

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA – DAELT  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUIZ FELIPE GERMINIANI  
RAMONN TOPOROWICZ RIBAS

**CHUVEIRO ELÉTRICO INTELIGENTE PARA  
APLICAÇÃO CONCOMITANTE COM SISTEMAS DE  
PRÉ-AQUECIMENTO DE ÁGUA**

CURITIBA  
2013

LUIZ FELIPE GERMINIANI  
RAMONN TOPOROWICZ RIBAS

**CHUVEIRO ELÉTRICO INTELIGENTE PARA  
APLICAÇÃO CONCOMITANTE COM SISTEMAS DE  
PRÉ-AQUECIMENTO DE ÁGUA**

Trabalho apresentado como pré-requisito para o Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica - Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.  
Orientador: Prof. Alceu André Badin

CURITIBA  
2013

LUIZ FELIPE GERMINIANI  
RAMONN TOPOROWICZ RIBAS

## CHUVEIRO ELÉTRICO INTELIGENTE PARA APLICAÇÃO CONCOMITANTE COM SISTEMAS DE PRÉ-AQUECIMENTO DE ÁGUA

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

Curitiba, 03 de setembro de 2013.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarien Gehrke Castagna, Mestre  
Coordenadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Alceu André Badin, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Amauri Amorin Assef, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Guilherme Moritz, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

GERMINIANI, Luiz F.; RIBAS, Ramonn T. **Chuveiro elétrico inteligente para aplicação concomitante com sistemas de pré-aquecimento de água.** 2013. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Industrial Elétrica / Eletrotécnica. UTFPR, Curitiba, 2013.

Este trabalho é constituído acerca de estudos e técnicas desenvolvidos para a elaboração de um chuveiro eletrônico que tem como objetivo principal a utilização simultânea com outros sistemas de pré-aquecimento, o qual visa à utilização eficiente de água, evitando assim desperdícios e proporcionando conforto térmico e comodidade para seus usuários. Para a execução do protótipo foi utilizado o microcontrolador PIC 16F877A. Baseando-se na temperatura de banho definida pelo usuário e no sinal recebido pelo sensor LM35, o controlador PI envia um sinal ao *gate* do TRIAC, entregando assim somente a potência necessária para a água atingir o Set Point.

### Palavras-chave:

- Desperdício de água
- Chuveiro inteligente
- Otimização de sistemas de aquecimento

## ABSTRACT

GERMINIANI, Luiz F.; RIBAS, Ramonn T. **Smart electric shower for concomitant application with preheating water systems.** 2013. 68 p. Research Project – Industrial Electrical Engineering / Electrotechnology. UTFPR, Curitiba, 2013.

This project is made about studies and techniques developed for the elaboration of an electronic shower that has as main objective the simultaneous use with other systems preheating, which aims to use water more efficiently, thus avoiding waste and providing thermal comfort and convenience to its users. For the implementation of the prototype was used a microcontroller PIC 16F877A. Based on the bath temperature set by the user and LM35 sensor signal, the PI controller sends a signal to the gate of the TRIAC, thereby leaving only the power required for water to reach the set point.

### **Keywords:**

- Waste of water
- Smart Shower
- Optimization of heating systems

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de desperdício entre sistemas de pré-aquecimento .....	12
Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens dos Principais Tipos de Sensores .....	28
Tabela 3 - Características de Três Transdutores de Temperatura.....	30
Tabela 4 - Resumo das variáveis controladas do teste.....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demonstrativo do desperdício de água com o uso de aquecedor a gás.....	9
Figura 2 - Demonstrativo do Objetivo do Sistema.....	11
Figura 3 - Ducha Advanced Eletrônica.....	14
Figura 4 - Kit ThermoSystem de aquecimento solar e chuveiro eletrônico .....	15
Figura 5 - Ducha Fame Banho Máximo Pressurizado.....	15
Figura 6 - Ducha Flex Eletrônica - Corona .....	16
Figura 7 - Futura Turbo Eletrônica – Lorenzetti - R\$ 318,90. ....	17
Figura 8 - Ducha Eletronica branca – ThermoSystem - R\$ 98,00.....	17
Figura 9 - 4 Estações Eletrônica – Corona - R\$ 279,90. ....	18
Figura 10 - Chuveiro Relax (esquerda) e Jet 4 (direita) da Lorenzetti.....	19
Figura 11 - Diagrama de Blocos do Sistema.....	19
Figura 12 - Circuito de Potência Básico do Chuveiro .....	20
Figura 13 - Temperatura x Resistência de um NTC .....	24
Figura 14 - Termopar .....	26
Figura 15 - Temperatura x Tensão de Saída Para Termopares.....	27
Figura 16 - Gradador a Triac.....	31
Figura 17 - Gradador a SCR .....	32
Figura 18 - Forma de onda para o controle por ciclos inteiros para cargas resistivas .....	32
Figura 19 - Formas de onda para controle por ângulo de fase.....	34
Figura 20 - Curva de Potência e Tensão para diversos ângulos de disparo .....	35
Figura 21 - Amplitude da harmônica da corrente de carga .....	36
Figura 22 - Fluxograma do Comando do Chuveiro .....	37
Figura 23 - <i>Display</i> de cristal líquido (LCD) .....	38
Figura 24 - Diagrama esquemático do sistema.....	40
Figura 25 - Sistema de malha fechada.....	40
Figura 26 - Sistema Térmico .....	41
Figura 27 - Diagrama de blocos do sistema térmico .....	42
Figura 28 - Bancada de testes .....	43
Figura 29 - Diagrama esquemático do circuito .....	44
Figura 30 - Ligação do ZC.....	46
Figura 31 - Circuito ZC na prática .....	46

Figura 32 - Foto do sensor NTC instalado no chuveiro .....	47
Figura 33 - Foto do sensor LM35 instalado no chuveiro .....	48
Figura 34 - Ligação dos <i>Push Buttons</i> .....	48
Figura 35 - Circuito de Comando do Chuveiro .....	49
Figura 36 - Foto do circuito final .....	50
Figura 37 - Ajuste da resolução do A/D.....	51
Figura 38 - Resposta do chuveiro ao degrau .....	52
Figura 39 - Representação do Método de Sundaresan e Krishnaswamy .....	53
Figura 40 - Respostas ao degrau da planta na prática e da equação de $G(s)$ .....	54
Figura 41 - Compensador da planta – Ferramenta “ <i>rltool</i> ” do Matlab.....	54
Figura 42 - Root Locus da planta sem compensador (esquerda) e com compensador (direita) .....	55
Figura 43 - Resposta ao degrau da função de transferência com compensador .....	55
Figura 44 – Sensor LM35 e Termômetro instalados no chuveiro .....	57
Figura 45 - Protótipo montado na bancada de testes.....	57
Figura 46 - Temperatura, <i>Set Point</i> , Vazão e Corrente x Tempo .....	58

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A/D	<i>Analogic / Digital</i>
ADC	<i>Analogic Digital Converter</i>
Vca	Tensão alternada
Vcc	Tensão Contínua
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i>
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>
AC	<i>Alternate Current</i>
CC	<i>Continuous Current</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
PI	Proporcional e Integral
ZC	<i>Zero Crossing</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1	TEMA .....	7
1.1.1	Delimitação do Tema.....	9
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	10
1.3	OBJETIVOS .....	10
1.3.1	OBJETIVO GERAL.....	10
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
1.4	JUSTIFICATIVA .....	11
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	PRINCIPAIS CHUVEIROS COMERCIALIZADOS .....	14
2.1.1	Lorenzetti.....	17
2.1.2	ThermoSystem .....	17
2.1.3	Corona.....	18
2.1.4	Considerações sobre os produtos nacionais .....	18
2.2	FUNCIONAMENTO DO CHUVEIRO PROPOSTO .....	19
2.3	SENSORIAMENTO DA TEMPERATURA .....	21
2.3.1	RTDs .....	22
2.3.2	Termistores.....	23
2.3.3	Termopares .....	26
2.3.4	Sensores CI.....	27
2.3.4.1	LM35.....	28
2.3.5	Comparativo .....	28
2.4	TÉCNICAS DE CONTROLE DE POTÊNCIA .....	31
2.4.1	Controle de potência eletrônico .....	31
2.4.1.1	Controle de Potência por Ciclos Inteiros .....	32
2.4.1.2	Controle de Potência por Ângulo de Fase .....	34
2.5	TÉCNICAS DE COMANDO .....	36
2.6	MICROCONTROLADORES PIC.....	37
2.6.1	Display de cristal líquido (LCD) .....	38
2.6.2	Conversor Analógico/Digital .....	39
2.7	SISTEMAS DE CONTROLE .....	39
2.7.1	Sistemas térmicos .....	41

2.8	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....	42
<b>3</b>	<b>PROJETO DO SISTEMA .....</b>	<b>44</b>
3.1	HARDWARE .....	45
3.1.1	ZC – Detecção de Passagem por Zero .....	45
3.1.2	Sensor de Temperatura .....	46
3.1.3	Interface de Seleção da Temperatura de Banho .....	48
3.1.4	Visualização do <i>Set Point</i> .....	49
3.1.5	Circuito Final.....	49
3.2	SOFTWARE .....	50
3.2.1	Conversor A/D – Ajuste de Resolução .....	50
3.2.2	Levantamento da Curva da planta.....	51
3.2.3	Determinação da Função de Transferência.....	52
3.2.4	Determinação do Compensador .....	54
3.2.5	Algoritmo para o Compensador .....	56
<b>4</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO.....</b>	<b>66</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

Gerações passadas encontraram grandes problemas ao tentar aquecer água para o banho. Foi somente no século XX que americanos e europeus iniciaram estudos para desenvolver sistemas de aquecimento de água que usavam basicamente o gás como fonte de energia. No Brasil, nessa época, as redes de gás nas grandes cidades eram raras, diferente das crescentes redes de energia elétrica. Foi então que se desenvolveu nacionalmente o chuveiro elétrico, o qual era de uma constituição bastante simples. Na década de 1940, uma empresa da cidade de São Paulo criou um chuveiro que entrava em funcionamento automaticamente ao se abrir o registro de água. Visto o alto custo da canalização de gás e propagandas feitas por fabricantes de chuveiros elétricos, seu uso tornou-se popular no Brasil, sendo usado na grande maioria das residências. Com o uso do plástico no lugar de metais na construção do corpo do chuveiro e a sua adequação às normas de segurança e desempenho, passou a ser considerado um equipamento seguro e eficiente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, 2011).

Visando a redução do consumo de energia elétrica, desenvolveram-se diversas outras formas para obtenção de água aquecida. Dentre elas pode-se citar o aquecimento solar e as centrais térmicas a gás ou carvão. O aquecedor solar é composto basicamente de dois elementos: as placas coletoras e o reservatório de água quente, também conhecido como *boiler*. Este é dotado de um sistema elétrico ou a gás, usado para manter a temperatura da água em um nível desejado. Apesar de ser isolado termicamente, este reservatório troca calor com o meio, e a temperatura da água tende a diminuir com o tempo.

Já os aquecedores de passagem a gás utilizam a energia gerada pela combustão para o aquecimento da água. Semelhante ao chuveiro elétrico, aquece a água quase que instantaneamente. O

sistema necessita de água pressurizada na sua entrada. Em locais onde não há pressão suficiente, é necessário a instalação de bombas hidráulicas para desempenhar tal função. A temperatura desejada é atingida pela regulação da quantidade de combustível (gás) fornecida. Essa chama no interior do aquecedor esquentando a serpentina (geralmente feita de cobre) que é percorrida pela água.

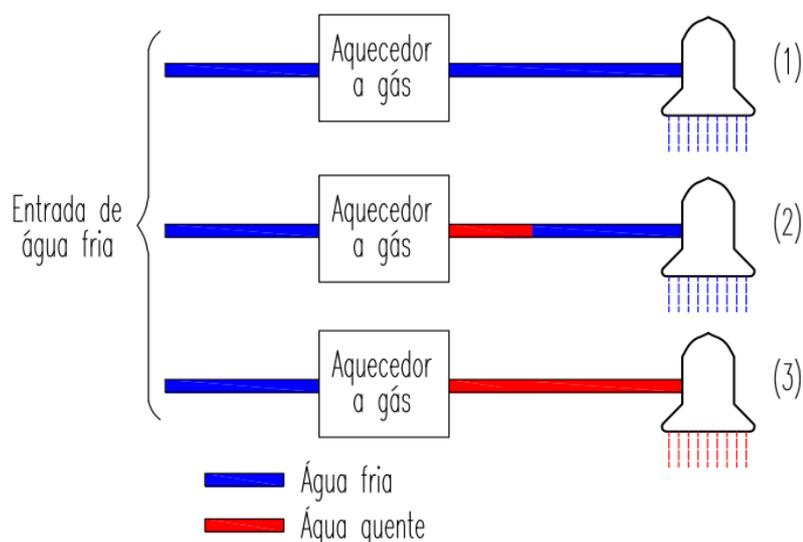
Por questões de segurança, o aquecedor de passagem a gás necessita ser instalado em locais com boa ventilação para circulação dos gases. A NBR 13103 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000) autoriza sua instalação apenas quando o aquecedor for hermeticamente isolado do ambiente<sup>1</sup>. Por ser um equipamento de maior custo e de difícil instalação, seu uso é pouco difundido no Brasil.

Já o aquecedor que não é hermeticamente fechado, por razões estéticas e/ou exigências da norma, geralmente está situado em locais de pouca circulação de uma residência como, por exemplo, em lavanderias. Visto que o local de banho encontra-se distante dessas áreas, a água quente que sai do aquecedor leva algum tempo para chegar até a ducha, conforme mostra a Figura 1. Esse processo gera grandes desperdícios, pois o usuário não iniciará seu banho enquanto a água não atingir a temperatura desejada.

Como seu uso é descontínuo, a água aquecida parada na tubulação perde temperatura para o meio. Isso faz com que todo esse trecho de água entre o chuveiro e o aquecedor seja desperdiçado quando o chuveiro for ligado posteriormente, visto que a água estará fria. Além do desperdício, isso acarreta desconforto ao usuário, pois a espera pela água aquecida chega a levar minutos após ter sido aberto o registro.

---

<sup>1</sup> - "Aparelho que recebe do exterior, diretamente ou através de dutos, o ar necessário à combustão e que é dotado de saída ou escape para os gases desta combustão, através de circulação natural ou forçada para o exterior da edificação" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000).



**Figura 1 - Demonstrativo do desperdício de água com o uso de aquecedor a gás**

**Fonte: Autoria Própria**

Esta mesma filosofia de desperdício de água pode ser estendida para outros tipos de sistemas de pré-aquecimento como, por exemplo, o boiler e o aquecedor solar. Apesar de terem composições diferentes, todos são sistemas que aquecem a água em um ponto distante do local de uso.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

As diferentes formas de obtenção de água aquecida para o banho possuem suas particularidades. Por exemplo, o chuveiro elétrico e o sistema híbrido (chuveiro elétrico e aquecedor solar) são os que apresentam menor custo para se tomar banho, quando comparados os gastos com energia elétrica, gás e água (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETÔNICA, 2009, p. 28). Porém, o chuveiro elétrico perde sua eficiência conforme o aumento do fluxo de água, pois sua capacidade de aquecimento é limitada a um fluxo baixo quando comparado com o aquecedor a gás. Este pode ser usado para uma vazão maior e atender simultaneamente mais de um ponto de água quente, como, por exemplo, chuveiros e torneiras de uma residência. Já o chuveiro elétrico precisa de um aparelho para cada ponto.

Apesar das vantagens de cada sistema, o único que apresenta desperdício mínimo de água é o chuveiro elétrico, pois a água é aquecida diretamente no seu ponto de utilização.

