



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**UNIDADE ARAXÁ**

**BRUNO HENRIQUE DE CARVALHO**

**CHUVEIRO AUTOMATIZADO COM MICROCONTROLADOR PIC**

**ARAXÁ - MG**

**2018**

**BRUNO HENRIQUE DE CARVALHO**

**CHUVEIRO AUTOMATIZADO COM MICROCONTROLADOR PIC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Me. Frederico Duarte Fagundes

**ARAXÁ - MG**

**2018**

**BRUNO HENRIQUE DE CARVALHO**

**CHUVEIRO AUTOMATIZADO COM MICROCONTROLADOR PIC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá  
como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Automação Industrial

Defesa: Araxá, 11 de dezembro de 2018.

**BANCA AVALIADORA**

---

Me. FREDERICO DUARTE FAGUNDES - Orientador  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

---

Dr. KLÉBER LOPES FONTOURA - Avaliador Titular  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

---

Me. MAICON FERNANDO DIAS TORRES - Avaliador Titular  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

---

Eng. CARLOS DIAS DA SILVA JUNIOR - Avaliador Suplente  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

## **DEDICO ESTE TRABALHO**

Aos meus pais, à minha esposa e à minha irmã,  
que sempre me fizeram acreditar no meu potencial  
para realização dos meus sonhos, a fim de concretizá-los.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela vida e por iluminar os meus caminhos com a presença de pessoas tão especiais. Por me dar forças para vencer os momentos difíceis, coragem para continuar superando as dificuldades e paciência para não me entregar ao desânimo diante das minhas fraquezas.

À minha mãe Iris Marilda Martins Carvalho e ao meu Pai José Antônio filho, que me propiciaram o dom da vida, para assim conseguir vencer mais este desafio. Eles sempre se fizeram presentes e me deram total apoio.

À minha esposa Lélia Cristina da Silva Carvalho pelo apoio, incentivo e carinho a mim dirigidos nesse percurso.

À minha irmã Paula Daniele Carvalho, por estar sempre ao meu lado, dando forças para a conclusão do curso.

Ao Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá-MG, seu corpo docente, a parte administrativa e a direção, que me deram essa oportunidade de desenvolvimento intelectual, ajudando-me nesta nova etapa profissional de minha vida.

Aos meus orientadores Prof. Me. Frederico Duarte Fagundes e Profa. Dra. Jalmira Fiuza, que não economizaram esforços, assim como estrutura e incentivo necessários para que eu finalizasse este trabalho.

E, por fim, a todos os amigos e colegas que, de alguma forma, contribuíram para o meu desenvolvimento nessa minha trajetória discente.

## RESUMO

Neste trabalho, foi desenvolvido um dispositivo para controle digital de temperatura da água que sai do chuveiro, por meio do qual o usuário pode escolher, através de um teclado numérico, a temperatura desejada para o banho. Essa temperatura é apresentada em um display de cristal líquido e o sistema de controle inteligente se encarrega de manter a mesma constante, independentemente de uma alteração na vazão da água, possibilitando a estabilidade da temperatura para o usuário do sistema. De forma prática, realizou-se a programação em um micro controlador PIC16F877A, associado a um circuito de controle de potência, para o controle de temperatura em malha fechada. Demonstrou-se o emprego de conhecimentos em automação, aplicados às residências, que recebe o nome de “domótica”, e não apenas à indústria, possibilitando um maior conforto ao usuário durante o banho. Com este sistema, o tempo necessário para atingir a temperatura desejada é bem mais rápido do que o chuveiro convencional, dado que, uma vez atingida a temperatura solicitada, o sistema aplica apenas a potência necessária para manter a temperatura. Dessa forma, o sistema mantém uma temperatura adequada para o usuário e com vazão de água constante, diferente dos chuveiros convencionais, que dispõem apenas de três regulagens de temperaturas pré-definidas, sendo essas responsáveis pelo consumo de energia.

**Palavras-chave:** Domótica. Chuveiro Automatizado. Microprocessadores.

## ABSTRACT

In this work, a device was developed for digital temperature control of the water coming out of the shower, through which the user can choose, through a numeric keypad, the desired temperature for the bath. This temperature is displayed on a liquid crystal display and the intelligent will take care of keeping the same constant, regardless of a change in water flow, allowing the stability of the temperature for the user of the system. In a practical way, the programming was performed in a microcontroller PIC16F877A, associated with a power control circuit, for closed-loop temperature control. It was demonstrated the use of knowledge in automation, applied to the residences that receives the name of "home automation", and not only to the industry, allowing a greater comfort to the user during the bath. With this system, the time required to reach the desired temperature is much faster than the conventional shower, given that, once the desired temperature is reached, the system only applies the power required to maintain the temperature. In this way, the system maintains a suitable temperature for the user and with constant water flow, unlike the conventional showers, which only have three preset temperature settings, being those responsible for energy consumption.

**Keywords:** Home automation. Automatic Shower. Microprocessors.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Componentes utilizados. ....	11
FIGURA 2 - Elementos que compõem um chuveiro.....	13
FIGURA 3 - Funcionamento básico do tiristor.....	14
FIGURA 6 - Disparo com ângulos de fase diferentes.....	15
FIGURA 7 - Disparo com ângulos de fase diferentes.....	16
FIGURA 8 - Curvas de ajuste.....	16
FIGURA 9 - Sensor de Temperatura PT100. ....	18
FIGURA 10 - Diagrama básico do controle em malha aberta. ....	21
FIGURA 11 - Diagrama básico do controle em malha fechada.....	21
FIGURA 12 - Hardware da Interface. ....	22
FIGURA 13 - Pinagem PIC16F877A. ....	26
FIGURA 14 - Chuveiro Lorenzetti Max Ducha.....	26
FIGURA 15 - Teclado Matricial de Membrana.....	27
FIGURA 16 - Linhas e Colunas do Teclado Matricial de Membrana. ....	28
FIGURA 17 - Display de Cristal Líquido. ....	28
FIGURA 18 - Tela de montagem do circuito Proteus 8 Professional.....	30
FIGURA 19 - Tela de programação MPLAB X IDE v3.26. ....	31
FIGURA 20 - Circuito de Potência.....	31
FIGURA 21 - Circuito microcontrolador PIC16F877A. ....	32
FIGURA 22 - Circuito de interface com usuário. ....	33
FIGURA 23 - Organização das trilhas no Proteus.....	33
FIGURA 24 - Placa de circuito impresso corroída.....	34
FIGURA 25 - Componentes soldados na placa.....	34
FIGURA 26 - Caixa de comando com circuito.....	34
FIGURA 27 - Caixa de comando montada. ....	35
FIGURA 28 - Montagem do sensor no chuveiro.....	35
FIGURA 29 - Sensor montado no chuveiro.....	36
FIGURA 30 - Projeto pronto. ....	36
FIGURA 31 - Optoacoplador H11AA1.....	37
FIGURA 32 - Sensor de Temperatura vista inferior.....	38
FIGURA 33 - Sensor de Temperatura vista superior.....	38
FIGURA 34 - Corrente do sistema em funcionamento.....	39



FIGURA 35 - Corrente do sistema em funcionamento. ....	39
FIGURA 36 - Interface de operação do protótipo. ....	39
FIGURA 37 - Interface de operação do protótipo. ....	40
FIGURA 38 - Gráfico de estabilização 30°C. ....	40
FIGURA 39 - Gráfico de estabilização 28°C. ....	40
TABELA 1 - Variação da Resistência com a temperatura para bulbo de resistência (PT-100) .....	19
TABELA 2 - Controle de disparo do TRIAC para o controle da temperatura .....	30

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Chuveiro Elétrico .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Dispositivos de Controle de Potência.....</b>	<b>13</b>
2.2.1 TIRISTORES .....	14
2.2.2 TRIODE FOR ALTERNATING CURRENT (TRIAC) .....	15
2.2.3 SENSOR DE TEMPERATURA.....	17
<b>2.3 Sistemas de Controle .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 MALHAS DE CONTROLE .....	20
<b>2.4 Trabalhos Correlacionados.....</b>	<b>22</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Materiais e Métodos.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Microcontrolador.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Chuveiro .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4 Sensor de Temperatura .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 Teclado .....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 Display de Cristal Líquido .....</b>	<b>28</b>
<b>3.7 Funcionamento .....</b>	<b>29</b>
<b>3.8 Desenvolvimento .....</b>	<b>30</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

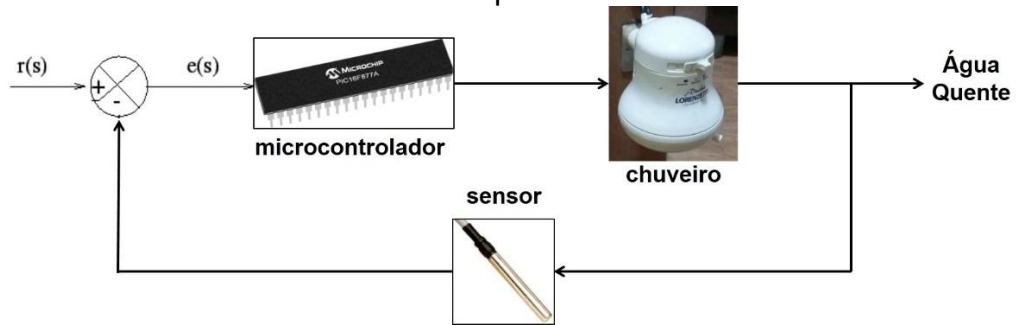
O controle e a automação residencial recebe o nome de “domótica”, cujas inovações têm o intuito de trazer maior comodidade, facilidade e conforto para a vida das pessoas.

