indicação luminosa (verde) sobre a válvula presente no sistema. A figura 59 e 60 exibem respectivamente os processos de captação e descarte exibidos na tela do supervisor durante o processo de simulação. A figura 60 também permite ao usuário acompanhar o volume de água em litros disponível para ser reutilizada pelo sistema, bem como a vazão no sistema durante o processo de captação.

O processo levou em conta máquinas com dois ciclos de descarte. Para suprir a necessidade de máquinas com mais de dois ciclos sem a necessidade de alteração na estrutura de hardware do projeto, utilizou-se de uma rotina interna responsável por um sistema de temporização acionada após o início do segundo ciclo de descarte,

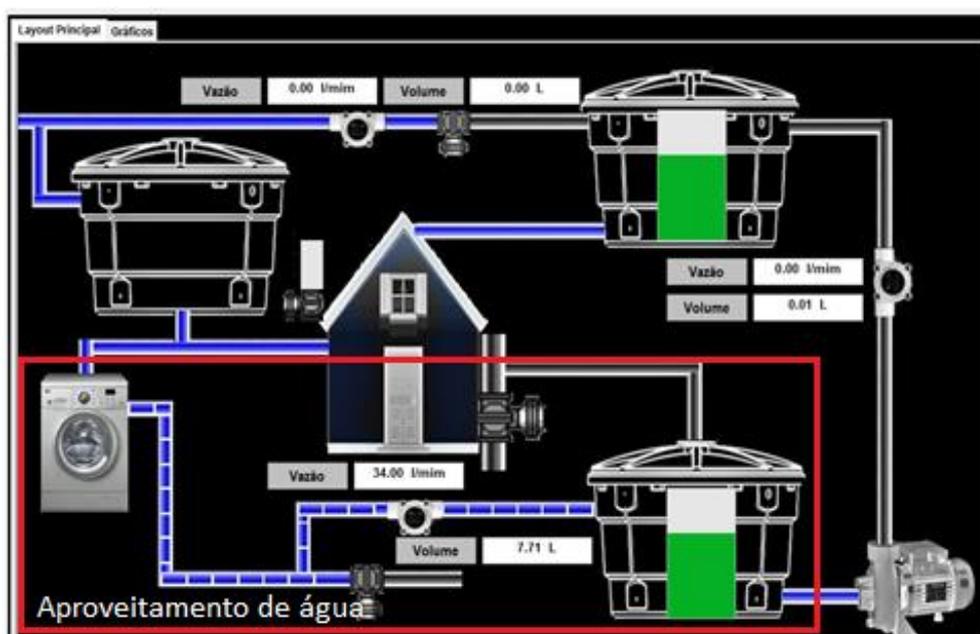
seu funcionamento consiste da seguinte maneira: após o início do segundo ciclo, o controlador inicia um temporizador de 1 hora (pode ser reconfigurado), se durante este intervalo não ocorrer mais nenhum ciclo de descarte o sistema reinicia o contador de ciclos e aguarda até que ocorra um novo ciclo, caso seja detectada a presença de mais um ciclo dentro do intervalo de uma hora, o controlador considera um terceiro ciclo de descarte e mantém a válvula direcionada para o reservatório de captação.

Figura 59: Simulação do sistema de reuso da máquina de lavar (Descarte de Água).



Fonte: Elaborada pelo autor.

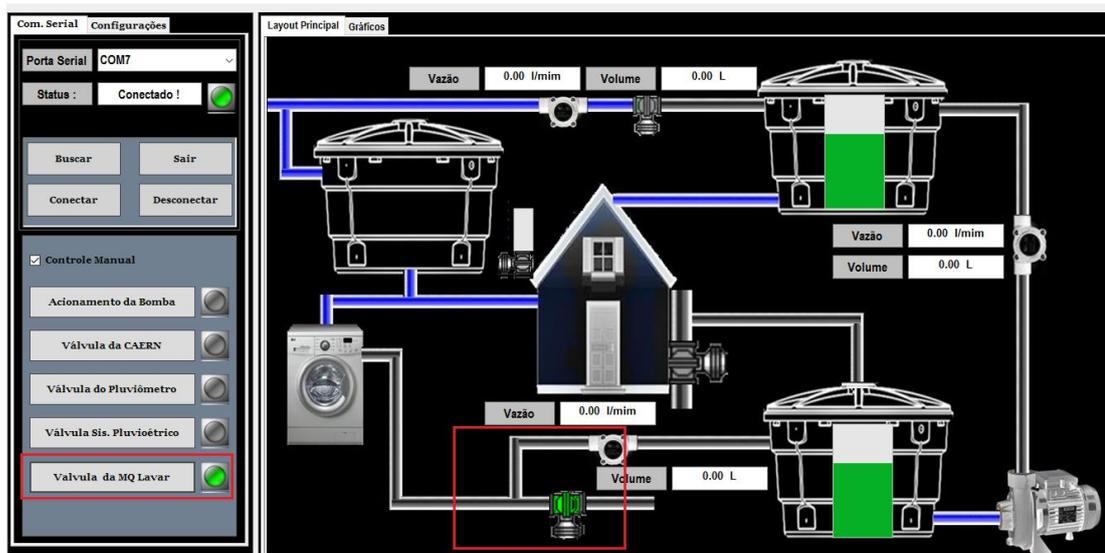
Figura 60: Simulação do sistema de reuso da máquina de lavar (Captação de Água).



Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema de reuso de águas residuais da máquina de lavar também pode ser acionado de forma manual através do acionamento do respectivo botão presente na interface do supervisor, desta forma o usuário pode controlar de forma manual a válvula do sistema de redirecionamento de águas residuais. A figura 61 exibe o acionamento do botão de forma manual bem como a indicação luminosa de acionamento da válvula do sistema de reuso de águas residuais.

Figura 61: Acionamento manual do sistema de reuso da máquina de lavar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Simulação e Integração do Sistema de Bombeamento e da CAERN.

A integração de ambos os subsistemas, permite o funcionamento completo do sistema de modo autônomo. Para realizar a simulação e integração dos componentes, foi utilizado duas caixas de 23L representando os reservatórios superior e inferior, além dos sensores tipo chave de nível, eletrodo metálico e um sensor de vazão. A figura 62 exibe a estrutura montada para simulação do sistema.

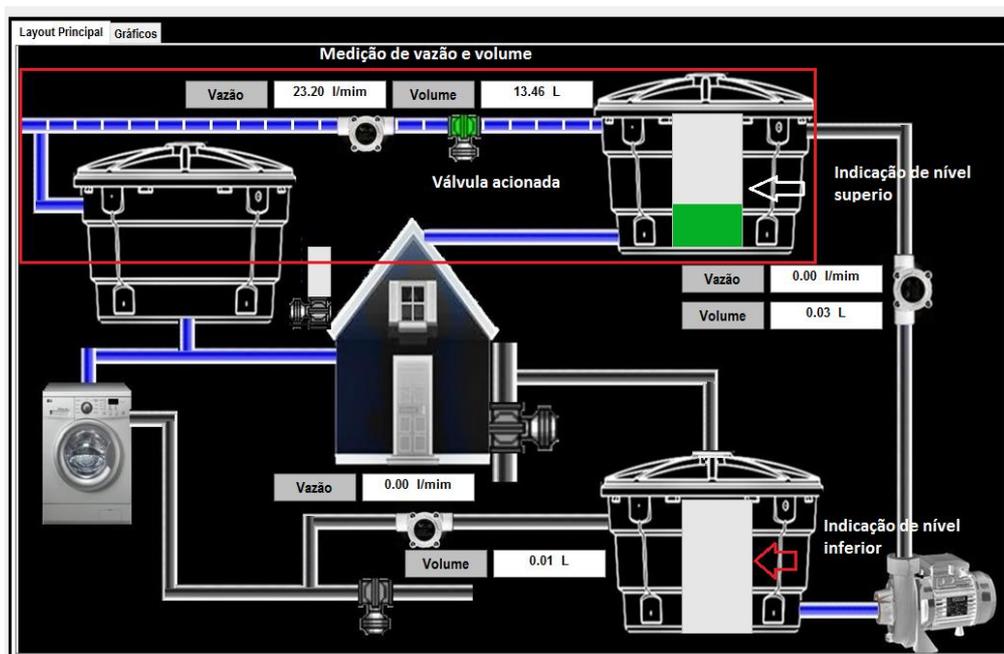
O processo de simulação teve início considerando ambos os reservatórios vazios, desta forma o controlador aciona a válvula solenoide responsável pelo fornecimento de água da CAERN para encher o reservatório superior. A figura 63 exibe a tela do software durante o processo de simulação. A válvula solenoide permanece acionada até que o reservatório superior atinja nível alto.