O escopo deste trabalho está voltado ao desenvolvimento de um sistema híbrido para se obter água quente para banho. Tal sistema fará a integração entre o chuveiro elétrico e outras formas de pré-aquecimento de água. Sistemas como este podem gerar grandes economias no consumo, pois acabam com a necessidade de armazenar água nas tubulações ou tanques, aquecendo apenas a água demandada para consumo.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

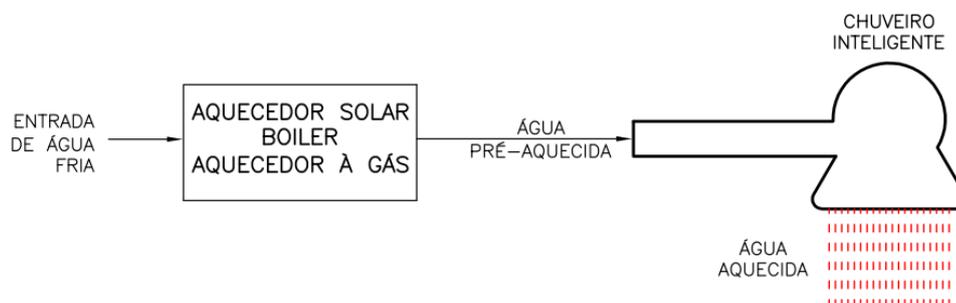
Visando diminuição do desperdício de água causado pelos sistemas de pré-aquecimento (aquecedores a gás, solar, boiler), faz-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, que aliadas às atuais resultariam em uma otimização significativa, tanto do consumo de água como de energia.

Partindo desta premissa, o foco do problema é fazer com que a temperatura da água na saída do chuveiro atinja um valor requerido pelo usuário no menor tempo possível, dentro dos limites do sistema. Isso diminuiria o desperdício de água causado pelo tempo de espera para início do banho que um sistema de pré-aquecimentos promove.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema elétrico e automático de aquecimento de água para locais que possuam ou não um sistema de pré-aquecimento de água.



**Figura 2 - Demonstrativo do Objetivo do Sistema**

**Fonte: Autoria Própria**

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudo de literatura especializada na área de abrangência do trabalho;
- Pesquisar e escolher a estrutura do sistema de potência de aquecimento elétrico;
- Estudo e desenvolvimento do sistema de controle;
- Projetar e simular os circuitos do chuveiro;
- Construir o protótipo dimensionado;
- Redigir o documento final do TCC.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A preocupação com o consumo consciente da água é um tema cada vez mais presente nos dias atuais. Soluções tecnológicas que ajudem na diminuição desse consumo são de extrema importância e de grande apelo comercial.

Segundo a ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (2009), os sistemas de pré-aquecimento atuais para banho geram um grande desperdício no início do banho até que se consiga água na temperatura desejada:

- Sistema solar ou boiler: perda de 5 litros por banho.
- Aquecedor a gás: perda de 4,5 litros por banho.

Considerando uma família com quatro pessoas, sendo que cada um tome um banho por dia, pode-se ter uma estimativa do desperdício de água anual em uma residência que utilize sistema solar ou gás.

**Tabela 1 - Comparativo de desperdício entre sistemas de pré-aquecimento**

Tipo de Sistema	Desperdício de água (em litros)		
	1 dia	1 mês	1 ano
Solar ou boiler	20	600	7200
Gás	18	540	6480

**Fonte: Adaptado de ABINEE (2009)**

Com esse projeto vê-se uma contribuição importante nessa questão, tendo em vista que o maior consumo de água numa residência está relacionado à higiene pessoal. Portanto, os ganhos com um chuveiro que reduza o consumo de água refletirão com maior peso na redução do consumo geral da residência. Dentre o chuveiro elétrico, aquecedor a gás, aquecedor solar e aquecedor elétrico por acumulação, somente o chuveiro elétrico apresenta desperdício de água zero para o início do banho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETÔNICA, 2009, p. 28).

A característica do chuveiro elétrico de aquecer água de forma instantânea, aliada a um controle automatizado de ligamento e desligamento, permitiria uma redução drástica no consumo de água nas residências que utilizam pré-aquecedores.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O primeiro passo foi realizar uma pesquisa em empresas fabricantes de chuveiros e sistemas de pré-aquecimento para uma familiarização com os produtos vigentes no mercado. Após, as pesquisas terão o foco na área técnica. Pode-se citar, dentre outros, os livros, normas nacionais e internacionais, artigos, teses e monografias.

Realizadas as pesquisas, análises teóricas e matemáticas foram feitas para agrupar as informações mais importantes do trabalho. Em

seguida foram projetados possíveis circuitos e elaboradas suas respectivas listas de especificações de componentes. As simulações numéricas dos circuitos serão realizadas com auxílio dos programas MATLAB e Proteus / Isis.

Dentre os circuitos projetados e simulados, o que melhor atendeu ao objetivo deste trabalho foi implementado em um protótipo, o qual foi submetido a testes laboratoriais. Com os dados obtidos nas simulações, foi possível realizar a comparação entre a proposta e os resultados atingidos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PRINCIPAIS CHUVEIROS COMERCIALIZADOS

Realizou-se uma busca sobre os diversos fabricantes nacionais de chuveiros elétricos e eletrônicos. As buscas foram focadas nos chuveiros que tem sua composição semelhante ao chuveiro proposto, ou seja, foram desenvolvidos para funcionar com outros sistemas de pré-aquecimento. Assim, comparações futuras poderão ser realizadas. Durante as pesquisas, teve-se contato com todos os chuveiros analisados. Para efeito de comparação, um modelo de cada fabricante foi selecionado.

A primeira indústria pesquisada foi a Lorenzetti. Segundo o fabricante, diversos de seus produtos são compatíveis com aquecedores solares, dentre os quais pode-se citar a Bella Ducha 4T, Maxi Ducha, Ducha Fashion e Ducha Advanced Eletrônica (LORENZETTI, 2011a).



**Figura 3 - Ducha Advanced Eletrônica**  
**Fonte: LORENZETTI (2011b)**

O chuveiro da Figura 3 não possui nenhum tipo de sensoramento de temperatura de água. O ajuste de potência é realizado por meio de um seletor manual (potenciômetro).

Já a ThermoSystem possui um kit de aquecedor solar e chuveiro eletrônico chamado de Belosol. Em dias em que o aquecedor solar não atinge 38°C, que é a temperatura ideal para o banho, o chuveiro funciona de forma complementar. Semelhante ao chuveiro citado da Lorenzetti, seu controle de potência é manual.



**Figura 4 - Kit ThermoSystem de aquecimento solar e chuveiro eletrônico**  
**Fonte: THERMOSYSTEM (2011a)**

Segundo o fabricante, uma das vantagens deste kit é o baixo custo, além do chuveiro atuar de forma complementar ao aquecedor solar.

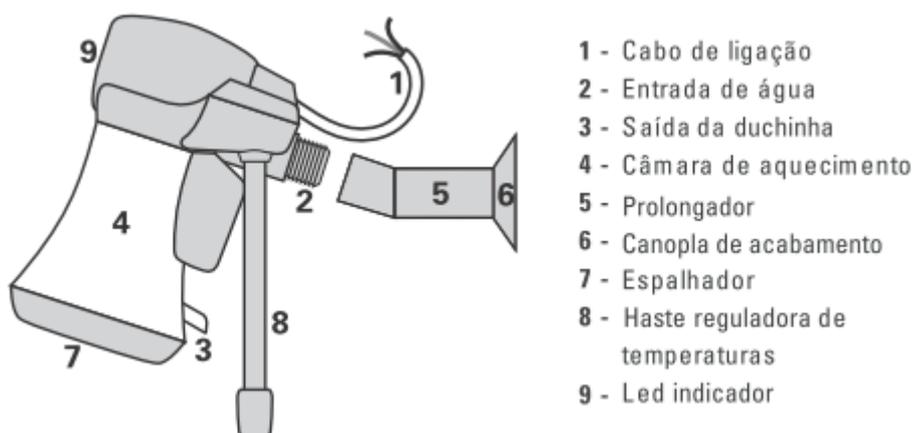
Outra empresa tradicional no mercado de chuveiros pesquisada foi a FAME, que possui apenas um chuveiro com controle eletrônico de potência: a Ducha Banho Máximo Pressurizado. O fabricante não faz nenhuma menção a este produto poder funcionar com sistemas de pré-aquecimento.



**Figura 5 - Ducha Fame Banho Máximo Pressurizado**  
**Fonte: FAME (2011).**

Por seu funcionamento ser semelhante aos chuveiros já mencionados, não será detalhado.

O chuveiro encontrado que mais se assemelha ao chuveiro proposto foi o da marca “Corona”. Chamado de Flex Eletrônica, essa ducha foi projetada para funcionar com sistemas solar, elétrico ou gás.



**Figura 6 - Ducha Flex Eletrônica - Corona**

Fonte: CORONA (2011a)

Este chuveiro foi o único encontrado dentre os fabricantes nacionais que se desliga totalmente de forma automática na entrada de água pré-aquecida e liga caso necessite de algum complemento na temperatura. Além disso, sua resistência é blindada, ou seja, não tem contato direto com a água.

O grande inconveniente deste chuveiro é que este complemento de temperatura necessita ser ajustado manualmente pelo usuário.

Muitos fabricantes de chuveiros possuem em sua relação de produtos o chuveiro eletrônico. Porém, segundo a empresa EWG Comércio de Materiais Elétricos e Hidráulicos Ltda., na região de Curitiba, as vendas de chuveiros eletrônicos de três marcas se destacam. À seguir, um exemplo de cada marca com seus respectivos valores, os quais foram obtidos em agosto de 2013.

### 2.1.1 Lorenzetti



**Figura 7 - Futura Turbo Eletrônica – Lorenzetti - R\$ 318,90.  
Fonte: LORENZETTI (2011d).**

### 2.1.2 ThermoSystem



**Figura 8 - Ducha Eletronica branca – ThermoSystem - R\$ 98,00.  
Fonte: THERMOSYSTEM (2011b).**

### 2.1.3 Corona



**Figura 9 - 4 Estações Eletrônica – Corona - R\$ 279,90.**

**Fonte: CORONA (2011b).**

Dentre os três citados, a média de preço é de R\$ 232,27. O chuveiro da ThermoSystem representa um dos chuveiros eletrônicos com menor preço no mercado, porém o mais simples construtivamente. Já os outros dois fabricantes citados oferecem seu chuveiro com mais opcionais, encarecendo seu preço de venda. Porém, todos se utilizam do mesmo circuito eletrônico de comando.

### 2.1.4 Considerações sobre os produtos nacionais

Como não existem normas que regulamentam se um chuveiro pode ser dito para funcionamento com outros sistemas de pré-aquecimento, fica a cargo do fabricante fazê-lo. Isso pode ser observado nos chuveiros Relax e Jet 4 da Lorenzetti.



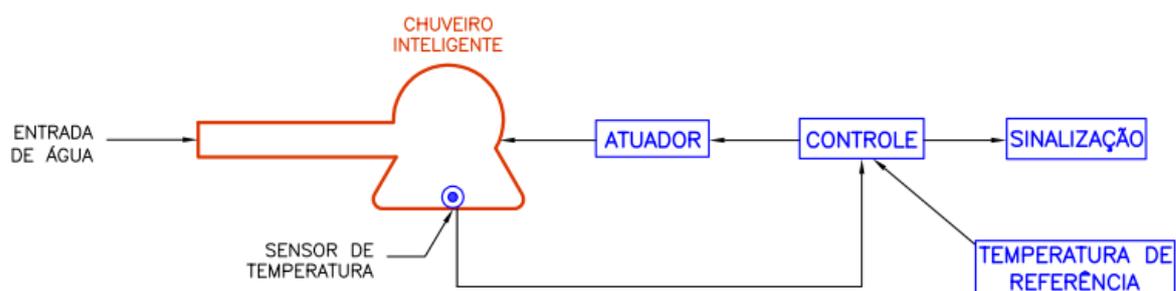
**Figura 10 - Chuveiro Relax (esquerda) e Jet 4 (direita) da Lorenzetti**  
**Fonte: LORENZETTI (2011c)**

A diferença básica entre os dois é que o primeiro possui três ajustes possíveis de temperatura e o segundo quatro. No entanto, segundo o fabricante, o Jet 4 foi desenvolvido para funcionar com sistema de aquecimento solar e nada é dito a respeito do Relax. Internamente, as peças constituintes são praticamente as mesmas. Além disso, sua semelhança externa é visível.

Depois de uma busca nos produtos nacionais, pode-se concluir que nenhum chuveiro nacional realiza o controle automático da temperatura. Somente controlam a potência, e de forma manual.

## 2.2 FUNCIONAMENTO DO CHUVEIRO PROPOSTO

O diagrama de blocos da Figura 11 ilustra sucintamente como será composto o sistema.

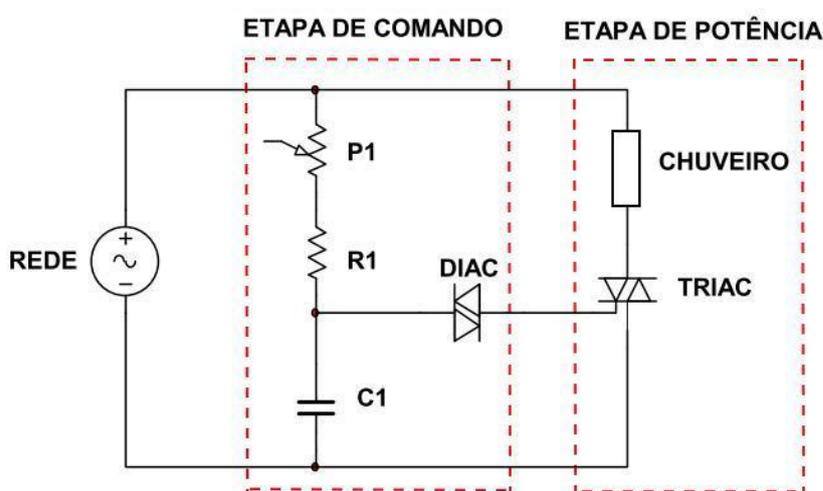


**Figura 11 - Diagrama de Blocos do Sistema**  
**Fonte: Autoria Própria**

As etapas de funcionamento são as seguintes:

1. O usuário ajusta o valor de temperatura desejado e abre o registro;
2. O valor ajustado é comparado com a temperatura da água do chuveiro. Caso esta esteja abaixo da referência, o controle envia um sinal ao atuador e à sinalização;
3. Simultaneamente são acionados a sinalização, que indicará que o chuveiro está em funcionamento, e o atuador. Este último será responsável por disponibilizar potência necessária para que a água do banho esteja na mesma temperatura da escolhida pelo usuário.

Apenas para fins ilustrativos, um circuito genérico do sistema é mostrado na Figura 12. A ideia deste circuito é dosar a quantidade de energia entregue ao chuveiro por meio da variação do disparo do TRIAC (BRAGA, 1999, p. 18).



**Figura 12 - Circuito de Potência Básico do Chuveiro**

**Fonte: Autoria Própria**

Neste circuito, que representa o princípio de funcionamento dos chuveiros encontrados no mercado, a etapa de comando é realizada de forma manual por meio da variação da resistência do potenciômetro P1. Já a etapa de potência corresponde ao bloco “atuador” do diagrama de blocos da Figura 11.

A variação de energia entregue é necessária à variação da temperatura da água de saída do chuveiro. Como se pode observar, o acionamento do chuveiro é composto pelas etapas de comando e potência, as quais serão detalhadas a seguir.

### 2.3 SENSORIAMENTO DA TEMPERATURA

Diversos fatores devem ser considerados para a escolha correta de um sensor de temperatura aplicado a um projeto. Fatores esses que, se mal avaliados, levarão a resultados inesperados e até mesmo desastrosos (BRAGA, 2007).

Os transdutores convertem uma grandeza em outra. Neste estudo o interesse é a transformação de temperatura em um sinal elétrico.

Segundo Braga (2007, p. 20), quatro tipos principais de transdutores para medição de temperatura se destacam:

- RTDs (*Resistance Temperature Detectors*);
- Termistores<sup>2</sup>;
- Pares termoelétricos ou Termopares;
- Sensores que utilizam Circuitos Integrados (Sensores CI).

Os RTDs, assim como os Termistores, são sensores resistivos. Exploram a mudança da resistência elétrica de certos materiais submetidos a uma variação de temperatura.

Serão apresentados nos tópicos a seguir a teoria básica e as características dos quatro sensores citados para que se possam fazer as devidas comparações. Com estas informações será possível realizar a escolha de qual é mais adequado para trabalhar dentro dos parâmetros da nossa aplicação.