Com o aumento da utilização da eletrônica nos mais variados produtos é possível programar sistemas que proporcionem maior economia de energia elétrica e maior comodidade para o usuário. Por meio do estudo de sistemas microprocessados, levantou-se a possibilidade de automatizar um chuveiro elétrico com controle por microcontrolador PIC. Nessa medida, foram feitas pesquisas sobre quais seriam os melhores componentes para aplicação e funcionamento do protótipo, dado que, para os chuveiros elétricos residenciais convencionais, o ajuste de temperatura da água é feito por meio de uma chave com três posições: inverno, verão e desligado; outra opção seria regulando o fluxo de água, conseqüentemente, haverá um maior consumo de água. Além dos chuveiros convencionais, já existe no mercado uma “evolução” do chuveiro elétrico, o qual se distingue por ser um modelo com controle analógico de temperatura, no qual há aplicação da eletrônica de potência, exemplo disso seria a Ducha Eletrônica Master Banho da Zagonel. No entanto, esse último caso, trata-se de um modelo sem controle realimentado (malha fechada), uma vez que o usuário se utiliza de um potenciômetro para efetuar o controle gradativo da temperatura.

Em vista desse cenário, neste trabalho desenvolveu-se um dispositivo para controle digital de temperatura da água que sai do chuveiro, por meio do qual o usuário poderá escolher a temperatura desejada para o banho através de um sistema de controle inteligente, o qual se encarregará de manter constante a temperatura da água, independentemente de uma alteração na vazão da água, possibilitando um maior conforto térmico para o usuário do sistema. Para isso, o usuário conta com um teclado matricial para escolha do *Set Point* (temperatura desejada), sendo ela apresentada em um display de cristal líquido.

Na FIG. 1 é possível verificar a imagem ilustrativa do projeto.

FIGURA 1 - Componentes utilizados.



Em geral, não é muito comum as pessoas saberem que temperatura em graus celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) lhes propiciará um banho agradável. Em vista disso, por intermédio do dispositivo desenvolvido neste trabalho, a partir da segunda utilização no chuveiro automatizado, ter-se-á uma melhor referência de qual temperatura proporcionará uma sensação térmica agradável durante o banho. Logo, com esse sistema, o usuário terá um maior conforto durante o banho, como a correção automática da temperatura diante de oscilações externas e das variações na vazão da água.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Chuveiro Elétrico

O ato de tomar banho é uma cultura bem antiga. Acredita-se que os egípcios já tinham esse hábito a mais de 3.000 anos. Era como um ritual sagrado, no sentido de purificar o espírito através da limpeza do corpo. Para alguns estudiosos, essa prática ajudou a afastar a civilização egípcia de pragas e de doenças comuns na época (ELETRORIO, 2016).

A influência grega na civilização romana aprimorou a ideia do banho com a criação das termas, constituídas por edifícios divididos em piscinas, saunas e vestiários. Há registros que no século XV, chuveiros eram usados nas saídas dos encanamentos. Após a 2ª Guerra Mundial se tornou mais fácil aquecer a água em casa. Com isso, houve a disseminação de chuveiros por toda a Europa. Antes da chegada dos europeus ao Brasil, os indígenas já tinham o costume de se banhar em rios, cachoeiras, entre outros (ELETRORIO, 2016).

Foram necessários avanços na área de engenharia e tecnologia para que o banho se tornasse um hábito mais agradável para as pessoas. Até o início do século XX, tomar banho de chuveiro, principalmente aquecido, em um banheiro da própria casa era privilégio para poucos. Surgiram então no Brasil os primeiros protótipos de chuveiros elétricos, pois boa parte do país já contava a energia elétrica (ELETRORIO, 2016).

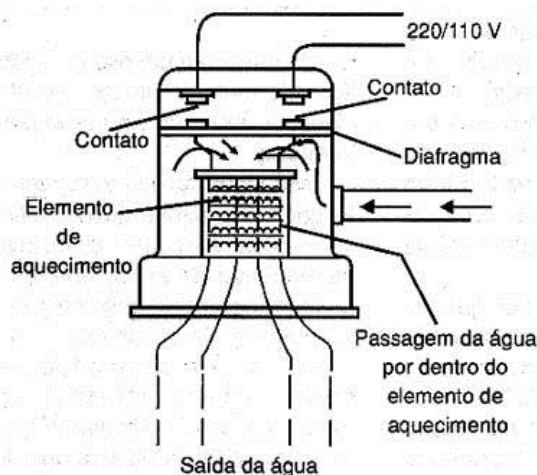
Com o tempo, criaram os chuveiros de materiais plásticos, por serem mais baratos e seguros em comparação aos de metal, utilizando resistências blindadas e adequando-os cada vez mais às normas de segurança. Mais à frente, surgiu o chuveiro com controle eletrônico de temperatura. A partir daí, o uso de tecnologia nos chuveiros elétricos propiciou uma regulagem mais precisa, podendo ser ajustado com o chuveiro em funcionamento sem o risco de choques elétricos. Tudo isso, através de um potenciômetro de ajuste de temperatura instalado mais próximo do usuário, visando a facilitar seu acesso (ELETRORIO, 2016).

Segundo Braga (1999), o chuveiro elétrico é um dispositivo com uma câmara de plástico ou metal, dentro da qual existe uma resistência elétrica feita de metais com alto ponto de fusão, como níquel e cromo, que necessita ser energizada para transmitir o calor à água por contato dentro da câmara do chuveiro. O

funcionamento dele ocorre com a energização feita por meio do aumento do fluxo de água, que empurra um diafragma contido na câmara, elevando, então, os contatos elétricos que fecharão o circuito, energizando a resistência. Dessa forma, a corrente elétrica passa pela resistência causando o aquecimento da mesma, a qual, pelo processo de condução (efeito joule), aquece a água da câmara. Após fechar a torneira, a água perde volume e pressão, deixando de empurrar o diafragma e liberando os contatos elétricos, desenergizando o chuveiro.

Os principais componentes de um chuveiro são mostrados na FIG. 2. Na parte externa e superior dos chuveiros elétricos convencionais, existe uma chave de seleção de duas ou três posições que serve para ajustar a temperatura do chuveiro, através da alteração da potência que será usada pela resistência. Essa alteração só deve ser feita sem fluxo de água, devido ao risco de choque elétrico (BRAGA, 1999).

FIGURA 2 - Elementos que compõem um chuveiro.



Fonte: BRAGA (2011).

## 2.2 Dispositivos de Controle de Potência

“A eletrônica de potência pode ser definida como a aplicação da eletrônica de estado sólido para o controle e conversão da energia elétrica” (RASHID, 1999, p. 1). Em vista dessa definição, sabe-se que o desenvolvimento dos dispositivos semicondutores de potência trouxeram uma evolução rápida para a eletrônica de potência, uma vez que esses dispositivos oferecem alta confiabilidade e são de pequeno porte, podendo chavear altas correntes em altas tensões. Com a aplicação desses componentes a área de abrangência se expandiu muito (AHMED, 2000, p. 14).

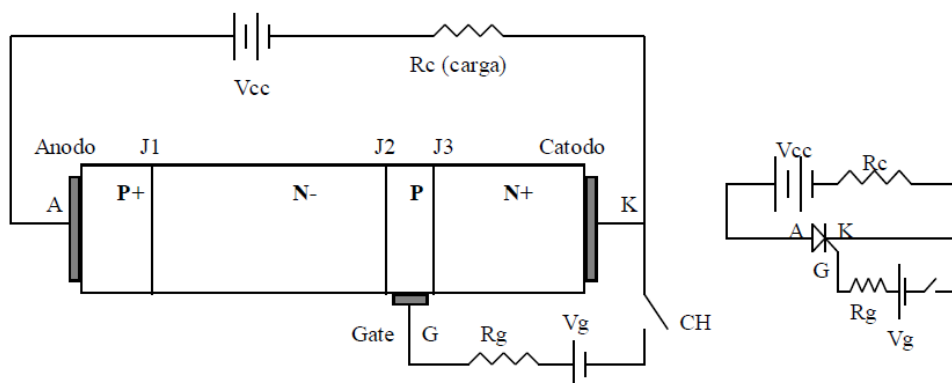
Os dispositivos de chaveamento são comuns a todos os circuitos de eletrônica de potência. Idealmente, o controle da corrente nesses dispositivos é muito parecido ao modo como as válvulas controlam o fluxo dos fluidos: não apresentarão resistência no estado ABERTO; no caso FECHADO não há passagem de corrente. Como aponta Rashid (1999, p. 1), o desenvolvimento da tecnologia de microprocessadores / microcomputadores teve grande impacto no controle e na sintetização da estratégia de controle para os dispositivos semicondutores de potência (FITZGERALD, 2006, p. 471).

## 2.2.1 TIRISTORES

O tiristor engloba uma série de dispositivos semicondutores que operam em regime chaveado, contendo uma estrutura de quatro camadas semicondutoras. Essas camadas operam numa sequência p-n-p-n, gerando um funcionamento biestável. O tiristor mais usado é o Retificador Controlado de Silício (SCR). Outros componentes possuem basicamente a mesma estrutura, como por exemplo: Tiristor triodo bidirecional (TRIAC), Tiristor controlado por MOS (MCT), SCR ativado por luz (LASCR) também chamado de Light Triggered Thyristor (LTT), Tiristor diodo bidirecional (DIAC) e tiristor comutável pela porta (GTO) (AHMED, 2000).

Segundo Pomilio (2007), o tiristor é formado por quatro camadas semicondutoras, alternadamente p-n-p-n, composto por três terminais: anodo e catodo, por onde flui a corrente, e a porta (ou *gate*) que por meio de uma injeção de corrente, estabelece a corrente anódica. Abaixo, a FIG. 3 mostra uma estrutura simplificada do dispositivo.

FIGURA 3 - Funcionamento básico do tiristor.