Figura 62: Simulação do sistema de bombeamento e da CAERN.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 63: Simulação do sistema de abastecimento da CAERN (válvula acionada).

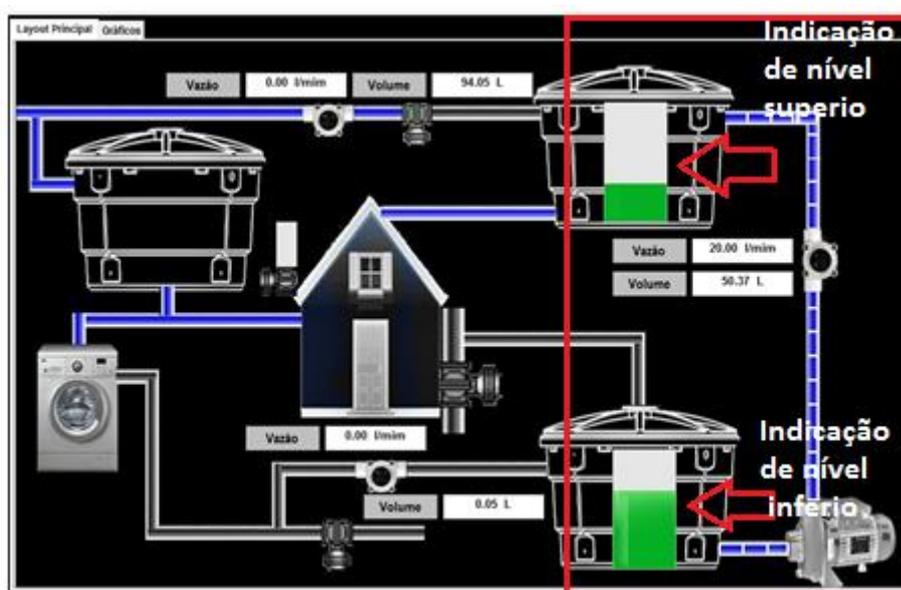


Fonte: Elaborada pelo autor.

O segundo passo da simulação, considerou o reservatório superior em nível baixo e o reservatório inferior em nível alto, desta forma o controlador aciona o sistema de bombeamento, priorizando o uso da água oriunda do sistema de reuso, o sistema

permanece acionado até que o reservatório superior atinja nível alto ou o inferior atinja nível baixo. A figura 64 exhibe o funcionamento desta etapa da simulação.

Figura 64: Simulação do Sistema de bombeamento.

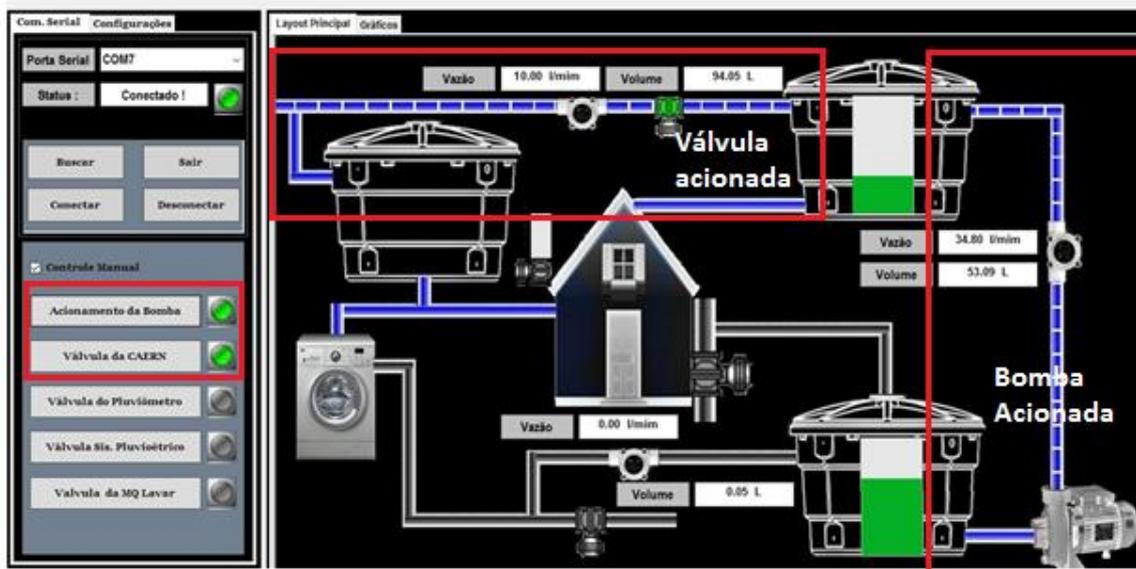


Fonte: Elaborada pelo autor.

