

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA E ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO

ISABELLA MOURA ARAKAKI
RAFAEL ALMEIDA CELESTINO DE MATOS
RAFAEL FERREIRA SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM CHUVEIRO AUTOMATIZADO PARA
CONTROLE DE VAZÃO DA ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

ISABELLA MOURA ARAKAKI
RAFAEL ALMEIDA CELESTINO DE MATOS
RAFAEL FERREIRA SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM CHUVEIRO AUTOMATIZADO PARA
CONTROLE DE VAZÃO DA ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Departamento Acadêmico de Eletrotécnica Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de “Engenheiro de Controle e Automação”.

Orientadora: Prof.^a Elisabete Nakoneczny Moraes,
Dr.^a

CURITIBA
2017

ISABELLA MOURA ARAKAKI
RAFAEL ALMEIDA CELESTINO DE MATOS
RAFAEL FERREIRA SANTOS

DESENVOLVIMENTO DE UM CHUVEIRO AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE VAZÃO DA ÁGUA

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro de Controle e Automação, do curso de Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 08 de Junho de 2017.

Prof. Paulo Sergio Walenia
Coordenador de Curso
Engenharia de Controle e Automação

Prof. Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia de Controle e Automação do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof.^a Elisabete Nakoneczny Moraes, Dr.^a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Joaquim Eloir Rocha, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.^a Mariana Antonia Aguiar Furucho, M.^a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.^a Elisabete Nakoneczny Moraes, Dr.^a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aos meus pais que, acima de qualquer distância física, sempre estiveram ao meu lado me apoiando tanto financeiramente quanto emocionalmente, me dando muito amor, carinho e força para que eu chegasse até esta etapa da minha vida. (Isabella Moura Arakaki)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser meu guia e salvador, as pessoas com quem convivi ao longo desta jornada e em especial aos meus pais João e Rivandy, minha irmã Julia e a toda minha família, que através de muito apoio tornaram possível a realização desta conquista. (Rafael Ferreira Santos)

Dedico a minha mãe Lucia por todo o esforço, amor e paciência durante esta etapa. Ao Marcos por sempre me apoiar e ajudar com os mais diversos problemas, a minha família por todo o carinho e aos grandes amigos que fiz nesta caminhada. (Rafael Almeida Celestino de Matos)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a nossa orientadora Prof^a. Dr^a. Elisabete Nakoneczny Moraes, pela sabedoria com que nos guiou nesta trajetória e pela sua prontidão em nos ajudar.

Ao Marcos Valerio Guitti pelo auxílio e pelos conselhos em todas as fases do projeto.

Gostaríamos de deixar registrado também, o reconhecimento aos nossos familiares, pois sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Aos nossos colegas de sala e a todos que por algum motivo contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

ARAKAKI, Isabela M.; MATOS, Rafael A. C.; SANTOS, Rafael F.. DESENVOLVIMENTO DE UM CHUVEIRO AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE VAZÃO DA ÁGUA. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Este projeto consiste na implementação de uma solução para minimizar o desperdício de água durante o banho, nos momentos em que o consumo de água é dispensável, por exemplo, na hora de ensaboar o corpo. O funcionamento do Chuveiro Automatizado se dá através do controle da vazão de água de acordo com a posição do usuário em relação ao chuveiro, além de possibilitar ao usuário ter uma percepção do tempo de duração do banho, através de sinalização visual feita por LED. O trabalho apresenta os métodos usados para identificação do mecanismo adequado para a execução do controle da vazão de água, pesquisa teórica a respeito dos componentes a serem utilizados na etapa de criação do protótipo, etapas de teste de software e hardware e análise dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Chuveiro automatizado, controle de vazão, sustentabilidade

ABSTRACT

ARAKAKI, Isabela M.; MATOS, Rafael A. C.; SANTOS, Rafael F.. . 88 f. – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

This work consists in the implementation of a solution to minimize the waste of water during the bath, at the moments when the consumption of water is dispensable, for example, when lathering the body. The Automated Shower function works by controlling the flow of water according to the user's position in relation to the shower, as well as allowing the user to have a perception of the duration of the bath through LED visual signaling. The work presents the methods used to identify the appropriate mechanism for the execution of water flow control, theoretical research regarding the components to be used in the prototype creation stage, software and hardware test steps and analysis of the results obtained.

Keywords: automated shower, flow control, sustainability

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Volume do consumo de água mundial.	14
FIGURA 2	– Volume do consumo de água mundial per capita.	15
FIGURA 3	– Volume do consumo de água no Brasil per capita.	16
FIGURA 4	– Volume do consumo de água no estado do Paraná.	17
FIGURA 5	– Volume do consumo de água no período de 2006 a 2014 em Curitiba. ...	17
FIGURA 6	– Volume do consumo de água em Curitiba por categoria.	18
FIGURA 7	– Chuveiro Evadrop.	21
FIGURA 8	– Chuveiro Hydrao.	21
FIGURA 9	– Fluxograma do processo metodológico.	22
FIGURA 10	– Detalhes do chuveiro Hydrao.	26
FIGURA 11	– Chuveiro <i>Shower Manager</i>	27
FIGURA 12	– Partes construtivas de um motor CC.	30
FIGURA 13	– Exemplo de uma redução de velocidade utilizando engrenagens.	31
FIGURA 14	– Circuito ponte-H.	32
FIGURA 15	– Circulação de corrente nos Estados 2 e 3.	33
FIGURA 16	– Exemplo de aplicação de um sensor ultrassônico.	35
FIGURA 17	– Exemplo de uma válvula motorizada.	36
FIGURA 18	– Válvulas rotativas.	36
FIGURA 19	– Espectro eletromagnético.	38
FIGURA 20	– Exemplo de um fotodiodo.	39
FIGURA 21	– Encoder incremental.	40
FIGURA 22	– Encoder absoluto.	41
FIGURA 23	– Sensor de efeito Hall.	44
FIGURA 24	– Topologia do sistema.	45
FIGURA 25	– Conjunto motor e válvula.	47
FIGURA 26	– <i>Driver</i> DRV8801.	48
FIGURA 27	– Pinagem do Atmega328.	49
FIGURA 28	– Sensor ultrassônico HC-SR04.	50
FIGURA 29	– Modo de funcionamento detalhado do sensor ultrassônico HC-SR04.	51
FIGURA 30	– Modo de funcionamento do sensor ultrassônico HC-SR04.	51
FIGURA 31	– Encoder utilizado no sistema.	52
FIGURA 32	– Sensor fotoelétrico empregado no sistema.	52
FIGURA 33	– Sensor de vazão.	53
FIGURA 34	– Esboço do <i>hardware</i> do sistema.	54
FIGURA 35	– Conjunto mecânico.	56
FIGURA 36	– Esquema do circuito eletrônico de acionamento do motor.	57
FIGURA 37	– Protótipo do circuito eletrônico.	58
FIGURA 38	– Fluxograma de explicação do <i>software</i>	59
FIGURA 39	– Protótipo do chuveiro na fase de testes.	61
FIGURA 40	– Gráficos de consumo de água.	62
FIGURA 41	– Queda de tensão gerada pelo resistor.	64
FIGURA 42	– Exemplo do encoder com a fita preta.	67

FIGURA 43	– Novo encoder.	67
FIGURA 44	– Pulsos gerados pelo encoder.	68
FIGURA 45	– Exemplo de indicação das aberturas máxima e mínima no encoder.	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 2	– Tabela comparativa entre os chuveiros apresentados	28
TABELA 3	– Tabela de possibilidades de controle para o motor CC	32
TABELA 4	– Tabela dos pinos do DRV8801	48
TABELA 5	– Descrição dos pinos do Atmega328	50
TABELA 6	– Dados sobre o consumo de água	63
TABELA 7	– Custos do projeto.	65

LISTA DE SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira das Águas Subterrâneas
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
AVR	<i>Advanced Virtual RISC</i>
BJT	<i>Bipolar Junction Transistor</i>
CC	Corrente Contínua
CI	Circuito Integrado
CN	Controle Numérico
CNC	Controle Numérico Computadorizado
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
ROM	<i>Read-only Memory</i>
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
UCP	Unidade Central de Processamento
Unesco	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USART	<i>Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	TEMA	13
1.1.1	Delimitação do tema	18
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	19
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo Geral	19
1.3.2	Objetivos Específicos	19
1.4	JUSTIFICATIVA	20
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2	ESTADO DA ARTE	25
2.1	EVADROP	25
2.2	HYDRAO	25
2.3	<i>SHOWER MANAGER</i>	26
2.4	CHUVEIRO AUTOMÁTICO	27
2.5	CONSIDERAÇÕES	28
3	REFERENCIAL TEÓRICO	29
3.1	MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA	29
3.2	MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA COM CAIXA DE REDUÇÃO	29
3.3	CONTROLE PARA MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA	31
3.4	SENSOR ULTRASSÔNICO	34
3.5	VÁLVULA DE FLUXO	35
3.5.1	Válvula de controle	35
3.5.1.1	Válvula motorizada	35
3.5.1.2	Válvula rotativa	36
3.6	SENSOR FOTOELÉTRICO	37
3.6.1	Fotodiodos	38
3.7	ENCODERS	39
3.7.1	Encoder Incremental	40
3.7.2	Encoder Absoluto	41
3.8	PROGRAMAÇÃO C	42
3.9	MICROCONTROLADOR	42
3.10	CÁLCULO DE VAZÃO	43
3.10.1	Sensor de vazão por Efeito Hall	44
4	ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	45
4.1	TOPOLOGIA DO SISTEMA	45
4.1.1	Modo de funcionamento	45
4.1.2	Planta	46
4.1.3	Sistema de controle	47
4.1.3.1	<i>Driver</i> DRV8801	47
4.1.3.2	Microcontrolador Atmega328	49

4.1.4	Sensor ultrassônico	50
4.1.5	Encoder	51
4.1.6	Sensor de vazão	53
4.2	ESBOÇO DE <i>HARDWARE</i>	54
4.2.1	Fonte de alimentação	54
5	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	55
5.1	DESENVOLVIMENTO MECÂNICO	56
5.2	DESENVOLVIMENTO DO <i>HARDWARE</i>	57
5.3	DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i> E MODO DE FUNCIONAMENTO	58
5.4	PROCEDIMENTOS DE TESTES	60
6	RESULTADOS	62
6.1	CONTROLE DA VAZÃO	62
6.2	CONSUMO DO CIRCUITO	63
6.3	CUSTOS DO PROJETO	65
7	DISCUSSÕES E PROPOSTAS FUTURAS	66
7.1	PROBLEMAS OCORRIDOS	66
7.1.1	PWM do motor	66
7.1.2	Encoder	66
7.1.3	<i>Driver</i> e motor	68
7.1.4	Vazão de água	69
7.2	PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS	70
8	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	72
	Apêndice A – <i>SOFTWARE</i> DO PROJETO	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

O cotidiano é cercado por atividades que diretamente ou indiretamente são fundamentais para o nosso bem estar e conforto, sendo a água o bem essencial para esta formulação. O conhecimento e percepção do esgotamento deste importante recurso pode ser percebida através do enfoque dado ao tema por entidades mundiais e brasileiras conforme resume-se nos panoramas a seguir:

Panorama mundial

Segundo o site da ABAS (Associação Brasileira das Águas Subterrâneas), há hoje 29 países no mundo sem água doce em quantidade mínima necessária e satisfatória para o abastecimento doméstico. No ano de 2003, no Terceiro Fórum Mundial das Águas, que reuniu 100 chefes de Estado, delegações de 170 países e mais de 10 mil especialistas em Kyoto, no Japão, foram divulgados os chamados Números da Crise. Dentre eles, o número que mais chama a atenção é: 1,4 bilhão de pessoas sofrem com a escassez de água (ABAS, 2003).

De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos 2015 – Água para um Mundo Sustentável, da Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), o desenvolvimento insustentável e falhas cometidas pelos governos têm afetado diretamente a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos no mundo. É previsto, para 2050, que a demanda de água doce aumente em 55%, e se não existir um equilíbrio entre a demanda e a oferta, o mundo sofrerá ainda mais com a escassez de recursos hídricos (UNESCO, 2015).

O objetivo do relatório da Unesco é alertar os governos dos países para que incentivem seus povos a desenvolverem uma cultura de consumo sustentável a fim de evitar uma crise hídrica nos anos futuros, afirma a oficial de Ciências Naturais da Unesco na Itália, Angela Ortigara, que participou da elaboração do relatório (UNESCO, 2015).

A Unesco recomenda mudanças na administração pública, no investimento em infraestrutura e em educação (UNESCO, 2015). O coordenador de Ciências Naturais da Unesco no Brasil, Ary Mergulhão, diz o seguinte:

”Grande parte dos problemas que os países enfrentam, além de passar por governança e infraestrutura, passa por padrões de consumo, que só a longo prazo conseguiremos mudar, e a educação é a ferramenta para isso.” (UNESCO, 2015)

O gráfico mostrado na figura 1 corresponde aos dados fornecidos pela ONU (Organização das Nações Unidas) sobre o crescimento do consumo de água no mundo ao longo dos anos. Entre 1900 e 1950, houve um aumento de, aproximadamente, 2,4 vezes. Já entre 1950 e 2000, o crescimento foi de quase 2,9 vezes. Em 2025, acredita-se que o aumento seja de 1,3 vezes, estimativa de crescimento menor se comparado aos anos anteriores, pois espera-se a conscientização sobre a realidade hídrica atual e o desenvolvimento de um consumo sustentável da população mundial (UNESCO, 2015).

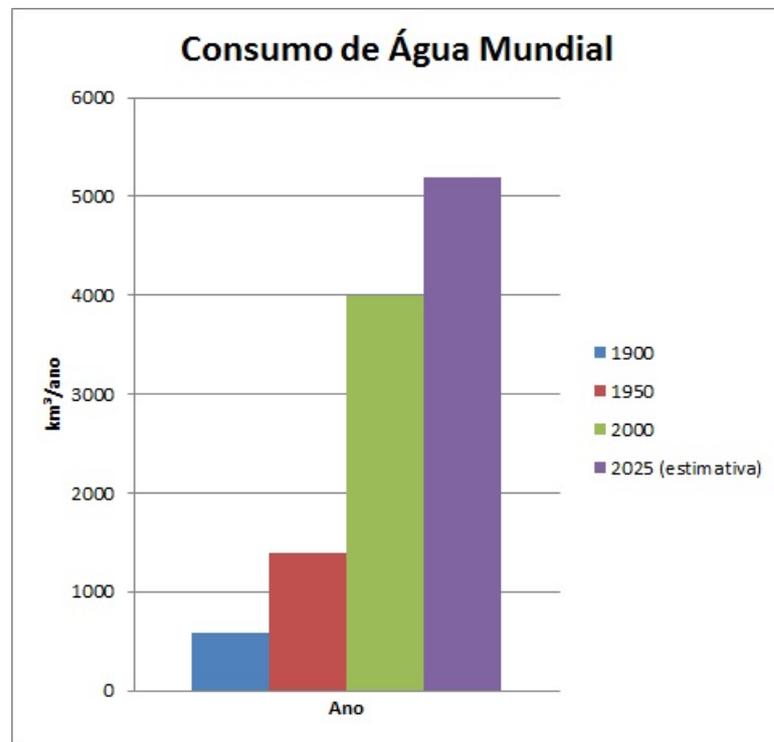


Figura 1: Volume do consumo de água mundial.

Fonte: (PENA, 2002)

A figura 2 além de apresentar um gráfico comparativo do consumo por pessoa, em litros, por dia, possibilita a constatação de que alguns países estão abaixo do mínimo estipulado pela ONU, sendo este mínimo igual a 100 litros de água por dia, per capita.

Panorama brasileiro

Conforme o Manual de Educação para o Consumo Sustentável publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em 2009:

”Mesmo países que dispõem de recursos hídricos abundantes, como o Brasil, não estão livres da ameaça de uma crise. A disponibilidade dos recursos hídricos varia muito de uma região para outra. Além disso, nossas reservas de água potável estão diminuindo. Entre as principais causas da diminuição da água potável estão o crescente aumento do consumo, o desperdício e a poluição das águas superficiais e subterrâneas por esgotos domésticos e resíduos tóxicos provenientes da indústria e da agricultura.”

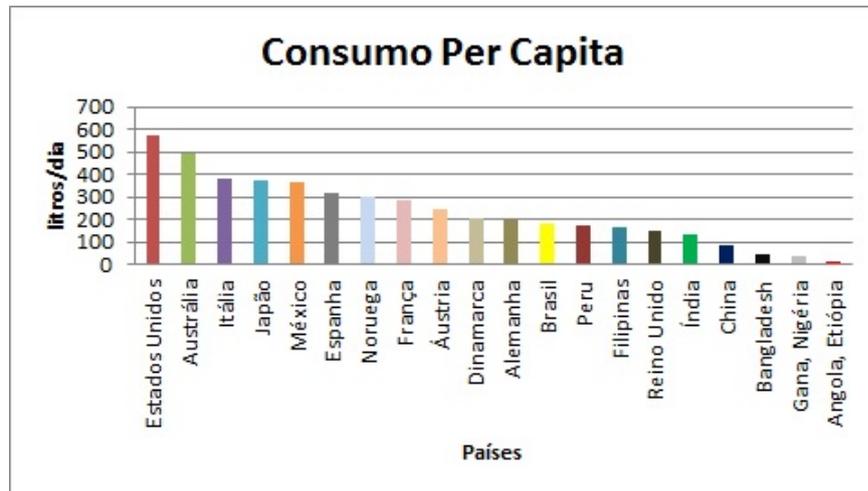


Figura 2: Volume do consumo de água mundial per capita.

Fonte: (GUIA DO ESTUDANTE, 2015)

De acordo com o gráfico apresentado na figura 3, mais que 65% dos recursos hídricos do Brasil localizam-se na região Norte, que é habitada pela segunda menor população. No sentido oposto, a região Sudeste é detentora da menor quantidade de recursos, sendo a região mais populosa. ”A situação dos lugares onde ficam as capitais mais populosas inspira cuidado, pede planejamento e exige ação”, diz Paulo Varela, diretor da Agência Nacional de Águas (SEGALA, 2012).

Ainda de acordo com o MMA (2009), o Brasil apresenta elevado índice de desperdício de água nas residências, envolvendo por exemplo, o tempo usado para o banho e os hábitos adotados nesta prática.

Uma pesquisa encomendada no ano de 2010 pela Reckitt Benckiser, indústria que fabrica produtos de higiene e cuidados pessoais, citada na *webpage* da Globo diz que, enquanto os britânicos se banham 5,6 vezes por semana e os americanos 7,4, os brasileiros ligam o chuveiro 20 vezes nesse mesmo intervalo. Mesmo considerando questões culturais e o clima do Brasil, a quantidade de banhos no Brasil é muito maior, o que faz muita diferença em um balanço geral do consumo doméstico de água (Reckitt Benckiser *apud* GLOBO, 2011).

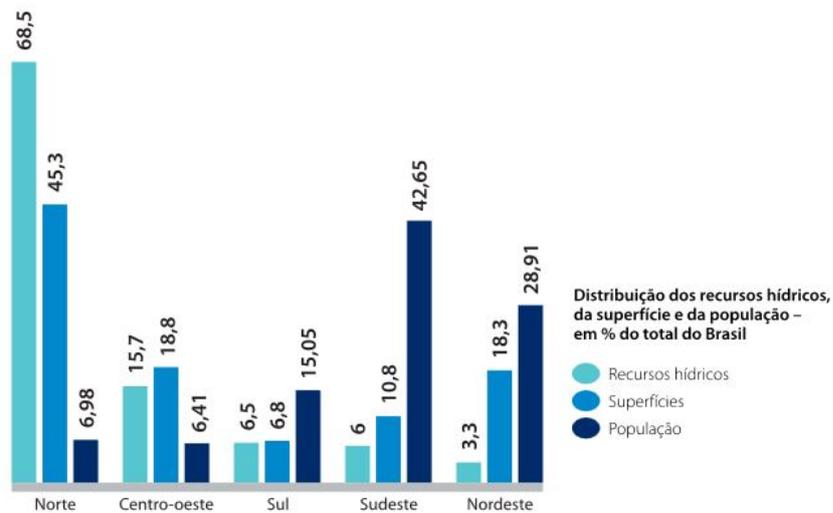


Figura 3: Volume do consumo de água no Brasil per capita.