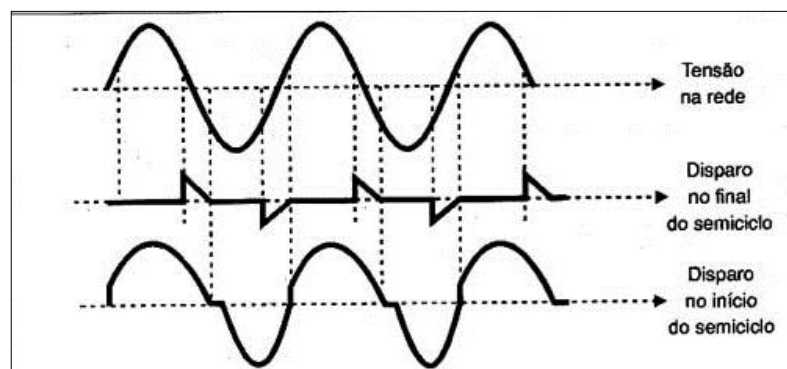
Fonte: POMILIO (2007).

### 2.2.2 TRIODE FOR ALTERNATING CURRENT (TRIAC)

O TRIAC funciona, essencialmente, igual a uma chave; sendo um dispositivo eletrônico de potência que permite trabalhar com tensão alternada, possibilitando a condução de energia ao receber um sinal. Desse modo, é possível controlar o nível de energia que é enviado, fazendo os disparos no ângulo desejado (AHMED, 2000; ALBUQUERQUE, 2012).

Através do disparo em diversos pontos do sinal senoidal da rede de energia, é possível aplicar a uma carga potências diferentes. O disparo, então, é feito no início do semiciclo. Assim, ele pode ser conduzido para a carga recebendo essa maior potência. Se o disparo for feito no final do semiciclo, uma pequena parcela da energia será conduzida, operando a carga com reduzida potência. Na FIG. 6 é ilustrado o que ocorre (AHMED, 2000; ALBUQUERQUE, 2012; BRAGA, 2010).

FIGURA 6 - Disparo com ângulos de fase diferentes.

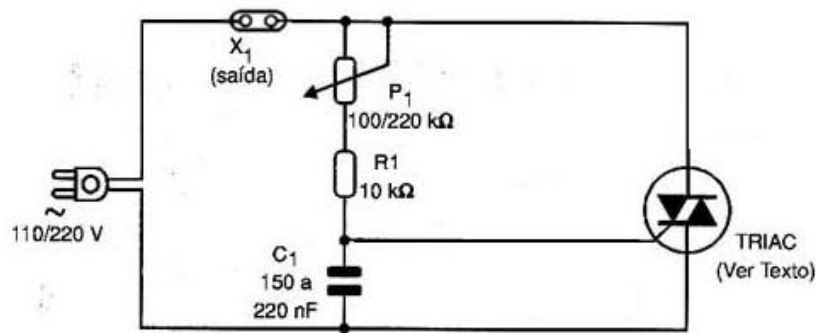


Fonte: BRAGA (2010).

O uso de uma rede RC de retardo, na qual R é variável, é necessário para disparar o TRIAC em diversos pontos dos semiciclos da energia da rede. Dessa forma, ocorre a passagem de uma maior parcela do semiciclo da energia da rede e o disparo ocorre no seu final. Já com o R na posição de mínimo, a carga de C1 é rápida e o disparo do TRIAC ocorre no início do semiciclo, tendo, assim, a condição de máxima potência aplicada à carga, conforme mostrado na FIG. 7 (BRAGA, 2010).



FIGURA 7 - Disparo com ângulos de fase diferentes.



Fonte: BRAGA (2010, adaptado pelo autor).

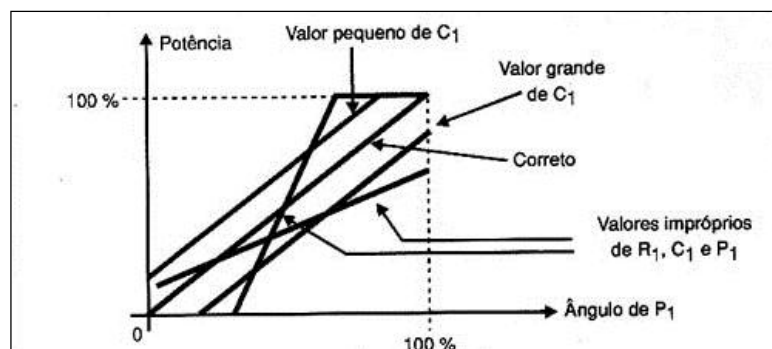
É possível ter o controle total da potência aplicada a uma carga, variando de maneira linear entre os pontos de máximo e de mínimo. Para o uso desse tipo de circuito no controle de motores, uma característica muito importante é que, como o controle é feito por meio de parcelas do semiciclo aplicado, e não pela tensão, o torque se mantém o mesmo em baixas velocidades.

Importante ressaltar que a faixa de controle depende, entre outros, dos valores dos componentes utilizados; por exemplo:

- utilizando-se valores impróprios dos componentes, fará com que o ângulo de disparo fique muito baixo, não deixando o sistema nem se quer atingir a potência máxima;
- em outros momentos, pode-se atingir a potência máxima antes do tempo, havendo a necessidade da otimização do circuito, conforme mostrado na FIG. 8, com os componentes bem dimensionados, obtendo o máximo de proveito do circuito.

O TRIAC foi utilizado como componente eletrônico de potência, dado que permite ser chaveado com tensão contínua, podendo energizar o circuito do chuveiro em tensão alternada.

FIGURA 8 - Curvas de ajuste.



Fonte: BRAGA (2010).

### 2.2.3 SENSOR DE TEMPERATURA

Fabricados com fios de alta pureza de níquel, cobre e platina, os termômetros de resistência são sensores de temperatura que operam baseados no princípio da variação da resistência elétrica de um metal, em função da temperatura. A relação de resistência e temperatura majoritariamente linear; a elevada estabilidade mecânica e térmica; a resistência à contaminação; o alto sinal elétrico de saída; e, ainda, o desvio com o uso e o envelhecimento desprezíveis, enumeram as características essenciais de um sensor de temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2010).

A variação da resistência elétrica de um metal em função da temperatura pode ser representada pela expressão:

$$R(t) = R_0 \times (1 + a_t)$$

Onde:

$R(t)$  = Resistência Elétrica à temperatura  $t$ ;

$R_0$  = Resistência Elétrica à temperatura  $0^\circ\text{C}$ ;

$a$  = Coeficiente de variação da resistência elétrica em função da temperatura, medido em  $^\circ\text{C}$ ;

$t$  = Temperatura, medida em  $^\circ\text{C}$ .

Dentre os metais, aqueles que se mostram mais adequados para a utilização na termometria são:

- Liga de Rh99,5% x Fe0,5%: utilizada para a medição de temperatura na faixa de 0,5K a 25K ( $-272,65^\circ\text{C}$  a  $-248,15^\circ\text{C}$ );
- Cobre: utilizado para a medição de temperatura na faixa de 193,15K a 533,15K 9 ( $-80^\circ\text{C}$  a  $260^\circ\text{C}$ ). Esse possui uma linearidade de  $0,1^\circ\text{C}$  em um intervalo de temperatura de  $200^\circ\text{C}$ . Entretanto, sua baixa resistência à oxidação limita a sua faixa de temperatura de utilização.
- Níquel: utilizado para a medição de temperatura na faixa de 213,15K a 453,15K ( $-60^\circ\text{C}$  a  $180^\circ\text{C}$ ). Os principais atrativos no seu emprego são seu baixo custo e sua alta sensibilidade. A principal desvantagem é a baixa linearidade.
- Platina: empregado para a medição de temperatura na faixa de 25K a 1235K ( $-248^\circ\text{C}$  a  $962^\circ\text{C}$ ). É o metal mais utilizado na construção de termômetros de

resistência, pela sua ampla faixa de utilização, boa linearidade e melhor resistência à oxidação.

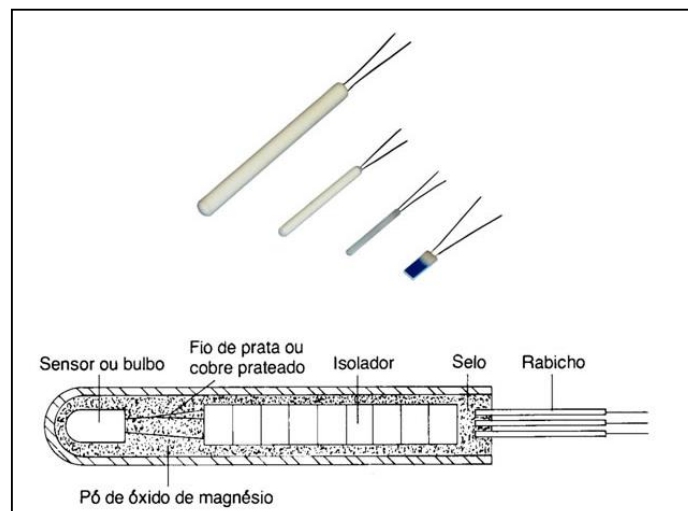
Entre esses materiais, o mais empregado é a platina, pois apresenta:

- a) uma ampla escala de temperatura;
- b) uma alta resistividade que permite uma maior sensibilidade;
- c) um alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura;
- d) uma boa linearidade Resistência x Temperatura;
- e) rigidez e ductilidade para ser transformada em fios finos;
- f) é obtida em forma puríssima.

Padronizou-se, então, a termoresistência de platina (GRUPO ECIL, s.d.).