Ambos os sistemas possuem monitoramento de vazão e volume, definindo o volume de água utilizado de cada sistema. Devido a limitação físicas de vazão apresentadas pelos sensores de vazão (60 l/mim) utilizados no projeto, não se utilizou o mesmo no sistema pluviométrico, pois este sistema pode alcançar vazões de ordem maior que o suportado pelos sensores, o volume deste subsistema foi contabilizado utilizando a diferença entre o volume bombeado e o volume oriundo da máquina de lavar.

O terceiro passo da simulação considerou o acionamento do sistema de forma manual a partir dos respectivos botões de acionamento presentes na interface do supervisor. A figuras 65 exhibe em destaque o acionamento manual da válvula da CAERN e do sistema de bombeamento, bem como a animação gráfica da tela do software.

Figura 65: Acionamento manual do sistema de bombeamento e da CAERN.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O quarto passo do processo de simulação, aborda o mecanismo desenvolvido contra falhas eletrônicas no controlador, para simular uma falha eletrônica no sistema foi implementado na estrutura do controlador uma chave on-off que possibilita a interrupção de energia fornecida ao controlador levando ao seu desligamento, mantendo o fornecimento de energia apenas para os atuadores (válvula solenoide do sistema da CAERN e bomba) e as chaves de nível tipo boia, chaves estas responsáveis pelo controle da válvula solenoide de fornecimento de água potável, bem como o acionamento da bomba. A figura 66 exibe a chave on-off implementada no controlador.

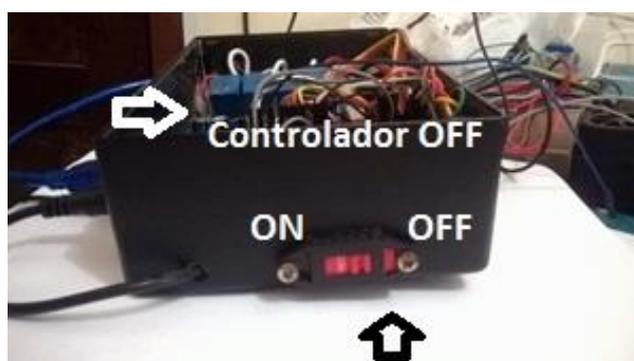
Figura 66: chave on-off implementada no controlador



Fonte: Elaborada pelo autor.

No instante que a chave é posicionada na posição “OFF” a comunicação entre o computador e o controlador é encerrada, ver figura 67. Neste instante sistema passa a ser controlado pelas chaves de nível, assim que o reservatório superior atinge nível baixo os subsistemas de fornecimento de água da CAERN e o subsistema de bombeamento entram em funcionamento até que umas das condições de parada sejam atingidas (ver item 3.5).

Figura 67: Sistema de controle off-line.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para finalizar o processo de simulação a figura 68 exibe a tabela referente ao valor de água utilizado de cada subsistema durante o período de uma semana, bem como seu valor percentual no sistema total. A partir destes dados é possível observar uma economia de 80% do volume de água usado para fins não potáveis

Figura 68: Volume de água utilizado de cada subsistema.

	Litros	Valor Percentual %
Vulume Total de Água Utilizado	1000	100
Vulume Utilizado de Água da CAERN	200	20
Vulume Utilizado de Águas Pluviais	500	50
Vulume Utilizado de Águas Residuais	300	30
Vulume Reutilizado de Água	800	80

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.

5.1 Conclusões.

Os objetivos deste trabalho foram atingidos, foi desenvolvido um sistema de monitoramento automatizado de reuso de água de chuva e da máquina de lavar, controlado pelo microcontrolador Atmega 2560 e programado para realizar os processos de captação, armazenamento e distribuição da água em ambientes residencial para fins não potáveis.

A integração dos subsistemas de reuso de águas pluviais e residuais desenvolvidos em parceria com os colegas Diego e Arthur, atingiram com êxito as expectativas levantadas na fase de projeto, que visava desenvolvimento de um sistema de reuso de águas pluviais e residuais que apresentasse as seguintes especificações: eficiente, robusto e de baixo custo.