Fonte: (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009)

Panorama paranaense

Segundo a publicação na revista informativa *Bacias Hidrográficas do Paraná - Séries Históricas*, pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná (SEMA), existem diversas formas para a utilização de recursos hídricos que acabam sendo indispensáveis para as atividades humanas. Dentre elas, o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola e a produção de energia elétrica. Estas atividades humanas, necessitam dos recursos hídricos para a sua efetivação (SEMA, 2010).

Na mesma publicação, a SEMA (2010) afirma o seguinte:

”A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal 9433/97 e a Lei Estadual 12726/99 indicam que a gestão dos recursos hídricos deva ser descentralizada e participativa. Para a SEMA a participação social deve começar na sensibilização das pessoas sobre as características ambientais das bacias hidrográficas onde estão inseridas.”

No Estado do Paraná, o maior consumo de água é através do abastecimento público, com 42% do total, seguido pela demanda industrial, com 24%, agricultura com 21%, e pecuária com 13% (SEMA, 2010).

A análise feita pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) sobre o consumo de água no estado do Paraná e na região de Curitiba contemplada no gráfico apresentado na figura 4, revela o aumento do consumo de recursos hídricos pela população ao longo dos anos (KOWALSKI, 2015).

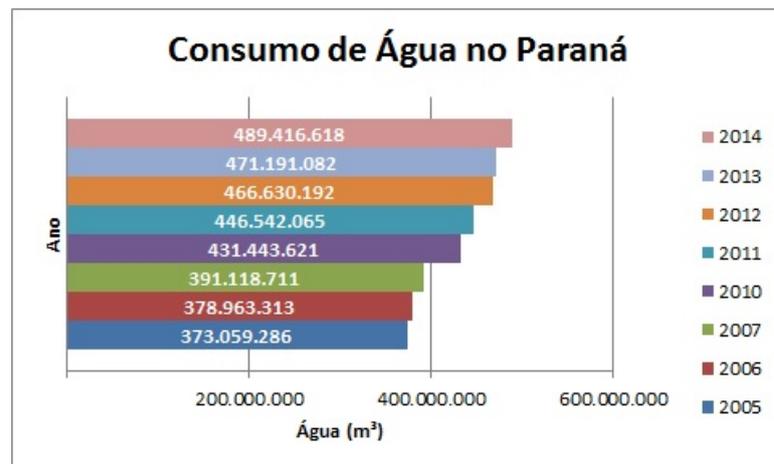


Figura 4: Volume do consumo de água no estado do Paraná.

Fonte: (KOWALSKI, 2015)

Em 2006 na região de Curitiba, foram consumidos $92.558.412 \text{ m}^3$ de água, indicando um recuo no consumo em comparação com os $93.626.554 \text{ m}^3$ consumidos em 2005. Já em 2014, o consumo foi de $110.984.103 \text{ m}^3$, uma variação significativa se comparada com 2005, sendo que nesse período, a população curitibana cresceu 6,42%, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). A tendência de consumo, ilustrada no gráfico da figura 5, aponta para o aumento do consumo de água na região no decorrer dos próximos anos, tendo em vista o crescimento populacional (KOWALSKI, 2015).

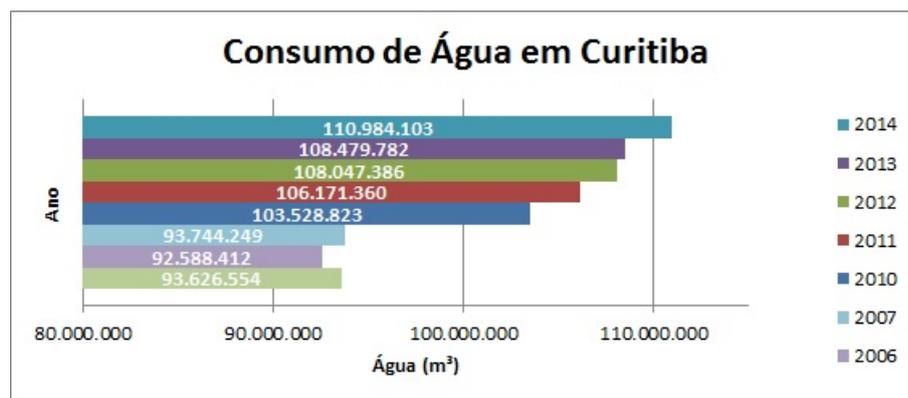


Figura 5: Volume do consumo de água no período de 2006 a 2014 em Curitiba.

Fonte: (KOWALSKI, 2015)

Kowalski cita que a distribuição do consumo por categoria nas regiões onde a SANEPAR atende é 77% residencial, 13% comercial, 6% de poderes públicos e 4% industrial (KOWALSKI, 2015), conforme o gráfico apresentado na figura 6.

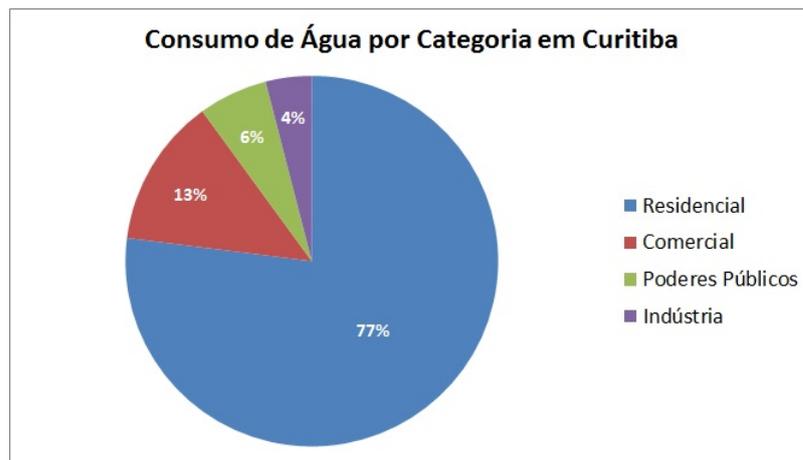


Figura 6: Volume do consumo de água em Curitiba por categoria.

Fonte: (KOWALSKI, 2015)

1.1.1 Delimitação do tema

Como apresentado no item 1.1 o agravamento da escassez dos recursos hídricos é generalizado, isto é, nas diversas formas do uso da água. Dentre os temas abordados pela literatura, nota-se a limitação de mecanismos que proporcionem ao usuário o uso racional da água em ações relacionadas com a higiene pessoal. Desta forma o foco volta-se para o hábito do banho diário das pessoas.

De acordo com a SANEPAR (2010), cada cinco minutos com o chuveiro ligado consomem 70 litros de água, isso equivale a, aproximadamente, cinco dias de uma pessoa que vive na Etiópia, que consome em torno de quinze litros de água diariamente. De uma outra forma, pode-se observar a grandiosidade que um banho de apenas cinco minutos pode ter, por exemplo, considerando um copo de 200 ml, com 70 litros de água daria para saciar a sede de 350 pessoas.

A falta de consciência do usuário sobre o gasto diário no banho e de ferramentas que o auxiliem na estimativa do volume consumido, corroboram para o desperdício deste precioso bem. A proposta desta pesquisa volta-se para o desenvolvimento de um sistema que além de controlar o consumo de água de acordo com a proximidade do usuário em relação à ducha, realize o monitoramento visual do tempo de banho decorrido. Pretende-se com estas ações economizar água sem perder o conforto de um banho convencional, com o diferencial da rápida e fácil instalação do sistema.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Apesar do grande crescimento tecnológico em diversas áreas, principalmente no quesito desenvolvimento sustentável, são poucas as tecnologias que visam auxiliar na utilização mais consciente da água, principalmente a nível residencial. Além de que as tecnologias analisadas são de difícil acesso à sociedade brasileira, pois são produtos fabricados e comercializados por empresas internacionais.

A partir dessas questões, foi proposto o desenvolvimento de um projeto e a construção de protótipo destinados ao gerenciamento do consumo de água durante o banho que consiste em :

1. Controle da vazão de água de acordo com a proximidade do usuário em relação ao jato principal de água;
2. Monitoramento do volume aproximado da água consumida;
3. Monitoramento do tempo de banho aproximado através de sinalização visual.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo capaz de controlar a vazão de água em chuveiros domésticos à gás com a finalidade de diminuir o consumo, através da detecção da distância do usuário em relação à saída da água, e, ao mesmo tempo, adverti-lo do tempo de banho decorrido utilizando sinalização visual.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral fosse alcançado, as seguintes ações parciais foram executadas:

1. Estudou-se e identificou-se os sistemas existentes empregados no controle da vazão de aplicações semelhantes a proposta em questão;
2. Identificou-se o mecanismo adequado para executar o controle de vazão de água e para medição da distância do usuário em relação ao chuveiro;

3. Fez-se o levantamento dos materiais necessários para o desenvolvimento do dispositivo de acordo com as limitações físicas do ambiente em que será instalado;
4. Desenvolvimento do projeto mecatrônico;
5. Design e confecção do protótipo;
6. Testes e ajustes finais.

1.4 JUSTIFICATIVA

A água é um recurso natural imprescindível para a sobrevivência de todos seres vivos que vem diminuindo em um ritmo acelerado, entre outros fatores, devido ao crescimento constante da população.

Observa-se, nos dias atuais, um crescimento constante da população. Em contrapartida, os recursos naturais vêm diminuindo em um ritmo acelerado. Para reverter este cenário é necessário que ocorra a preservação dos recursos hídricos e a racionalização do uso da água com melhor aproveitamento, evitando desperdícios (MORENO JUNIOR, 2006).

Com base nestes preceitos a equipe buscou no mercado de produtos de higiene, dispositivos ou acessórios que estivessem endereçados para a solução desta questão. A partir desta pesquisa identificou-se dois produtos com finalidade semelhante ao propósito desta pesquisa, ambos comercializados por empresas internacionais.

O primeiro, é um chuveiro para aquecedores de água a gás fabricado nos Estados Unidos, cujo nome é Evadrop (EVADROP, 2014) (ilustrado na figura 7). Seu funcionamento consiste, basicamente, em ajustar a vazão da água de acordo com a posição do usuário dentro do banheiro, além de cessar o fluxo da água quando chega na temperatura desejada, sendo liberada novamente apenas quando o usuário aciona um botão específico.

O segundo produto encontrado foi o chuveiro Hydrao (HYDRAO, 2015), apresentado na figura 8, desenvolvido por uma equipe francesa. Esse chuveiro, além de sua função básica, inclui um sistema luminoso capaz de fornecer uma noção do volume de água consumido através da alteração da cor da luz propiciando um design lúdico e arrojado.

Baseando-se na atual conjuntura ambiental e econômica brasileira e na inexistência de um produto de fácil acesso ao mercado nacional, está se propondo o desenvolvimento de um dispositivo, fundamentado nos produtos comerciais citados, porém customizados para a realidade brasileira, visando a economia de água nas residências e ambientes que requerem

elevada demanda de água, tais como clubes, academias e hotéis. O trabalho tem a aplicação voltada ao chuveiro a gás e não ao elétrico por ter uma instalação e adaptação com o protótipo mais simples, não sendo necessário fazer o controle da temperatura da água, além de ser mais seguro que o chuveiro elétrico pela ausência de um circuito elétrico próximo ao usuário e ao fluxo de água.

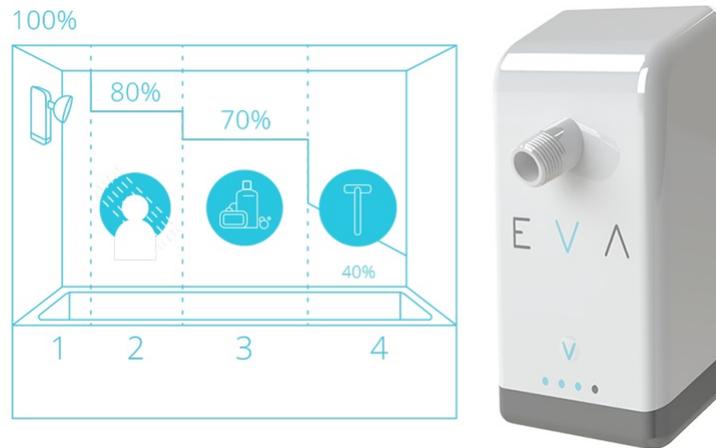


Figura 7: Chuveiro Evadrop.

Fonte: (EVADROP, 2014)



Figura 8: Chuveiro Hydrao.

Fonte: (HYDRAO, 2015)

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho proposto foi dividido em 6 etapas, conforme o fluxograma apresentado na figura 9.

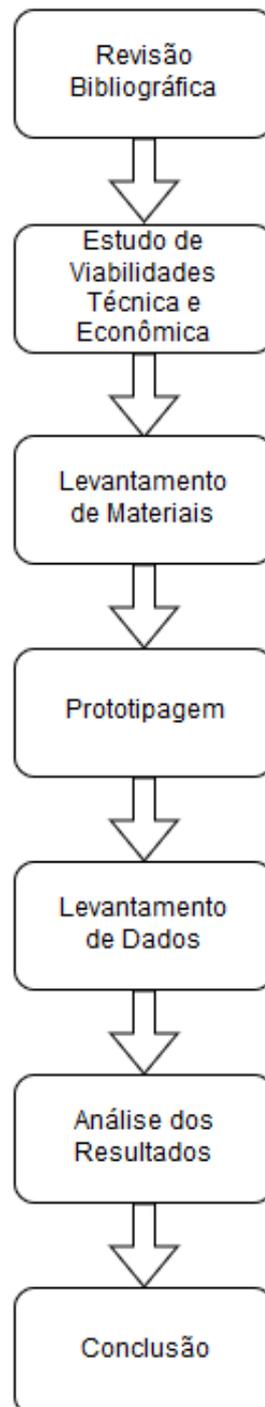


Figura 9: Fluxograma do processo metodológico.

Fonte: Dos autores.

Revisão bibliográfica

Foi feito um estudo inicial das tecnologias voltadas para o banho (sistemas automatizados que façam o controle da vazão da água) existentes no mercado, nacional e internacional, e um aprofundamento teórico na área de dinâmica dos fluidos.

Estudo de viabilidades técnica e econômica

Com o conhecimento adquirido na primeira etapa, foram analisadas as técnicas e os componentes relacionados aos dispositivos encontrados com o intuito de viabilizar o projeto proposto.

Levantamento de materiais

Definiu-se a estratégia para o controle de vazão da água com base no conjunto de informações e foi feita uma pesquisa para o levantamento dos materiais que foram aplicados no desenvolvimento.

Prototipagem

Decorreu-se a escolha dos componentes e a construção do protótipo para testes e análises de resultados.

Levantamento de dados

Fez-se a coleta de informações a respeito do consumo de energia, de água e da vazão máxima.

Análise dos resultados

Com as informações obtidas foram realizadas análises estatísticas a fim de comparar o benefício do produto desenvolvido com chuveiros à gás convencionais em relação à quantidade de água consumida.

Conclusão

Foi avaliada a eficácia do projeto e os benefícios trazidos por ele tanto para o usuário como para o meio ambiente.

Todas as etapas foram desenvolvidas em âmbito local, mais especificamente na cidade de Curitiba, fazendo uso de laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e residências dos acadêmicos envolvidos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente documento é constituído por oito capítulos, assim divididos:

- O capítulo 1 do trabalho é composto pela introdução ao tema em questão. São abordados o objetivo principal, os motivos que levaram ao desenvolvimento e o que pretendíamos conseguir alcançar com os possíveis resultados deste projeto.
- O capítulo 2 expõe os produtos comerciais e exemplos de sistemas já existentes que auxiliam no controle do consumo de água.
- O capítulo 3 trata das referências bibliográficas, onde expõe a fundamentação teórica para o desenvolvimento do projeto.
- O capítulo 4 aborda as características do sistema, seu modo de funcionamento e considerações.
- O capítulo 5 discorre sobre os procedimentos metodológicos. São abordados os métodos escolhidos para que os objetivos pudessem ser alcançados, a maneira como foi elaborado o trabalho e as etapas de criação do protótipo, especificando os dispositivos e a forma como foram utilizados.
- O capítulo 6 contém análises estatísticas dos dados obtidos com a implementação do protótipo, referentes ao consumo de água, à demanda de energia e aos custos do projeto.
- O capítulo 7 expõe as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho e propostas para estudos futuros.
- O capítulo 8 apresenta as conclusões referentes ao custo, viabilidade e benefícios do projeto para o usuário e para o meio ambiente.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo são expostos produtos comerciais e exemplos de sistemas que auxiliam no controle do consumo de água. Os detalhes de funcionamento, as vantagens e desvantagens e as diferenças entre as concepções atualmente existentes são os assuntos abordados.

2.1 EVADROP

O Evadrop é um chuveiro comercial específico para sistemas com aquecimento a gás. O diferencial do seu funcionamento se dá pelo controle da vazão de água de acordo com o posicionamento do usuário dentro do banheiro. Esta e outras funções que o equipamento oferece, tais como a temperatura da água e o tempo de banho, podem ser ajustadas pelo usuário através de um aplicativo para celular.

A figura 7, disposta na página 19, apresenta o modo de funcionamento do chuveiro. Notam-se quatro regiões pré-definidas pelo sistema como referência para o controle de vazão de água. Para cada região o usuário pode ajustar, através do aplicativo, o percentual de saída de água desejado.

O dispositivo inclui a função "preparo de banho", que consiste na escolha da temperatura da água pelo usuário. Assim que o Evadrop é acionado, o fluxo de água é liberado e se mantém constante até que a temperatura desejada seja atingida, cessando a saída de água e avisando o usuário, de maneira não especificada pelo fabricante.

Outra função é a determinação de uma meta de tempo de banho, onde o usuário define um tempo e o sistema se encarrega de avisá-lo quando a meta é alcançada.

2.2 HYDRAO

O Hydrao é um chuveiro também destinado a casas com aquecimento de água a gás, porém, diferencia-se do Evadrop pela maneira intuitiva da resposta do sistema para o usuário, que emprega a sinalização por LED's (*Light Emitting Diode*) coloridos para informar o consumo de água.

O dispositivo dispõe de um aplicativo para celular como recurso, permitindo as seguintes formas de interação com o usuário: escolha das cores dos LED's em relação à quantidade de água consumida e armazenamento dos dados de consumo de água com um histórico de até 200 banhos.

A sua alimentação é feita de maneira autônoma por meio de uma micro turbina hidráulica que é impulsionada pelo fluxo natural da água.

A figura 10 apresenta os detalhes do Hydrao.

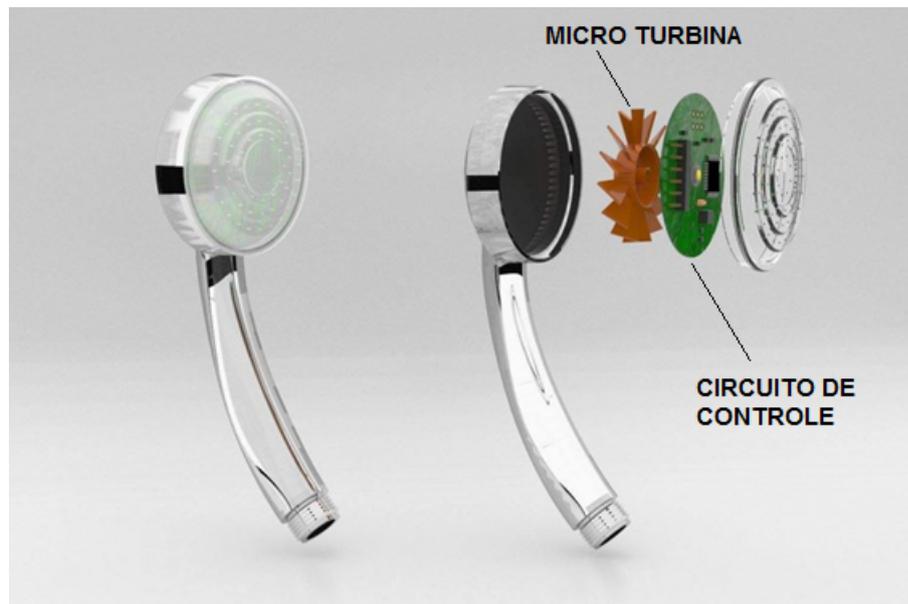


Figura 10: Detalhes do chuveiro Hydrao.