Os sensores de temperatura PT-100, que podem ser construídos com os materiais mencionados, são mais utilizados industrialmente, devido a sua grande estabilidade, larga faixa de emprego e alta precisão. Os elementos necessários à construção de um PT-100 podem ser visualizados na FIG. 9. Salienta-se que, devido à alta estabilidade das termoresistências de platina, essas são empregadas como padrão de temperatura na faixa de  $-270^{\circ}\text{C}$  a  $660^{\circ}\text{C}$ . Outro fator importante de ser mencionado é a repetitividade que é a característica de confiabilidade da termoresistência. Em vista disso, as vantagens na utilização do PT-100 são: maior precisão dentro da faixa de utilização do que os outros sensores; com ligação adequada não existe limitação para distância de operação; dispensa utilização de fiação especial para ligação; entre outras (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2010; GRUPO ECIL, s.d.).

FIGURA 9 - Sensor de Temperatura PT100.



Fonte: GRUPO ECIL (s.d.).

A TAB. 1 demonstra as equivalências de um sensor de temperatura PT-100, no qual cada temperatura em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) corresponde a um valor de resistências em ohms ( $\Omega$ ).

TABELA 1  
Variação da Resistência com a temperatura para bulbo de resistência (PT-100).

$^{\circ}\text{C}$ ITS-90	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$^{\circ}\text{C}$ ITS-90
RESISTÊNCIA EM Ohms												
-200	18.52											-200
-190	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.38	18.95	18.52	-190
-180	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	22.83	-180
-170	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	27.10	-170
-160	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	31.34	-160
-150	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.64	37.22	36.80	36.38	35.96	35.54	-150
-140	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	39.72	-140
-130	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	43.88	-130
-120	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	48.00	-120
-110	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	52.11	-110
-100	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	56.19	-100
-90	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	60.26	-90
-80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70	64.30	-80
-70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	68.33	-70
-60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	72.33	-60
-50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	76.33	-50
-40	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	80.31	-40
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	84.27	-30
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	88.22	-20
-10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55	92.16	-10
0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	96.09	0
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	103.90	0
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	107.79	10
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	111.67	20
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	115.54	30
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	119.40	40
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	123.24	50
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	127.08	60
70	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	130.90	70
80	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	134.71	80
90	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	138.51	90
100	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	142.29	100

Fonte: GRUPO ECIL (s.d., adaptado pelo autor).

### 2.3 Sistemas de Controle

Sistema de controle pode ser definido como um equipamento ou conjunto de componentes que comandam o comportamento de outros dispositivos, buscando sempre atingir um parâmetro desejado.

Os autores Dorf e Bishop (2001, p. 3) citam o início da história do controle automático com os primeiros registros entre 300 a 1 a.C., momento no qual apareceram com o desenvolvimento do mecanismo regulador de boia na Grécia, além de outras aplicações nesse período. O primeiro controlador automático com retroação usado em um processo industrial foi aceito como sendo o regulador de

esferas de James Watt, desenvolvido, em 1769, para controlar a velocidade de máquinas a vapor.

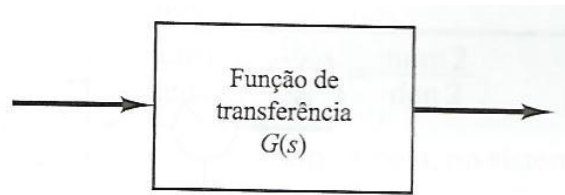
Os marcos históricos relativos ao desenvolvimento de Sistemas de Controle foram:

- 1769 - Desenvolvimento da máquina a vapor e do regulador de esferas de James Watt;
- 1800 - O conceito de intercambiabilidade de partes manufaturadas de Eli Whitney, o qual foi demonstrado na fabricação de mosquetões;
- 1868 - J. C. Maxwell formulou um modelo matemático para o controle regulador de uma máquina a vapor;
- 1913 - Introdução da máquina de montagem mecanizada de Henry Ford;
- 1927 - H. W. Bode analisou amplificadores com retroação;
- 1932 - H. Nyquist desenvolveu um método para analisar a estabilidade de sistemas;
- 1952 - Comando Numérico (CN) elaborado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts;
- 1954 - George Devol desenvolveu a “transferência programada de itens”;
- 1960 - Introduziu o primeiro robô Unimate;
- 1970 - Elaboraram-se os modelos em variáveis de estado e de controle ótimo;
- 1980 - Estudou-se amplamente o projeto de sistemas de controle robusto;
- 1990 - As empresas orientadas para a exportação de produtos manufaturados enfatizaram a automação;
- 1994 - O controle com retroação passa a ser utilizado amplamente nos automóveis.

### 2.3.1 MALHAS DE CONTROLE

Segundo Ogata (2011), o controle em malha aberta consiste em aplicar um sinal de controle pré-determinado, esperando-se que, ao final de um determinado tempo, a variável controlada atinja um determinado valor ou apresente um determinado comportamento. Nesse tipo de sistema de controle, não são utilizadas informações sobre a evolução do processo para se estabelecer o sinal de controle a ser aplicado em um instante estipulado. Mais especificamente, o sinal de controle não é calculado a partir de uma medição do sinal de saída. O diagrama básico de um sistema de controle em malha aberta é mostrado na FIG. 10.

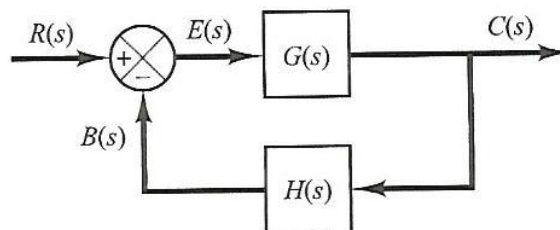
FIGURA 10 - Diagrama básico do controle em malha aberta.



Fonte: OGATA (2011).

Importante salientar que, no controle em malha fechada, para que se determine o sinal de controle a ser aplicado ao processo, em um instante delimitado, são necessárias informações sobre como a saída de controle evolui. Isso é feito a partir de uma realimentação, ou seja, dados coletados na saída do processo (utilizando-se de elementos e técnicas de instrumentação) são comparados pelo controlador com um valor de *set point*, desse modo, pode-se otimizar a resposta do sistema. O desvio entre esses dois sinais, chamado de erro, é utilizado para determinar o sinal de controle que deve efetivamente ser aplicado ao processo, visando a estabilidade do processo em tempo real. O diagrama básico de um sistema de controle em malha fechada é indicado na FIG. 11.

FIGURA 11 - Diagrama básico do controle em malha fechada.



Fonte: OGATA (2011).

Considerando as particularidades de cada sistema, existe um grande número de técnicas de controle que podem ser adequadas ou não à determinados sistemas. Entre essas técnicas, está o compensador proporcional, que aplica um fator de multiplicação ao erro para gerar o sinal atuante no sistema (MAYA, LEONARDI; 2011). Nesse trabalho, utilizou-se uma adaptação do compensador proporcional, com o erro gerando valores para o sinal atuante em degraus (ver seção 3.7). Essa adaptação foi necessária devido à particularidade do controle de potência em questão.

## 2.4 Trabalhos Correlacionados

Segundo Perussolo e Amancio (2014), a construção do Chuveiro Inteligente, o qual foi desenvolvido para uso residencial, permite o controle digital de temperatura, a medição do consumo de água, a medição do consumo de energia elétrica e a especificação do tempo de banho. Há nele uma interface de controle em que são apresentadas as informações de consumo de água e de energia elétrica do chuveiro, as opções de configurações de temperatura da água e o tempo limite de banho. Por meio desse sistema, o usuário tem a vantagem de obter conforto de forma econômica e sustentável, uma vez que o chuveiro só aplica a potência necessária para alcançar e manter uma temperatura de água estabelecida durante um tempo de banho pré-determinado, diferentemente dos modelos convencionais, que dispõem de três regulagens apenas. Hardware do projeto mostrado na FIG. 12.

FIGURA 12 - Hardware da Interface.



Fonte: PERUSSOLO e AMANCIO (2014).

Já Kulkamp e Formighieri (2007), em seu relatório sobre o chuveiro microcontrolado, tiveram como objetivo a criação de um chuveiro com Controle Inteligente, por meio do qual o usuário poderia controlar a temperatura da água. Esse controle seria em malha fechada, ou seja, haveria a leitura, através de sensor, do valor de temperatura no momento de utilização. A leitura da temperatura é relevante para o controle automático do sistema, pois determina, após sua realização, no momento de utilização, se o chuveiro deveria aquecer mais ou menos a água. Importante destacar que através da interface de operação, o usuário poderia, também, verificar a temperatura da água.

Porém, no projeto de Kulkamp e Formighieri, apareceram problemas na implementação do circuito retificador, o que provocou a queima de componentes usados no detector de cruzamento por zero externo. Além disso, problemas no tratamento de interrupções no microcontrolador Atmega128 impossibilitaram que se chegasse aos resultados esperados.



### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais e Métodos

Para a elaboração do protótipo proposto neste trabalho utilizou-se:

- 1 Display de Cristal Líquido
- 1 Teclado Matricial
- 1 Micro controlador PIC 16F877A
- 1 Optoacoplador Detector de Passagem por zero - H11AA1
- 1 Optoacoplador - MOC3020
- 1 TRIAC (componente eletrônico de potência) - BTA41 (capacidade 41A)
- 1 Chuveiro Elétrico
- 1 Sensor de Temperatura PT-100

Com o auxílio dos softwares de programação e simulação, MPLAB X IDE e Proteus, efetivou-se a montagem dos circuitos e a programação para simulações, o que permitiu uma visão mais palpável sobre a criação desse protótipo.

Para o desenvolvimento do projeto, após os estudos e as simulações mencionados, foram seguidas as seguintes etapas:

- 1º. Aquisição dos componentes;
- 2º. Confeção dos circuitos necessários;
- 3º. Montagem do protótipo;
- 4º. Testes com o protótipo;
- 5º. Observação dos resultados, relatando os problemas encontrados, as possíveis falhas e as dificuldades encontradas para a conclusão do projeto. Quando necessário, retornou-se às etapas anteriores.