---

<sup>2</sup> Neste trabalho, os termos “termistor” e “sensor” estão sendo utilizados como sinônimos.

### 2.3.1 RTDs

Os RTDs são simples elementos resistivos formados de materiais metálicos com alto grau de pureza. Usualmente utiliza-se o cobre, platina ou níquel (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010, p. 322). Estes materiais exibem um coeficiente de resistividade positivo (um aumento de temperatura causa um aumento na resistência) e são usados em RTDs porque são metais que apresentam características de:

- Alta resistividade, propiciando melhor sensibilidade do transdutor.
- Alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura.
- Possuir ductilidade e rigidez para ser transformado em fios finos.
- Responder a variação de temperatura por longos períodos de tempo.

Os principais fatores que irão alterar, de acordo com a escolha do metal a ser utilizado na construção de um RTD, serão sua faixa de operação (relação resistência/temperatura mais próxima a linear), precisão e estabilidade. Diferentes construções são encontradas no mercado e também podem afetar alguns destes fatores (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010).

Segundo Balbinot e Brusamarello (2010, p. 323), o material mais conhecido e utilizado industrialmente é a platina, especificamente o RTD PT-100  $\Omega$ , onde as siglas indicam o metal (PT, platina), seguidas da resistência à temperatura de 0 °C. Citam este metal como sendo o que possui maior faixa de operação (-200 °C a +850 °C), maior linearidade, estabilidade e precisão.

Balbinot e Brusamarello (2010, p. 326) salientam o cuidado com choques mecânicos, vibrações, utilização inadequada e também umidade, pois estes podem ocasionar mudanças nas características do sensor. Portanto, é importante que estejam isolados mecânica e eletricamente no ambiente onde estão inseridos.

### 2.3.2 Termistores

Os Termistores são transdutores que se utilizam da variação não linear entre temperatura e resistência elétrica de materiais semicondutores para fazer o sensoriamento de temperatura. Sua composição permite que seu tamanho físico seja reduzido e suas formas sejam variadas (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010, p. 330). Podem ser do tipo NTC (*Negative temperature coefficient*) ou PTC (*Positive temperature coefficient*). Os NTCs exibem uma resistência decrescente com o aumento da temperatura. Já os PTCs possuem comportamento oposto, ou seja, a resistência aumenta com o aumento da temperatura. A variação da resistência elétrica em função da temperatura ( $dR/dT$ ) é designada por coeficiente de temperatura. O termistor de coeficiente negativo é o mais fácil de ser encontrado no mercado, com grande variedade no tipo construtivo e nos valores de resistência, ao contrário do PTC, que possui maior complexidade no seu aspecto construtivo.

Ainda Balbinot e Brusamarello (2010, p. 330) os apresentam como possuindo elevada sensibilidade (em geral, 3% a 5% por °C) e faixa de operação típica de -100 °C a +300 °C.

O guia *Data Temperature Handbook* (2006) classifica os termistores em:

- Maiores que 100 k $\Omega$  (alta resistência), usados para altas temperaturas (150° a 300° C).
- Até 100 k $\Omega$ , utilizados na faixa de 75° a 150 °C.
- Abaixo de 1 k $\Omega$ , adequados para temperaturas mais baixas (-75° a +75 °C).

Os Termistores são uma alternativa de baixo custo se comparados aos demais sensores citados, embora sua faixa de temperatura seja limitada.

A resistência elétrica do NTC decresce não linearmente com um aumento da temperatura.

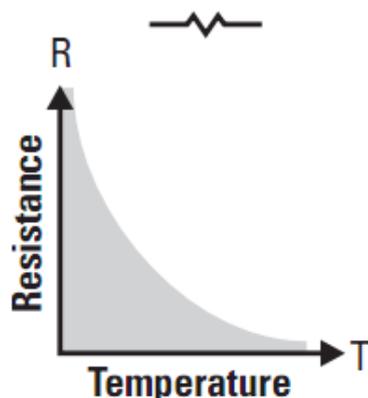


Figura 13 - Temperatura x Resistência de um NTC

Fonte: *Data Temperature Handbook* (2006)

Possuem rápido tempo de resposta (na ordem de milissegundos) e menor massa térmica se comparados com termoresistores metálicos. Devido à alta sensibilidade são mais convenientes para medições de pequenas faixas de temperatura (*DATA TEMPERATURE HANDBOOK*, 2006).

A característica não linear resistência/temperatura dos termistores de coeficiente negativo de temperatura (NTC), pode ser modelada para um alto grau de precisão utilizando várias técnicas de modelagem.

De acordo com Balbinot e Brusamarello (2010, p. 332) a equação empírica de Steinhart e Hart que descreve um modelo de três parâmetros com uma precisão de  $\pm 0,01$  °C para uma faixa de 100 °C, para um termistor típico:

$$\frac{1}{T} = a + b \cdot \ln R + c \cdot \ln R^3 \quad (1)$$

onde,

$T$  = temperatura

$R$  = resistência do termistor

$a$ ,  $b$  e  $c$  = constantes características do material semicondutor

Um termistor NTC pode também ser descrito pelo chamado parâmetro  $B$  (beta), que é a equação anterior com o coeficiente  $c$  igual a “0” (zero) (TERMISTOR, 2013).

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \cdot \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) \quad (2)$$

onde,

$T$  = temperatura à resistência  $R$ ;

$T_0$  = temperatura à resistência  $R_0$ ;

Isolando o parâmetro  $B$  na equação acima, temos:

$$B = \frac{\ln(R/R_0)}{1/T - 1/T_0} \quad (3)$$

Desta forma, com duas medições é possível determinar o parâmetro *beta*. Uma vez determinada esta constante, pode-se isolar a resistência em (1) para se obter:

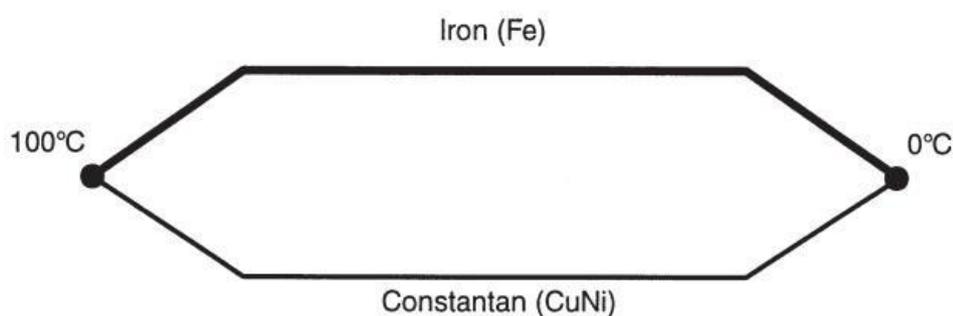
$$R = R_0 \cdot e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (4)$$

É possível linearizar a relação resistência/temperatura dos termistores e outros sensores resistivos não lineares, combinando com estes sensores, resistores em série e em paralelo. O cálculo para obtenção do valor desses resistores pode ser feito por meio de processos analíticos, forçando a curva resistência/temperatura a ter um ponto de inflexão no centro da faixa de medição, ou fazendo com que três pontos equidistantes na curva coincidam com uma linha tracejada (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010).

Segundo os mesmos autores, existem unidades comercializadas já com a linearização para uma faixa especificada pelo fabricante, que utiliza os mesmos critérios discutidos anteriormente.

### 2.3.3 Termopares

Em 1821, um físico alemão chamado Seebeck descobriu o efeito termoelétrico que constitui a base da tecnologia moderna do termopar. Ele observou que uma corrente elétrica flui em um circuito fechado de dois metais diferentes, se suas duas junções estiverem em diferentes temperaturas. A tensão termoelétrica produzida depende dos metais utilizados e da relação de temperatura entre as junções. Se a temperatura nas junções for igual, as tensões produzidas em cada junção anulam-se mutuamente e nenhuma corrente flui no circuito. Com diferentes temperaturas nas junções, diferentes tensões são produzidas e há fluxo de corrente no circuito (DATA TEMPERATURE HANDBOOK, 2006).



**Figura 14 - Termopar**

**Fonte: *Data Temperature Handbook* (2006)**

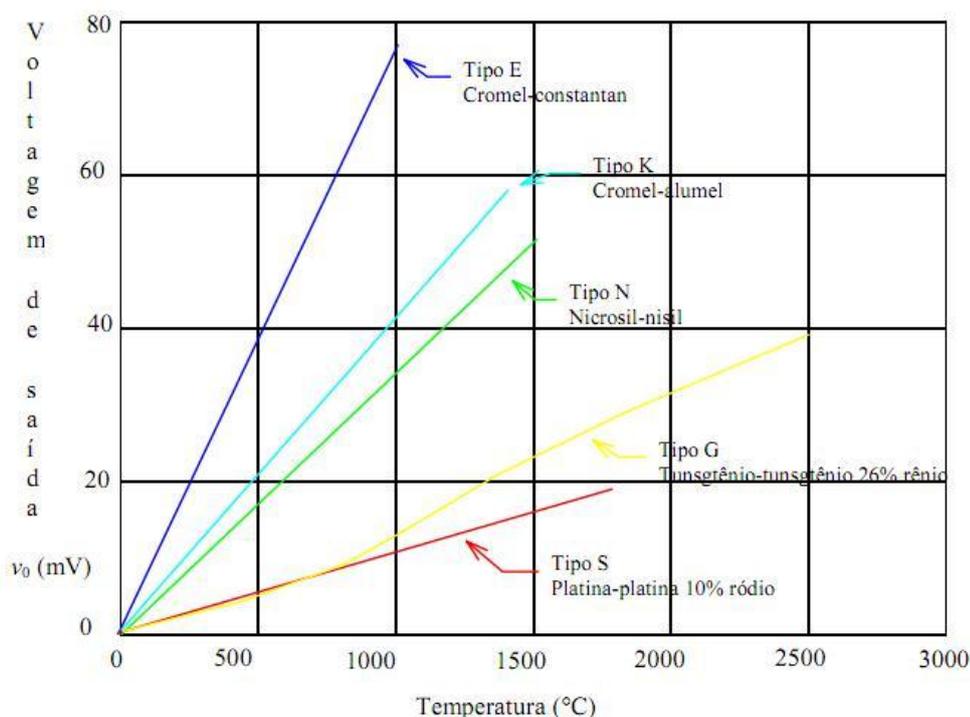
É importante designar cada uma das junções para fins práticos. A junção de medição (muitas vezes referida como a junção "quente") é aquela que é exposta à temperatura medida. A junção de referência é a outra junção, mantida a uma temperatura conhecida. Esta é muitas vezes referida como a junção "fria". O termo termopar refere-se ao sistema completo para a produção de tensões térmicas. Os dois condutores associados à junção de medição constituem um termo-elemento e os condutores individuais são identificados como "perna" positiva e negativa.

Segundo o guia *Data Temperature Handbook* (2006) diversas são as combinações de metais utilizados na construção dos termopares, desde os mais triviais de uso industrial, até os de maior

custo devido à sofisticada construção, para uso especial ou restrito a laboratório.

Por existir diversidade de tipos e modelos, atendem a uma grande faixa de temperatura, não necessitam de fontes externas para seu funcionamento, porém requerem uma referência de temperatura e possuem pouca sensibilidade (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010).

A Figura à seguir apresenta as curvas de alguns dos tipos de termopares normalizados.



**Figura 15 - Temperatura x Tensão de Saída Para Termopares**

Fonte: Ferreira (2011)

#### 2.3.4 Sensores CI

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2007, p 106) alguns circuitos integrados utilizados para sensoriamento de temperatura utilizam a característica da dependência dos parâmetros do silício com a temperatura e outros da tecnologia de *permalloy* sobre um substrato de silício. Um sensor CI ideal promove uma tensão de saída perfeitamente linear em função da temperatura.

Suas formas e tamanhos se limitam as típicas construções dos circuitos integrados. Devidas suas limitações de temperatura nas junções do CI, seu limite superior de temperatura não pode ultrapassar aproximados 200° C (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2007).

#### 2.3.4.1 LM35

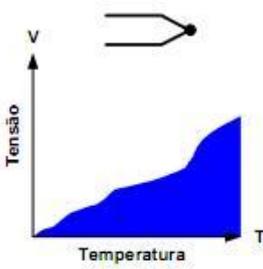
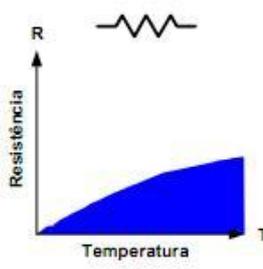
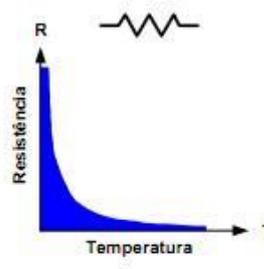
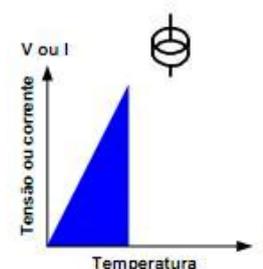
As principais características deste sensor são (TEXAS INSTRUMENTS, 2013):

- Calibrado diretamente em graus Célsius;
- Escala linear de variação de temperatura: 10mV/°C.
- Precisão garantida de 0,5°C;
- Faixa de operação de -55°C a +150°C.
- Tensão de alimentação: 4 a 20 Vcc.

#### 2.3.5 Comparativo

O guia de aplicação prática (*Practical Temperature Measurements*) (2010, p. 3) resume os quatro tipos de sensores citados na tabela abaixo, citando vantagens e desvantagens de cada um deles, além de mostrar a relação existente entre os sinais de saída de cada sensor com a variação de temperatura.

**Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens dos Principais Tipos de Sensores**

Termopar	RTD	Termistor	Sensor CI
			
<b>Vantagens</b>			
Auto-alimentação Simplicidade Robustez Baixo custo Ampla variedade de formas Ampla faixa de temperatura	Alta estabilidade Alta precisão Maior linearidade do que o termopar	Elevado sinal de saída Rápidez Medição em duas pontas	Elevada linearidade Saída amplificada Baixo custo
<b>Desvantagens</b>			
Não-linearidade Baixo nível de sinal Necessidade de referência Baixa estabilidade Baixa sensibilidade	Alto custo relativo Resposta lenta Requer fonte de corrente de precisão Pequena variação na resistência Requer medição em quatro pontas	Não-linearidade Faixa de temperatura limitada Fragilidade Requer fonte de corrente de precisão Auto-aquecimento	$T < 250^{\circ}\text{C}$ Requer fonte de corrente de precisão Resposta lenta Auto-aquecimento Configurações limitadas

Fonte: Adaptado de *Practical Temperature Measurements* (2010)

Na tabela comparativa a seguir, pode-se visualizar vários fatores importantes referentes a três diferentes tipos de sensores: o Termoresistor de Platina, o Termopar e o Termistor.

Tabela 3 - Características de Três Transdutores de Temperatura

	<b>Termoresistor de Platina</b>	<b>Termopar</b>	<b>Termistor</b>
<b>Material</b>	Fios de platina ou resistor de filme plano	Termo-elemento, dois metais distintos/ Ligas	Cerâmica (óxido metálico)
<b>Precisão (valores típicos)</b>	0.1 a 1.0°C	0.5 to 5.0°C	0.1 to 1.5°C
<b>Estabilidade em longo prazo</b>	Excelente	Variável, acentuado com o envelhecimento	Bom
<b>Faixa de Temperatura</b>	-200 a 650°C	-200 a 1750°C	-100 a 300°C
<b>Resposta Térmica</b>	Enrolado – Devagar Filme – Rápido 1-50 segundos	Embainhados – Lento Ponta exposta – Rápido 0,1 a 10 segundos	Geralmente rápido 0,05 a 2,5 segundos
<b>Excitação</b>	Requer constantemente de corrente	Nenhum	Nenhum
<b>Característica</b>	Resistência PTC	Termo Voltagem	Resistência NTC (alguns são PTC)
<b>Linearidade</b>	Bastante Linear	A maioria dos tipos não linear	Exponencial
<b>Efeito da Resistência dos cabos</b>	3 e 4 fios – baixo 2 fios – alto	Cabos curtos funcionam satisfatoriamente	Baixo
<b>“Pick up” elétrico</b>	Raramente suscetíveis	Suscetíveis	Não suscetíveis
<b>Interface</b>	Ponte a 2, 3 ou 4 fios	Entrada potenciométrica. Compensação de junção fria requerida	Resistência entre dois fios
<b>Efeitos de vibração/ choque</b>	Enrolamento – não adequado Filme – bom	Tipos com isolamento mineral - adequado	Adequados
<b>Características de saída</b>	Aprox. 0,4 Ω/°C	10μV/°C a 40μV/°C dependendo do tipo	-4% / °C
<b>Custo</b>	Enrolados – mais caro Filme – mais barato	Relativamente baixo custo	Barato a moderado

Fonte: Adaptado de *Data Temperature Handbook (2006)*

## 2.4 TÉCNICAS DE CONTROLE DE POTÊNCIA

Quanto ao tipo de controle de potência, podem ser separados em mecânico ou eletrônico. Apesar de ser muito utilizado no mercado nacional de chuveiros, o controle mecânico não será abordado neste trabalho, visto que sua constituição não atende às necessidades do chuveiro proposto.