Fonte: (HYDRAO, 2015)

2.3 *SHOWER MANAGER*

Este chuveiro, assim como os citados anteriormente, atende à edificações com aquecimento de água a gás. O sistema fornece 100% da vazão de água no início do banho e mantém esta porcentagem até que atinja o tempo pré-configurado pelo usuário, reduzindo o fluxo em 2/3 e permanecendo assim até que o chuveiro seja desligado (SHOWER MANAGER, 2016). Este tempo pode ser de 5, 8 ou 11 minutos.

Para que seja configurado o tempo de uso, o usuário precisa mover um ímã especial, já incluso no pacote, em pontos pré-definidos pelo fabricante na carcaça do dispositivo. Momentos antes de atingir o valor pré-estabelecido, tempo este não especificado pelo fabricante, o chuveiro emite um sinal sonoro.

Cabe salientar que o dispositivo restabelece, após o término do banho, o seu sistema depois de 5 minutos, ou seja, somente volta a fornecer 100% do fluxo de água ao término deste período.

O produto comercial *Shower Manager* pode ser observado na figura 11.



Figura 11: Chuveiro *Shower Manager*.

Fonte: (SHOWER MANAGER, 2016)

2.4 CHUVEIRO AUTOMÁTICO

O projeto intitulado Chuveiro Automático é de caráter acadêmico. A ideia do projeto é baseada no controle de vazão de água de um chuveiro. No protótipo construído a automação foi feita em um chuveiro tipo ducha fria, e as informações limitam-se ao conteúdo acadêmico disponível.

O protótipo tem como função liberar ou cessar o fluxo de água por completo através da detecção, por meio de sensores, da presença do usuário embaixo do chuveiro. Além disso, o protótipo controla também o tempo de banho do usuário, limitando-o em dez minutos. Se passados dez minutos e o usuário continuar embaixo do chuveiro, este interromperá o fornecimento de água da mesma forma (GOMES, 2011).

Segundo o projeto, o custo foi elevado e pouco eficiente no quesito proposto de

economia de água, se comparado com outros produtos existentes, além de diversos problemas quanto à execução, como a danificação da válvula solenoide e a queima de um *Arduino Duemilanove*, ambos durante a fase de testes.

2.5 CONSIDERAÇÕES

A partir das informações obtidas elaborou-se a tabela 2 que estabelece a comparação entre os modelos citados, sendo que os valores apresentados são referentes aos preços finais dos chuveiros (Evadrop e Hydrao) e custo gastos com o material usado para montagem do chuveiro (no caso do Chuveiro e do Shower Manager).

Tabela 2: Tabela comparativa entre os chuveiros apresentados

Dispositivo	Vantagens	Desvantagens	Preço
Evadrop	Controle total do sistema pelo usuário através de um aplicativo para celular; Versatilidade.	Dificuldade de aquisição do produto no Brasil.	R\$ 636,00 *
Hydrao	Não produz gastos com energia para o usuário.	A economia do consumo de água depende do usuário e não do sistema.	R\$ 245,77 **
Shower Manager	Alta eficiência em economia.	Dificuldade de interação entre o usuário e o sistema	R\$ 572,08 *
Chuveiro Automático		Pouco eficiente no quesito economia de água; Problemas quanto a execução do projeto.	R\$ 1373,00

Fonte: Dos autores

Nota:

*Preço da conversão feita no dia 28/10/2016 pela cotação do dólar no valor de R\$ 3,196.

**Preço da conversão feita no dia 28/10/2016 pela cotação do euro no valor de R\$3,516.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os assuntos teóricos relacionados com os componentes que serão empregados para a construção do chuveiro.

3.1 MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

Devido ao crescente desenvolvimento de tecnologias eletrônicas voltadas ao baixo consumo de energia, os motores CC (corrente contínua) estão sendo amplamente utilizados devido à sua eficiência, ao baixo custo, à alta versatilidade, em relação ao torque e a velocidade, e a facilidade de controle, principalmente, em aplicações onde o tamanho da carcaça é pequeno (CHAU, 2015).

O princípio básico de um motor é converter energia elétrica em energia mecânica na forma de movimento rotacional. Os dois principais tipos de motores de corrente contínua existentes são: com escovas e sem escovas.

O primeiro utiliza comutadores elétricos (escovas) para reverter a polaridade da bobina a fim de obter uma corrente sempre no mesmo sentido no circuito do motor (FITZGERALD et al., 2006). A velocidade é controlada simplesmente variando a tensão de alimentação, o que é uma grande vantagem sobre os motores sem escovas que necessitam de um controlador trifásico de velocidade. Outra vantagem é que os motores escovados possuem baixo custo de fabricação e podem ser construídos em tamanhos pequenos (HARRINGTON; KRONINGER, 2013).

Como o propósito deste tópico não é descrever de forma detalhada a teoria de funcionamento de um motor de corrente contínua, o leitor poderá se aprofundar através dos autores Fitzgerald et al. (2006) e Harrington e Kroninger (2013).

A figura 12 apresenta as partes construtivas de um motor de corrente contínua.

3.2 MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA COM CAIXA DE REDUÇÃO

Em muitas aplicações, tais como mecanismos robóticos, projetos eletromecânicos e projetos mecatrônicos, onde a necessidade de se utilizar um motor CC se faz presente, devido

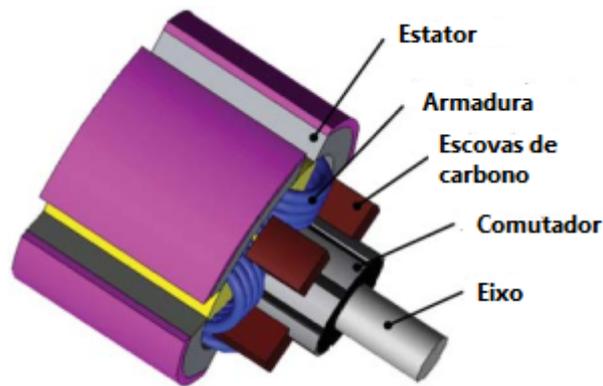


Figura 12: Partes construtivas de um motor CC.

Fonte: (CHAU, 2015)

a sua versatilidade, baixo custo e robustez, por vezes acaba se tornando inviável devido ao seu baixo torque. Porém, a falta de torque é suprida com as caixas de redução.

Uma caixa de redução nada mais é do que um mecanismo de engrenagens arranjadas em várias combinações série e paralelo (UICKER et al., 2011) com o intuito de reduzir a velocidade do motor a fim de ter um aumento expressivo no torque.

De acordo com Uicker et al. (2011), a razão de velocidade (e) entre duas engrenagens é definida como:

$$e = \frac{n_L}{n_F} \quad (3.1)$$

Onde n_L é a velocidade da última engrenagem e n_F é a velocidade da primeira engrenagem, ambos em revoluções por minuto (rpm) ou em revoluções por segundo (r/s). Geralmente, a última engrenagem é a saída e é a engrenagem controlada, enquanto a primeira engrenagem é a entrada e é chamada de engrenagem controladora. Entretanto, a equação 3.1 também pode ser escrita da seguinte forma:

$$e = \frac{\text{produto do número de dentes das engrenagens controladoras}}{\text{produto do número de dentes das engrenagens controladas}} \quad (3.2)$$

ou

$$e = \frac{\text{produto do diâmetro das engrenagens controladoras}}{\text{produto do diâmetro das engrenagens controladas}} \quad (3.3)$$

No exemplo da figura 13, a partir da equação 3.1, a redução de velocidade é dada por:

$$e = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.4)$$

Onde N_1 é o número de dentes da última engrenagem (onde encontra-se o eixo do motor) e N_2 é o número de dentes da última engrenagem (a direita na figura 13). Assim, a redução apresentada no exemplo é:

$$e = \frac{16}{24} = \frac{2}{3} \quad (3.5)$$

Ou seja, uma redução de $3/2$ vezes da velocidade, nos dando um aumento na mesma proporção do torque.

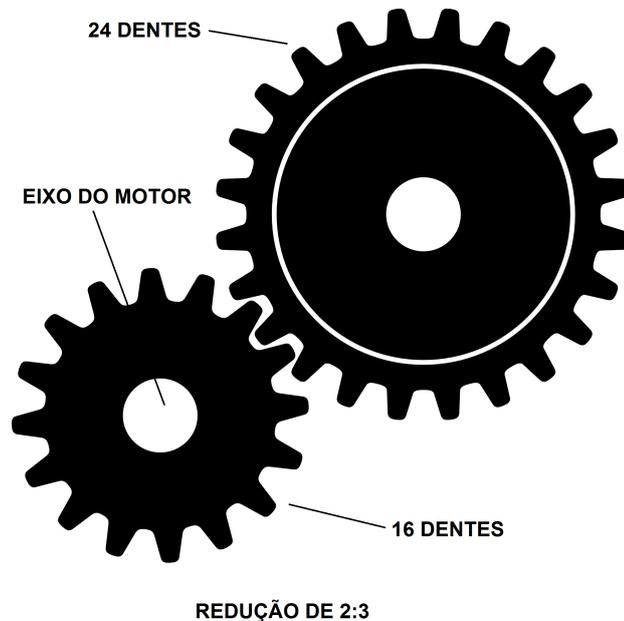


Figura 13: Exemplo de uma redução de velocidade utilizando engrenagens.

Fonte: Dos autores

3.3 CONTROLE PARA MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

Os motores de corrente contínua podem oferecer somente suas características naturais de torque e velocidade, isto é, fornecem velocidade e torque baseados nas suas propriedades construtivas, porém diversas aplicações exigem um controle mais sofisticado que permita alterar de forma contínua essas características. Para que seja possível controlar a velocidade e o sentido de giro do motor é necessário a utilização de circuitos eletrônicos, chamados de *drivers*.

Existem diversos circuitos capazes de controlar um motor CC, os mais utilizados são os que adotam a topologia de conversores CC-CC do tipo *chopper* (CHAU, 2015), que tem como objetivo controlar a tensão aplicada ao motor. Contudo, muitos deles não são capazes de controlar a velocidade e o sentido de rotação ao mesmo tempo.

Para que seja viabilizado, emprega-se um circuito denominado ponte-H, que é capaz de oferecer um controle completo, sendo o tipo de *driver* mais utilizado. Esse circuito pode ser observado na figura 14.

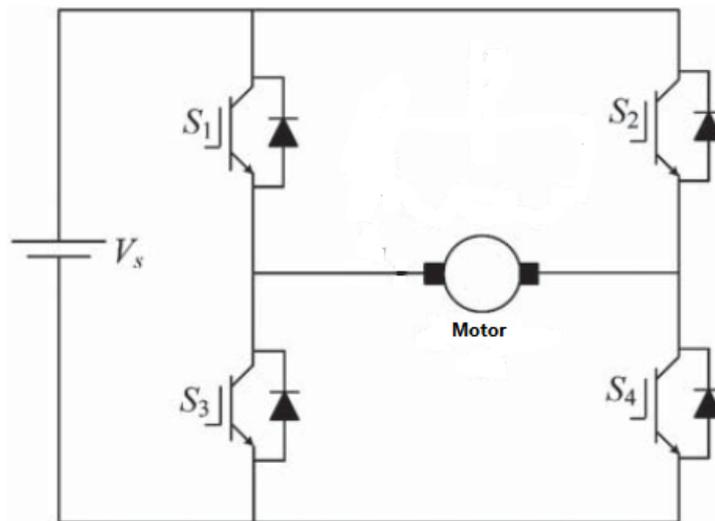


Figura 14: Circuito ponte-H.

Fonte: Adaptado de (CHAU, 2015)

A ponte-H é composta de quatro chaves (S_1 , S_2 , S_3 e S_4), podendo ser relés (muito pouco utilizado), BJT's (*Bipolar Junction Transistor*) ou MOSFET's (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), sendo esse último o mais utilizado. As chaves S_1 e S_3 , assim como S_2 e S_4 , devem operar de forma complementar, ou seja, quando S_1 estiver ligada, S_3 deverá estar desligada. Dessa forma, existem quatro possibilidades (ou estados) utilizando este circuito, observadas na tabela 3.

Tabela 3: Tabela de possibilidades de controle para o motor CC

Estados	Estado lógico das chaves		Motor
	S_1/S_4	S_2/S_3	
1	0	0	Parado
2	0	1	Sentido 1
3	1	0	Sentido 2
4	1	1	Proibido

Fonte: Dos autores

Como não é possível saber o sentido em que o motor vai girar, foi posto os termos Sentido 1 e Sentido 2 para representar sentidos inversos, pois, como já foi citado, a ponte-H, além de fornecer controle de velocidade, também controla o sentido de giro. O caminho da corrente pelo circuito é representado na figura 15. Pode-se observar que no Estado 2 a tensão sobre o motor é $+V_s$ e no Estado 3 é $-V_s$, caracterizando a inversão de rotação existente entre as duas possibilidades.

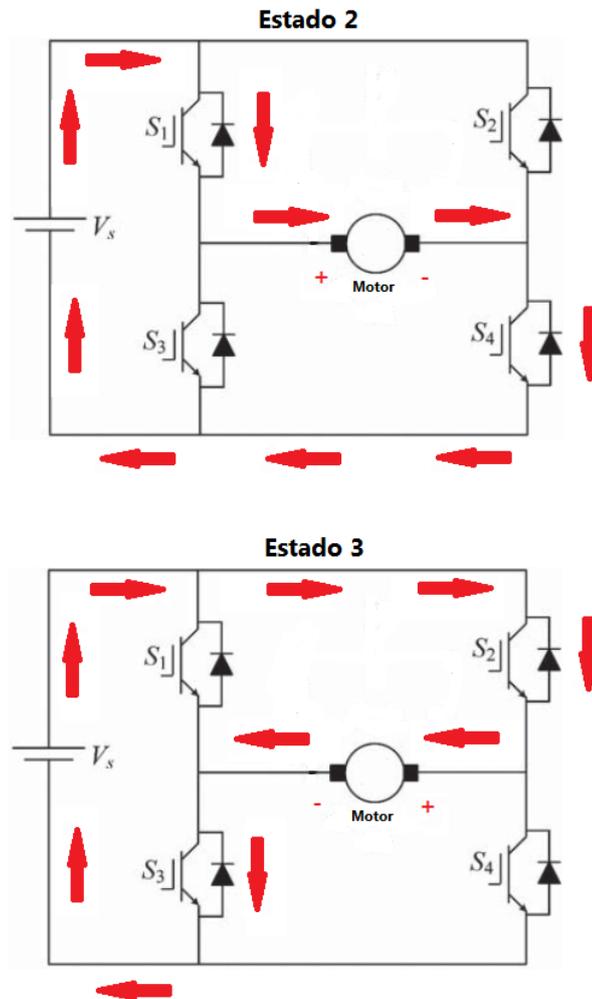


Figura 15: Circulação de corrente nos Estados 2 e 3.

Fonte: Dos autores.

O Estado 1 diz respeito ao motor parado, pois não há circulação de corrente no motor. Já o Estado 4 é proibido de ser realizado, pelo simples fato de curto-circuitar a fonte.

3.4 SENSOR ULTRASSÔNICO

O princípio de funcionamento de um sensor ultrassônico baseia-se na medição de ondas acústicas com frequências acima de 20 kHz, que são frequências inaudíveis para o ser humano (ALVES, 2013).

De acordo com Hosur et al. (2016), basicamente, o sensor consiste em um oscilador que emite ondas de som de altas frequências, e avalia o sinal recebido, chamado de *Echo*, ou, simplesmente, o eco do som. Existem três propósitos diferentes para utilizar este tipo de sensor, e, para cada um, existem formas diferentes de avaliar o sinal recebido, eles são:

- *Time of flight* - Para medir distância;
- *Doppler shift* - Para medir velocidade;
- *Amplitude attenuation* - Para medir distância, direção e coeficientes de atenuação.

Como o propósito de uso deste sensor é para detectar a distância de objetos, somente será explanado o primeiro item (*Time of flight*).

Com o tempo que o sinal leva até encontrar o objeto e voltar, e com a velocidade do som no meio em que se encontra, é possível saber a distância em que o objeto se encontra, como mostra a equação 3.6 apresentada a seguir:

$$distância = \frac{tempo\ em\ high * velocidade\ do\ som\ no\ meio}{2} \quad (3.6)$$

Onde o tempo em *high* é o tempo para o sinal ir do sensor até o obstáculo e voltar. A divisão por dois existe, pois, o tempo medido pelo sensor é na realidade o tempo para ir e voltar, ou seja, duas vezes a distância que se deseja obter.

As possibilidades de aplicação de um sensor ultrassônico são:

- Detecção de nível e altura;
- Medida de separação;
- Sensor de presença.

A figura 16 apresenta um exemplo de aplicação de um sensor ultrassônico.



Figura 16: Exemplo de aplicação de um sensor ultrassônico.

Fonte: (ALVES, 2013)

3.5 VÁLVULA DE FLUXO

Segundo Fernandes (2009) "Válvulas são dispositivos destinados a estabelecer, controlar e interromper a descarga de fluidos nos encanamentos". As válvulas podem ser classificadas conforme os critérios abaixo:

- Com relação à utilização: podem ser divididas em válvulas *on-off*, válvulas de controle e válvulas de uso especial;
- Com relação à forma de acionamento: podem ser divididas em válvulas fixas, válvulas manuais e em válvulas motorizadas;
- Com relação às características construtivas: podem ser divididas em dois grandes grupos, válvulas lineares e em válvulas rotativas.

3.5.1 Válvula de controle

É um dispositivo cuja finalidade é provocar uma obstrução na tubulação permitindo maior ou menor passagem de fluido por esta. Utiliza-se uma força auxiliar para operação, e o acionamento é feito de acordo com os sinais provenientes dos controladores (MATHIAS, 2014).

3.5.1.1 Válvula motorizada

As válvulas manuais são sempre acionadas diretamente por operadores humanos e, normalmente, são usadas como válvulas *on-off*. Já as válvulas motorizadas podem ser usadas

tanto como válvulas *on-off* quanto como válvulas de controle, e utilizam-se de um motor para o processo mecânico de abertura e fechamento do conjunto (OLIVEIRA, 2009), como pode ser observado na figura 17.



Figura 17: Exemplo de uma válvula motorizada.

Fonte: (GEMÜ, 2012)

3.5.1.2 Válvula rotativa

Do ponto de vista construtivo, uma válvula sempre possui um bojo e um ou mais elementos de fechamento móveis, os obturadores, que nas válvulas rotativas desempenham seu papel girando. Os principais tipos de válvulas rotativas são a válvula de esfera (figura 18a) e a válvula borboleta (figura 18b).



(a) Válvula de esfera

(b) Válvula borboleta

Figura 18: Válvulas rotativas.

Fonte: (LUPATECH MIPEL, 2012) e (KÜHN, 2016)

Válvula de esfera

Segundo Oliveira (2009), trata-se de um tipo de válvula cujo obturador é uma esfera criteriosamente vazada para permitir passagem plena ou parcial de um determinado fluido. Essa válvula alia o seu bom desempenho de controle com excelente performance quanto a estanqueidade e possibilita obter controle do fluido em qualquer direção sem problemas dinâmicos.

Para cada tipo de processo ou fluido sempre temos pelo menos um tipo de válvula que satisfaça os requisitos teóricos de processo, independente da consideração econômica.