#### 3.2 Microcontrolador

Em conformidade com Bezerra (2004), um microcontrolador é um sistema computacional completo, no qual estão incluídos: *Central Processor Unit* (CPU); memória; sistema de *clock*; sinais I/Os (Input/Output); além de outros possíveis periféricos, como módulos de temporização e conversores A/D, entre outros, os quais estão integrados em um mesmo componente (chip).

Escolheu-se o PIC16F877A para a montagem desse projeto, devido às características que esse modelo de microcontrolador possui, como, por exemplo:

- a) a quantidade de entradas e saídas;
- b) a afinidade com microcontrolador por parte do projetista, entre outras.

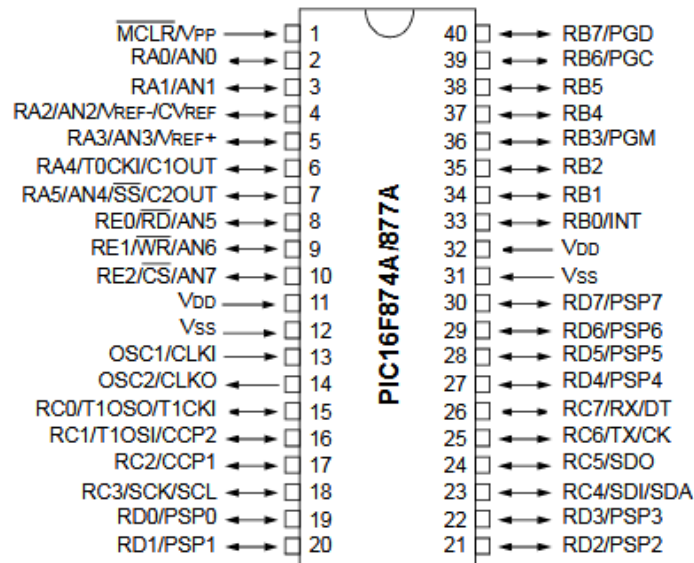
Essas características são suficientes para atender às necessidades do projeto.

O microcontrolador PIC16F877A possuiu as seguintes propriedades, conforme apresentado pela empresa MICROCHIP (2003):

- 40 pinos, o que possibilita a montagem de um hardware complexo e capaz de interagir com diversos recursos e funções ao mesmo tempo;
- Via de programação com 14 bits e 35 instruções;
- 33 portas configuráveis como entrada ou saída;
- 15 interrupções disponíveis;
- Memória de programação EEPROM FLASH, a qual permite a gravação rápida do programa diversas vezes no mesmo chip;
- Memória de programa com 8kwords, com capacidade de escrita e leitura pelo próprio código interno;
- Memória EEPROM (não-volátil) interna com 256 bytes;
- Memória RAM com 368 bytes;
- Três Timers (2x8 bits e 1x16 bits);
- Comunicações seriais: SPI, PC e USART;
- Conversores analógicos de 10 bits (8x) e comparadores analógicos (2x);
- Dois módulos CCP: Capture, Compare e PWM;
- Programação in-circuit (alta e baixa tensão);
- Power-on Reset (POR) interno;
- Brown-out Reset (BOR) interno.

A estrutura de conexão (portas) do microcontrolador pode ser visualizada na FIG. 13.

FIGURA 13 - Pinagem PIC16F877A.



Fonte: MICROCHIP (2003).

### 3.3 Chuveiro

Conforme mencionado na introdução deste trabalho, o objetivo deste projeto é controlar eletronicamente, através de um sistema microprocessado, a temperatura de um chuveiro, sendo o chuveiro utilizado no projeto o Lorenzetti Max Ducha, com uma tensão de alimentação 127V e potência de 5500W, como ilustrado na FIG. 14.

FIGURA 14 - Chuveiro Lorenzetti Max Ducha.



Fonte: Próprio Autor.

### 3.4 Sensor de Temperatura

Para realizar o controle digital de temperatura, foi necessária a escolha de um sensor de temperatura adequado para ser instalado dentro do chuveiro. O sensor escolhido e utilizado, inicialmente, no desenvolvimento do projeto, foi o LM-35, porém foi substituído por uma termoresistência PT-100. O motivo dessa troca será detalhado na seção 4, Resultados e Discussões.

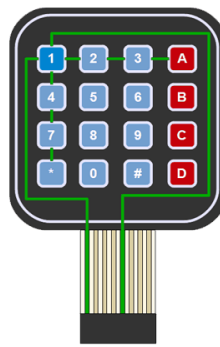
### 3.5 Teclado

O teclado utilizado no projeto, no qual o usuário digita o valor da temperatura desejado, foi o Teclado Matricial de membrana com 16 teclas (4x4), no padrão telefônico, conforme FIG. 15. As especificações desse teclado são:

- Teclas: 16
- Conector: 8 pinos (2,54mm)
- Montagem: Autoadesivo
- Limites de Operação: 35VDC, 100mA
- Tempos de Contato: 5ms
- Temperatura de Funcionamento: 0 – 70°C
- Tamanho: 69x77x0,8mm
- Comprimento do cabo: 86mm
- Peso: 10g

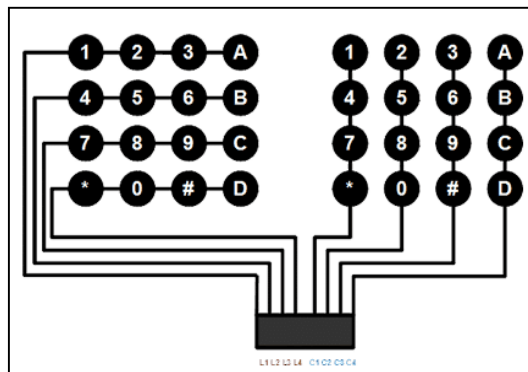
Conforme as teclas são pressionadas no teclado, é alterado o nível lógico nos pinos equivalentes à linha e à coluna da tecla, conforme FIG. 16.

FIGURA 15 - Teclado Matricial de Membrana.



Fonte: BUENO (2018).

FIGURA 16 - Linhas e Colunas do Teclado Matricial de Membrana.



Fonte: BUENO (2018).

Nesse projeto, não se utilizou da última coluna (A, B, C, e D), pois não se fez necessário. As teclas Asterisco (\*) e Sustenido (#) funcionaram, respectivamente, como: inicialização do comando de teclas e finalização do comando de teclas.

### 3.6 Display de Cristal Líquido

Empregou-se também, para o desenvolvimento desse projeto, um display LCD alfanumérico com duas linhas de 16 caracteres cada, sendo muito conhecido por ser o mesmo utilizado em telefones públicos, conforme FIG. 17. Esse display possui um drive de controle interno, o qual se comunica por meio de um protocolo específico.

FIGURA 17 - Display de Cristal Líquido.



Fonte: Próprio Autor.

Neste trabalho, o display LCD serve como interface com o usuário, uma vez que, tendo em vista a temperatura escolhida, após ser digitada no teclado matricial, ela é apresentada no display. Além da temperatura, é mostrado, na segunda linha do display, o valor medido pelo sensor de temperatura PT-100, para a realização da constante comparação com a temperatura escolhida pelo usuário, sendo assim aplicado um controle em malha fechada.

### 3.7 Funcionamento

O funcionamento básico do chuveiro automatizado permanece o mesmo dos chuveiros elétricos convencionais. Ao abrir a torneira, a água entra na câmara de aquecimento. Com o aumento do fluxo de água, um diafragma é movimentado, fechando, então, os contatos elétricos entre a rede elétrica e a resistência. Ocorre, nesse momento, a energização do chuveiro. Dessa forma, a corrente elétrica passa pela resistência, causando o aquecimento, dado que ela, pelo processo de condução (efeito joule), aquece a água da câmara.

O que muda, nesse projeto, é a forma de controle de aquecimento da água, uma vez que aqui é feita através de um circuito de controle automático em malha fechada, a qual é possibilitada devido ao sensor de temperatura que foi instalado na câmara de aquecimento. Para tanto, foi projetado um controlador automático utilizando PIC16F877A, no qual a lógica do sistema recebe o valor de temperatura do processo em tempo real, compara com o *set point* (valor desejado) e envia a quantidade de potência necessária para aquecer a água.

Com o auxílio do componente optoacoplador H11AA1, que é um detector de passagem por zero que analisa a senóide da rede alternada de energia elétrica, foi construída uma tabela para controlar a potência. Sabendo em que momento a senóide passa pelo ponto zero, controlam-se os tempos de disparo do TRIAC, que é o componente eletrônico de potência, sendo que, quanto maior for a diferença entre o *set point* e o valor medido, maior deverá ser o tempo de condução do TRIAC. Em outros termos, uma maior potência sendo enviada ao circuito, o disparo sendo feito no início do semiciclo da senóide da tensão alternada, toda energia sendo conduzida para a carga, criado então um controle proporcional senoidal.

Conforme essa diferença for diminuindo, menor será o tempo de condução do TRIAC, em consequência, enviando uma menor potência para a carga. Por seu turno, quando o disparo ocorre no final do semiciclo da senóide da tensão alternada, uma pequena parcela da energia será conduzida. Um ponto positivo desse componente é a possibilidade de ser chaveado com tensão contínua e trabalhar com tensão alternada em sua entrada e saída. Os valores de referência são mostrados na TAB. 2.

Os tempos de condução da tabela 2 são frações de um semiciclo da senóide da rede alternada (60 Hz equivale a um período de 16600  $\mu$ s, logo o semiciclo equivale a 8800  $\mu$ s).

TABELA 2  
Controle de disparo do TRIAC para o controle da temperatura.