Vale ressaltar que, outro ponto também importante foi alcançado, a possibilidade de abastecimento do reservatório superior com água potável nos períodos de seca, ou quando a oferta de água pelo sistema de reuso não suprir a demanda residencial onde o sistema foi instalado.

Os sensores de nível desenvolvidos para o projeto funcionaram conforme projetados, comportando-se de forma eficiente e robusta durante todos os processos de teste e validação do projeto.

O software desenvolvido para o sistema de monitoramento, comportou-se de forma robusta e estável, tanto no quesito de comunicação serial com o controlador, quanto na interação com o usuário, permitindo a intervenção direta do usuário no controle manual do sistema, bem como a alteração nas configurações de funcionamento do controlador.

O mecanismo de proteção contra falhas eletrônicas no controlador, funcionou conforme planejado, possibilitando o funcionamento do sistema de abastecimento do reservatório superior mesmo com o controlador desligado.

Diante desses resultados, é possível contribuir com o meio ambiente ao se reduzir a utilização de água tratada para fins menos nobres, como descargas sanitárias e rega de jardim. Assim, conseqüentemente contribuir para uma economia

na conta de água. Portanto o sistema demonstrou que aplicando os conhecimentos da engenharia, pode-se desenvolver sistemas automatizados eficientes e de baixo custo.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros.

Como sugestão para trabalhos futuros, poderiam ser instalados sensores de nível no reservatório principal, a fim de monitorar o nível deste reservatório a partir do software de monitoramento.

Outro ponto importante, seria desenvolver um painel integrado com LED's, LCD e botões direto no controlador, permitindo que o cliente efetue a configuração e controle manual dos dispositivos direto no controlador.

Seria interessante acrescentar mais dispositivos como filtros e até mesmo tanques de desinfecção por adição de produtos químicos, de modo que o sistema possa controlar a quantidade adicionada.

No que se refere ao software poderia ser desenvolvido a geração de relatório em PDF pelo supervisor, detalhando o volume de água utilizado de cada subsistema, bem como o desenvolvimento de uma arquitetura de hardware que possibilite a comunicação do controlador via a internet ou bluetooth.

Para finalizar desenvolver um sistema de controle no qual o usuário possa controlar e acompanhar o sistema por um smartphone.

6 REFERÊNCIAS.

BOYLESTAD, R. DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS - 8º EDIÇÃO 2004
EDITORIA: PRENTICE HALL.

MAY, S. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para consumo não potável em edificações.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 2004.

TOMAZ, P. – **Água da Chuva: Aproveitamento de Água da Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis.** 1ª Edição. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva -Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.** Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

EMICOL. Eletroeletrônica S.A. Válvulas de entrada de água Simples. Disponível em: < <http://www.emicol.com.br/>>. Acesso em: 15/04/2016.

GRASSI, M. T. **As Águas do Planeta Terra.** Edição Especial, mai. 2001.

ISA – Instituto Sócio Ambiental. **Almanaque Brasil Sócio Ambiental.** 2004.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura. Objetivos de desenvolvimento do milênio – Relatório Nacional Disponível em: <http://planipolis.iiep.unesco.org/upload/Brazil/Brazil%20MDG%20Report%20Portuguese%20version.pdf>>. Acesso em: 20/04/2016

MAGALHÃES, L. R. LUCAS **Automação e Controle em Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva Para Fins Não Potáveis.** 2011.

OLIVEIRA, Márcio L. de. **Automação Residencial para o Reaproveitamento de Água,** 2010.

WRI (World Resources Institute), 1998. Freshwater Resources and Withdrawals, 1970–98. Oxford: Oxford University Press. Disponível em: < http://pdf.wri.org/wrr98_chapter12.pdf>. Acesso em: 05/03/2016.

3P TECHNIK DO BRASIL Ltda. **Soluções para o Manejo Sustentável das Águas Pluviais**. Disponível em: < www.agua-de-chuva.com/brazil/index.php>. Acesso em: 05/03/2016.

McRoberts, Michael. *Arduino básico* / Michael McRoberts; tradução Rafael Zanolli. - São Paulo: Novatec, 2011. 453 p.: il., 23 cm.

Monk, Simon. *Programação com arduino: começando com sketches* / Simon Monk. - Porto Alegre: Bookman, 2013. 147 p.: il.

Georgini, Marcelo (2000), *Automação Aplicada — Descrição e Implementação de Sistemas Seqüenciais com PLCs*, Editora Erica Ltda, São Paulo, Brasil.