3.6 SENSOR FOTOELÉTRICO

A finalidade de um sensor fotoelétrico é converter um sinal luminoso (luz ou sombra) num sinal elétrico que possa ser processado por um circuito eletrônico (BRAGA, 2012).

Para Braga (2012) as principais características de um sensor fotoelétrico são:

1. Sensibilidade

A sensibilidade é o modo como a grandeza associada em sua saída varia com a intensidade de luz incidente nesse sensor.

2. Resposta Espectral

Os sinais luminosos captados pelos sensores são radiações eletromagnéticas, que são classificadas, de acordo com o seu comprimento de onda, no espectro eletromagnético que pode ser visto na figura 19. A maioria dos sensores fotoelétricos é muito mais sensível do que os nossos olhos, pois pode perceber tanto radiação infravermelha como ultravioleta.

3. Velocidade

Em muitas aplicações os sensores devem detectar variações muito rápidas de luz (ou sombra), como no caso da leitura de código de barras, controles de velocidade de máquinas, encoders ópticos, links por fibra óptica e outras aplicações.

Sensores fotoelétricos são também comumente chamados de transdutores, no entanto há uma diferença. O sensor é sensível a alguma forma de energia do ambiente, no caso dos sensores fotoelétricos, luminosa, e a relaciona com uma grandeza física que precisa ser mensurada, como a posição por exemplo. Já o transdutor é um dispositivo completo, que pode,

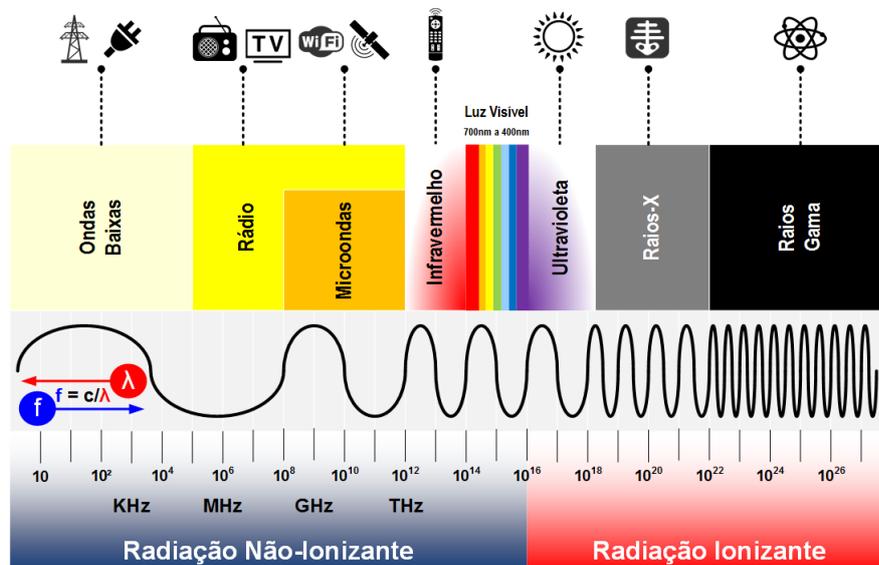


Figura 19: Espectro eletromagnético.

Fonte: (BRITO, 2013)

ou não, conter um sensor, responsável por transformar uma grandeza física em um sinal elétrico que pode ser interpretado por um sistema de controle.

Alguns dos principais tipos de sensores fotoelétricos são:

- LDR's (*Light Dependent Resistor*);
- Foto-células;
- Foto-tiristores;
- Foto-transistor;
- Fotodiodos.

3.6.1 Fotodiodos

Os fotodiodos têm uma construção semelhante a dos diodos de junção. A junção PN é polarizada inversamente e, portanto, circula uma corrente no diodo, a conhecida corrente de saturação. A corrente de saturação é uma corrente de portadores minoritários, isto é, elétrons no tipo P e buracos no tipo N. Quando um feixe luminoso incide na região de depleção, são quebradas ligações covalentes, aumentando a concentração dos portadores minoritários e,

consequentemente, provocando o aumento da corrente de saturação. Essa corrente atua no circuito associado ao fotodiodo.

Normalmente o fabricante fornece gráficos que indicam a variação da corrente de saturação em função da tensão reversa aplicada ao diodo, tendo como parâmetro o fluxo luminoso que incide sobre a junção ou o iluminamento da mesma (NETO et al., 2003).

A figura 20 apresenta um exemplo de um fotodiodo.

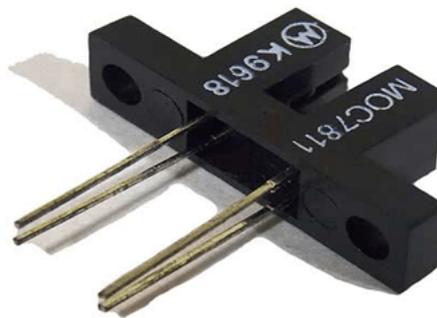


Figura 20: Exemplo de um fotodiodo.

Fonte: (TECHTONICS, 2016)

Segundo Braga (2012), diodos tem uma característica importante: a sua velocidade de resposta muito alta, que permite detectar pulsos de luz ou sombra muito rápidos, alcançando frequências de dezenas ou mesmo centenas de mega-hertz.

3.7 ENCODERS

O encoder é um dispositivo que conta ou reproduz pulsos elétricos ao rotacionar o seu eixo e também é chamado de transdutor. Ele converte um movimento angular ou linear em uma série de pulsos digitais elétricos. Esses pulsos gerados podem ser usados para determinar velocidade, taxa de aceleração, distância, rotação, posição ou direção.

A conversão desses movimentos em pulsos elétricos é feita através da detecção fotoelétrica, onde uma série de pulsos são gerados pela passagem da luz em um disco opaco, com várias aberturas transparentes. O receptor detecta a luz enviada pelo emissor e também a falta de luz, gerando assim os pulsos digitais (0 e 1) (HEISS, 2012).

Os encoders são usados principalmente em:

- Eixos de máquinas ferramentas CN (Controle Numérico) e CNC (Controle Numérico Computadorizado);
- Eixos de robôs;
- Controle de velocidade e posicionamento de motores elétricos;
- Posicionamento de antenas parabólicas, telescópios e radares;
- Mesas rotativas.

Apesar de todos os encoders serem muito parecidos, por usarem a mesma forma de detecção fotoelétrica e a sua construção também ser parecida, podem ser divididos em dois grupos: encoder incremental e encoder absoluto.

3.7.1 Encoder Incremental

O encoder incremental fornece dois pulsos quadrados defasados em 90° , chamados de canais, como representado na figura 21. Para aferir a sua variação angular, também conhecida por resolução do encoder, utiliza-se a quantidade de pulsos elétricos por volta (360°) que é gerada pelo dispositivo. A equação 3.7 apresenta este cálculo.

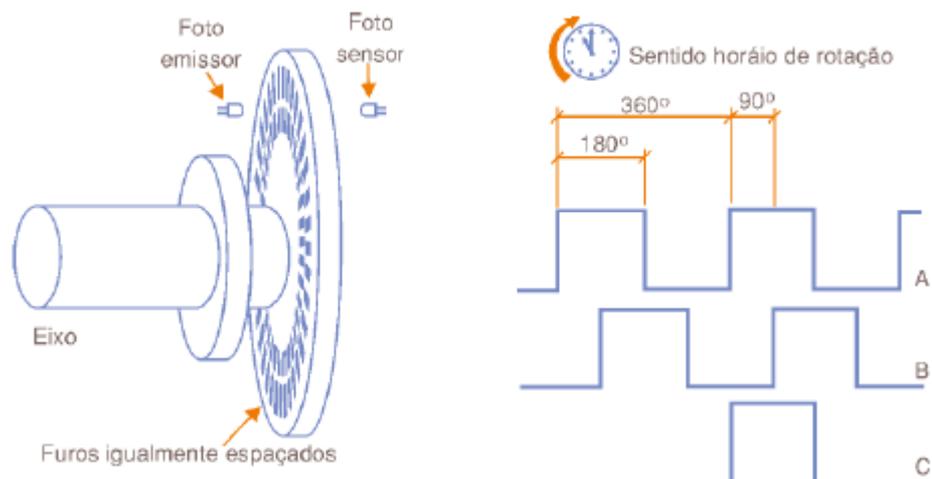


Figura 21: Encoder incremental.

Fonte: (HEISS, 2012)

$$\text{variação angular} = \frac{360^\circ}{\text{número de pulsos elétricos}} \quad (3.7)$$

Através desse cálculo, e dos resultados obtidos nos dois canais é possível saber a velocidade e o sentido de rotação do eixo.

Há também no encoder incremental um terceiro canal chamado de ponto zero, que marca a origem do encoder. Esse canal permite que, em caso de queda de tensão, o encoder volte a posição zero.

3.7.2 Encoder Absoluto

Com o princípio de funcionamento muito semelhante ao do incremental, o encoder absoluto difere do anterior por possuir vários sensores fotoelétricos para fazer a leitura das várias trilhas do encoder, como pode ser observado na figura 22.

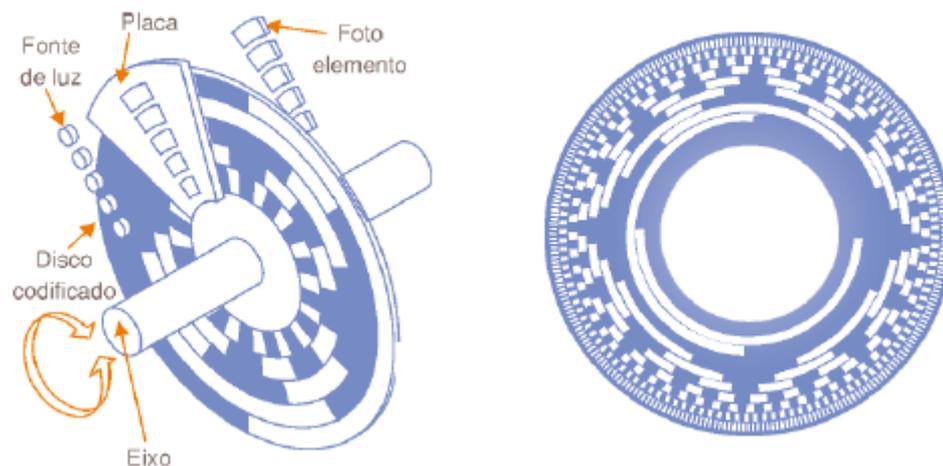


Figura 22: Encoder absoluto.

Fonte: (HEISS, 2012)

As leituras dos sensores combinadas formam um código "binário" para cada posição, o que permite ao encoder absoluto sempre saber a sua posição sem precisar voltar à posição zero, mesmo que a tensão de alimentação caia.

O código é extraído diretamente do disco, no entanto, no momento da aquisição da posição, pode haver erro, pois mais de um *bit* pode variar entre códigos consecutivos, como, por exemplo, de 7 para 8, em binário, de 0111 para 1000. Para solucionar esse problema, um código

binário específico, chamado de Código *Gray*, é adotado. Como diferencial, na comutação de um número para outro, somente um *bit* é alterado. Nesse caso o número 7 seria 0100 e o 8 seria 1100.

3.8 PROGRAMAÇÃO C

De acordo com Kernighan e Ritchie (1989), a linguagem de programação C é estreitamente associada ao sistema operacional UNIX. Sua finalidade é permitir uma economia de expressões, modernos fluxos de controle e estruturas de dados. Inicialmente, seu foco foi o desenvolvimento de sistemas operacionais e compiladores.

A linguagem C é, relativamente, de "alto nível". Esta caracterização diz que C manipula o mesmo tipo de objetos que a maioria dos computadores, tais como caracteres, números e endereços. Podem ser combinados e manipulados com os operadores aritméticos e lógicos usuais implementados pelas máquinas atuais (KERNIGHAN; RITCHIE, 1989).

No início dos anos 80, a linguagem C passou a ser reconhecida como uma linguagem de propósito geral e contava com diversos compiladores desenvolvidos por vários fabricantes. Isso fez com que fosse criada uma padronização pela ANSI (*American National Standard Institute*) em 1989. Há também versões de compiladores próprias de cada fabricante, porém a maioria oferece uma opção de compatibilidade com o padrão ANSI C (KERNIGHAN; RITCHIE, 1989).

3.9 MICROCONTROLADOR

Um microcontrolador, ou microprocessador, pode ser comparado a um computador, pois ambos são dispositivos eletrônicos destinados a realizar tarefas a partir de uma linguagem de comando específica (NICOLSI, 2002). De acordo com Silveira (2011), a palavra microcontrolador é utilizada para indicar um sistema que inclui uma UCP (Unidade Central de Processamento), memória e circuitos de entrada e saída, formando assim um conjunto acoplado a um circuito integrado.

O barramento que conecta o circuito interno dos microprocessadores podem ser de 8, 16 ou 32 *bits*, ou seja, os componentes internos podem se comunicar através de informações de 8, 16 ou 32 *bits* de tamanho. Funcionam seguindo uma lista de instruções armazenadas em forma de códigos binários numa memória de programa interna. Essas instruções são obtidas da memória, decodificadas por circuitos lógicos internos à UCP e então executadas (SILVEIRA,

2011).

A UCP é um segmento do microcontrolador responsável pelas operações matemáticas e pelas operações lógicas, como *AND*, *OR* e *NOT*. A memória interna dos microcontroladores pode ser dividida em dois tipos: a primeira, chamada de ROM (*Read-only Memory*), é a memória de programa que armazena as instruções do programador e as executa; a segunda, chamada de RAM (*Random Access Memory*), é a memória de dados que armazena as informações trocadas de forma temporária entre a UCP e os circuitos internos diversos (SILVEIRA, 2011).

De acordo com Silveira (2011):

”Os microcontroladores são alimentados com uma tensão padrão de 5 volts. Muitos podem operar com tensões de 2 volts e outros com até 6 volts. Todos os microcontroladores necessitam de um circuito de relógio (*clock*) para sincronização de seus circuitos internos que normalmente são mantidos por um cristal ou ressonador cerâmico externo. A maioria dos pinos de um microcontrolador são usados para entrada e saída de dados, são os chamados *Ports*.”

Os microcontroladores tendem a abranger cada vez mais suas utilizações, pois estes podem ser teoricamente integrados a todos os produtos eletrônicos existentes atualmente.

3.10 CÁLCULO DE VAZÃO

A medição da vazão é essencial a todas as fases da manipulação dos fluidos (RIBEIRO, 2012). A vazão pode ser definida como sendo a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que escoar através de uma seção de tubulação ou canal por unidade de tempo (BRUNETTI, 2008).

A forma mais básica de calcular a vazão de um fluido é por meio da vazão volumétrica. Segundo Brunetti (2008), a vazão volumétrica (equação 3.8) é definida como a quantidade em volume que escoar através de uma seção em um intervalo de tempo. As unidades volumétricas mais comuns são: m^3/s (metro cúbico por segundo), m^3/h (metro cúbico por hora), l/h (litro por hora), l/min (litro por minuto), GPM (galões por minuto) e Nm^3/h (normal metro cúbico por hora).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.8)$$

Onde V é o volume, t é o tempo e Q é a vazão volumétrica.

3.10.1 Sensor de vazão por Efeito Hall

O sensor tem como princípio de funcionamento o efeito Hall. Tal efeito ocorre quando um campo magnético é aplicado em um condutor elétrico, perpendicularmente a corrente elétrica, resultando no aparecimento de uma diferença de potencial (SANTOS, 2015).

O funcionamento do sensor se dá pela rotação de aletas através da passagem do fluxo de água, o que faz com que uma tensão seja gerada pela interação de um ímã acoplado ao eixo do rotor. Dessa forma, há a emissão de um sinal pulsado com período dependente da vazão (CARREIRA, 2011).

A figura 23 apresenta um sensor de efeito Hall com vista para a parte interna, onde pode-se notar as aletas rotativas que proporcionam a interação com ímã para gerar o efeito propriamente dito.



Figura 23: Sensor de efeito Hall.

Fonte: (MSS ELETRÔNICA, 2016)

4 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Neste capítulo são retratadas as características do sistema, seu modo de funcionamento e considerações.

4.1 TOPOLOGIA DO SISTEMA

O sistema pode ser observado através do diagrama de blocos apresentado na figura 24. Os blocos serão abordados individualmente nos tópicos seguintes deste capítulo. Os componentes necessários para a construção de cada bloco, assim como suas especificações técnicas serão os assuntos tratados.

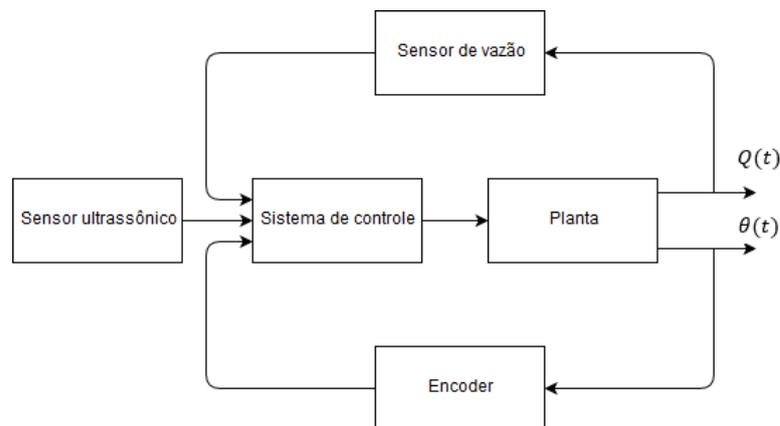


Figura 24: Topologia do sistema.

Fonte: Dos autores

4.1.1 Modo de funcionamento

O princípio de funcionamento do sistema é controlar a vazão de água a partir da distância do usuário em relação ao chuveiro. Cada distância está associada a uma porcentagem de abertura da válvula para liberação da água. Entretanto, estas foram estabelecidas durante o desenvolvimento do protótipo (Capítulo 5).

Baseado nisso, o primeiro estágio é a verificação do posicionamento do usuário através

do sensor ultrassônico. O sistema de controle recebe os dados do sensor e determina a vazão de água, enviando as instruções de controle para a planta. Esta por sua vez fornece duas variáveis de saída, a partir das quais é possível realizar o procedimento de abertura e fechamento proporcional da válvula de acordo com o comando dado. A primeira, $Q(t)$, representa a quantidade de água liberada pelo chuveiro durante o tempo. Já a segunda, $\theta(t)$, representa a variação angular de abertura ou fechamento da válvula durante o tempo.

Para que o sistema de controle reconheça a posição exata de abertura ou fechamento da válvula, foi utilizado um encoder. O sensor de vazão foi utilizado para aquisição dos dados para análise do consumo de água, conforme descrito no capítulo 6.

O protótipo também será equipado com LED's das cores verde, amarelo e vermelho para indicação do tempo de banho decorrido. O LED verde será acionado assim que o protótipo for ligado, e permanecerá aceso por 5 minutos. Decorrido esse tempo, o LED verde apagará e o amarelo acenderá, indicando um tempo de banho entre 5 e 10 minutos. Após 10 minutos, o LED amarelo apagará e o vermelho acenderá, permanecendo ligado até o término do banho.

4.1.2 Planta

Como a proposta é fazer o controle da vazão da água do chuveiro, necessita-se de uma válvula que permita um controle analógico da sua posição, isto é, um controle mais amplo da porcentagem de abertura e fechamento da mesma. Válvulas com esse tipo de configuração não são difíceis de serem encontradas no mercado, no entanto, têm um alto custo. Devido a isso, buscou-se alternativas de menor custo que continuassem atendendo os requisitos pré-estabelecidos. Sendo assim, optou-se por construir o sistema através de uma adaptação mecânica que une o motor à válvula, conforme mostra a figura 25.

A planta é composta por um motor de corrente contínua com caixa de redução e por uma válvula controladora, como apresentado na figura 25. A tensão de funcionamento do motor é de 9 a 24 V e a corrente máxima é de 430 mA. Seu torque e velocidade não são conhecidos, pois é um motor de sucata e não foram encontradas as suas especificações técnicas. A válvula, por sua vez, é formada por um registro de esfera de PVC, com diâmetro de rosca 3/4".