### 2.4.1 Controle de potência eletrônico

O controle da potência necessário à variação de temperatura da água em chuveiros é feito por meio de gradadores.

Gradadores são conversores estáticos destinados a variar o valor eficaz de uma tensão alternada. Caracterizam-se por colocarem a carga em contato direto com a fonte, sem tratamento intermediário de energia. Os principais empregos do gradadores são os seguintes:

- Controle de intensidade luminosa;
- Controle de temperatura;
- Controle de velocidade de motores de indução;
- Limitação da corrente de partida de motores de indução.

(BARBI, 2006, p. 171).

Também chamados de reguladores, os gradadores transformam uma fonte de tensão AC fixa em variável, tendo a frequência de entrada refletida na saída. Dentre os elementos utilizados no controle da tensão, podemos citar o TRIAC e o par de SCR's em antiparalelo, ambos chaves AC, conforme figuras a seguir (AHMED, 2000, p. 404).

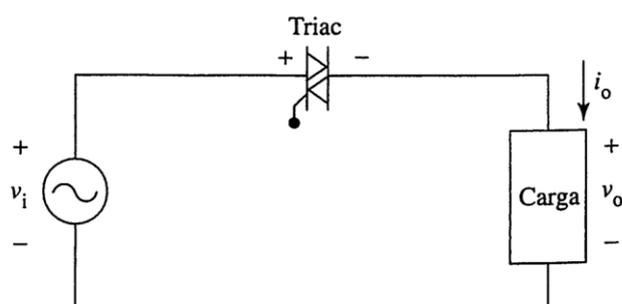
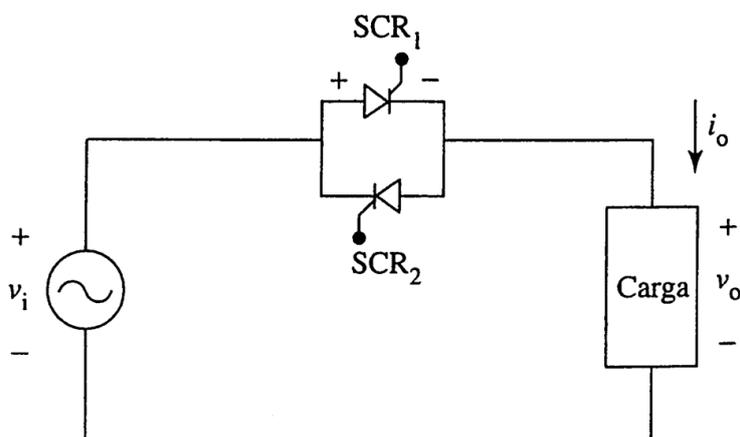


Figura 16 - Gradador a Triac

Fonte: Ahmed (2000, p. 404)



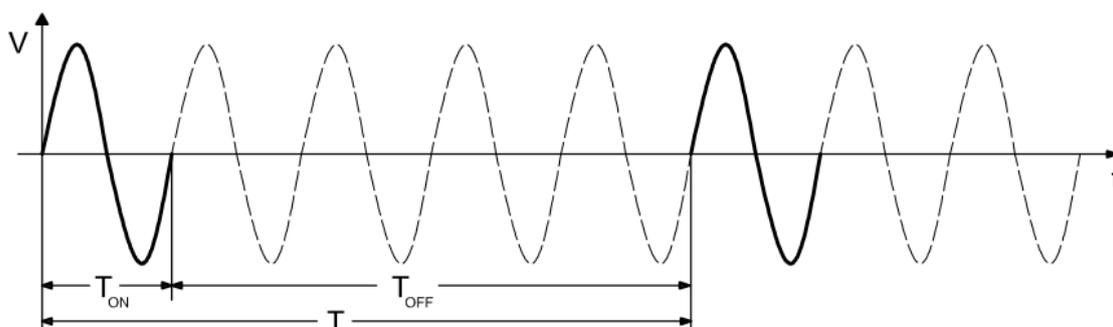
**Figura 17 - Gradador a SCR**

Fonte: Ahmed (2000, p. 404)

A variação da tensão eficaz na carga por meio dos SCRs ou TRIACs pode ser feita por dois métodos distintos: o de ciclos inteiros e o de ângulo de fase (AHMED, 2000, p. 405).

#### 2.4.1.1 Controle de Potência por Ciclos Inteiros

Segundo Ahmed (2000, p. 407), neste tipo de controle, o disparo dos tiristores é feito sempre em fase com a tensão da rede, ou seja, com um ângulo de disparo  $\alpha=0^\circ$ . Para conseguir a variação de tensão desejada, este método controla a quantidade de ciclos aplicados à carga em relação ao número de ciclos da rede "T". Assim, a carga recebe ciclos completos no período de condução ( $T_{ON}$ ) e tensão nula nos períodos de não condução ( $T_{OFF}$ ). Isso faz com que os níveis de componentes harmônicos introduzidos na rede sejam atenuados.



**Figura 18 - Forma de onda para o controle por ciclos inteiros para cargas resistivas**

Fonte: Autoria própria

Segundo Júnior (2006, p. 12):

Este tipo de controle não é muito usual em chuveiros elétricos e o maior problema reside no fato de a comutação cíclica de pacotes de senóides provocar o surgimento na rede de uma queda de tensão com a mesma frequência de modulação da corrente e, como essa frequência é baixa, acarretar oscilação de luminosidade nas lâmpadas incandescentes, o conhecido efeito *flicker*.

Para cargas resistivas, capacitivas ou indutivas, a forma de onda de tensão e corrente nas mesmas é diferente para cada caso. Em chuveiros, por se tratar de uma carga basicamente resistiva, este será o único tipo de carga tratada neste trabalho.

A potência média e o valor eficaz da tensão de saída para cargas resistivas controladas por ciclos inteiros são dados por (AHMED, 2000, p. 407):

$$P_{med} = \frac{V_i^2 \cdot T_{on}}{R \cdot T} = \frac{V_i^2 \cdot d}{R} \quad (5)$$

e

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{T_{ON} / T} = V_i \cdot d \quad (6)$$

onde:

$V_M$  = Valor máximo da tensão de entrada [V];

$V_i$  = Valor eficaz da tensão de entrada, dado por  $V_M/\sqrt{2}$  [V];

$R$  = Resistência da carga [ $\Omega$ ];

$T_{on}$  = Número de ciclos para os quais a carga está energizada;

$T_{off}$  = Número de ciclos nos quais a carga está desenergizada;

$T$  = Número de ciclos da rede =  $T_{on} + T_{off}$ ;

$d$  = ciclo de trabalho =  $T_{on}/T$ .

Segundo Barbi (2006, p. 188), a corrente eficaz na carga é dada por:

$$I_{ef} = I_0 \sqrt{T_{ON} / T} = I_0 \sqrt{d} \quad (7)$$

onde:

$I_0$  = Valor eficaz da corrente de entrada.

#### 2.4.1.2 Controle de Potência por Ângulo de Fase

Neste tipo de controle, a potência entregue à carga é variada alterando o valor do ângulo de disparo “ $\alpha$ ” do TRIAC ou SCR. Assim, a onda senoidal é “cortada”, conseguindo-se a variação da tensão desejada. Para  $\alpha=0$ , a tensão na carga é máxima. Já para um ângulo de disparo  $\alpha=\pi$ , a tensão é zero. Na Figura 19, pode-se observar as formas de onda de tensão da rede, tensão eficaz na carga e tensão nos tiristores para cargas resistivas, respectivamente (AHMED, 2000, p. 409).

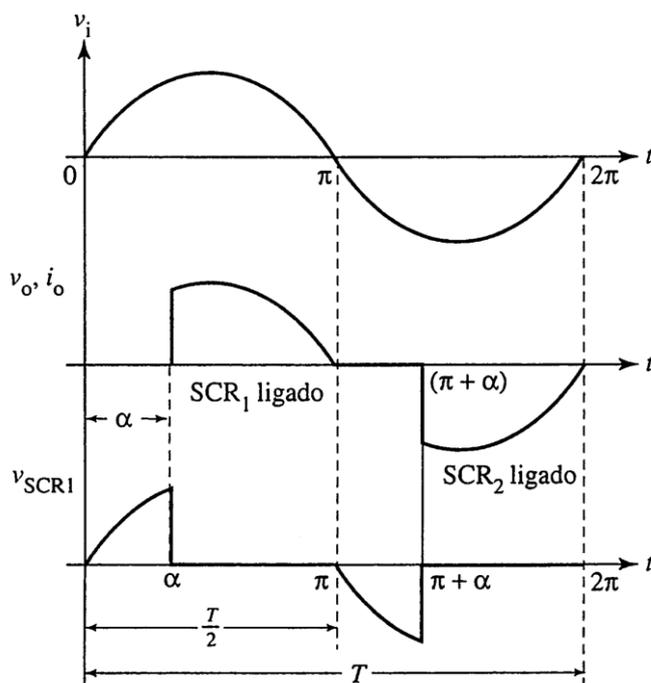


Figura 19 - Formas de onda para controle por ângulo de fase

Fonte: Ahmed (2000, p. 406)

As equações dos valores de tensão e corrente eficazes e potência média de saída para cargas resistivas são dadas por (AHMED, 2000, p.409 e 410):

$$V_{ef} = V_i \sqrt{\frac{1 - \alpha / \pi + \text{sen}(2\alpha)}{2\pi}} \quad (8)$$

$$I_{ef} = V_{ef} / R \quad (9)$$

$$P_{med} = I_{ef}^2 \cdot R = V_{ef}^2 / R \quad (10)$$

Por estar em série com a carga, o TRIAC terá a mesma corrente.

Pode-se observar na Figura 20 os diversos valores de potência média e corrente eficaz na carga, em relação aos seus valores máximos, para diferentes ângulos de disparo.

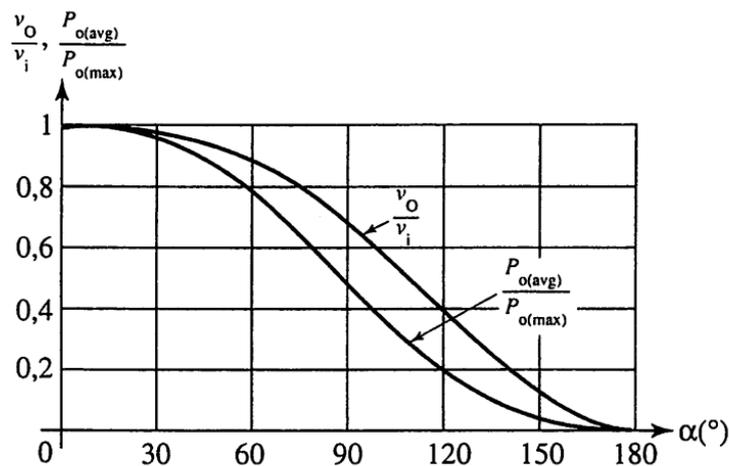
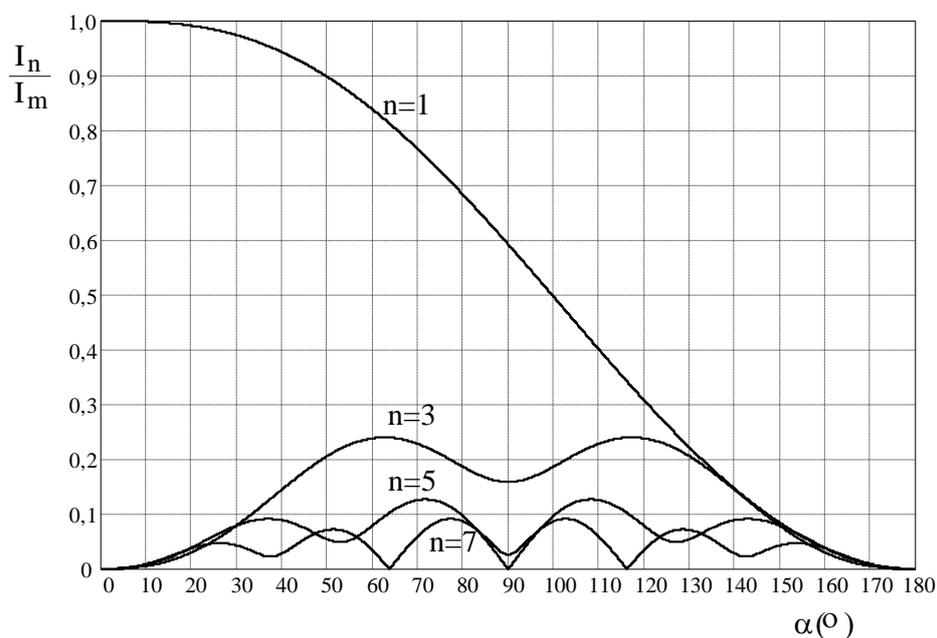


Figura 20 - Curva de Potência e Tensão para diversos ângulos de disparo

Fonte: Ahmed (2000, p. 411).

Como a onda entregue à carga não é uma onda senoidal pura e pode apresentar elevados valores de  $dV/dt$ , harmônicos de ordem ímpar aparecem na carga e são introduzidas na rede. O atraso do componente fundamental de tensão aliado às harmônicos implica em um baixo fator de potência, mesmo para cargas resistivas (BARBI, 2006, p.175).



**Figura 21 - Amplitude da harmônica da corrente de carga**

**Fonte: Barbi (2006, p. 175)**

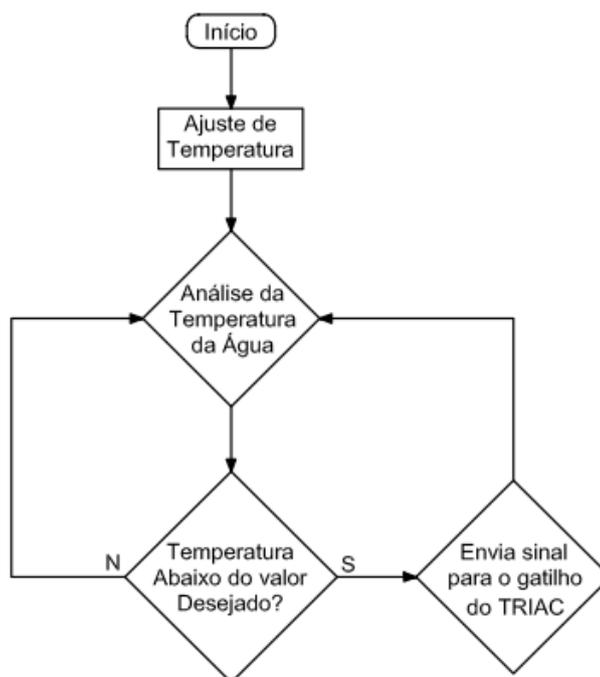
Quanto maior o ângulo de disparo, mais baixo será o fator de potência da carga. Este valor pode ser unitário quando  $\alpha=0$  é praticamente zero quando  $\alpha=\pi$ . Isso pode ser verificado na equação do fator de potência (AHMED, 2000, p. 411):

$$FP = \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2\pi}} \quad (11)$$

Júnior (2006, p. 11) ressalta que “o controle de potência por ângulo de fase é o mais usado atualmente pelos fabricantes de chuveiros elétricos”, sendo este o usado no protótipo proposto.