Marte, Cláudio Luiz (1995), *Automação Predial — A Inteligência Distribuídas nas Edificações*, Carthago & Forte Editoras Associadas Ltda, São Paulo, Brasil.

Bolzani, Caio Augustus Moraes (2004a), *Desenvolvimento de um Simulador de Controle de Dispositivos Residenciais Inteligentes*, Dissertação de Mestrado, EPUSP

.

Bolzani, Caio Augustus Moraes (2004b), *Residenciais Inteligentes*, Editora Livraria da Física, São Paulo, Brasil.

Braude, Eric (2005), *Projeto de Software: da programação à arquitetura: uma abordagem baseada em Java*, tradução Edson Furmankiewicz, Editora Bookman, Porto Alegre, Brasil.

7 ANEXOS

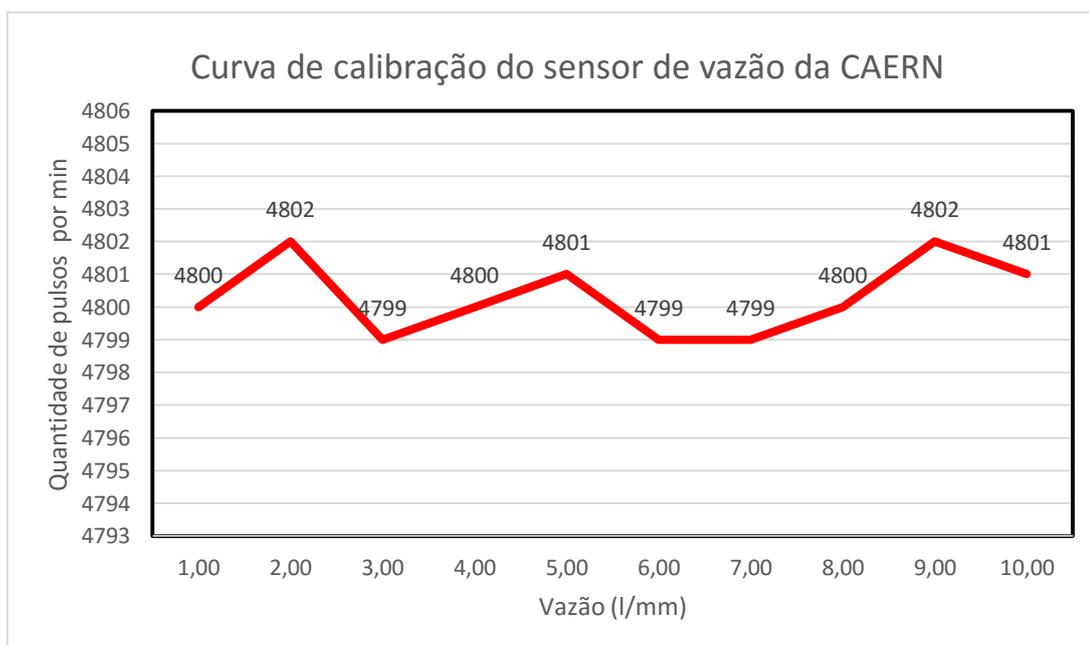
ANEXO A – Tabela de aquisição de dados utilizada na calibração dos sensores de vazão.

Tabela 7: Dados obtidos na calibração do sensor de vazão da CAERN.

Sensor de Vazão 1 - CAERN					
Nº da medição	Volume (l)	Tempo (min)	Vazão (Q = V/T) (l/mim)	Quantidade de Pulsos por mim	Fator de Calibração K
1	10	0,313	32,00	4800	0,400
2	10	0,312	32,09	4802	0,401
3	10	0,313	31,99	4799	0,400
4	10	0,329	30,40	4800	0,380
5	10	0,329	30,41	4801	0,380
6	10	0,313	31,99	4799	0,400
7	10	0,303	32,95	4799	0,412
8	10	0,313	31,92	4800	0,399
9	10	0,321	31,13	4802	0,389
10	10	0,305	32,81	4801	0,410
Media					0,397

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 69: Curva de calibração do sensor de vazão da CAERN.