O encoder presente na figura 25 não faz parte da planta como detalha-se na seção 4.1.5.

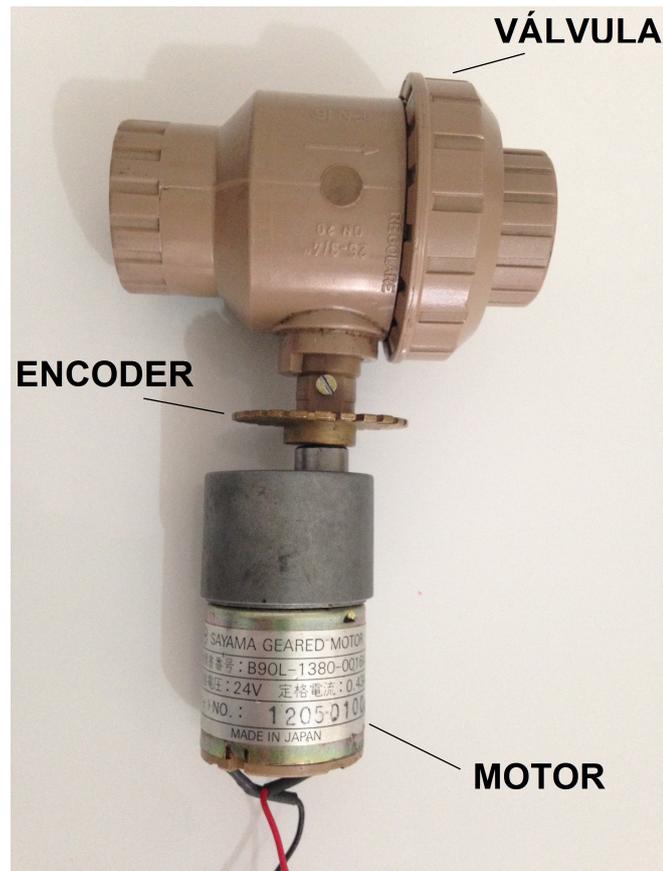


Figura 25: Conjunto motor e válvula.

Fonte: Dos autores

4.1.3 Sistema de controle

Para compor o sistema de controle são usados um microcontrolador e um *driver* de motor. Suas características serão apresentadas nas próximas subseções.

4.1.3.1 *Driver* DRV8801

Para controle do motor será utilizado um CI (Circuito Integrado) da *Texas Instruments*, o DRV8801. Este dispositivo consiste de uma ponte H a qual pode controlar motores CC de escovas, motores de passo e até mesmo solenoides. Suas principais características são:

- Tensão de alimentação: de 8 a 36 V;
- Suporta controle em PWM (*Modulação por Pulso*);
- Suporta correntes de saída de até $\pm 2,8$ A;

- Baixo consumo no moto ativo (em torno de 6 a 7 mA);
- Possui modo *Low-power sleep*.

O motivo da escolha deste CI se dá pelo fato de possuir características de baixo consumo, o que é bastante importante para o projeto devido a alimentação ser proveniente de baterias. A figura 26 apresenta a configuração dos pinos deste dispositivo.

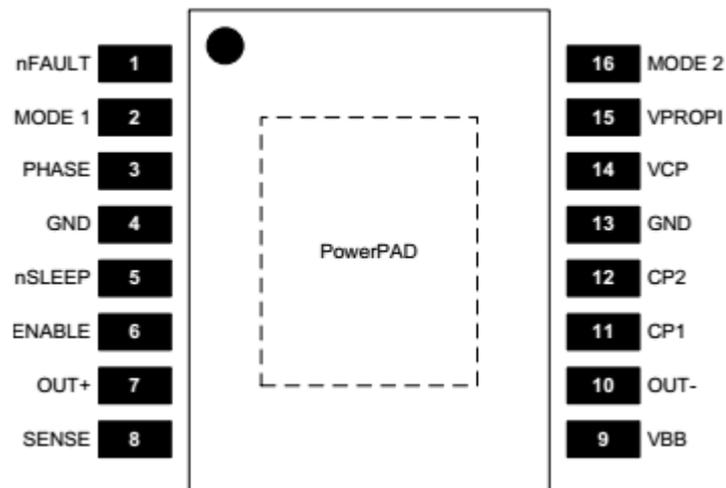


Figura 26: Driver DRV8801.

Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2008)

De acordo a TEXAS INSTRUMENTS (2008), o controle do motor pode ser feito seguindo a tabela 4, cuja descrição é semelhante a da tabela 3 da seção 3.3, que representa o nível lógico dos respectivos pinos de controle.

Tabela 4: Tabela dos pinos do DRV8801

PINOS							OPERAÇÃO
PHASE	ENABLE	MODE 1	MODE 2	nSLEEP	OUT+	OUT-	
1	1	X	X	1	H	L	Sentido 1
0	1	X	X	1	L	H	Sentido 2
X	0	1	0	1	L	L	Parar
X	0	1	1	1	H	H	Parar
X	X	X	X	0	Z	Z	<i>Sleep</i>

Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2008)

Na tabela 4, X pode assumir nível lógico 0 ou 1, não interferindo na operação, Z é alta impedância no respectivo pino, H é o estado lógico em nível alto e L é o estado lógico em nível baixo. Admite-se Sentido 1 e Sentido 2 como sendo sentidos opostos.

4.1.3.2 Microcontrolador Atmega328

Empregou-se o microcontrolador Atmega328 que pertence à família AVR (*Advanced Virtual RISC* ou *Alf and Vegard RISC*) da Atmel, sendo que todos os modelos desta família compartilham uma arquitetura e conjunto de instruções básicas (SILVEIRA, 2011).

Segundo Lima (2009), este dispositivo de 8 bits tem uma arquitetura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), possui 32 kB de *Flash*, 1 kB de EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*), 2 kB de SRAM (*Static Random Access Memory*), 32 registradores de uso geral, 3 temporizadores/contadores, uma USART (*Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*), portas de comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*) e 6 conversores analógico digital de 10 bits. Pode operar em baixa tensão de até 1,8 V, e tem uma corrente máxima por pino de 40 mA. Possui 28 pinos, sendo que 23 desses podem ser utilizados como entrada ou saída.

A pinagem do microcontrolador Atmega328 e a descrição de cada pino podem ser observados na figura 27 e na tabela 5, respectivamente.

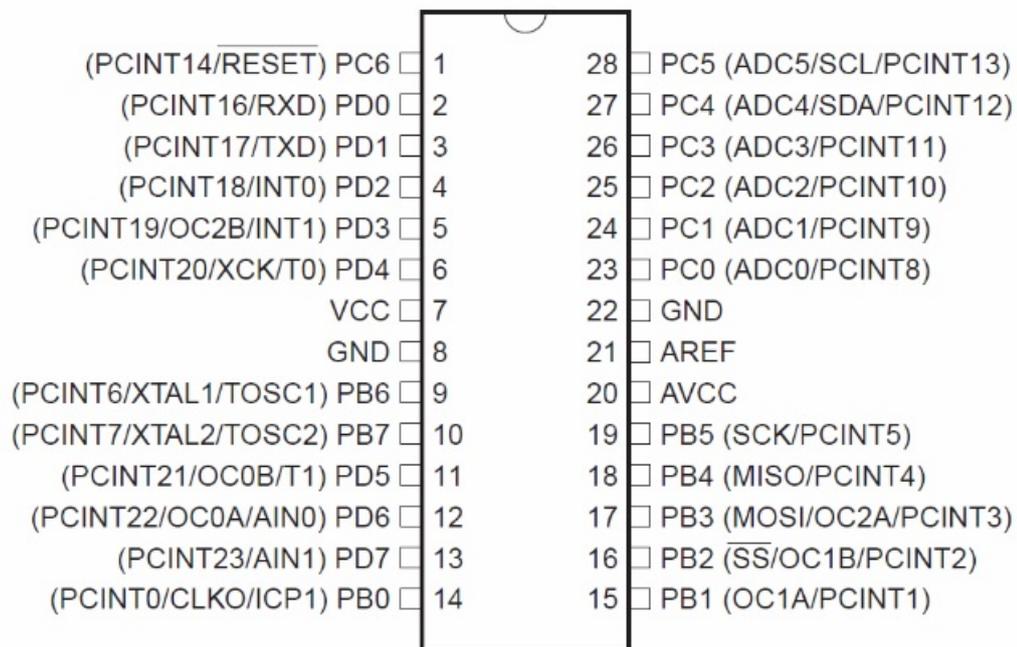


Figura 27: Pinagem do Atmega328.

Fonte: (FABRINI, 2015)

Tabela 5: Descrição dos pinos do Atmega328

VCC	Tensão de alimentação
GND	Terra
Port B	Porta bi-direcional de I/O (<i>Input/Output</i>) de 8 <i>bits</i> com resistores internos de <i>pull-up</i>
Port C	Porta bi-direcional de I/O de 7 <i>bits</i> com resistores internos de <i>pull-up</i>
PC6/RESET	Pode ser usado como um pino de I/O, sendo que suas características elétricas diferem dos outros pinos do Port C, ou pode ser usado com entrada de <i>reset</i>
Port D	Porta bi-direcional de I/O de 8 <i>bits</i> com resistores internos de <i>pull-up</i>
AVCC	Pino para a tensão de alimentação do conversor AD
AREF	Pino para a tensão de referência analógica do conversor AD
ADC 0 a 6	Servem como entradas analógicas para o conversor AD

Fonte: (FABRINI, 2015)

4.1.4 Sensor ultrassônico

Pretende-se utilizar o sensor ultrassônico modelo HC-SR04 da marca Elecfreaks, ilustrado na figura 28. Conforme o fabricante, seu alcance de medição é de 20 mm a 4000 mm, com precisão de 3 mm.



Figura 28: Sensor ultrassônico HC-SR04.

Fonte: Dos autores.

O sensor é composto de um emissor e um receptor de ondas sonoras. Quando o *trigger* recebe um pulso de 5 V, por pelo menos 10 μ s, o sensor transmite 8 ciclos de pulsos ultrassônicos a 40 kHz e espera pelo sinal refletido. Ao recebê-lo, o pino *Echo* será colocado em *high* e sofrerá um *delay* proporcional à distância. Pode ser observado na figura 29 o modo de funcionamento detalhado do sensor (THOMSEN, 2011).

Em outras palavras, o funcionamento do HC-SR04 baseia-se no envio de sinais ultrassônicos pelo sensor, que aguarda o retorno (*Echo*) do sinal, e com base no tempo entre envio e retorno, calcula-se a distância entre o sensor e o objeto detectado (THOMSEN, 2011).

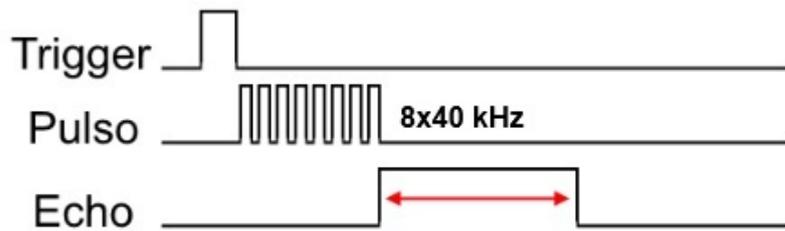


Figura 29: Modo de funcionamento detalhado do sensor ultrassônico HC-SR04.

Fonte: (THOMSEN, 2011)

A figura 30 apresenta o modo de funcionamento geral do HC-SR04.

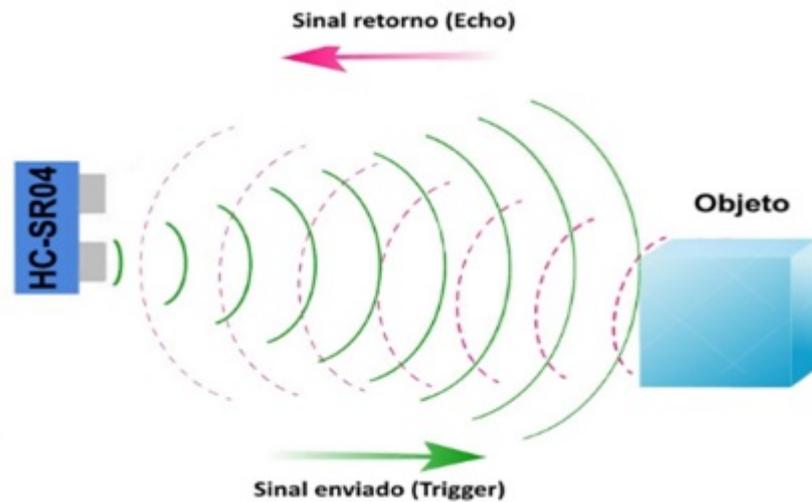


Figura 30: Modo de funcionamento do sensor ultrassônico HC-SR04.

Fonte: (THOMSEN, 2011)

4.1.5 Encoder

Por se tratar de um protótipo, ao invés de utilizar um encoder já existente no mercado, cujo custo é elevado, optou-se por confeccionar um encoder regular composto por um disco codificado circular de 24 rasgos, indicado na figura 31, e um sensor fotoelétrico formado por um fotodiodo e um emissor de luz, apresentado na figura32.



Figura 31: Encoder utilizado no sistema.

Fonte: Dos autores.

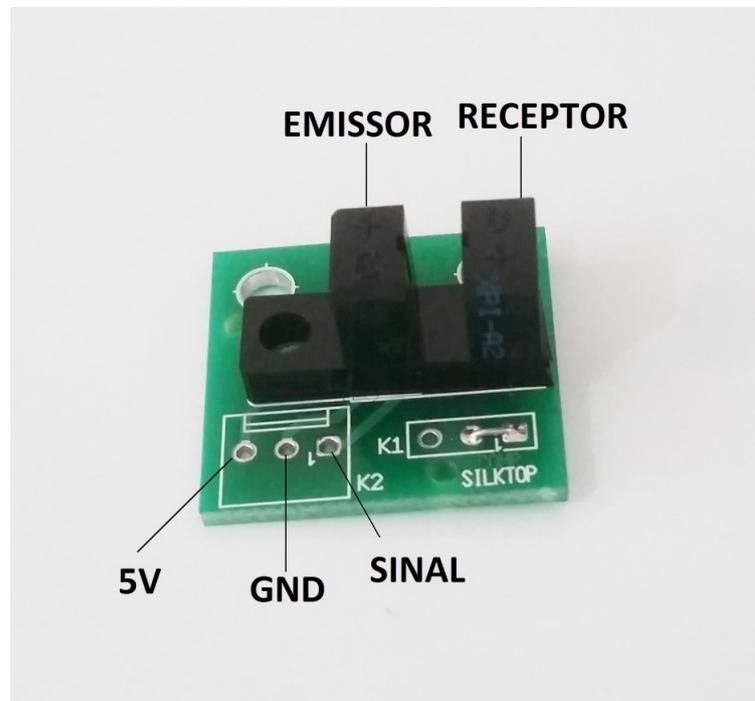


Figura 32: Sensor fotoelétrico empregado no sistema.

Fonte: Dos autores.

4.1.6 Sensor de vazão

O sensor de vazão a ser utilizado será o sensor de vazão do tipo efeito Hall, modelo FS300A G3/4", da empresa Uxcell. Este sensor pode ser observado na figura 33.



Figura 33: Sensor de vazão.

Fonte: (HU INFINITO COMPONENTES ELTRÔNICOS, 2016)

As especificações técnicas do sensor de vazão são:

- Tensão de trabalho: 5-24 V;
- Corrente de trabalho: máximo 15 mA;
- Temperatura de trabalho: Até 80°C;
- Fluxo: 1-60 l/min;
- Precisão: 0.5-60 l/min $\pm 1\%$;
- Pressão máxima: 1.75 MPa;
- Faixa de umidade de operação: 35%-90% RH (sem gelo);
- Roscas externas: 3/4";
- Material: PVC;
- Peso: 51 g;
- Dimensões: 6,2 cm x 3,6 cm x 3,5 cm;

4.2 ESBOÇO DE *HARDWARE*

Para o sistema proposto e descrito nos capítulos anteriores, foi elaborado um esboço do *hardware* do protótipo, conforme a figura 34.

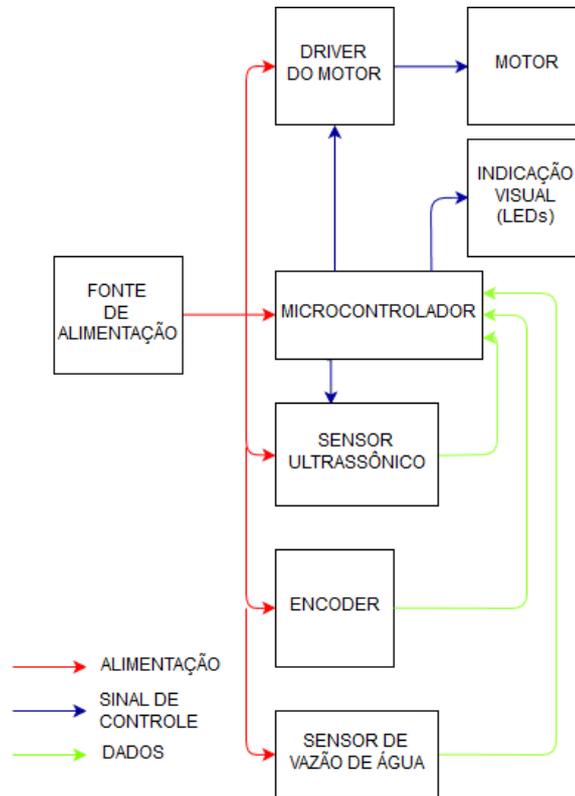


Figura 34: Esboço do *hardware* do sistema.

Fonte: Dos autores.

4.2.1 Fonte de alimentação

Para a alimentação do circuito do sistema serão utilizadas quatro baterias de Lítio em série, cada uma capaz de fornecer uma tensão de, aproximadamente, 3,7 V e 6800 mAh de duração. Desta forma, a tensão total da fonte será de 14,8 V, aproximadamente.

Esse tipo de bateria pode ser recarregado, fornecendo ao usuário a possibilidade de utilizar essa fonte até que o ciclo de vida da bateria, que é de 1000 recargas, se encerre (BUKHARI et al., 2015).

Como a corrente total do circuito é de 72 mA, conforme cálculo apresentado na seção 6.2, a duração das baterias é de, aproximadamente, 94 horas. Lembrando que, esse tempo pode ser reduzido devido ao desgaste e a descarga das baterias.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Este capítulo descreve não só as atividades desenvolvidas para a elaboração do protótipo do Chuveiro Automatizado, mas também inclui as ações adotadas para a coleta de dados do sistema para que a análise de consumo para a determinação da economia sejam realizados.

De acordo com as especificações do projeto no Capítulo 4, os dispositivos necessários para a montagem do protótipo são:

- Motor CC com caixa de redução;
- Válvula rotativa de PVC de 3/4”;
- Encoder;
- Sensor fotoelétrico;
- Sensor ultrassônico;
- Fonte de alimentação;
- Sensor de vazão;
- Driver de motor.

O protótipo foi desenvolvido em 4 etapas:

- 1ª Etapa: Construção da estrutura mecânica;
- 2ª Etapa: Desenvolvimento do *hardware*;
- 3ª Etapa: Elaboração do *software*;
- 4ª Etapa: Testes e coleta dos dados.

5.1 DESENVOLVIMENTO MECÂNICO

O projeto iniciou-se com o desenvolvimento do conjunto mecânico, para que baseado neste, fossem construídos o *hardware* e o *software* para o controle da planta. O conjunto pode ser observado na figura 35.