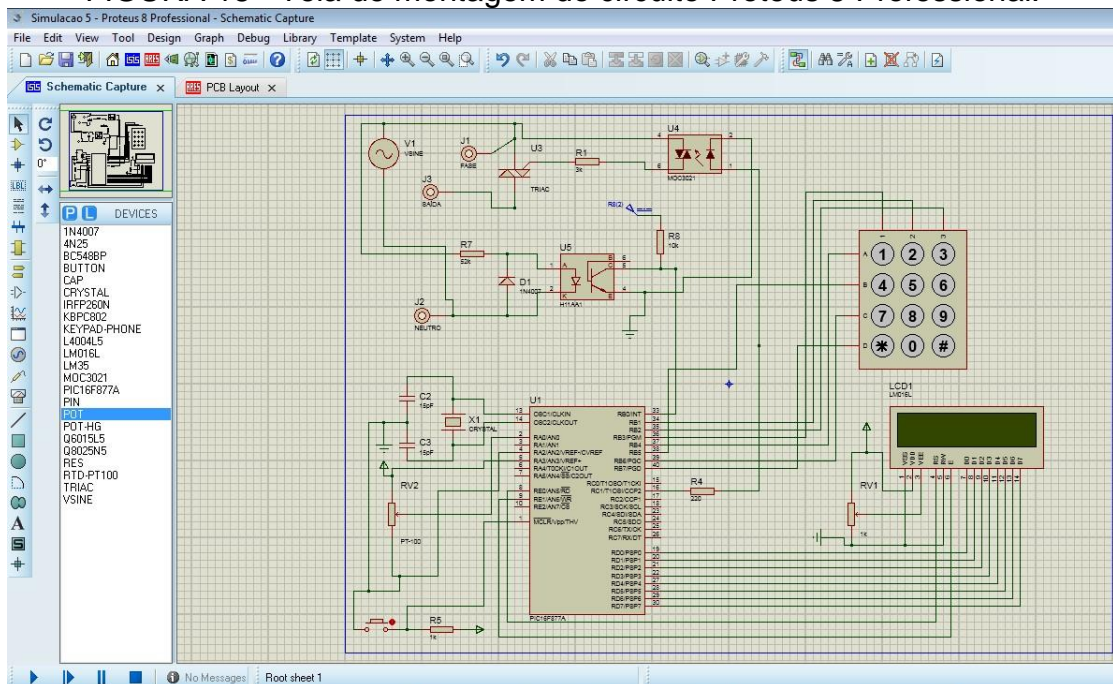
Variação de temperatura ( $\Delta = SP - PT-100$ )	Tempo de condução TRIAC ( $\mu$ s)
$\Delta > 4,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	7500
$4,5 > \Delta > 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	5000
$2,5 > \Delta > 1,1 \text{ } ^\circ\text{C}$	3000
$1,1 > \Delta > 0,7 \text{ } ^\circ\text{C}$	2000
$0,7 > \Delta > 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$	1500
$0,3 > \Delta > 0,0 \text{ } ^\circ\text{C}$	1000

Fonte: Próprio Autor.

### 3.8 Desenvolvimento

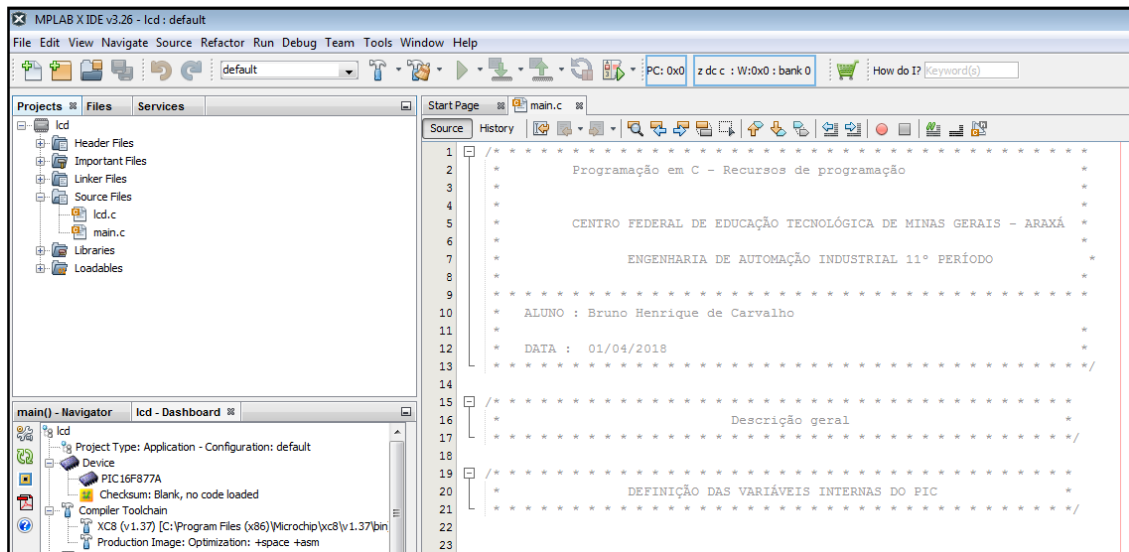
O circuito desenvolvido no software Proteus é indicado na FIG. 18. A tela de programação no software MPLAB X IDE v3.26 é apresentada na FIG. 19.

FIGURA 18 - Tela de montagem do circuito Proteus 8 Professional.



Fonte: Próprio Autor.

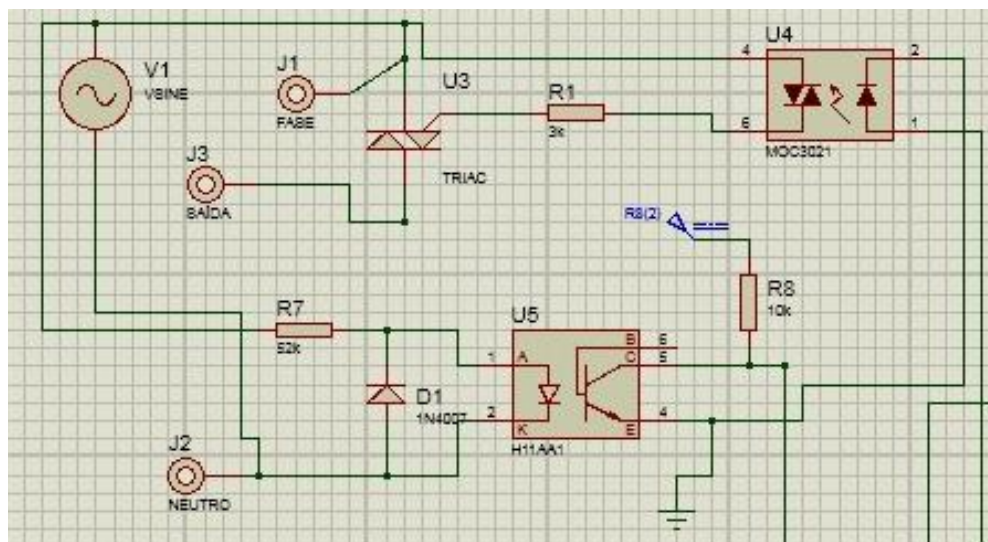
FIGURA 19 - Tela de programação MPLAB X IDE v3.26.



Fonte: Próprio Autor.

Na FIG. 20 é exibido o circuito de potência, no qual é empregado o TRIAC, que é o componente eletônico de potência selecionado. O Triac é chaveado com tensão contínua por meio do optoacoplador MOC3020, o que permite a condução de tensão alternada por meio da qual ele é alimentado. O componente U5, na imagem, representa o Detector de Passagem por zero, o qual identifica o momento que a senóide da tensão alternada passa pelo ponto zero. Esse momento será utilizado para o controle do ponto correto para chaveamento do TRIAC, podendo, assim, enviar maior ou menor potência ao chuveiro.

FIGURA 20 - Circuito de Potência.

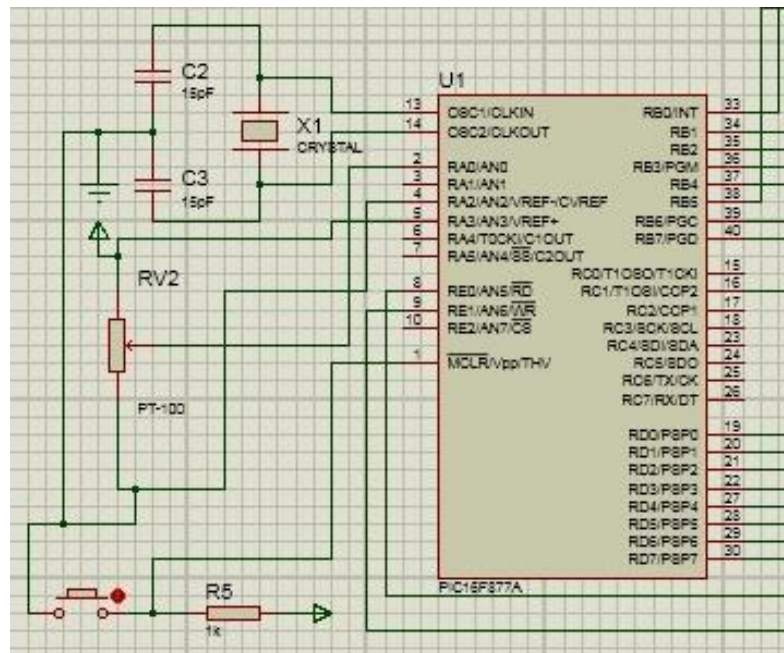


Fonte: Próprio Autor.



Já a FIG. 21 mostra o microcontrolador PIC16F877A, no qual o componente U2 simula o sensor de temperatura. É no microcontrolador que é feita toda a lógica de controle automático, sendo que, ao receber a informação de temperatura no sistema, o programa criado identificará a necessidade de enviar mais ou menos potência para o chuveiro, fazendo, assim, um controle de temperatura em malha fechada.