## 2.5 TÉCNICAS DE COMANDO

Pode-se dizer que a etapa de comando é a parte mais elaborada do chuveiro. Ela será responsável por realizar a leitura da temperatura da água por meio do sensor de temperatura, e do valor ajustado pelo usuário. Além disso, fará a comparação entre estes valores e enviará o sinal para o gatilho do TRIAC, responsável pelo acionamento do chuveiro.



**Figura 22 - Fluxograma do Comando do Chuveiro**  
**Fonte: Autoria Própria**

O comando poderia ser feito por meio de amplificadores operacionais. Porém, seu desenvolvimento despenderia tempo demasiado, desviando-se do escopo do trabalho. Outro problema seria a implementação em um circuito compacto para que pudesse ser acoplado ao chuveiro.

Uma alternativa encontrada foram os microcontroladores. Segundo Zanco (2005, p.33), “um microcontrolador é um componente que possui microprocessador, memória e periféricos no mesmo encapsulamento”. O microcontrolador (também chamado de CI – Circuito Integrado ou simplesmente de *chip*) reúne diversos componentes que serão necessários ao desenvolvimento do comando do chuveiro proposto. Possui, entre outros, memória programável, portas de entrada e/ou saída, contadores, PWMs (*Pulse Width Modulation*) e conversores analógico-digitais (SOUZA, 2006, p. 22).

## 2.6 MICROCONTROLADORES PIC

Existem diversos fabricantes de microcontroladores, dentre os quais pode-se citar a Intel, Texas e Feescale. Como a graduação

proporcionou apenas contato com PICs, o chuveiro será desenvolvido com base neste CI, que são uma família de microcontroladores fabricados pela Microchip Technology e facilmente encontrados no mercado

Com base na estrutura do chuveiro, foram realizadas buscas em PICs que possibilitassem a ligação dos seguintes periféricos:

- Sensor de temperatura;
- Valor de referência de temperatura;
- Mostrador digital de temperatura.

Além dos itens já citados, o PIC deverá ter memória do tipo *flash* e um conversor A/D (analógico para digital), utilizado para conversão dos valores de temperatura medidos pelo sensor.

#### 2.6.1 *Display* de cristal líquido (LCD)

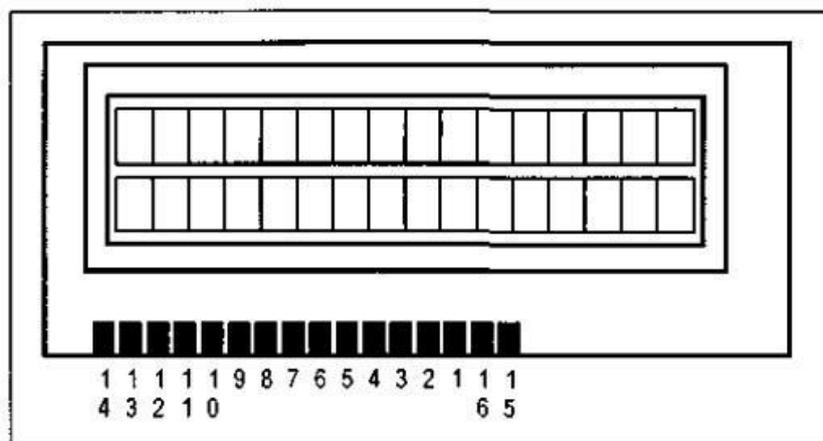


Figura 23 - *Display* de cristal líquido (LCD)

Fonte: Souza, Lavinia (2006, p. 96)

Esses *displays* possuem muito mais recursos que os de sete segmentos e além de números, permitem a escrita de letras. Por outro lado, têm o custo mais elevado e a visualização deixa a desejar, pois os caracteres têm tamanho menor e a iluminação é proveniente do fundo do *display*, e não do próprio segmento como no caso do *display* de sete segmentos. Para sua conexão com o PIC, são necessários um total de 10 pinos (SOUZA, LAVINIA, 2006).

## 2.6.2 Conversor Analógico/Digital

Como o PIC só trata de sinais digitais, o sinal proveniente do sensor de temperatura, que é um sinal analógico, deverá ser convertido em digital para poder ser processado.

A resolução de um conversor A/D é dada por:

$$resolução = V_{ref} / 2^{n-1} \quad (12)$$

onde:

$V_{ref}$  – Tensão de referência;

$n$  – número de bits do conversor.

Já a tensão de entrada é dada por:

$$V_{ent} = \frac{b_m \cdot 2^{m-1} \cdot V_{ref}}{2^{n-1}} \quad (13)$$

onde:

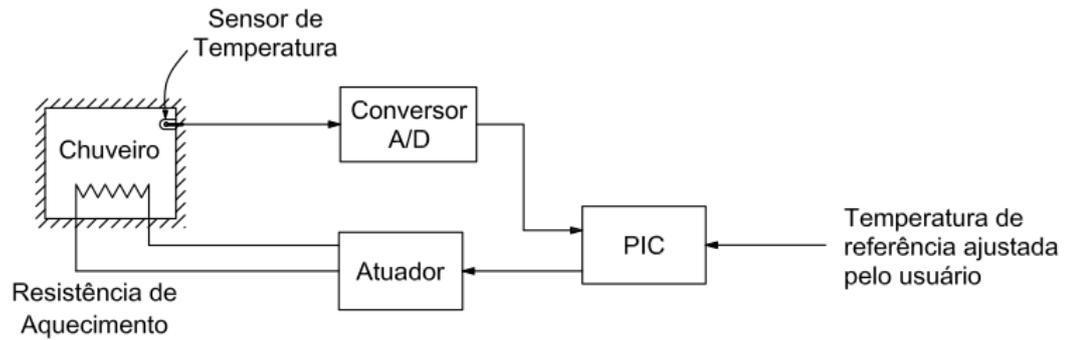
$b_m$  – Valor do bit  $m$ , ou seja, 0 ou 1.

Para o circuito do chuveiro proposto,

...não será necessária somente a conversão. Teremos que nos preocupar com uma equação ou tabela para adequação dos valores convertidos para a unidade desejada. Muitas vezes, essa equação ou tabela será a responsável pela linearização. Assim sendo, temos então duas conversões a serem feitas: a primeira de sinal analógico para valor digital, e a segunda de valor digital para a unidade realmente desejada, como por exemplo °C (SOUZA, LAVINIA, 2006, p. 129).

## 2.7 SISTEMAS DE CONTROLE

Um diagrama esquemático simplificado do sistema do chuveiro pode ser observado na figura a seguir.

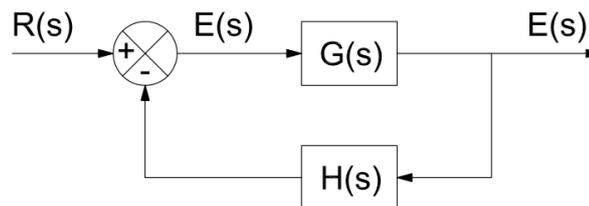


**Figura 24 - Diagrama esquemático do sistema**

**Fonte: Autoria própria**

Como se pode observar, a temperatura do banho escolhida pelo usuário será comparada com a temperatura da água de saída do chuveiro, funcionando como realimentação.

Um sistema é dito de malha fechada quando se deseja minimizar o valor do seu erro, que é a diferença entre o sinal de entrada (referência) e a realimentação. Em alguns casos, a realimentação pode ser o próprio sinal de saída. O diagrama de blocos da figura seguinte ilustra este tipo de sistema (OGATA, 2003).



**Figura 25 - Sistema de malha fechada**

**Fonte: Adaptado de Ogata (2003, p. 50)**

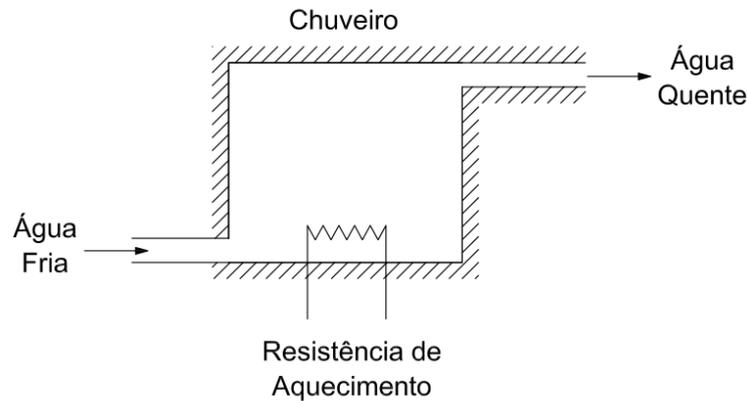
Assim, a função de transferência para o sistema com realimentação da Figura 25 é dado por:

$$C(s) = \frac{G(s).H(s)}{1 + G(s).H(s)} \quad (14)$$

### 2.7.1 Sistemas térmicos

Segundo OGATA (2003, p. 154), os “sistemas térmicos são aqueles que envolvem transferência de calor de uma substância para outra”. Podem ser analisados por meio de resistências térmicas  $R$  e capacitâncias térmicas  $C$ .

Considere-se o sistema da Figura 26 e as seguintes variáveis.



**Figura 26 - Sistema Térmico**

Fonte: Adaptado de Ogata (2003, p. 155)

$\theta_i$  = Temperatura da água de entrada, [°C];

$\theta_0$  = Temperatura da água de saída [°C];

$G$  = Vazão em massa da água [kg/s];

$M$  = Massa de água no interior do chuveiro [kg];

$c$  = Calor específico da água [kcal / kg °C];

$R$  = Resistência térmica [°C s/kcal];

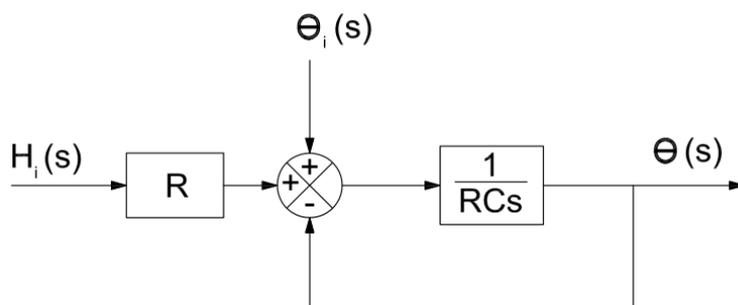
$C$  = Capacitância térmica [kcal/°C];

$H$  = Taxa de entrada de calor [kcal/s].

Caso o sistema térmico do chuveiro sofra variações na temperatura de entrada de água  $\theta_i$  para  $\theta_i + \theta_{i2}$  e na taxa de entrada de calor de  $H$  para  $H + h_i$ , supondo vazão constante, a equação que rege a variação de temperatura da água de saída é dada por (OGATA, 2003):

$$RC \cdot \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_{i2} + R \cdot h_i \quad (15)$$

O diagrama de blocos da Figura 27 ilustra este caso.



**Figura 27 - Diagrama de blocos do sistema térmico**

**Fonte: Adaptado de Ogata (2003, p. 155)**

## 2.8 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Uma consideração que deve ser feita quanto à construção do protótipo, é que não será desenvolvido todo o chuveiro. Os trabalhos serão baseados em um modelo de chuveiro eletrônico existente no mercado, implementando o circuito de controle para que trabalhe em malha fechada. O “chuveiro base” a ser utilizado será a “Ducha Eletrônica Branca” da ThermoSystem, por possuir menor valor em relação aos demais, tanto na fase inicial como em casos de necessidade de substituição.

Tanto a montagem do protótipo como os testes foram desenvolvidos em uma oficina especializada em manutenção de chuveiros, dotada de bancada com registro para controle do fluxo de água, painel com amperímetro e voltímetros analógicos, assim como diversas outras ferramentas e equipamentos necessários para o desenvolvimento do projeto.



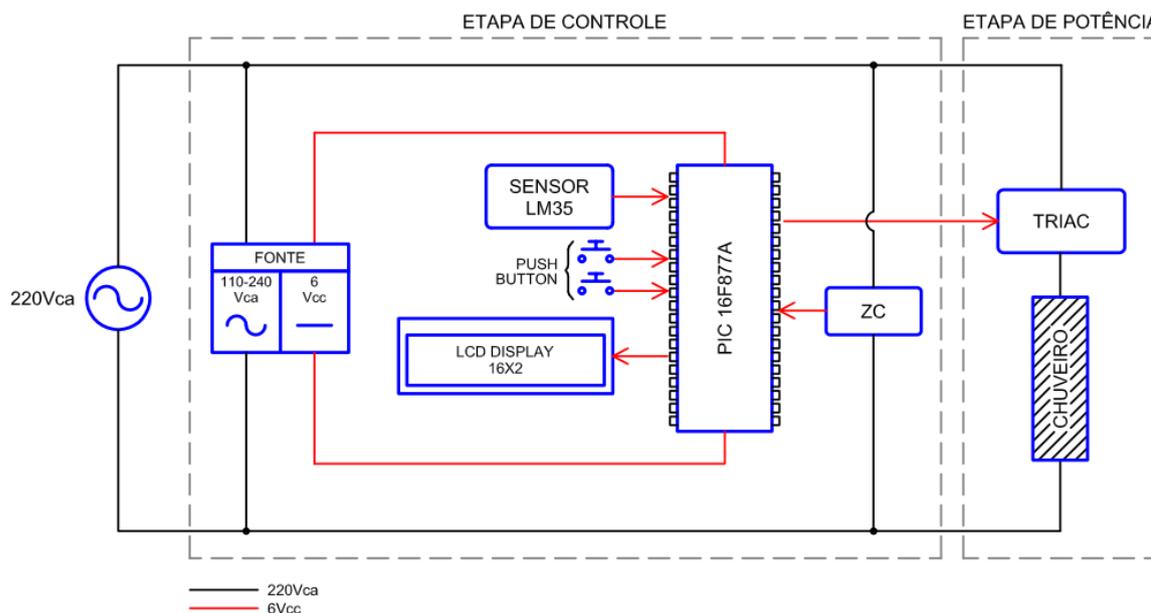
**Figura 28 - Bancada de testes**

**Fonte: Autoria própria.**

### 3 PROJETO DO SISTEMA

Esta etapa do trabalho tem por objetivo demonstrar os estudos desenvolvidos para obtenção do chuveiro proposto.

Para elaboração do protótipo, tomou-se como base o diagrama da Figura 29, onde foram inseridos os principais componentes para montagem do chuveiro.



**Figura 29 - Diagrama esquemático do circuito**

**Fonte: Autoria própria.**

Para operação da planta, há duas tensões de trabalho:

- 220 Vca, para alimentação da etapa de potência;
- 6 Vcc, para alimentação da etapa de controle.

Comercialmente, encontram-se chuveiros com tensões de 127 Vca ou 220 Vca (eficaz). Este último possui resistências com potências maiores em relação ao outro, conseqüentemente, maior capacidade de aquecimento da água. Em regiões mais frias, como por exemplo, a região Sul do Brasil, chuveiros alimentados em 127 Vca não têm capacidade suficiente para aquecer a água a temperaturas confortáveis para o banho. Este foi o principal motivo para escolha da tensão de operação do chuveiro.

Já os outros componentes funcionam com tensão contínua de 6 Vcc. Por se tratar de componentes sensíveis, esta tensão deve ser “limpa”, sem variações bruscas na amplitude. Escolheu-se para isso uma fonte comercial, a qual tem como tensão de entrada de 100 a 240 Vca e fornece em sua saída 6 Vcc seguros.

No chuveiro proposto, toda a parte de comando será realizada pelo microcontrolador. É ele quem receberá todas as informações da planta, fará o processamento e enviará os sinais aos componentes pertinentes.

Divididos em *Hardware* e *Software*, os tópicos seguintes mostrarão como foi realizada a montagem de cada bloco do sistema, suas interligações entre si e a programação do PIC.