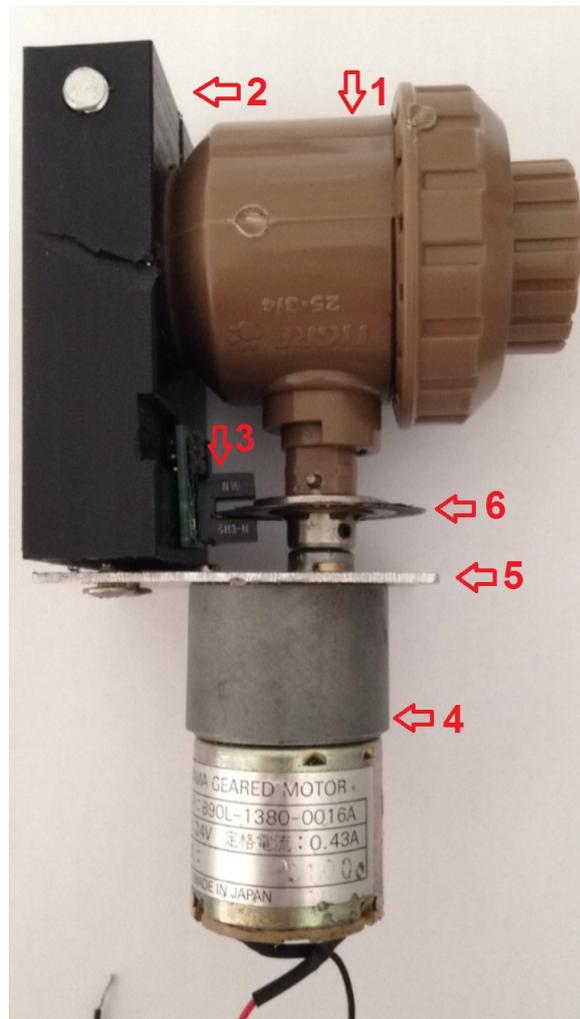


Figura 35: Conjunto mecânico.

Fonte: Dos autores.

O agrupamento mecânico é composto pela válvula rotativa (1), pelo motor CC (4), pelo encoder (6) e pelo sensor fotoelétrico (3). Para que o motor ficasse fixado e não gerasse giros em falso, foi utilizada uma chapa de aço (5) presa ao motor e à válvula, através de parafusos e de uma fibra de nylon (2), respectivamente.

5.2 DESENVOLVIMENTO DO *HARDWARE*

O circuito eletrônico de acionamento do motor de controle da válvula foi desenvolvido de acordo com o esboço do *hardware* apresentado na seção 4.2 e pode ser observado na figura 36.

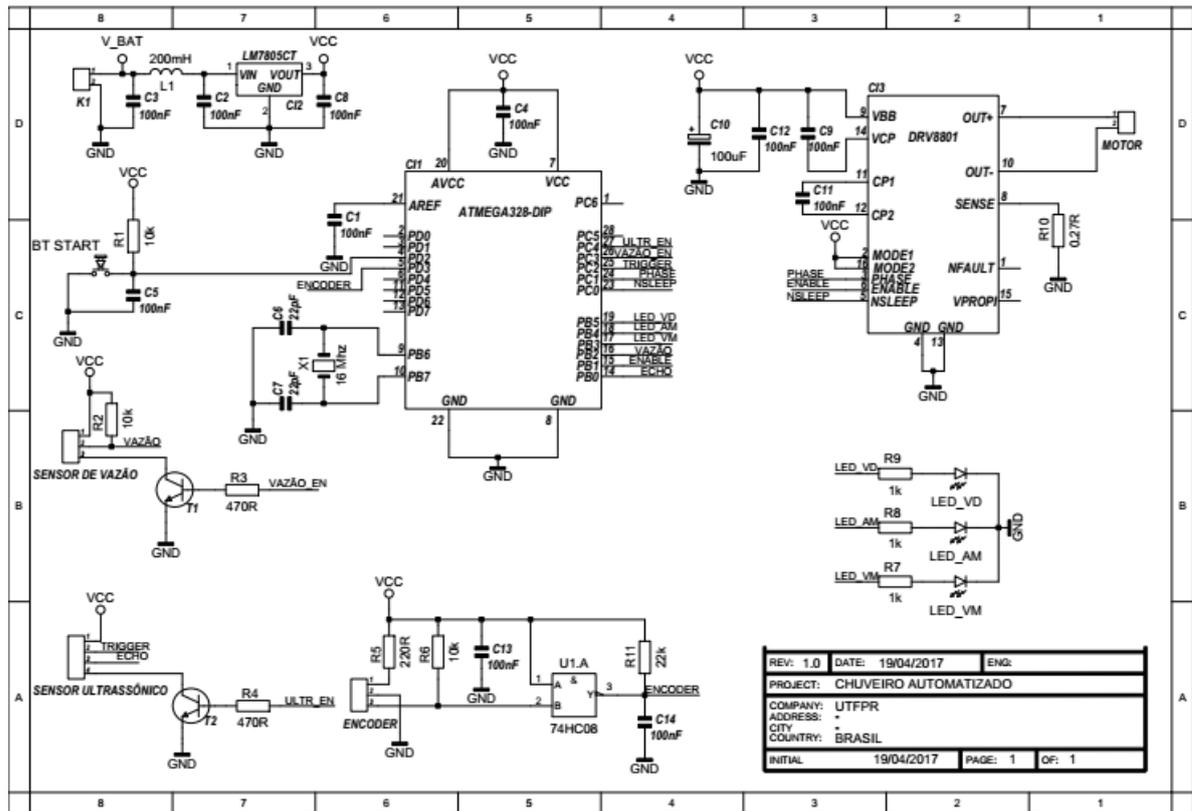


Figura 36: Esquema do circuito eletrônico de acionamento do motor.

Fonte: Dos autores.

O protótipo de controle da planta é apresentado na figura 37. A numeração dos principais componentes seguem a seguinte descrição:

- Componente nº 1 - Conector da bateria;
- Componente nº 2 - Microcontrolador;
- Componente nº 3 - Conector do sensor ultrassônico;
- Componente nº 4 - Conector de programação do microcontrolador;
- Componente nº 5 - Conector do sensor fotoelétrico;
- Componente nº 6 - Conector do sensor de vazão;

- Componente nº 7 - LED's de indicação;
- Componente nº 8 - *Driver* do motor;
- Componente nº 9 - Conector do motor CC.

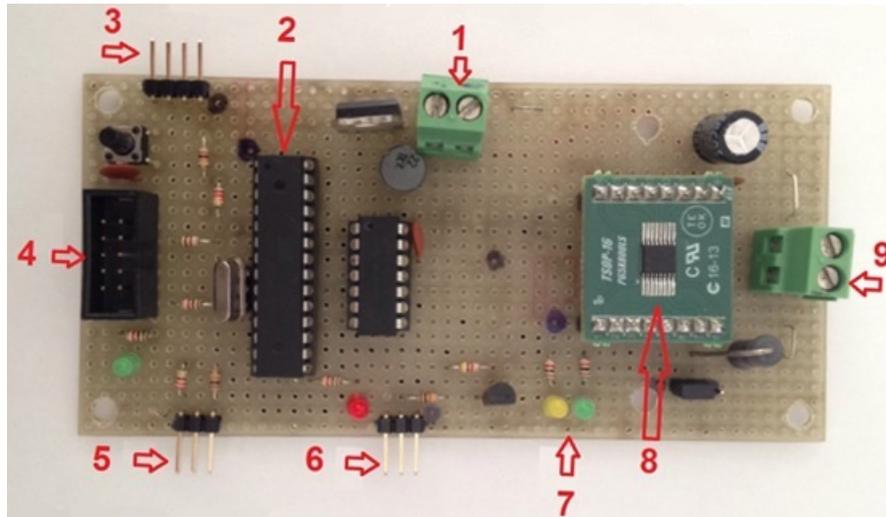


Figura 37: Protótipo do circuito eletrônico.

Fonte: Dos autores.

O componente de número quatro não está presente no esquemático da figura 36, devido ao fato de não ser necessário para o funcionamento do Chuveiro Automatizado, mas sim, para a facilidade de programação e eventuais mudanças no *software* necessárias durante os testes.

5.3 DESENVOLVIMENTO DO *SOFTWARE* E MODO DE FUNCIONAMENTO

Para a elaboração do programa que irá controlar a planta, foi utilizada a plataforma de desenvolvimento integrado Atmel Studio, que é um software disponibilizado de forma gratuita pelo fabricante do microcontrolador (ATMEL, 2017).

O programa proposto encontra-se no apêndice A.

Para auxílio de entendimento do mesmo, foi montado um fluxograma (figura 38). Os blocos apresentados por este são descritos da seguinte forma:

- Modo 0 - Encontra a posição inicial do motor (abertura máxima) e inicializa as variáveis utilizadas no programa;

- Modo 1 - Entra em modo de "espera" até que o usuário decida utilizar o Chuveiro Automatizado, apertando o botão de *Start*;
- Modo 2 - Verifica o tempo para o aquecimento da água, assim como o tempo decorrido de banho, sinalizado através de LED's da seguinte maneira:
 - LED verde aceso - tempo de banho menor que cinco minutos;
 - LED amarelo aceso - tempo de banho entre cinco e dez minutos;
 - LED vermelho aceso - tempo superior a dez minutos;
- Modo 3 - Verifica a posição do usuário e define a porcentagem de abertura da válvula;
- Modo 4 - Calcula a vazão de água e grava na memória EEPROM do microcontrolador. Caso a vazão seja zero (chuveiro desligado), volta para o Modo 0, caso contrário, espera quatro segundos e volta para o Modo 2.

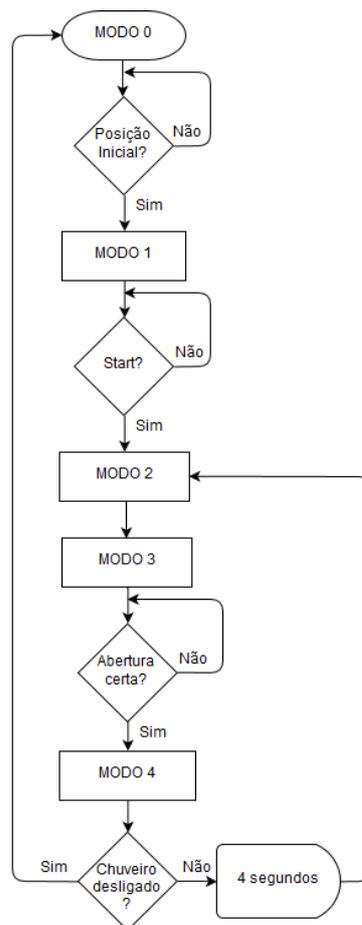


Figura 38: Fluxograma de explicação do software.

Fonte: Dos autores.

No modo 4, o tempo de quatro segundos foi definido empiricamente baseado no consumo energético e no tempo de resposta do sistema.

5.4 PROCEDIMENTOS DE TESTES

Conforme citado na seção 1.1.1, um banho de 5 minutos consome 70 litros de água (SANEPAR, 2010), o que, de acordo com a SABESP (2017) (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), é o suficiente para higienizar o corpo. Partindo deste dado e, visto que não encontrou-se um padrão de banho, isto é, um "manual de instruções" para um banho ideal, os procedimentos de testes foram definidos pelos próprios autores totalizando 5 minutos.

Foram realizadas duas etapas para a coleta de dados, a primeira em uma casa e a segunda em um apartamento. O protótipo foi instalado em ambas com o auxílio de uma torneira e uma mangueira. Para a simulação do banho, as movimentações do usuário embaixo da ducha, para que o controle da vazão de água possa existir, foram realizadas utilizando a mão para obstruir o sinal do sensor ultrassônico.

Durante a implementação do protótipo, vivenciou-se situações que são discutidas na seção 7.1. Devido a isso, foram definidos apenas dois valores de vazão para o chuveiro: máxima e mínima. Lembrando que, a vazão máxima ocorre quando o usuário encontra-se próximo e a mínima quando está distante da ducha.

Dentro do tempo total de simulação, os diferentes valores de vazão foram implementados em dois passos:

- 1º passo - Chuveiro com a vazão máxima de forma contínua durante 3 minutos;
- 2º passo - Chuveiro com a vazão mínima de forma contínua durante 2 minutos.

O procedimento foi realizado com os tempos de forma contínua para facilitar a realização dos testes e analisar melhor os dados. No entanto, isto não representa uma forma de tomar um banho. Os tempos de acionamento dos LED's não foram readequados para a fase de testes. Os mesmos foram testados separadamente utilizando o chuveiro com a vazão mínima durante 11 minutos.

Os dados de consumo de água foram armazenados na memória EEPROM do microcontrolador e, ao final de cada simulação, recolhidos e armazenados utilizando uma planilha em Excel, apresentada na seção 6.1.

O protótipo instalado no apartamento pode ser observado na figura 39.



Figura 39: Protótipo do chuveiro na fase de testes.

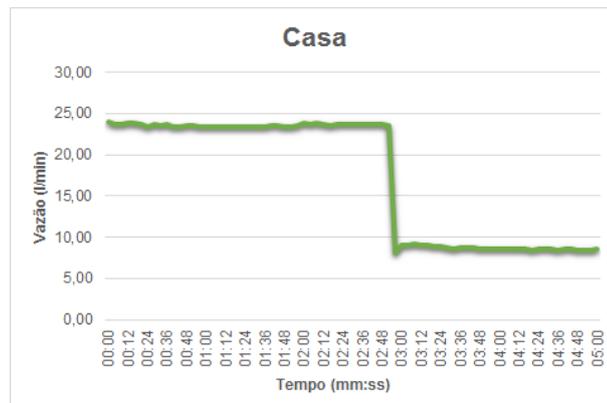
Fonte: Dos autores.

6 RESULTADOS

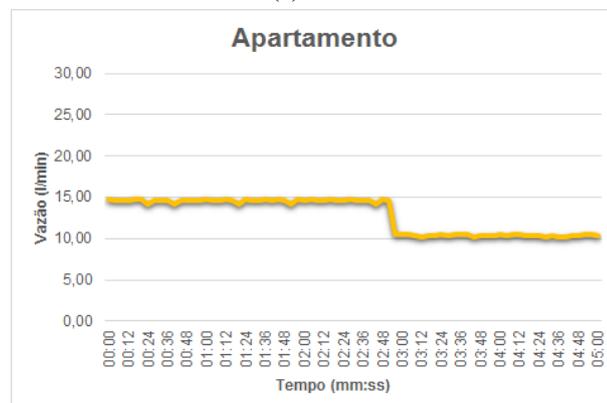
Os resultados referentes aos testes e à construção do protótipo do Chuveiro Automatizado serão expostos neste capítulo. Primeiramente, expõe-se o consumo de água adquirido com a implementação do projeto. Na sequência, discute-se sobre a estimativa do gasto energético e, por fim, os custos financeiros com o desenvolvimento deste trabalho.

6.1 CONTROLE DA VAZÃO

Os dados de consumo de água obtidos através dos testes realizados na casa e no apartamento são apresentados por meio dos gráficos nas figuras 40a e 40b, respectivamente.



(a) Casa



(b) Apartamento

Figura 40: Gráficos de consumo de água.

Fonte: Dos autores.

Analisando os valores adquiridos, elaborou-se a tabela 6 que apresenta o consumo máximo e médio e a economia para os cenários estudados.

Tabela 6: Dados sobre o consumo de água

	Vazão (l/min)	
	Casa	Apartamento
Média	17,30	12,81
Máximo	24,00	14,82
Economia	27,92%	13,56%

Fonte: Dos autores.

Nota-se que, sem a utilização do protótipo, os valores de consumo de água para a casa e o apartamento, considerando a vazão máxima, seriam de, respectivamente, 120,00 e 74,10 litros, em 5 minutos de banho. Ao utilizar o Chuveiro Automatizado obteve-se uma economia no gasto com água de 27,92% na casa e de 13,56% no apartamento.

6.2 CONSUMO DO CIRCUITO

No circuito proposto, o componente de maior consumo energético é o motor CC. Para obter a intensidade de corrente consumida por ele, foi inserido um resistor de baixo valor entre o pino *SENSE* do *driver* DRV8801 e o terra. Esta estratégia baseia-se no fato de que, colocar o resistor em série no circuito proporciona a possibilidade de medir a queda de tensão sobre ele e, assim, calcular a corrente.

Realizou-se uma simulação com o motor CC, onde o mesmo permanecia sempre ligado. Desta forma, foi possível capturar, através de um osciloscópio, o instante em que o motor começou a funcionar e o valor da queda de tensão gerada pelo resistor (figura 41).

Observa-se na figura 41, que o valor RMS da queda de tensão em regime permanente é de, aproximadamente, 126 mV. Como o valor medido do resistor foi de 0,27 ohms a corrente do motor pode ser calculada da seguinte maneira:

$$I_{motor} = \frac{V}{R} \quad (6.1)$$

$$I_{motor} = \frac{0,126}{0,27} \quad (6.2)$$

$$I_{motor} \approx 467mA \quad (6.3)$$

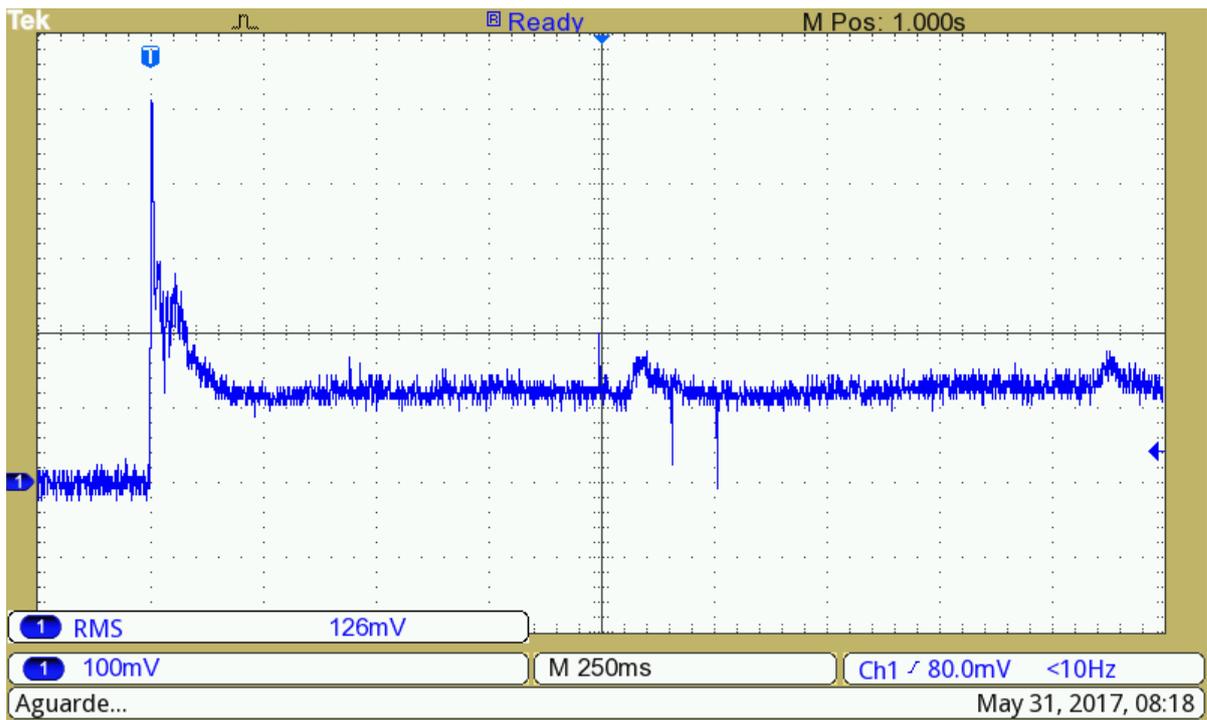


Figura 41: Queda de tensão gerada pelo resistor.

Fonte: Dos autores.

Na construção do *software*, foi estipulado um valor de quatro segundos de intervalo entre cada verificação da posição do usuário em relação a ducha, como pode ser analisado no fluxograma da figura 38, apresentado na seção 5.3. Com a realização dos testes, dentro deste intervalo, observou-se que o motor, assim como o driver, ficam ligados durante, aproximadamente, 450 ms, tanto para abertura quanto fechamento da válvula. O sensor de vazão, por sua vez, é utilizado por 1 segundo para aferição dos dados de consumo de água. Os LED's e o sensor fotoelétrico são alimentados durante todo o intervalo.