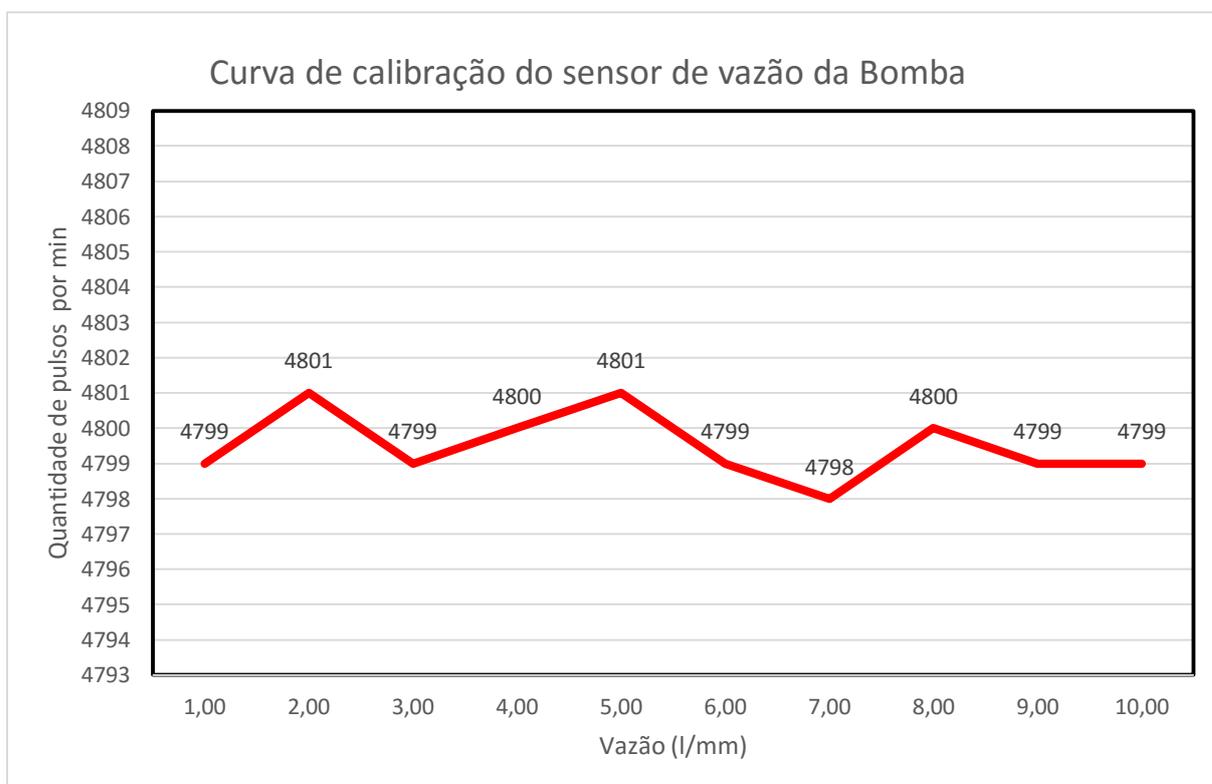
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 8: Dados obtidos na calibração do sensor de vazão da Bomba.

Sensor de Vazão 1 - Bomba					
Nº da medição	Volume (l)	Tempo (min)	Vazão (Q = V/T) (l/min)	Quantidade de Pulsos por mim	Fator de Calibração K
1	10	0,313	31,91	4799	0,399
2	10	0,312	32,09	4801	0,401
3	10	0,311	32,15	4799	0,402
4	10	0,329	30,40	4800	0,380
5	10	0,329	30,41	4801	0,380
6	10	0,313	31,99	4799	0,400
7	10	0,305	32,82	4798	0,412
8	10	0,313	31,92	4800	0,399
9	10	0,312	32,07	4799	0,401
10	10	0,313	31,91	4799	0,399
Media					0,397

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 70: Curva de calibração do sensor de vazão da Bomba.