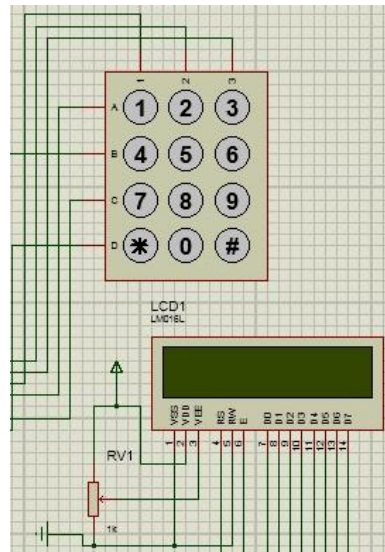
FIGURA 21 - Circuito microcontrolador PIC16F877A.



Fonte: Próprio Autor.

A FIG. 22 expõe a parte do circuito que é a interface do usuário, a qual permite a visualização e a entrada de novos valores de temperatura para o sistema. Por meio de um Display de Cristal Líquido, é possível o usuário visualizar a temperatura real do sistema e o *set point*, que é alterado através do teclado matricial de membrana, sendo facilitada a operação para o uso do equipamento, sendo este apenas um protótipo por isso esta interface foi montada próximo ao chuveiro, mas sendo possível a sua montagem fora da área úmida, deixando apenas o teclado de membrana que vem inclusive com uma cola adesiva no verso, permitindo fixação próximo a uma área de alta umidade.

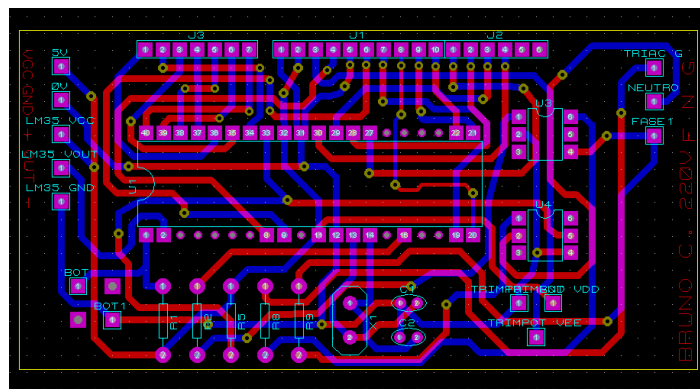
FIGURA 22 - Circuito de interface com usuário.



Fonte: Próprio Autor.

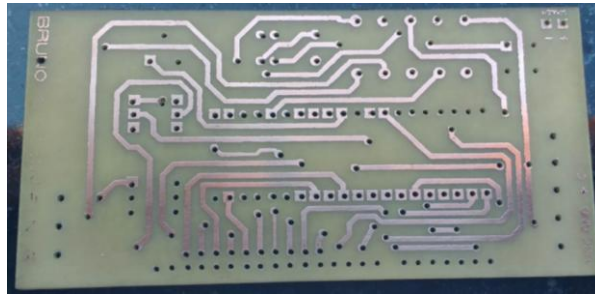
Após a montagem e os testes, tudo ocorreu conforme o esperado no software Proteus, dado que foi nesse software que foi projetada a placa de circuito impresso para confecção, evidenciado na FIG. 23. As trilhas são organizadas, impressas em papel couché, com impressora a laser, para serem transferidas para a placa de fenolite, com cobertura de cobre. Essa imagem é passada para placa de fenolite, com cobertura de cobre, através do aquecimento do papel impresso em contato com a placa. Após esse processo, é empregada uma solução ácida de perclorato de ferro para efetuar a corrosão. Na FIG. 24 apresenta-se o resultado da preparação da placa.

FIGURA 23 - Organização das trilhas no Proteus.



Fonte: Próprio Autor.

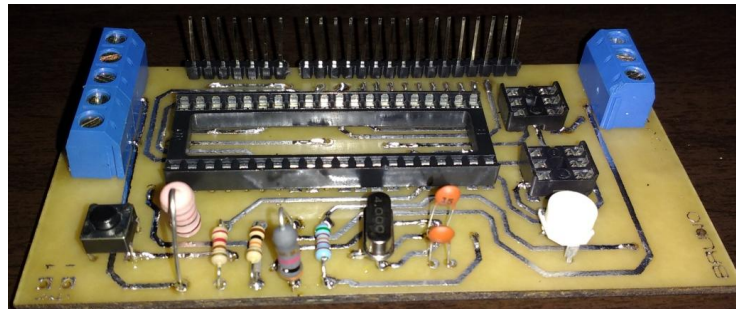
FIGURA 24 - Placa de circuito impresso corroída.



Fonte: Próprio Autor.

Finalizado a preparação da placa, soldaram-se os componentes que constituem o circuito, como mostra a FIG. 25.

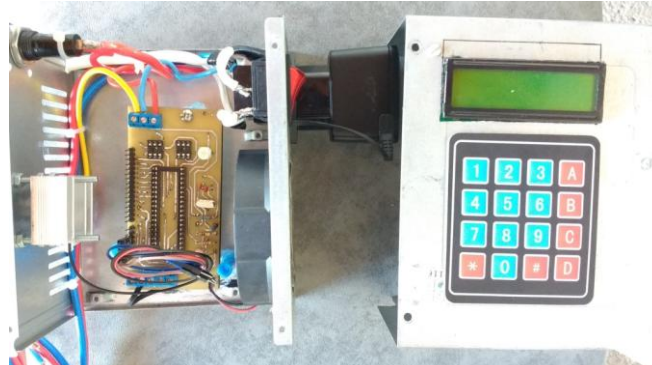
FIGURA 25 - Componentes soldados na placa.



Fonte: Próprio Autor.

Com os componentes já soldados na placa, foi aproveitada uma caixa de uma fonte de tensão de computador. Essa, por sua vez, foi escolhida por apresentar uma construção que ajuda na dissipação do calor produzido pelo TRIAC, tendo ainda um local estratégico para instalação do *cooler*. Na parte superior da caixa, foi possível posicionar muito bem o display e teclado do projeto, como exposto nas FIG. 26 e FIG. 27.

FIGURA 26 - Caixa de comando com circuito.



Fonte: Próprio Autor.

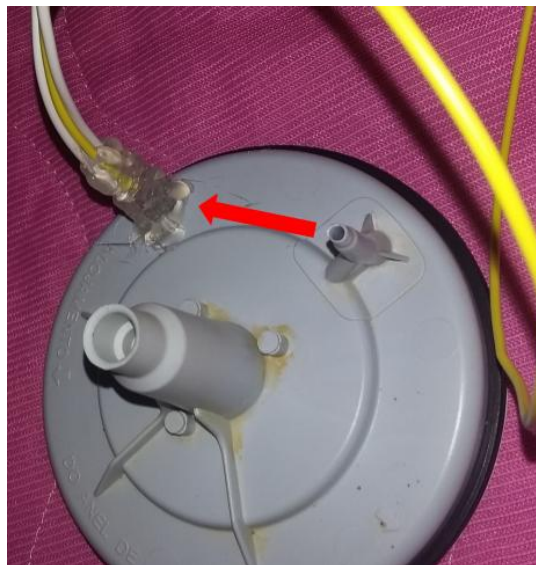
FIGURA 27 - Caixa de comando montada.



Fonte: Próprio Autor.

Após as montagens do circuito e do comando, foi instalado o sensor de temperatura no chuveiro, o qual é responsável por informar a temperatura que a água do chuveiro estará em tempo real. Somente com a instalação desse sensor foi possível o controle em malha fechada, uma vez que, por meio dele, o sistema fará a comparação entre o *set point* e o valor que se encontra em um determinado momento do processo, controlando, assim, a temperatura desejada da água do chuveiro. A instalação do sensor pode ser visualizada nas FIG. 28 e FIG. 29.

FIGURA 28 - Montagem do sensor no chuveiro.



Fonte: Próprio Autor.

FIGURA 29 - Sensor montado no chuveiro.



Fonte: Próprio Autor.

Após a instalação, a montagem de todos os componentes mencionados anteriormente, e tendo o circuito de comando e o circuito de potência prontos, chegou-se finalmente ao protótipo apresentado na FIG. 30.

FIGURA 30 - Projeto pronto.



Fonte: Próprio Autor.

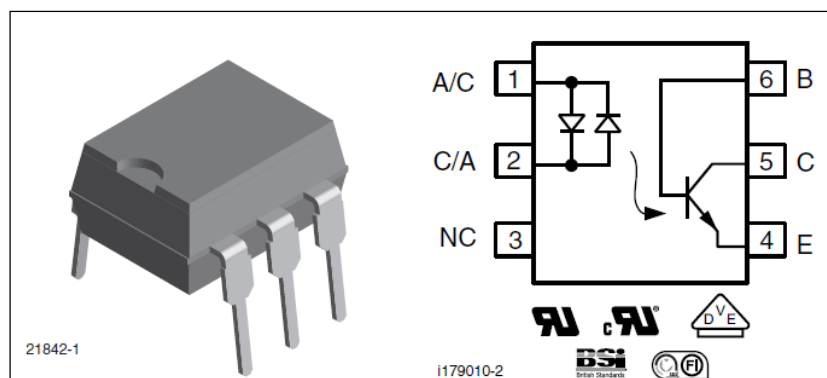
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento do projeto, algumas dificuldades surgiram. A primeira delas foi com relação ao Teclado Matricial. Em sua varredura, era esperado que ele identificasse qual tecla foi pressionada pelo usuário, o que não ocorreu. Foi, então, criado um código de programação, no qual o sistema fazia a varredura das linhas e das colunas do teclado, para identificar qual tecla havia sido pressionada.