### 3.1 HARDWARE

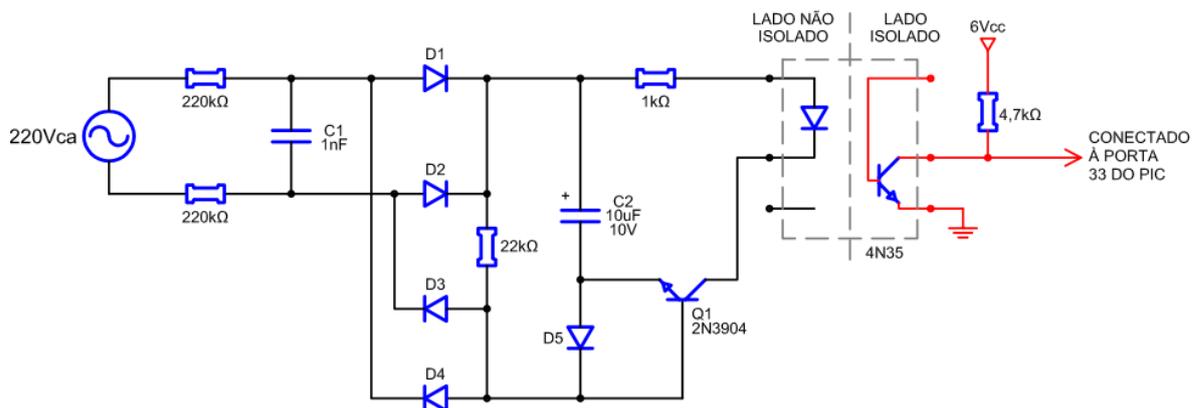
#### 3.1.1 ZC – Detecção de Passagem por Zero

Como mencionado anteriormente, o PIC irá enviar um sinal ao *gate* do TRIAC para que o mesmo conduza em diferentes pontos da senóide, dosando assim a energia entregue ao chuveiro. Para que isso ocorra, o PIC deve estar sincronizado com a rede de 60 Hz, evitando o disparo no momento errado. Para isso foi utilizado um circuito de detecção de passagem por zero – ZC. Seu objetivo é gerar interrupções no PIC toda vez que a senóide cruzar o eixo das abscissas.

O circuito escolhido para realizar esta tarefa pode ser visualizado na Figura 30. Suas principais características são (DEXTREL, 2013):

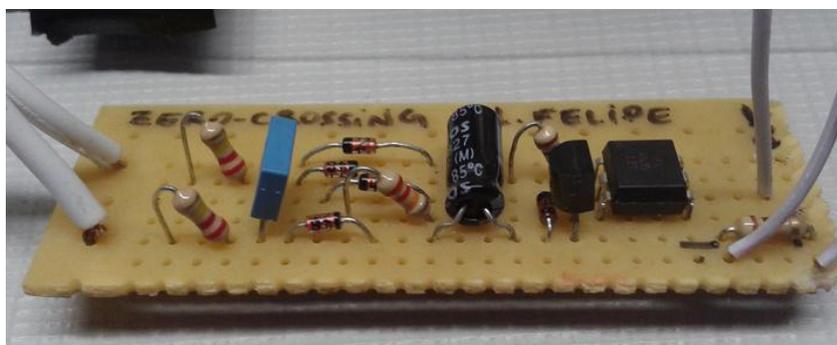
- Alta precisão de detecção de passagem por zero;
- Saída de tensão segura e totalmente isolada;
- Consumo de energia extremamente baixo;
- Produção de pulsos simétricos ao redor do cruzamento por zero;
- Pulso de saída se mantém constante independente da tensão da rede;

- Trabalha nas tensões de 100 a 240 Vca, sem que sejam necessárias modificações no circuito.



**Figura 30 - Ligação do ZC**

Fonte: Adaptado de DEXTREL (2013).



**Figura 31 - Circuito ZC na prática**

Fonte: Autoria própria

### 3.1.2 Sensor de Temperatura

Inicialmente, por possuir um formato que se adaptaria facilmente ao chuveiro e por atender às necessidades, foi instalado um sensor de temperatura tipo NTC.



**Figura 32 - Foto do sensor NTC instalado no chuveiro**

**Fonte: Aatoria própria**

O problema encontrado em se trabalhar com o NTC foi a sua programação no PIC. Por se tratar de um sensor que varia numa escala logarítmica em função da variação da temperatura, fez-se necessária uma linearização dos valores. Neste ponto, houveram diversos problemas, pois o PIC não correspondeu como o esperado ao trabalhar com este tipo de função.

Depois de diversas alternativas implementadas sem sucesso, o sensor foi substituído por um sensor tipo circuito integrado LM35. Seu funcionamento pode ser encontrado no capítulo 2.3.4.

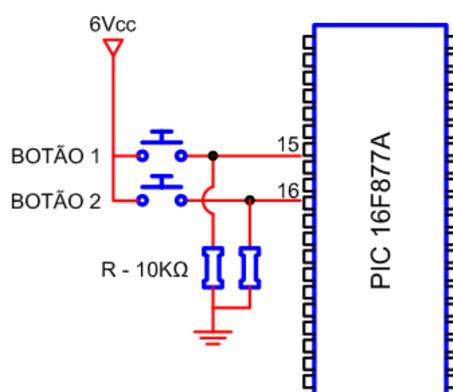
Inicialmente, o sensor LM35 foi instalado na lateral da câmara do chuveiro, tal qual o NTC. Após alguns testes, percebeu-se que no ponto onde estava instalado, a leitura de temperatura era muito imprecisa. Assim, o sensor foi colocado junto ao crivo do chuveiro, o mais próximo à saída de água. Neste ponto, a temperatura corresponde praticamente à do banho.



**Figura 33 - Foto do sensor LM35 instalado no chuveiro**  
**Fonte: Aatoria própria**

### 3.1.3 Interface de Seleção da Temperatura de Banho

Para escolha da temperatura de banho, o usuário terá disponível dois botões de pulso – um para o aumento, conectado à porta 15 do PIC, e o outro para decréscimo, conectado à porta 16.



**Figura 34 - Ligação dos *Push Buttons***  
**Fonte: Aatoria própria.**

Ainda, foram instalados dois resistores de *pull-down*.



Neste circuito, pode-se visualizar o pino que enviará o sinal de disparo ao *gate* do TRIAC, referente à porta 34 do PIC. Os 3 LEDs correspondem na prática a um LED tricolor, o qual emite luz alaranjada enquanto a água está abaixo do *Set Point*, verde quando estão iguais e vermelha quando a água está acima dos 45 °C.

Para minimizar os ruídos e distúrbios intrínsecos ao funcionamento do circuito, foram adicionados capacitores de 1µF em todas as alimentações de 6 Vcc, além de um filtro RC passa baixa de 8Hz no sinal proveniente do sensor de temperatura. Isso permitiu com que o chuveiro tivesse uma maior estabilidade em relação ao disparo do TRIAC e ao sinal do sensor.

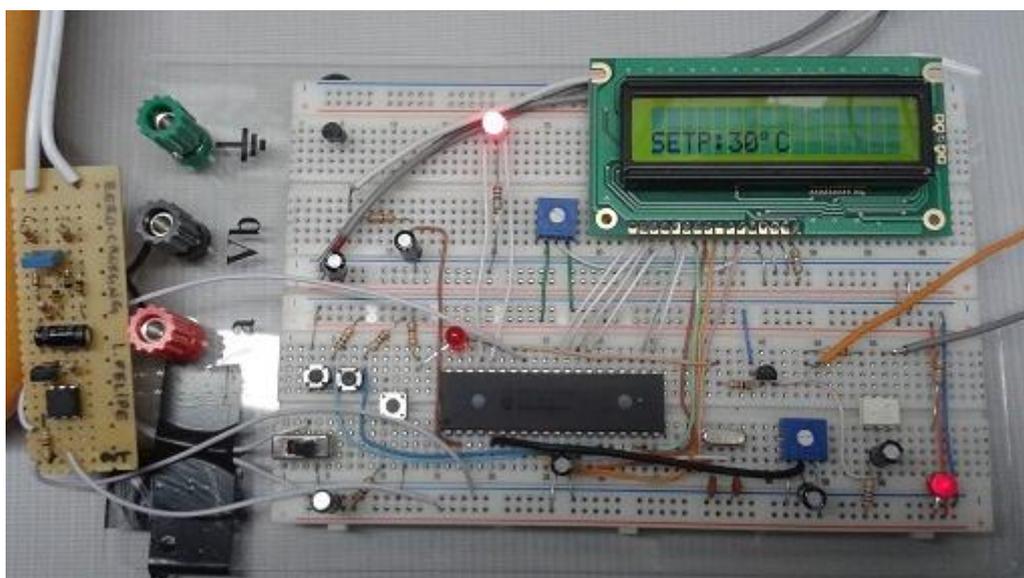


Figura 36 - Foto do circuito final

Fonte: Autoria própria.

## 3.2 SOFTWARE

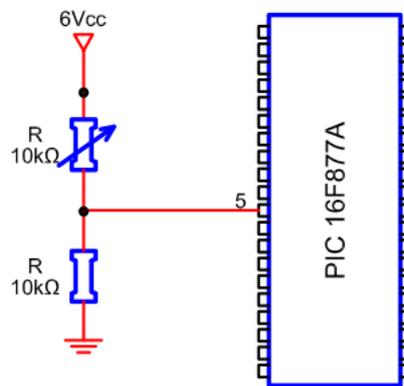
### 3.2.1 Conversor A/D – Ajuste de Resolução

O PIC 16F877A possui conversor A/D de 10 *bits*. Ou seja, a faixa de valor compreendida entre a tensão de referência positiva ( $V_{REF+}$ ) e a negativa ( $V_{REF-}$ ) “lida” no canal A/D do PIC será convertida em  $2^{10}-1$  valores, o que corresponde a 1023 valores.

Normalmente, a própria alimentação do PIC é utilizada como referência positiva para o conversor, e o terra como referência negativa. No caso do chuveiro proposto, foi necessário usar valores de referência mais próximos à faixa de tensão entregue pelo sensor. Assim, conseguiu-se aumentar a precisão do conversor e conseqüentemente o sistema passou a ter uma resposta mais rápida às variações de temperatura.

$$V_{REF+} = 500 \text{ mV.}$$

Desta forma, a porta 5 foi alimentada com 500 mV. Para isso, usou-se um potenciômetro para alcançar o ajuste fino da tensão, conforme figura a seguir.



**Figura 37 - Ajuste da resolução do A/D**

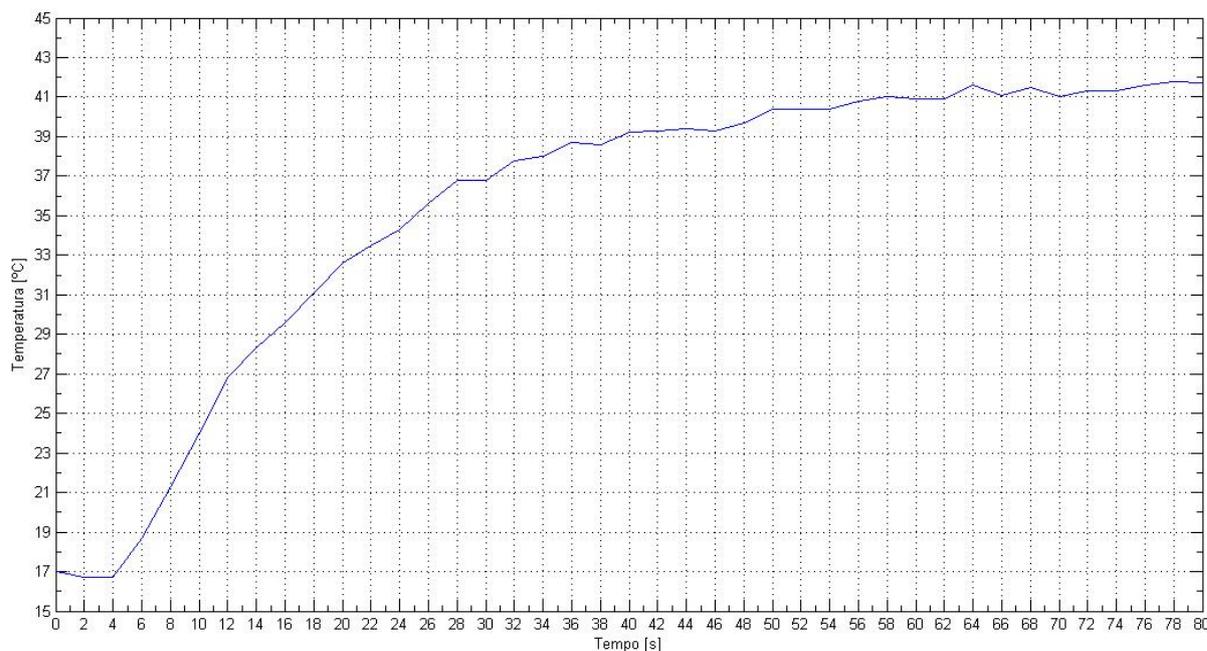
**Fonte: Autoria própria.**

Como o PIC requer apenas uma entrada analógica (para leitura do sinal enviado pelo sensor de temperatura), utilizou-se o registrador ADCON1 para tal necessidade. Ainda, o mesmo registrador configura a porta 5 como sendo  $V_{REF+}$ .

### 3.2.2 Levantamento da Curva da planta

Para que o controlador da planta fosse corretamente dimensionado, primeiramente foi preciso saber como o chuveiro se comporta quando em funcionamento. Para isso, foi aplicado um degrau

no mesmo e monitorada a temperatura em função do tempo. A curva pode ser visualizada no gráfico a seguir.



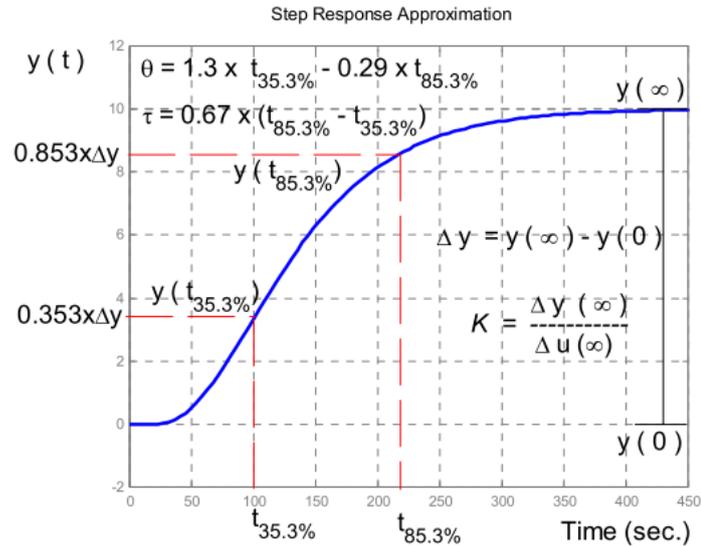
**Figura 38 - Resposta do chuveiro ao degrau**

**Fonte: Autoria própria.**

Em mãos da resposta do chuveiro ao degrau, pode-se encontrar a função de transferência que rege a planta.

### 3.2.3 Determinação da Função de Transferência

O método usado para identificação do processo foi o de Sundaresan e Krishnaswamy. Este método prevê que dois tempos sejam estimados a partir da curva de respostas da planta:  $t_{35,3\%}$  e  $t_{85,3\%}$ , correspondentes respectivamente a 35,3% e 85,3% do tempo para a planta atingir a estabilidade, conforme mostra a figura a seguir (TRIERWEILER; POSSER, p. 3).