Considerando o pior caso de uso do chuveiro, ou seja, onde o motor seria acionado em todos os instantes de verificação da posição do usuário, e os componentes de maior consumo de energia (o motor CC, o driver, o sensor de vazão, o sensor fotoelétrico e os LED's), em um período de uma hora (para efeitos de cálculo de consumo), temos que:

- O motor e o driver ficariam ligados durante, aproximadamente, 6,75 minutos;
- O sensor de vazão durante 15 minutos;
- O sensor fotoelétrico e os LED's por 1 hora.

Logo, tendo como referência os valores de corrente apresentados nas Seções 4.1.3.1

(*driver*) e 4.1.6 (sensor de vazão), a corrente do motor (I_{motor}) calculada anteriormente, e as correntes do fotodiodo e dos LED's (10 e 5 mA, respectivamente), o consumo total máximo aproximado do circuito é de 72 mAh. De acordo com o valor de duração das baterias apresentado na seção 4.2.1, seria possível tomar, aproximadamente, 1128 banhos de 5 minutos.

6.3 CUSTOS DO PROJETO

Nesta seção serão apresentados, através da tabela 7, os custos gerados com o protótipo do projeto proposto. Os comentários referentes ao valor total serão discutidos no Capítulo 8.

Tabela 7: Custos do projeto.

Componente	Quantidade	Valor (R\$)
LED	3	0,30
<i>Driver</i>	1	9,00
Motor CC	1	60,00
Sensor de vazão	1	70,00
Válvula de controle	1	15,00
Sensor ultrassônico	1	6,00
Microcontrolador	1	10,00
Sensor fotoelétrico	1	6,00
Encoder	1	15,00
Bateria	4	17,20
Outros componentes*	-	70,00
TOTAL		278,50

Fonte: Dos Autores.

Nota:

*Valor aproximado para o restante dos componentes utilizados (resistores, capacitores, CI's, conectores, transistores, indutores, placa perfurada, partes do conjunto mecânico).

7 DISCUSSÕES E PROPOSTAS FUTURAS

Questões relacionadas ao desenvolvimento e aprimoramento do protótipo serão abordadas neste capítulo. Inicialmente, falam-se das dificuldades vivenciadas e na sequência são feitas propostas de melhorias para o sistema desenvolvido.

7.1 PROBLEMAS OCORRIDOS

7.1.1 PWM do motor

Nos testes iniciais, houve a tentativa de implementação de um controle PWM para controle do motor CC. Porém, devido ao baixo torque do motor decorrido do nível de tensão da bateria utilizada, que é de 15 V, aproximadamente, o mesmo atuava na válvula somente quando o PWM estava em 100%, ou seja, sempre ligado, tornando inviável a utilização deste tipo de controle.

7.1.2 Encoder

Durante o desenvolvimento do projeto, a primeira dificuldade encontrada foi com o encoder inicialmente proposto, que contém 24 pulsos/revolução. Observou-se que, durante os testes, a válvula não se posicionou nos valores de vazão desejados, pois a distância entre um furo e outro do encoder era demasiada grande para esta aplicação. Desta forma, foi feita a substituição por um encoder com 48 pulsos/revolução.

O segundo problema surgiu da falta de uma "posição zero". Notou-se que, através do *software*, não era possível ter certeza da posição em que o motor se encontrava, pois no encoder não existia referência, o que dificultou o controle de abertura e fechamento da válvula. A solução encontrada foi a utilização de uma fita preta cobrindo alguns furos do encoder (figura 42), criando uma referência para o motor. Esta referência indica a posição inicial de abertura da válvula, que é de "100% aberta" ou "normalmente aberta". Desta forma, através da programação, tornou-se possível ter certeza do posicionamento do motor.

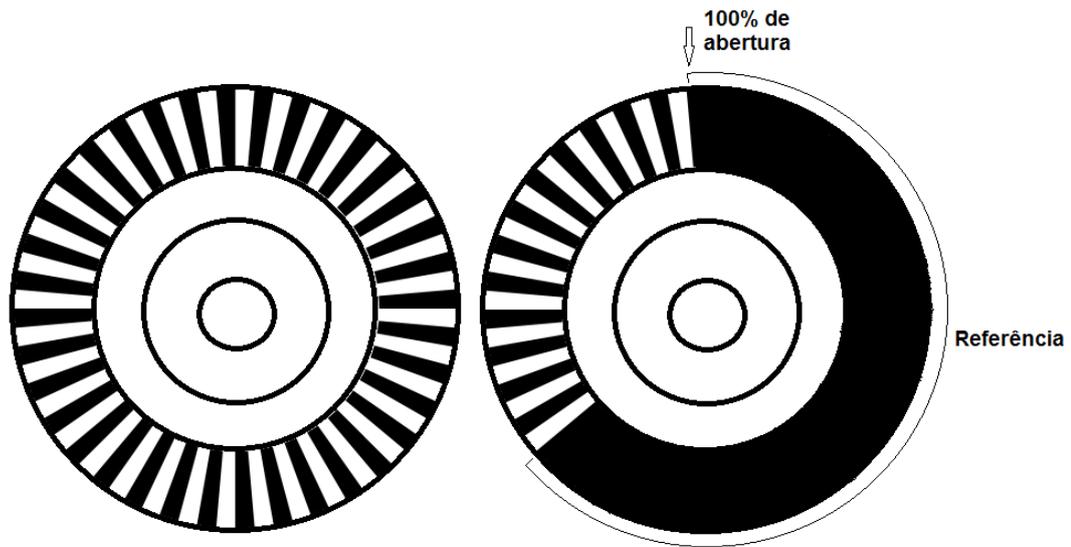
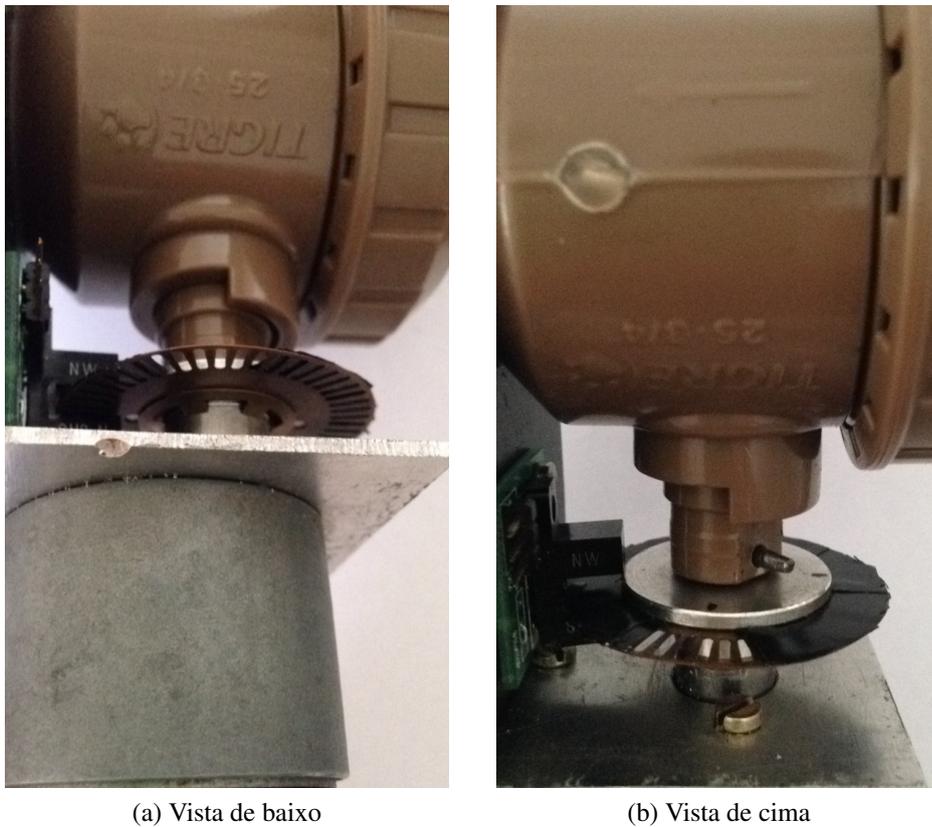


Figura 42: Exemplo do encoder com a fita preta.

Fonte: Dos autores.

O novo encoder já com os furos tampados com a fita preta é apresentado na figura 43.



(a) Vista de baixo

(b) Vista de cima

Figura 43: Novo encoder.

Fonte: Dos autores.

7.1.3 Driver e motor

Inicialmente, definiu-se três valores de vazão para o Chuveiro Automatizado: máxima, intermediária e mínima. Durante os testes com o chuveiro, foi observado que, quando o usuário se encontrava a uma distância intermediária, isto é, em uma posição que gerava o valor mediano de vazão, o motor não se posicionava corretamente, gerando mau funcionamento da planta.

Descobriu-se que o problema estava com o *driver* e o motor. Quando o driver gerava o sinal de parada do motor, este ainda continuava girando e fazia com que o programa parasse de funcionar, como pode ser observado na figura 44, que mostra o comportamento do motor e do encoder aferidos com o auxílio de um osciloscópio.

Na figura 44, os pulsos retangulares da referência do canal 1 indicam a leitura do encoder. A referência do canal 2 indica o sinal de controle do motor pelo driver, sendo nível lógico 1 motor ligado e nível lógico 0 desligado. A partir do quinto pulso do canal 1, observa-se que o *driver* gera o sinal de parada do motor. Porém, analisando a leitura do encoder, nota-se que o motor continua ligado por um breve momento, pois ainda é gerado pulsos.

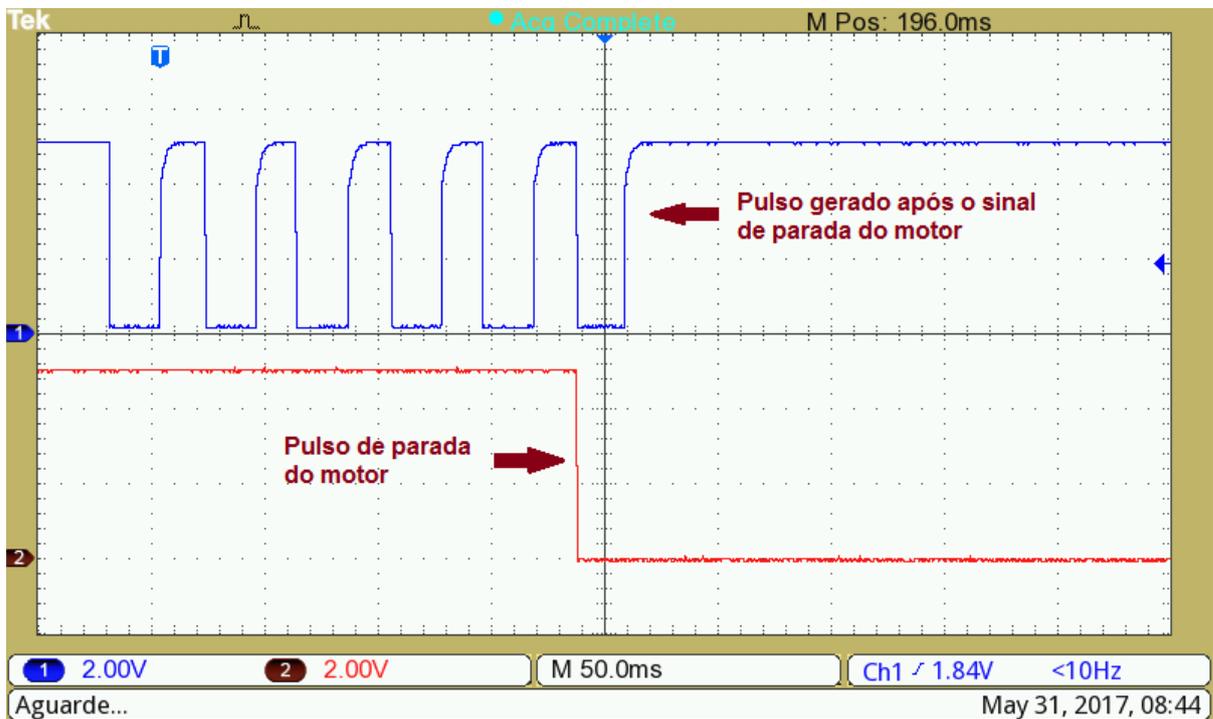


Figura 44: Pulsos gerados pelo encoder.

Fonte: Dos autores.

Tentou-se corrigir o problema através do *software*, compensando os furos contados a mais, porém nenhuma das modificações feitas no programa resultaram em uma solução para

esta situação.

Para que isso não ocorresse mais, removeu-se a posição que correspondia a vazão intermediária de água do chuveiro e utilizou-se o encoder como uma "chave fim-de-curso", indicando as aberturas máxima e mínima através da fita preta (figura 45). Porém, o controle da vazão continua sendo feito a partir da distância do usuário em relação a ducha.

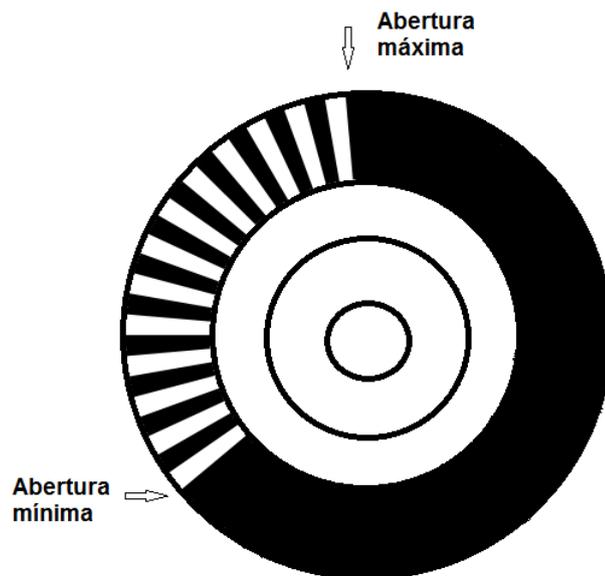


Figura 45: Exemplo de indicação das aberturas máxima e mínima no encoder.

Fonte: Dos autores.

7.1.4 Vazão de água

Notou-se que, quando o chuveiro está sem fluxo de água, o aquecedor a gás desliga. Isso pode gerar um desconforto para o usuário devido à histerese de aquecimento do próprio aquecedor, pois, quando o usuário se posicionar novamente para que o fluxo seja o máximo, durante um tempo, a água que sairá do chuveiro será fria.

Observou-se durante os testes que, quando a válvula se posicionava no valor mínimo de vazão, o fluxo de água não diminuía, ou seja, era o mesmo do valor máximo. Isso acontecia, pois a vazão suportada pela válvula com a abertura mínima estipulada era maior do que o fluxo máximo proveniente dos locais onde o protótipo foi instalado. Desta forma, estipulou-se um valor entre 0 e 5% da abertura total da válvula como valor mínimo.

Outro fator é que, de acordo com Creder (1988) e Tanaka (1986), a pressão da água, em instalações prediais, depende exclusivamente da altura da caixa d'água, o que salienta que o fluxo da água em cada residência, seja esta casa ou apartamento, é diferente.

Estes fatores dificultam o controle da vazão de água através do controle proposto, pois a vazão não depende apenas da posição da válvula, mas também, da quantidade de água proveniente do sistema em que o chuveiro está instalado. Portanto, a solução para este problema seria a mudança da forma de controle da planta, o que não foi possível realizar, visto que seria necessário uma reformulação do projeto.

7.2 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta seção visa propor melhorias e soluções para futuros trabalhos baseados neste projeto. As propostas são:

- Criação de um aplicativo para celular que possibilite ao usuário fazer o monitoramento dos dados adquiridos pelo chuveiro, tais como o consumo de água e o tempo de banho;
- Elaboração de um controle mais sofisticado que identifique a vazão máxima de água e que faça o controle do posicionamento da válvula de acordo com as porcentagens de vazão definidas no *software*. Para isto, verificar a possibilidade da utilização de um servomotor;
- Utilização de uma válvula diferente, ou adaptação de outra, para promover um controle de vazão de água mais eficiente;
- Construção de um método para levar em conta a altura do usuário durante a identificação da posição realizada pelo sensor ultrassônico.

8 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos através dos testes feitos com o Chuveiro Automatizado, notou-se uma economia de 27,92% para a casa e 13,56% para o apartamento, mostrando-se eficaz para o objetivo apresentado, que é de economia de água.

Porém, de acordo com as discussões apresentadas na seção 7.1 em relação aos problemas ocorridos, a solução proposta não apresenta uma constância quanto ao seu desempenho, visto que a quantidade de água economizada depende da vazão máxima do local onde o projeto for instalado. Isso pode ser facilmente comprovado analisando os gráficos da seção 6.1, que exibem uma economia maior por parte da casa, que, por consequência, demonstra uma vazão máxima de 24 litros/min, contra os 14,82 litros/min do apartamento.

O protótipo criado se assemelha às torneiras automáticas, encontradas em banheiros de centros comerciais por exemplo, que visam também a economia no consumo de água. No entanto, estes tipos de torneiras fecham por completo alguns segundos após o acionamento feito pelo usuário, o que difere do Chuveiro Automatizado. O projeto pode ser aplicado principalmente em hotéis e academias, visto que há um alto fluxo de pessoas e um maior consumo de água.

Em relação ao dispêndio, o presente trabalho demonstrou um custo financeiro satisfatório levando em consideração o fato de ser um trabalho acadêmico com o desenvolvimento de um protótipo.

Outro fato interessante é que, os dados fornecidos pela SANEPAR (2010) sobre a quantidade de consumo de água em um banho de 5 minutos, que é de 70 litros, não condiz com as informações recolhidas através dos testes. Baseando-se nos valores apresentados pela casa, na seção 6.1, um banho de 5 minutos geraria um gasto de 120 litros com água. Este valor é superior ao consumo mínimo estipulado pela ONU, que é de 100 litros per capita por dia (vide seção 1.1). Desta forma, fica evidente a necessidade de conscientizar a população em reduzir os gastos hídricos.

Em linhas gerais, o projeto exposto neste trabalho não apresentou uma performance satisfatória, já que a ideia seria de controlar a vazão de água independentemente do local instalado.

REFERÊNCIAS

ABAS. Hidro notícias. **Abas Informa**, n. 137, 2003.

ALVES, P. **Como funcionam os sensores de proximidade**. 2013. Disponível em: <<http://www.techtodo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2013/12/como-funcionam-os-sensores-de-proximidade.html>>. Acesso em: 10/09/2016.

ATMEL. **Atmel Studio**. 2017. Disponível em: <<http://www.atmel.com/pt/br/tools/atmelstudio.aspx>>. Acesso em: 10/04/2017.

BRAGA, N. C. **Como funcionam os sensores fotoelétricos**. 2012. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/4883-art644>>. Acesso em: 01/10/2016.

BRITO, S. H. B. **O espectro eletromagnético na natureza**. 2013. Disponível em: <<http://labcisco.blogspot.com.br/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>>. Acesso em: 03/10/2016.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluídos**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

BUKHARI, S. M. A. S. et al. Comparison of characteristics – lead acid, nickel based, lead crystal and lithium based batteries. In: **2015 17th UKSim-AMSS International Conference on Modelling and Simulation (UKSim)**. [S.l.]: IEEE, 2015. p. 444–450.

CARREIRA, E. S. **Detecção de hidrogênio em solução sólida em materiais utilizando a técnica de efeito hall pulsado**. 2011. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/EdvaldoDaSilvaCarreira.pdf>. Acesso em: 17/11/2016.

CHAU, K. T. **Electric vehicle machines and drives: design, analysis and application**. Asia: Wiley, 2015.

CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ltda, 1988.

EVADROP. 2014. Disponível em: <<http://evadrop.com/>>. Acesso em: 20/04/2016.

FABRINI, F. **Usando os registradores que manipulam os PORTs no Arduino**. 2015. Disponível em: <<http://fdi-ffambrin.blogspot.com.br/2015/04/usando-os-registradores-que-manipulam.html>>. Acesso em: 01/11/2016.