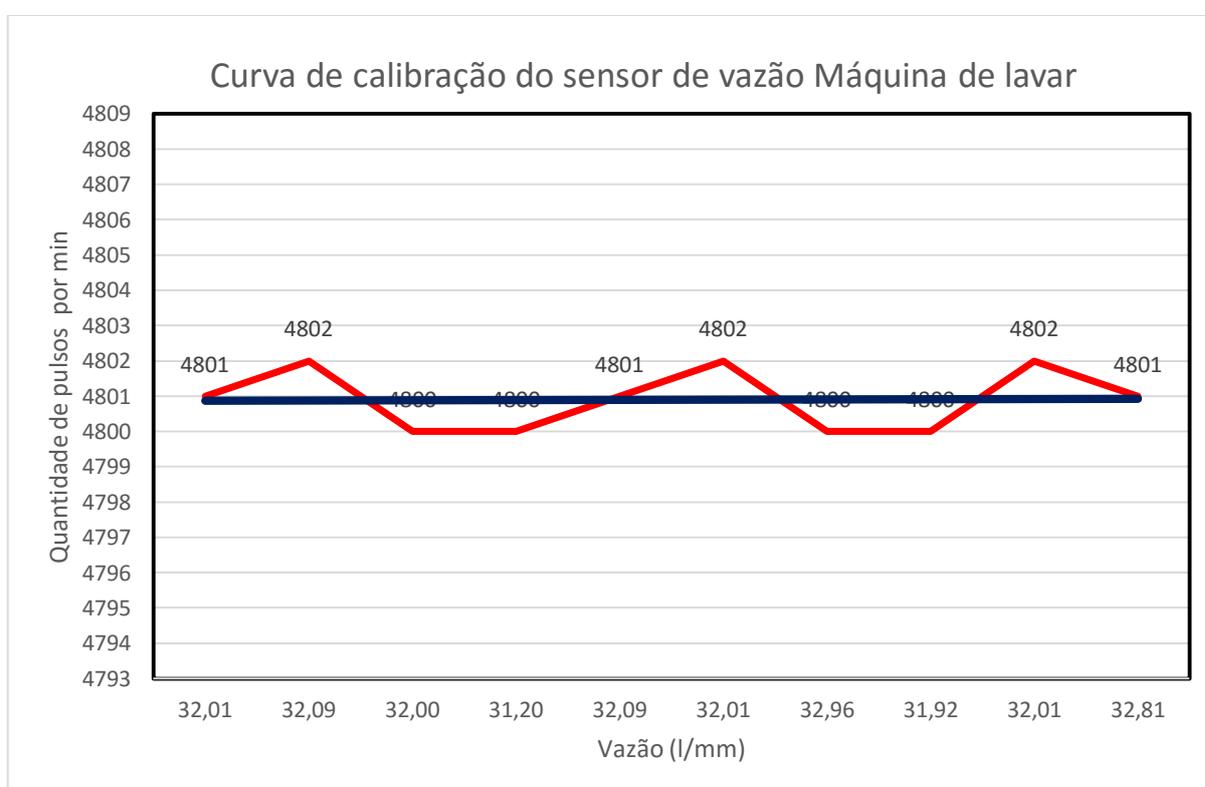
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 9: Dados obtidos na calibração do sensor de vazão da Máquina de lavar.

Sensor de Vazão 2 - Máquina de lavar					
Nº da medição	Volume (l)	Tempo (min)	Vazão (Q = V/T) (l/min)	Quantidade de Pulsos por mim	Fator de Calibração K
1	10	0,312	32,01	4801	0,400
2	10	0,312	32,09	4802	0,401
3	10	0,313	32,00	4800	0,400
4	10	0,321	31,20	4800	0,390
5	10	0,312	32,09	4801	0,401
6	10	0,312	32,01	4802	0,400
7	10	0,303	32,96	4800	0,412
8	10	0,313	31,92	4800	0,399
9	10	0,312	32,01	4802	0,400
10	10	0,305	32,81	4801	0,410
Media					0,401

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 71: Curva de calibração do sensor de vazão da Máquina de Lavar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

ANEXO B – Tabela de custos para implementação do sistema de reuso de águas pluviais e residuais.

Custos de implementação.

Para a instalação de um sistema compatível com o modelo proposto, além dos custos específicos com tubulações e dispositivos hidráulicos convencionais, seria necessário a aquisição de alguns dispositivos específicos como reservatórios, válvulas solenoide, bomba de recalque e sensores adequados. A tabela 10, traz uma estimativa de custo de aquisição dos dispositivos e componentes eletrônicos para implementação do sistema.

Tabela 10: Tabela de Custos.

Estimativa de Custos		
Quantidade	Item	Valor Unitário R\$
2	Válvula Solenoide 2 vias	18,00
2	Válvulas desenvolvidas	120,00
2	Reservatórios 500L	300,00
1	Moto-bomba	124,00
x	Conexões e Tubulações	80,00
2	Chave de Nível	35,00
3	Sensores de Vazão	60,00
1	Controlador Ateмега 2560 Arduino	50,00
x	Componentes eletrônicos	70,00
x	Caixas de proteção para circuito	30,00
x	Fios	20,00
Total		1500

Fonte: Elaborada pelo autor.