**Figura 39 - Representação do Método de Sundaresan e Krishnaswamy**

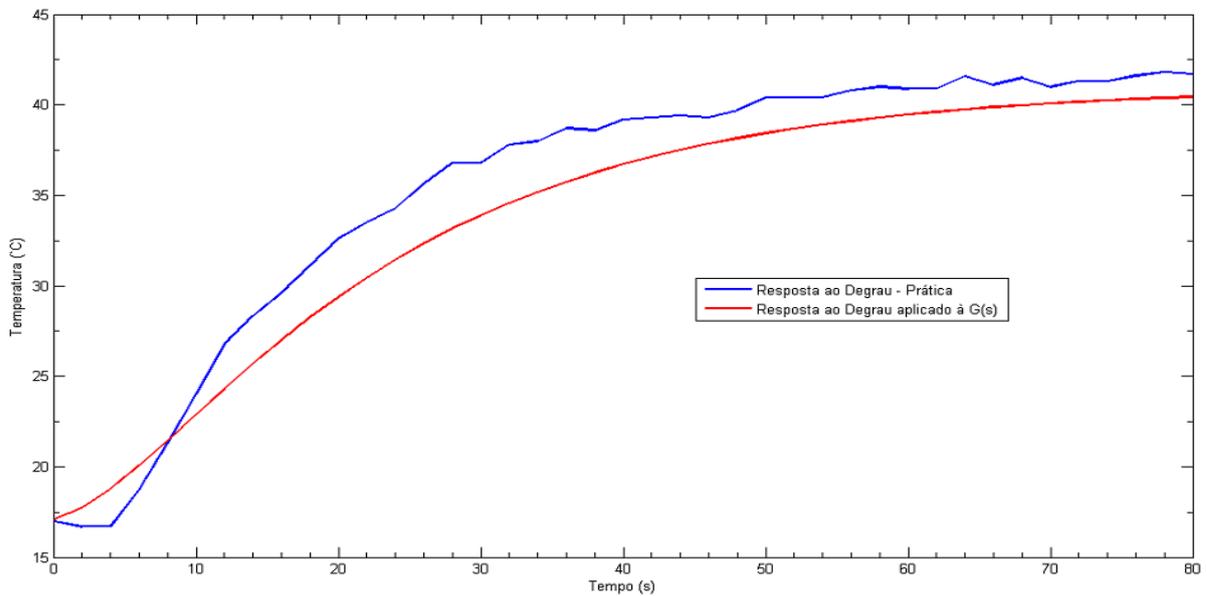
**Fonte: TRIERWEILER; POSSER, p. 3**

Nesta planta  $t_{35,3\%}$  é 11s e  $t_{85,3\%}$ , 33s. Assim, pode-se calcular o tempo morto e a constante de tempo da planta:  $\theta=4,7$  e  $\tau=14,7$ . O ganho da planta é dado por:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{41-17}{30} = 0,8 \quad (16)$$

A função de transferência de primeira ordem com tempo morto então é dada por:

$$G(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{\tau s + 1} = \frac{k}{\theta \tau s^2 + (\theta + \tau)s + 1} = \frac{0,8}{69,1s^2 + 19,4s + 1} \quad (17)$$

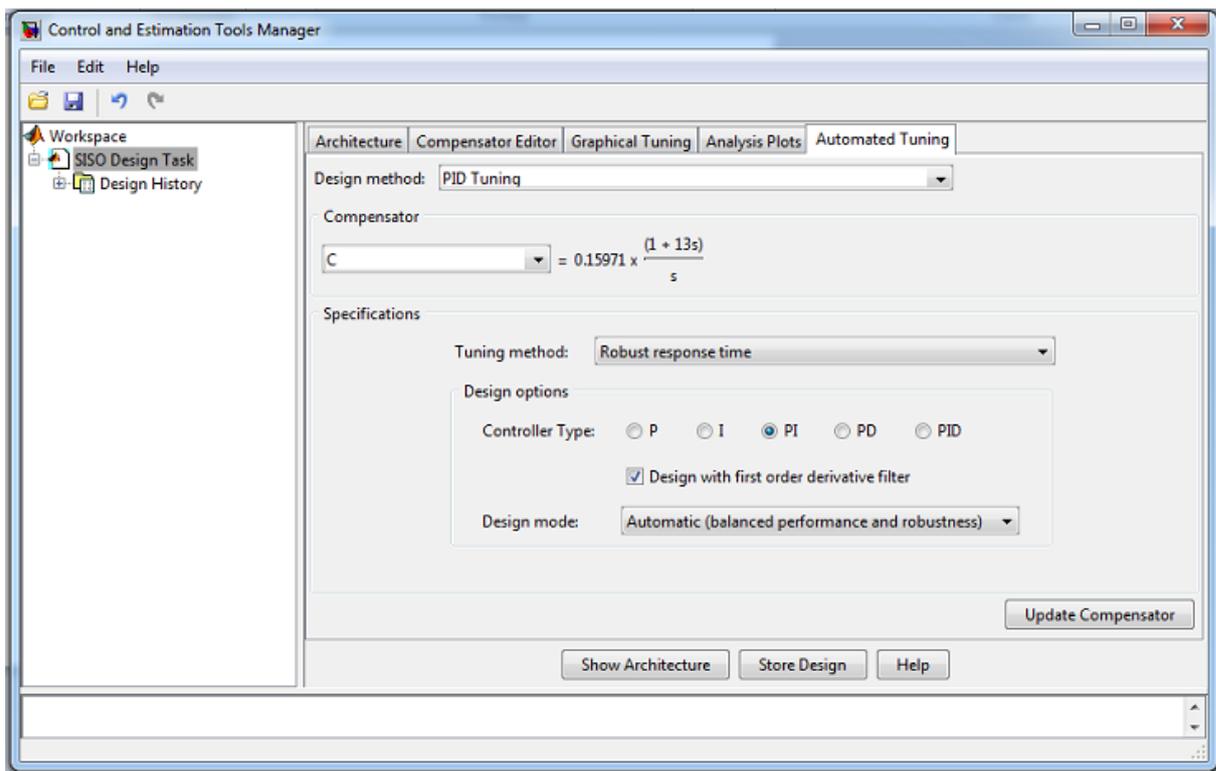


**Figura 40 - Respostas ao degrau da planta na prática e da equação de  $G(s)$**

**Fonte: Autoria Própria**

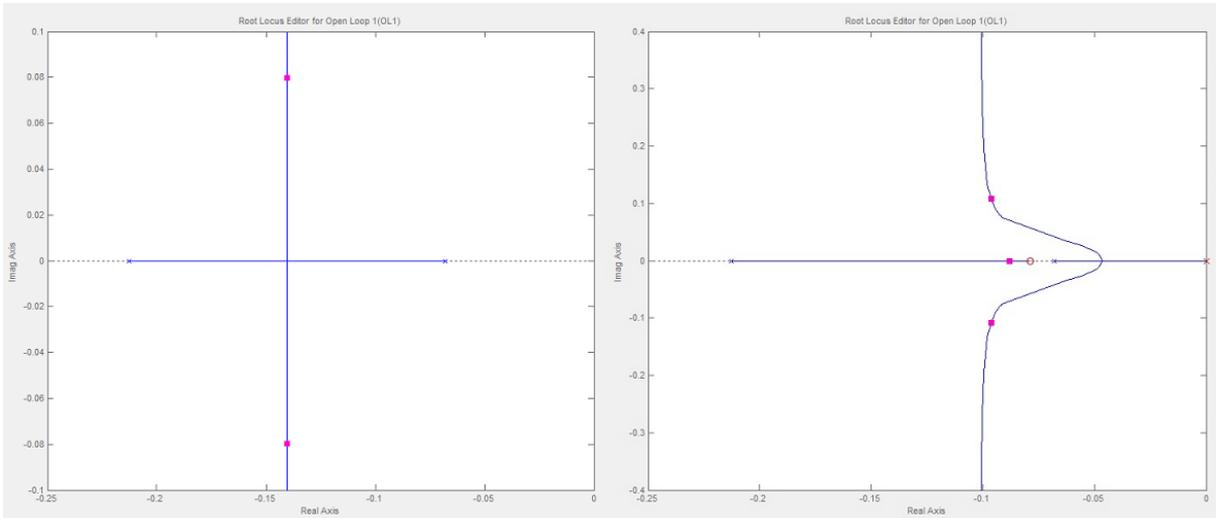
### 3.2.4 Determinação do Compensador

Em mãos da função de transferência da planta, foi possível determinar o controlador por meio da ferramenta *rtool* do Matlab.



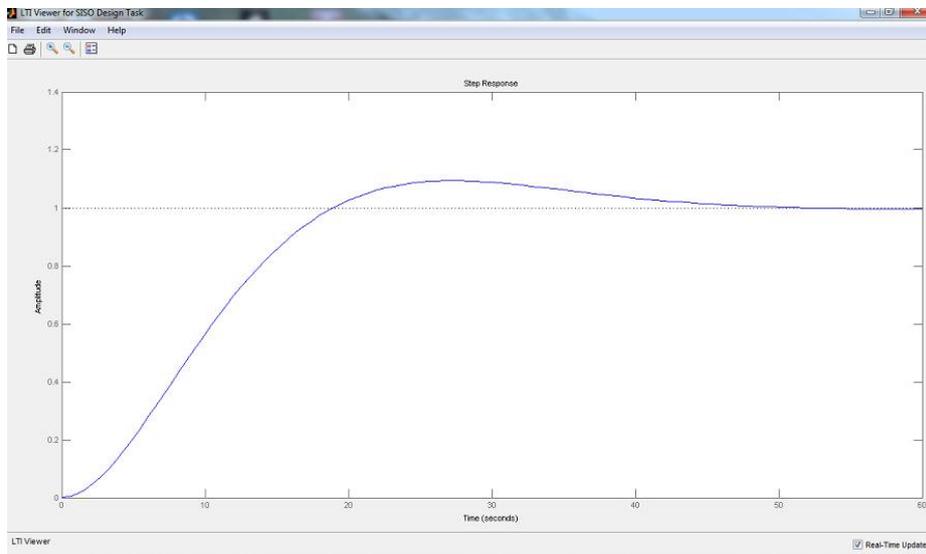
**Figura 41 - Compensador da planta – Ferramenta “*rtool*” do Matlab**

**Fonte: Autoria Própria**



**Figura 42 - Root Locus da planta sem compensador (esquerda) e com compensador (direita)**

**Fonte: Autoria Própria**



**Figura 43 - Resposta ao degrau da função de transferência com compensador**

**Fonte: Autoria Própria**

Para ser usado no programa computacional, o compensador precisa estar na forma discreta. Usou-se para isso a ferramenta “c2d” (*continuous to discrete*) do Matlab, com tempo de amostragem de 0,3 segundos.

$$C(s) = \frac{2,08s + 0,16}{s} \therefore C(z) = \frac{2,08z - 2,032}{z - 1} \quad (18)$$

### 3.2.5 Algoritmo para o Compensador

Como o compensador é de primeira ordem e está representado na forma  $C(s) = \frac{Az - B}{z - 1}$ , pode-se escrever (NISE, 2002):

$$C(s) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{Az - B}{z - 1} \quad (19)$$

onde  $U(z)$  é o sinal do controlador e  $E(z)$  o erro. Multiplicando tem-se:

$$U(z)z = U(z) + E(z)zA - E(z)B \quad (20)$$

Aplicando a transformada Z inversa, obteve-se:

$$u(k) = u(k - 1) + Ae(k) - Be(k - 1) \quad (21)$$

Por fim, comparando as equações (18), (19) e (21), obteve-se o seguinte controlador discreto:

$$u(k) = u(k - 1) + 2,08e(k) - 2,032e(k - 1) \quad (22)$$

## 4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para se obter uma referência de fluxo, foi utilizada uma régua de coluna d'água. Com um nível constante, conseguiu-se um fluxo de água constante. A corrente elétrica foi medida com o auxílio de um alicate amperímetro em uma das fases de alimentação do chuveiro. Já a temperatura foi medida por meio de um termômetro digital acoplado a um multímetro. Isso se fez necessário para que se tivesse outra referência de temperatura diferente da medida pelo sensor.



Figura 44 – Sensor LM35 e Termômetro instalados no chuveiro

Fonte: Autoria Própria



Figura 45 - Protótipo montado na bancada de testes

Fonte: Autoria Própria

Após a confecção do protótipo, diversos testes de bancada foram realizados. Os resultados foram expressos na forma de um gráfico e as considerações de cada caso serão detalhadas a seguir.

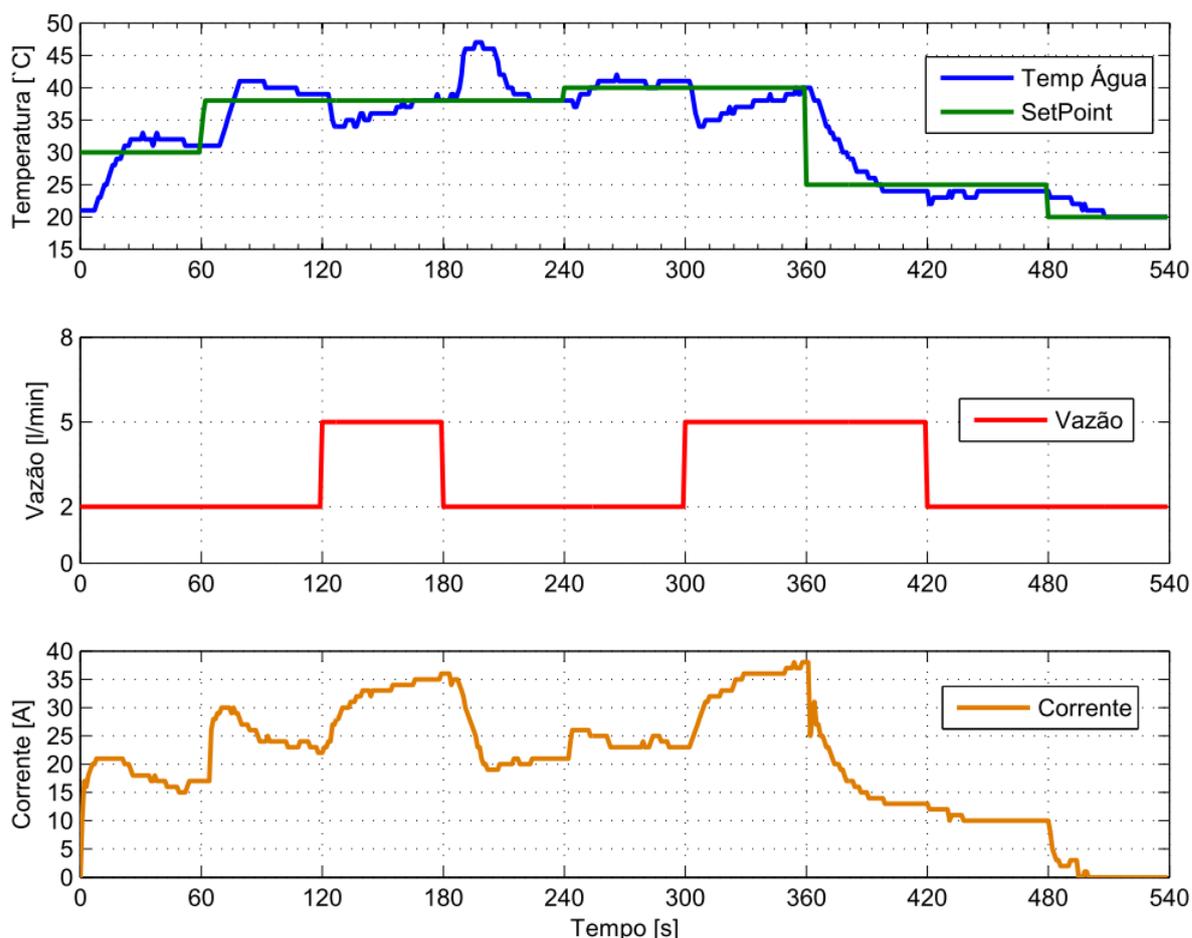


Figura 46 - Temperatura, *Set Point*, Vazão e Corrente x Tempo

Fonte: Autoria Própria

Tabela 4 - Resumo das variáveis controladas do teste

Intervalo [min]	<i>Set Point</i> [°C]	Vazão [l/min]
t=0 a t<1	30	2
t=1 a t<2	30 p/ 38	2
t=2 a t<3	38	2 p/ 5
t=3 a t<4	38	5 p/ 2
t=4 a t<5	38 p/ 40	2
t=5 a t<6	40	2 p/ 5
t=6 a t<7	40 p/ 25	5
t=7 a t<8	25	5 p/ 2
t=8 a t=9	25 p/ 20	2

Fonte: Autoria própria

No instante  $t=0s$ , a água no interior do chuveiro encontrava-se a  $21^{\circ}C$  e o registro de água aberto com vazão de 2 l/min. Neste momento, o chuveiro foi ligado com *Set Point* de  $30^{\circ}C$ . Pode-se observar um aumento brusco da corrente para atingir a estabilidade, a qual ocorreu em menos de 20s.