FERNANDES, C. **Equipamentos para proteção das tubulações: Válvulas**. 2009. Acessado em 15/11/2016. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Valvula0.htm>>.

FITZGERALD, A. E.; JUNIOR, C. K.; UMANS, S. D. **Máquinas elétricas**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

GEMÜ. **Kugelhahn, Edelstahl**. [S.l.], 8 2012.

GLOBO. **Tomar um banho por dia, durante 5 minutos e com água morna, é o ideal**. 2009. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bemestar/noticia/2011/11/tomar-um-banho-por-dia-durante-5-minutos-e-com-agua-morna-e-o-ideal.html>>. Acesso em: 10/05/2016.

GOMES, S. A. **Chuveiro Automático**. 2011. 81 f. TCC - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2011.

GUIA DO ESTUDANTE. **Consumo de água no mundo**. 2015. Disponível em: <<http://guiadoestudante.abril.com.br/estudar/jogos-multimidia/consumo-agua-mundo-626601.shtml>>. Acesso em: 5/04/2016.

HARRINGTON, A. M.; KRONINGER, C. **Characterization of small DC brushed and brushless motors**. Aberdeen Proving Ground, 2013.

HEISS, A. Encoders. **Revista Mecatrônica Atual**, Ano 11, n. 56, 2012.

HOSUR, P.; SHETTAR, R. B.; POTDAR, M. Environmental awareness around vehicle using ultrasonic sensors. In: **2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1154–1159.

HU INFINITO COMPONENTES ELTRÔNICOS. **Sensor de fluxo de água**. 2016. Disponível em: <<http://www.huinfinito.com.br/sensores/924-sensor-de-fluxo-de-agua-3-4.html>>. Acesso em: 17/11/2016.

HYDRAO. 2015. Disponível em: <<https://www.hydrao.fr/en/>>. Acesso em: 20/04/2016.

KERNIGHAN, B. W.; RITCHIE, D. M. **C A linguagem de programação padrão ANSI**. São Paulo: Campus, 1989.

KOWALSKI, R. L. **Em Curitiba, consumo de água cresce mais que a população**. 2015. Disponível em: <<http://www.bemparana.com.br/noticia/374258/em-curitiba-consumo-de-agua-cresce-mais-que-a-populacao>>. Acesso em: 10/05/2016.

KÜHN, M. **Thermische Rydbergspektroskopie in einem Hintergrundgas**. 2016. Disponível em: <http://www.pi5.uni-stuttgart.de/common/show_file.php/finished_thesis/154/beschraenkt/thesis.pdf>. Acesso em: 15/11/2016.

LIMA, C. B. de. **Os poderosos μ controladores AVR**. 2009. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Disponível em: <http://digoreis.net/temp/Apostilas/APOSTILA_ATMEGA8.pdf>. Acessado em 28/09/2016.

LUPATECH MIPEL. **Válvula de aço, ferro, latão e acessórios série 9000**. [S.l.], 5 2012.

MATHIAS, A. C. **Válvulas Industriais, Segurança e Controle**. São Paulo: Artliber, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Água**. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf>. Acesso em: 06/05/2016.

MORENO JUNIOR, I. **Uma experiência de gestão de recursos hídricos: a implantação de uma proposta para o estado do Rio de Janeiro**. 2006. 226 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MSS ELETRÔNICA. **Módulo sensor medido de fluxo de água eletrônico**. 2016. Disponível em: <<http://www.msseletronica.com/detalhes/modulo-sensor-medidor-de-fluxo-de-agua-eletronico-para-1-2-yf-s201-codigo-exemplo-arduino/988.html>>. Acesso em: 17/11/2016.

NETO, A. M. M. et al. **Dispositivos fotossensíveis: Fotodiodos**. 2003. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/foto/fotodiodo2.htm>. Acesso em: 03/10/2016.

NICOLOSI, D. E. C. **Microcontrolador 8051 Detalhado**. São Paulo: Érica, 2002.

OLIVEIRA, A. L. d. L. **Instrumentação: Elementos Finais de Controle**. Vitória: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://www.sr.ifes.edu.br/~rafael/ii2/apostilas/valvulas/Apostila%20Valvulas.pdf>>. Acesso em: 29/09/2016.

PENA, R. F. A. **Consumo de água**. 2002. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/consumo-agua-no-mundo.htm>>. Acesso em: 5/04/2016.

RIBEIRO, B. P. **Encoders**. 2012. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAaVUAB/manual-encoder>>. Acesso em: 01/10/2016.

SABESP. **Dicas e testes - No Banheiro**. 2017. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=184>>. Acesso em: 10/04/2017.

SANEPAR. **Água! Use sem desperdiçar**. 2010. Disponível em: <<http://educando.sanepar.com.br/ensino1a4serie/%C3%A1gua-use-sem-desperdi%C3%A7ar>>. Acesso em: 09/05/2016.

SANTOS, P. R. dos. **Desenvolvimento de um sistema sensorial utilizando sensor hall para detecção de nanopartículas magnéticas**. 2015. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20115/1/2015_PauloRobertodosSantos.pdf>. Acesso em: 17/11/2016.

SEGALA, M. **Água: a escassez na abundância**. 2012. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/ambiente/populacao-falta-agua-recursos-hidricos-graves-problemas-economicos-politicos-723513.shtml?func=1&pag=1&fnt=14px>>. Acesso em: 06/05/2016.

SHOWER MANAGER. 2016. Disponível em: <<http://www.showermanager.com>>. Acesso em: 15/09/2016.

SILVEIRA, J. A. da. **Experimentos com o Arduino**. São Paulo: Ensino Profissional, 2011.

TANAKA, T. **Instalações prediais hidráulicas e sanitárias**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ltda, 1986.

TECHTONICS. **MOC7811 - Encoder Sensor**. 2016. Disponível em: <<http://techtionics.in/MOC7811-Encoder-Sensor-1885>>. Acesso em: 28/09/2016.

TEXAS INSTRUMENTS. **DRV880x DMOS Full-Bridge Motor Drives**. [S.l.], 7 2008. Rev. March 2015.

THOMSEN, A. **Como conectar o sensor ultrassônico HC-SR04 ao arduino**. 2011. Disponível em: <<http://blog.filipeflop.com/sensores/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino.html>>. Acesso em: 01/11/2016.

UICKER, J. J. et al. **Theory of machines and mechanisms**. New York: Oxford University Press New York, 2011.

UNESCO. **Relatório mundial das nações unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos: Água para um mundo sustentável**. 2015. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf>. Acesso em: 05/05/2016.

APÊNDICE A – *SOFTWARE DO PROJETO*

```
// *****  
// Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
// Trabalho de Conclusão de Curso  
// Título: Chuveiro Inteligente  
//  
// Alunos: Isabella M. Arakaki, Rafael F. Santos  
// e Rafael A. C. de Matos  
// Programa: Software de controle do Chuveiro Inteligente  
// (biblioteca)  
// *****  
  
#ifndef TESTEFINAL_H_  
#define TESTEFINAL_H_  
  
#define F_CPU 16000000UL  
  
#include <avr/io.h>  
#include <avr/interrupt.h>  
#include <avr/eeprom.h>  
#include <util/delay.h>  
  
#define TRIGGER PC2  
#define ECHO PB0  
#define FLOW_EN PC3  
#define FLOW PB2  
#define DRV_PWM PB1  
#define DRV_PHASE PC1  
#define DRV_SLEEP PC0  
#define LED_RED PB3  
#define LED_YL PB4
```

```
#define LED_GR PB5
#define START PD2
#define ENCODER PD3

#define AberturaMin 7
#define AberturaMax 12

unsigned long int Distancia;
unsigned int Inicio_Sinal;
unsigned char FLOW_FREQ;
unsigned char MODO;
unsigned char TempoEsquentar;
unsigned int TempoBanho;
unsigned char ContagemEncoder;
unsigned char ContagemLimite;
unsigned char ContagemPosZero;
unsigned char ContagemSleep;
unsigned char PosicaoZero;
unsigned char PrimeiraAbertura;
unsigned char UltimaAbertura;
unsigned char MotorDirecao;
unsigned char MotorLigado;
unsigned int addr;
unsigned char val;
unsigned char converte;

void ConfigIO(void);
void AtivaUltrassonico(void);
void AtivaSensorFluxo(void);
void AtivaEncoder(void);
void EncontrarPosicao(void);
void InicializarVariaveis(void);
void DesativaUltrassonico(void);
void DesativaSensorFluxo(void);
void DesativaEncoder(void);
```

```

//MACROS
#define MotorHorario() set_bit(PORTC, DRV_PHASE);\
set_bit(PORTB, DRV_PWM)

#define MotorAntihorario() clr_bit(PORTC, DRV_PHASE);\
set_bit(PORTB, DRV_PWM)

#define PararMotor() clr_bit(PORTB,DRV_PWM);\
clr_bit(PORTC,DRV_SLEEP)

#define set_bit(y,bit) (y|=(1<<bit)) //Set bit
#define clr_bit(y,bit) (y&=~(1<<bit)) //Clear bit
#define cpl_bit(y,bit) (y^=(1<<bit)) //Complement bit
#define tst_bit(y,bit) (y&(1<<bit)) //Test bit

#endif

// *****
// Universidade Tecnológica Federal do Paraná
// Trabalho de Conclusão de Curso
// Título: Chuveiro Inteligente
//
// Alunos: Isabella M. Arakaki, Rafael F. Santos
// e Rafael A. C. de Matos
// Programa: Software de controle do Chuveiro Inteligente
// (programa principal)
// *****

#include "TesteFinalv3.h"

//-----
ISR(INT0_vect) //Interrupção Botão Start
{

```

```

clr_bit(EIMSK,INT0); //Desativa a interrupção
MODO = 2; //Passa para o Modo de
//Funcionamento 2
set_bit(PORTB,LED_GR); //Liga LED verde
//Zera a memória EEPROM
for(addr=0;addr<=1023;addr++) _EEPUT(addr,0x00);
addr = 0;
}
//-----
ISR(TIMER0_OVF_vect) //Interrupção do Timer 0 para
//encontrar a posição inicial
{
if(PosicaoZero == 0)
{
ContagemPosZero++; //Incrementa contagem do
//Timer para a posição inicial

if(ContagemPosZero > 30) //Contagem do Timer,
//aproximadamente 120 ms
{
ContagemPosZero = 0; //Zera a contagem
PosicaoZero = 1; //Flag que indica a posição
//inicial
TCCR0B = 0; //Desativa o Timer 0
}
}
else
{
ContagemEncoder++; //Incrementa contagem do
//Timer para encontrar as
//posições de aberturas

if(ContagemEncoder > 20) //Contagem do Timer,
//aproximadamente 80 ms
{

```

```

ContagemEncoder = 0; //Zera a contagem
PararMotor(); //Desliga motor
DesativaEncoder(); //Desativa encoder
TCCR0B = 0; //Desativa Timer 0
}
}

}
//-----
ISR(PCINT0_vect) //Interrupção do sensor de vazão
{
FLOW_FREQ++; //Incrementa variável para contagem
//da vazão
}
//-----
ISR(INT1_vect) //Interrupção do encoder
{
if(PosicaoZero == 0) //Caso a posição não seja a
//inicial
{
ContagemPosZero = 0; //Zera a contagem do Timer 0
TCNT0 = 0; //Zera o contador interno do
//Timer 0
TCCR0B = (1<<CS02); //Reinicia o Timer 0
}
//Caso a posição inicial tenha
//sido encontrada
else
{
ContagemEncoder = 0;
TCNT0 = 0; //Zera o contador interno do
//Timer 0
TCCR0B = (1<<CS02); //Reinicia o Timer 0
}
}
}

```

```

//-----
ISR(TIMER1_CAPT_vect) //Interrupção por captura
//do Timer 1
{
cpl_bit(TCCR1B,ICES1); //Troca a borda de captura
//do sinal

if(!tst_bit(TCCR1B,ICES1)) //Lê o valor de contagem do
//TC1 na borda de subida do
//sinal
Inicio_Sinal = ICR1; //Salva a primeira contagem
//para determinar a largura
//do pulso
else //Lê o valor de contagem do
//TC1 na borda de descida
//do sinal
{
//Cálculo da distância
Distancia = (unsigned long) (ICR1 - Inicio_Sinal);
Distancia = (1097600*Distancia)/F_CPU;
}
}
//-----
void ConfigIO(void) //Configurações de IOs do
//microcontrolador
{
DDRB = (1<<DRV_PWM) | (1<<LED_RED) | (1<<LED_YL) | (1<<LED_GR);
DDRC = (1<<TRIGGER) | (1<<DRV_PHASE) | (1<<DRV_SLEEP) | (1<<FLOW_EN);
DDRD = 0x00;
PORTB = 0b11000101;
PORTC = 0b11110011;
PORTD = 0b11111100;
}
//-----
void AtivaUltrassonico(void) //Liga e configura o sensor

```

```

//ultrassônico
{
TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0;
//TC1 com prescaler = 64, captura na borda de subida
TCCR1B = (1<<ICES1)|(1<<CS11)|(1<<CS10);
//Habilita a interrupção por captura
TIMSK1 = 1<<ICIE1;
}
//-----
void AtivaSensorFluxo(void) //Liga e configura o sensor
//de vazão
{
PCICR |= (1 << PCIE0); //Pino DB0 como interrupção
PCMSK0 |= (1 << PCINT2); //Interrupção habilitada
set_bit(PORTC, FLOW_EN); //Habilita sensor de vazão
}
//-----
void AtivaEncoder(void) //Liga e configura o encoder
{
EICRA |= (1<<ISC10); //Interrupção por mudança
//de estado do sinal
EIMSK |= (1<<INT1); //Habilita a interrupção
EIFR = 0; //Zera as flags internas
//de interrupção
}
//-----
void EncontrarPosicao(void) //Função para encontrar a
//posição inicial
{
AtivaEncoder(); //Liga o encoder
TIMSK0 = (1<<TOIE0); //Interrupção do
//Timer 0 habilitada
set_bit(PORTC, DRV_SLEEP); //Ativa o Driver do Motor
_delay_ms(1);
}

```

```

set_bit(PORTC, DRV_PHASE); //Sentido horário de
//giro do motor
_delay_ms(1);
set_bit(PORTB, DRV_PWM); //Liga o motor
sei(); //Habilita todas as
//interrupções
}
//-----
void InicializarVariaveis(void) //Configuração inicial
//das variáveis utilizadas
//pelo microcontrolador
{
ContagemEncoder = 0;
ContagemLimite = 0;
ContagemPosZero = 0;
ContagemSleep = 0;
PosicaoZero = 0;
PrimeiraAbertura = 0;
UltimaAbertura = 0;
MODO = 0;
TempoBanho = 0;
MotorDirecao = 0;
MotorLigado = 0;
addr = 0;
val = 0;
converte = 0;
addr = 0;
}
//-----
void DesativaUltrassonico(void) //Desativa o
//sensor ultrassônico
{
TCCR1B = 0;
TIMSK1 = 0;
cli();
}

```

```

}
//-----
void DesativaSensorFluxo(void) //Desativa o sensor
//de vazão
{
PCICR = 0;
PCMSK0 = 0;
clr_bit(PORTC, FLOW_EN);
cli();
}
//-----
void DesativaEncoder(void) //Desativa o encoder
{
clr_bit(EICRA, ISC11);
clr_bit(EICRA, ISC10);
clr_bit(EIMSK, INT1);
cli();
}
//-----
int main(void)
{
ConfigIO();
InicializarVariaveis();
EncontrarPosicao();

    while(1)
    {
//-----
if(MODO == 0) //Modo de Funcionamento 0
{
//Caso a posição tenha sido encontrada
if(PosicaoZero == 1 && ContagemEncoder > 0)
{
PararMotor(); //Desliga o motor
DesativaEncoder(); //Desativa o encoder

```

```

EICRA |= (1<<ISC01); //Interrupção do botão Start por
//borda de descida
EIMSK |= (1<<INT0); //Interrupção do botão Start
//habilitada
UltimaAbertura = AberturaMax; //Flag que indica a abertura
//da válvula
MODO = 1; //Seleciona Modo de Funcionamento 1
sei(); //Habilita todas as interrupções
}
}
//-----
else if(MODO == 1) //Modo de Funcionamento 1
{

}
//-----
else if(MODO == 2) //Modo de Funcionamento 2
{
//Contagem de tempo de banho
if(TempoBanho < 72) //Tempo menor que 5 minutos
//(LED verde aceso)
{
set_bit(PORTB, LED_GR);
}

else if(TempoBanho < 146) //Tempo entre 5 e 10 minutos
//(LED amarelo aceso)
{
clr_bit(PORTB, LED_GR);
set_bit(PORTB, LED_YL);
}
else //Tempo maior que 10 minutos
//(LED vermelho aceso)
{
clr_bit(PORTB, LED_YL);
}
}

```

```

set_bit(PORTB, LED_RED);
}
}

MODO = 3; //Seleciona Modo de Funcionamento 3
}
//-----
else if(MODO == 3) //Modo de Funcionamento 3
{
AtivaUltrassonico(); //Ativa o sensor Ultrassônico
sei(); //Habilita todas as interrupções

set_bit(PORTC, TRIGGER); //Ativa o Trigger do Sensor
_delay_us(10);
clr_bit(PORTC, TRIGGER);
_delay_ms(50);

DesativaUltrassonico(); //Ativa o sensor ultrassônico

//*****
//Caso a distância seja maior que a pré-estabelecida,
//seleciona o limite de contagem do encoder para que a
//vazão seja a mínima
if(Distancia > 100 && UltimaAbertura != AberturaMin)
{
ContagemEncoder = 0;
AtivaEncoder(); //Liga o encoder
TIMSK0 = (1<<TOIE0); //Interrupção do
//Timer 0 habilitada
set_bit(PORTC, DRV_SLEEP); //Ativa o Driver do
//Motor
_delay_ms(1);
MotorHorario(); //Liga motor no
//sentido horário
UltimaAbertura = AberturaMin; //Flag de abertura

```

```

//mínima
sei();
}
//*****
//Caso a distância seja menor que a pré-estabelecida,
//seleciona o limite de contagem do encoder para que a
//vazão seja a máxima
else if(Distancia < 20 && UltimaAbertura != AberturaMax)
{
ContagemEncoder = 0;
AtivaEncoder(); //Liga o encoder
TIMSK0 = (1<<TOIE0); //Interrupção do
//Timer 0 habilitada
set_bit(PORTC,DRV_SLEEP); //Ativa o Driver do
//Motor
_delay_ms(1);
MotorAntihorario(); //Liga motor no sentido
//anti-horário
UltimaAbertura = AberturaMax; //Flag de abertura
//máxima
sei();
}

_delay_ms(1000);
TempoBanho++; //Incrementa a contagem do tempo de banho
if(TempoBanho >= 65534) TempoBanho = 0;
MODO = 4; //Seleciona o Modo de Funcionamento 4
}
//-----
else if(MODO == 4) //Modo de Funcionamento 4
{
cli(); //Desabilita as interrupções
FLOW_FREQ = 0; //Zera a contagem do sensor
//de vazão
AtivaSensorFluxo(); //Habilita o sensor de vazão

```

```

PCIFR = 0; //Limpa as flags de
//interrupção pendentes
sei(); //Habilita todas as interrupções
_delay_ms(1000); //Contagem de vazão por segundo
DesativaSensorFluxo(); //Desabilita o sensor de vazão

if(addr < 1024)
{
_EEPUT(addr, FLOW_FREQ); //Grava o valor de vazão na
//memória EEPROM
addr++;
}

if(FLOW_FREQ == 0) //Caso não haja fluxo de água
{
_delay_ms(2000);
MODO = 0; //Seleciona o Modo de
//Funcionamento 0
InicializarVariaveis(); //Inicializa variáveis
EncontrarPosicao(); //Encontra posição inicial
}
else //Caso contrário
{
MODO = 2; //Seleciona o Modo de
//Funcionamento 2
_delay_ms(2000);
}
}
//-----
}
}

```