Em 1 minuto, a água encontrava-se a  $31^{\circ}C$ . Neste momento, o *Set Point* foi alterado para  $38^{\circ}C$ . Da mesma forma como no intervalo de tempo anterior, a corrente aumentou para compensar a diferença de temperatura entre a água e o *Set Point*, atingindo a estabilidade aproximadamente em 18 segundos.

Em 2 minutos, a temperatura da água era de  $39^{\circ}C$  com vazão de 2 l/min. Neste instante, o registro de água foi aberto ao máximo, o que corresponde a uma vazão de 5 l/min. Observa-se uma diminuição da temperatura devido ao aumento do fluxo e um aumento da corrente para correção do erro. Aos poucos, a temperatura aproxima-se do *Set Point* até atingir a estabilidade, em torno de 23 segundos.

Aos 3 minutos, a água encontrava-se em  $38^{\circ}C$  e a vazão passou de máxima (5 l/min) para mínima (2 l/min). A diminuição da vazão ocasionou um acúmulo repentino de água quente na câmara do chuveiro, chegando aos  $47^{\circ}C$ . Apesar da corrente ter baixado significativamente, foi a mudança brusca da vazão que ocasionou a grande disparidade entre *Set Point* e temperatura real da água. O conjunto só atingiu a estabilidade em torno de 27 segundos.

Em  $t=4$  minutos, o *Set Point* passou de  $38^{\circ}$  para  $40^{\circ}C$ , semelhante às variações do primeiro intervalo.

Em 5 minutos, com *Set Point* de  $40^{\circ}C$ , a vazão passou de mínima para máxima, semelhante ao instante  $t=2$  minutos. Porém, pode-se observar um tempo maior para atingir a estabilidade, em torno de 32 segundos.

Quando atingiu 6 minutos de operação, o *Set Point* foi alterado de  $38^{\circ}C$  para  $25^{\circ}C$  com fluxo de água máximo. Houve diminuição da corrente e o sistema atingiu a estabilidade em aproximadamente 20 segundos

Em 7 minutos, com *Set Point* constante de 25°C, a vazão foi diminuída e o sistema atingiu a estabilidade rapidamente, em torno de 18 segundos.

Como era conhecida, no dia dos testes a temperatura da água na tubulação encontrava-se a 21°C. Com o objetivo de que o chuveiro desligasse automaticamente, em 7 minutos o *Set Point* foi ajustado em 20°C. 22 segundos após, não havia mais corrente fluindo pelo chuveiro.

## 5 CONCLUSÃO

O gráfico da Figura 46 mostra que, com as variações do *Set Point*, a planta comportou-se de forma semelhante à resposta ao degrau do modelo matemático, conforme Figura 43. Os testes realizados simulam praticamente todas as formas de operação possíveis do chuveiro: *Set Point* constante e vazão variável, *Set Point* variável e vazão constante, além de temperaturas da água acima e abaixo do *Set Point*.

Uma forma de simular o funcionamento do chuveiro com sistemas de pré-aquecimento é variando a vazão. Ao alterar o fluxo, a temperatura da água no sensor varia sem que haja influência do chuveiro. Isso pode ser verificado no intervalo de tempo entre 3 e 4 minutos da Figura 46.

Apesar de a planta ter sido modelada para uma determinada vazão constante, o sistema apresentou comportamento robusto e manteve a água em temperaturas próximas ao *Set Point*, independente das variações do meio.

No último intervalo de tempo, o *Set Point* ficou abaixo da temperatura de entrada da água, desligando completamente o chuveiro, análogo a um sistema pré-aquecendo a água.

Nos resultados obtidos não são apresentados os dados referentes à saturação do chuveiro, o que ocorre em aproximadamente 42°C para uma vazão de 5 l/min com água entrando no chuveiro a 21°C. Para outros valores de vazão e temperatura da água, a saturação muda.

Ainda, a partir dos resultados, algumas considerações podem ser verificadas:

- Quanto maior a vazão, maior o tempo para o sistema atingir a estabilidade.
- Quanto maior o degrau do *Set Point*, maior o tempo para atingir a estabilidade.

A incerteza dos instrumentos utilizados pode representar uma fonte de erro, assim como atrasos na operação da escolha da temperatura do banho e vazão. Apesar disso, os resultados obtidos corresponderam ao esperado.

Os experimentos realizados resultaram em dados que indicam que o chuveiro pode funcionar com outros sistemas de pré-aquecimento de água

Com base neste trabalho, podem-se desenvolver outros futuros, como por exemplo, o aperfeiçoamento do sistema com o estudo de técnicas alternativas para medição de temperatura, adição de um sensor de vazão, melhorias no sistema de controle, e prejuízos ocasionados na rede tanto relacionado ao fator de potência quanto a distúrbios provocados durante a operação, além de comparações mais detalhadas com outros sistemas de pré-aquecimento.

## REFERÊNCIAS

AGILENT TECHNOLOGIES, Inc. ***Practical Temperature Measurements Application Note 290***. USA: Agilent Technologies, 2010. 36 p.

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência**. São Paulo: Prentice-Hall, 2000. 479 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. Disponível em: <<http://www.banhoeconomico.com.br/hist2.htm>>. Acesso em: 2 mai. 2011.

\_\_\_\_\_. **Estudo revela qual o sistema mais econômico para tomar banho**. São Paulo, p. 28-29, mai. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13103**: Adequação de ambientes residenciais para instalação de aparelhos que utilizem gás combustível. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 12483**: Chuveiros elétricos. Rio de Janeiro, 1992.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 2 v.

BRAGA, Newton C.. Sensores de temperatura: tipos e características. **Saber Eletrônica**, São Paulo, v. 43, n. 415, p. 20-22, agosto 2007.

CORONA. **Manual de Instalação**. Disponível em: <[http://www.corona.com.br/images/manuais/manual\\_flex.pdf](http://www.corona.com.br/images/manuais/manual_flex.pdf)>. Acesso em: 04 nov. 2011a.

\_\_\_\_\_. **4 Estações Eletrônica**. Disponível em: <<http://www.corona.com.br/index.php/produtos-/linha-premium-e-torneiras/quatro-estacoes-eletronica.html#>>>. Acesso em: 13 nov. 2011b.

DEXTREL. *Dego's Extreme Electronics Lab*. Disponível em: <<http://www.dextrel.net/diyzerocrosser.htm>>. Acesso em 16 jun. 2013.

E.W.G. Elétrica Hidráulica e Serviços: vendas online. Disponível em:  
<<http://www.ewg.com.br>> Acesso em 15 nov. 2011.

FAME. Disponível em:

<<http://www.fame.com.br/fameWeb/ProdProdutoWebComponentSelect.do?prodProduto.uniqueld=41142804ffab320e004e94a4f599f35a>> Acesso em 03 nov. 2011.

FERREIRA Elnatan C.. **Curso IE763: sensores e condicionamento de sinais.** Disponível em:

<[http://www.cefetsp.br/edu/sertaozinho/professores/Fernando\\_Fortuna/material\\_341\\_3ano.pdf](http://www.cefetsp.br/edu/sertaozinho/professores/Fernando_Fortuna/material_341_3ano.pdf)>. Acesso em: 01 nov. 2011.

JÚNIOR, Cláudio J. de O. **Controle eletrônico de potência em aquecedores elétricos de passagem por semi ciclos otimizados.** 2006 70 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LABFACILITY Ltd. **Data Temperature Handbook.** Middlesex, UK: UKL Technical Services Angmering, 2006. 139 p.

LORENZETTI S.A. INDÚSTRIAS BRASILEIRAS ELETROMETALÚRGICAS. **Duchas e Chuveiros Elétricos.** Disponível em:  
<[http://www.lorenzetti.com.br/portal\\_duchas.asp](http://www.lorenzetti.com.br/portal_duchas.asp)>. Acesso em: 02 nov. 2011a.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <[http://www.lorenzetti.com.br/mais\\_fotos.asp?id=DC0036#](http://www.lorenzetti.com.br/mais_fotos.asp?id=DC0036#)>. Acesso em: 02 nov. 2011b.

\_\_\_\_\_. **Relax.** Disponível em:

<<http://www.lorenzetti.com.br/produto.asp?id=DC0013>>. Acesso em: 02 nov. 2011c.

\_\_\_\_\_. **Futura Turbo Eletrônica.** Disponível em:

<<http://www.lorenzetti.com.br/produto.asp?id=DC0001#>>. Acesso em: 13 nov 2011d.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno.** 4. ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall, 2003. vii, 788 p.

SOUZA, David J. de. **Desbravando o PIC:** Ampliado e Atualizado para PIC16F628A. 10. ed. São Paulo: Érica, 2006. 268 p.

SOUZA, David J. de; LAVINIA, Nicolás C. **Conectando o PIC 16F877A:** recursos avançados. 3. ed. São Paulo, SP: Érica, 2006. 380 p.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. Dallas, Texas, jul. 2013.

THERMOSYSTEM. Disponível em:  
<<http://www.thermosystem.com.br/br/pagina/belosol>>. Acesso em: 02 nov. 2011a.

\_\_\_\_\_. **Ducha Eletrônica ThermoSystem**. Disponível em:  
<[http://www.thermosystem.com.br/\\_repositorio/Downloads/imagem-ducha-eletronica-thermosystem.png](http://www.thermosystem.com.br/_repositorio/Downloads/imagem-ducha-eletronica-thermosystem.png)>. Acesso em: 13 nov. 2011b.

TERMISTOR. Disponível em < <http://www.corradi.junior.nom.br/Termistor.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2013.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. B.. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 3. ed., rev. São Paulo: Érica, 2007. 220 p.

TRIERWEILER, Jorge Otávio; POSSER, Maurício Simões. **PID-TOOLBOX: Uma Ferramenta para o Ajuste e Ensino de Controladores PID**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 26p.

ZANCO, Wagner da S. **Microcontroladores PIC: uma abordagem prática e objetiva**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2005. 364 p.

## ANEXO – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO

```

1: unsigned char FlagReg;
2: sbit ZC at FlagReg.B0;
3:
4: int T=0, TEMP_SP=30, delay_triac=80;
5: char ctg=0, ch;
6: bit oldstate, oldstatal;
7:
8: void interrupt(){
9:     if (INTCON.INTF){           //interrupção da passagem por zero
10:         ZC = 1;
11:         ctg++;
12:         INTCON.INTF = 0;
13:     }
14: }
15: void sensor_AD(){
16: unsigned int CH0=0, Vin=0;
17:     CH0 = ADC_Read(0);
18:     Vin=(float)100*0.5*CH0/1023;
19:     T=Vin;
20: }
21:
22: void controle_digital(){
23:     unsigned int disparo;
24:     long int sinal_controle_atual, sinal_controle_passado,
25:     erro_passado, erro_atual, k1, k2, k3, k4;
26:     erro_atual = TEMP_SP - T;
27:     k1=208*erro_atual;
28:     k2=203*erro_passado;
29:     k3=k1-k2;
30:     k4=sinal_controle_passado+k3;
31:     sinal_controle_atual=k4;
32:
33:     disparo=sinal_controle_atual/100;
34:     delay_triac=(float)(8160-72*disparo)/120;
35:     sinal_controle_passado=sinal_controle_atual;
36:     erro_passado=erro_atual;
37: }
38: void lcd_dado (unsigned short dado){           //Função para envio de dado para o LCD
39:     PORTD = dado;
40:     PORTE.F2 = 1;           // dado RS = 1
41:     Delay_Cyc(1);           // ESPERA 1 CYCLO DE INSTRUCAO
42:     PORTE.F1 = 0;           // E = 0;
43:     Delay_Cyc(1);           // ESPERA 1 CYCLO DE INSTRUCAO
44:     PORTE.F1 = 1;           // E = 1;
45:     Delay_Cyc(1);           // ESPERA 1 CYCLO DE INSTRUCAO
46:     PORTE.F1 = 0;           // E = 0;
47:     Delay_ms(15);
48: }
49: void lcd_inst (unsigned short instrucao){     //Função para envio de instruções ao LCD
50:     PORTD = instrucao;
51:     PORTE.F2 = 0;           // INSTRUCAO RS = 0
52:     Delay_Cyc(1);           // ESPERA 1 CYCLO DE INSTRUCAO
53:     PORTE.F1 = 0;           // E = 0;
54:     Delay_Cyc(1);           // ESPERA 1 CYCLO DE INSTRUCAO
55:     PORTE.F1 = 1;           // E = 1;
56:     Delay_Cyc(1);           // ESPERA 1 CYCLO DE INSTRUCAO
57:     PORTE.F1 = 0;           // E = 0;
58:     Delay_ms(15);
59: }
60: void inicializa_lcd (){           //Função para inicialização do LCD

```

```

61:     lcd_inst(0X38);
62:     lcd_inst(0X38);
63:     lcd_inst(0X06);
64:     lcd_inst(0X0E);
65:     lcd_inst(0X01);
66:     lcd_inst(0X0C);           // DESLIGA CURSOR
67:
68:     lcd_inst(0XC0);           // coluna 2 - linha 1
69:     lcd_dado('S');
70:     lcd_dado('E');
71:     lcd_dado('T');
72:     lcd_dado('P');
73:     lcd_dado(':');
74:     ch = TEMP_SP / 10;
75:     lcd_dado(48+ch);
76:     ch = TEMP_SP % 10;
77:     lcd_dado(48+ch);
78:     lcd_inst(0XC7);
79:     lcd_dado(0xdf);
80:     lcd_dado('C');
81: }
82: void botao_setpoint(){
83:     if(!PORTC.B0) oldstate=1; // botao para aumentar a temp
84:     if(PORTC.F0 && oldstate){
85:         if(TEMP_SP<50){
86:             TEMP_SP = TEMP_SP++;
87:             lcd_inst(0XC5);
88:             ch = TEMP_SP / 10;
89:             lcd_dado(48+ch);
90:             ch = TEMP_SP % 10;
91:             lcd_dado(48+ch);
92:         }
93:         oldstate=0;
94:     }
95:     if(!PORTC.B1) oldstate1=1; // botao para diminuir a temp
96:     if(PORTC.F1 && oldstate1){
97:         if(TEMP_SP>20){
98:             TEMP_SP = TEMP_SP--;
99:             lcd_inst(0XC5);
100:            ch = TEMP_SP / 10;
101:            lcd_dado(48+ch);
102:            ch = TEMP_SP % 10;
103:            lcd_dado(48+ch);
104:        }
105:        oldstate1=0;
106:    }
107: }
108:
109: void main(){
110:     unsigned short i;
111:     ADCON0 = 0X81;
112:     ADCON1 = 0x85;           // A/D voltage reference is VCC
113:     TRISA = 0b00001111;
114:     TRISB = 0b00000001;
115:     TRISC = 0b00000011;     // PORTA C ENTRADA PARA BOTAO
116:     TRISD = 0b00000000;
117:     TRISE = 0X00;
118:     OPTION_REG.INTEDG = 1; //interrupt on falling edge ch = erro_atual / 100
00;
119:     INTCON.INTE = 1;         //enable external interrupt
120:     INTCON.GIE = 1;         //enable global interrupt
121:     oldstate=0;

```

```
122:     oldstatal=0;
123:
124:     inicializa_lcd();
125:
126:     while (1) {
127:         if (ZC){ //zero crossing
128:             if (delay_triac < 9){delay_triac = 9;}
129:             if (delay_triac > 79){delay_triac = 79;}
130:             for(i=0;i<delay_triac;i++){delay_us(100);}
131:             PORTB.B1 = 1;
132:             delay_us(150);
133:             PORTB.B1 = 0;
134:             ZC = 0;
135:         }
136:         botao_setpoint();
137:         if (ctg == 36){
138:             PORTB.B2 = ~PORTB.B2;
139:             sensor_AD();
140:             controle_digital();
141:             if ((T >= (TEMP_SP-1)) && (T<=(TEMP_SP+1))){
142:                 PORTB.B4=0;
143:                 PORTB.B3=1;
144:             }
145:             else if(T>=45) {
146:                 PORTB.B4=1;
147:                 PORTB.B3=0;
148:             }
149:             else {
150:                 PORTB.B4=1;
151:                 PORTB.B3=1;
152:             }
153:             ctg=0;
154:         }
155:     }
156: }
```