Após a resolução desse primeiro problema, o segundo encontrado foi a identificação de quais componentes usar. Levantados os componentes necessários, buscou-se literaturas e informações mais detalhadas sobre o funcionamento de cada um. Na sequência, iniciou-se a montagem, no software Proteus, do circuito, para simulação eletrônica. Nas simulações realizadas com o programa Proteus, tudo funcionava perfeitamente, mas, no teste prático, não se obteve o resultado esperado. No teste prático, o projeto não funcionou, uma vez que os componentes utilizados no software não eram exatamente como os encontrados no mercado. Por isso, outros testes foram feitos até se chegar ao correto funcionamento do projeto.

A terceira dificuldade encontrada foi na programação, com relação à sincronização do Timer com o tempo para o disparo do TRIAC, o qual visa controlar a potência que seria enviada ao sistema. Não se obteve essa sincronização. Desse modo, visando sanar essa dificuldade, utilizou-se o componente Optoacoplador H11AA1, detector de passagem por zero. Confira FIG. 31.

FIGURA 31 - Optoacoplador H11AA1.

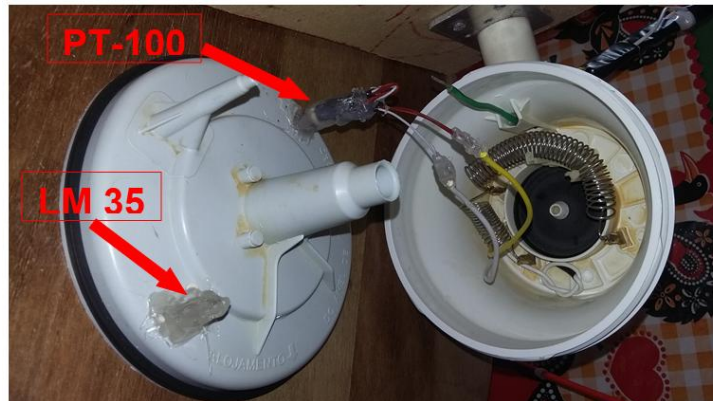


Fonte: VISHAY (2011).

A quarta dificuldade surgiu com relação ao sensor de temperatura, Inicialmente foi empregado o LM35, porém ele apresentou extrema sensibilidade ao

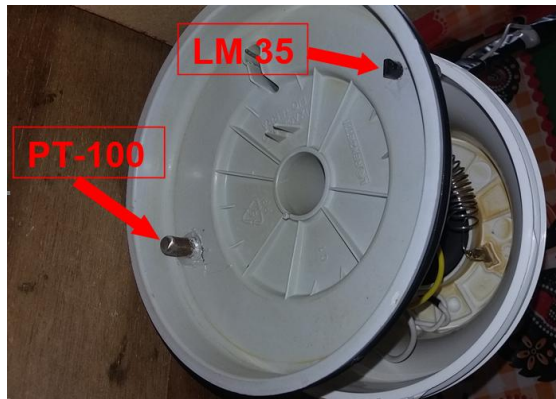
ruído, gerando uma difícil estabilização na medição. A partir dessa condição, decidiu-se substituí-lo por um sensor tipo termoresistência PT-100, o qual apresentou um nível de oscilação bem menor. Esse tipo de sensor é muito utilizado na indústria devido a sua robustez e precisão. As FIG. 32 e 33 apresentam o sensor de temperatura:

FIGURA 32 - Sensor de Temperatura vista inferior.



Fonte: Próprio Autor.

FIGURA 33 - Sensor de Temperatura vista superior.



Fonte: Próprio Autor.

O protótipo foi limitado para não funcionar com a potência máxima do chuveiro através da chave de seleção de temperaturas (verão, inverno e desligado). Essa chave não foi removida do chuveiro, devido ao sistema trabalhar com uma corrente muito alta, uma vez que, com o chuveiro na metade da potência, já se atingiu correntes médias em torno de 34,0 A, conforme FIG. 34 e FIG. 35.

FIGURA 34 - Corrente do sistema em funcionamento.



Fonte: Próprio Autor.

FIGURA 35 - Corrente do sistema em funcionamento.



Fonte: Próprio Autor.

Depois de realizadas todas as correções, o protótipo mostrou-se muito efetivo no controle de temperatura, como mostra a FIG. 36 e a FIG. 37 e os gráficos de estabilização na FIG. 38 e FIG. 39. Nelas, verifica-se que as variações de temperatura ficaram com uma tolerância na faixa de 1%. Na FIG. 38 o tempo de acomodação foi de 48 segundos, pouco mais que o dobro do tempo de acomodação visto na FIG. 39. Esta diferença se justifica devido à diferença do set point com a temperatura inicial.

FIGURA 36 - Interface de operação do protótipo.



Fonte: Próprio Autor.



FIGURA 37 - Interface de operação do protótipo.



Fonte: Próprio Autor.

FIGURA 38 - Gráfico de estabilização 30°C.

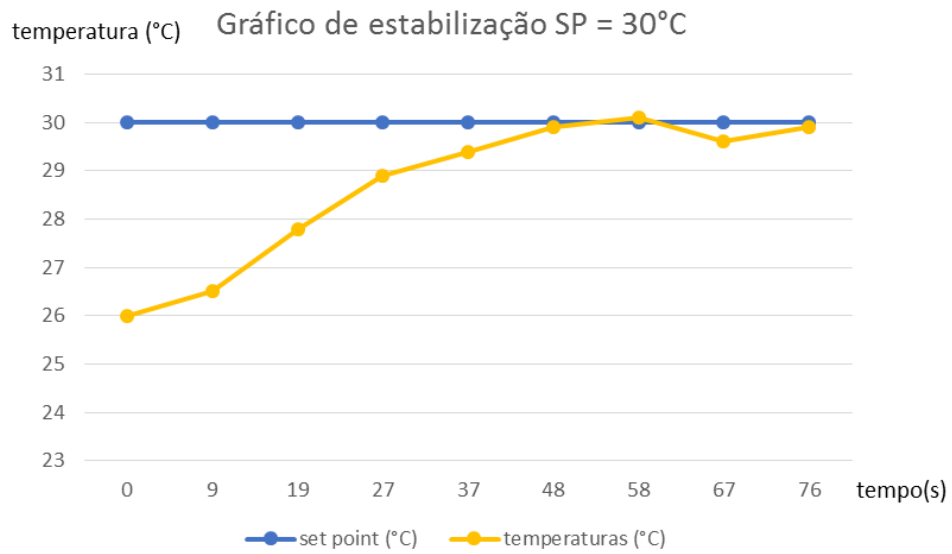
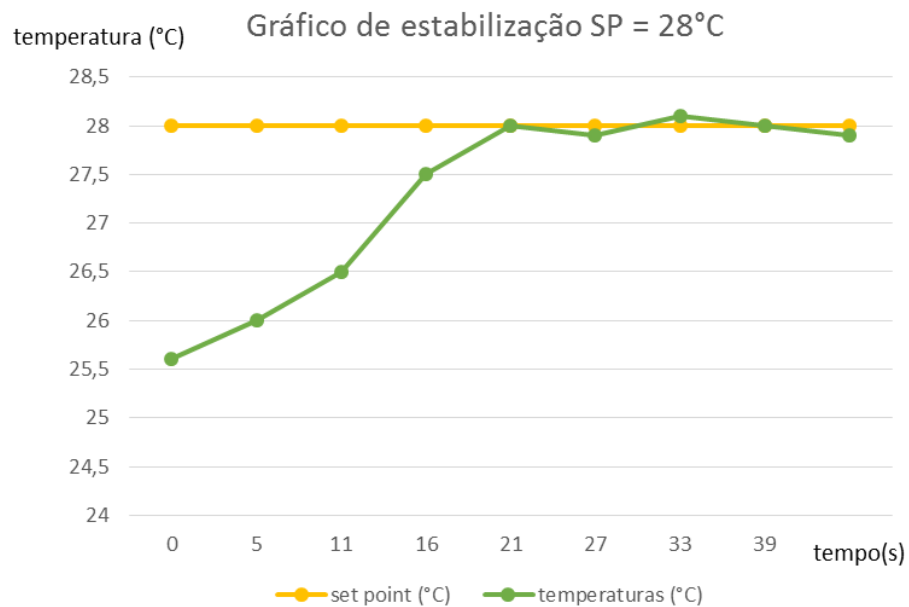


FIGURA 39 - Gráfico de estabilização 28°C.



Os testes foram limitados à potência média do chuveiro, devido à limitação do circuito de potência. O vídeo sobre o protótipo em funcionamento pode ser assistido pelo site YouTube, link <https://youtu.be/KaNryJA6mxs>.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Objetivou-se, com o presente trabalho, realizar um controle de temperatura em malha fechada, empregando esse controle por meio da automação de um chuveiro elétrico convencional, utilizando-se, para tanto, de um controlador microprocessado PIC16F877A. Por meio desse, o usuário, através de um teclado matricial, pode escolher a temperatura desejada para se tomar banho. O sistema de controle criado, como mostrado, se encarrega de controlar o envio de potência necessária para se aquecer a temperatura da água até atingir o *set point* solicitado pelo usuário.

Uma vantagem que este trabalho tem com relação aos demais projetos citados, é que com um controle simples como o que foi criado, atingiu-se sucesso e eficiência no controle da temperatura.

Vale ressaltar a importância de várias matérias vistas durante o curso, as quais foram essenciais para conclusão deste trabalho com sucesso, vários conhecimentos foram adquiridos principalmente com relação à programação do PIC16F877A e dos demais componentes utilizados na montagem do projeto.

O perfeito funcionamento deste projeto propicia, em relação aos chuveiros convencionais, uma economia de energia, pois, ao atingir a temperatura desejada, o sistema elaborado se encarrega de apenas manter a temperatura da água, sendo assim o consumo de potência será mínimo, conforme foi projetado para trabalhar. Quando a diferença entre a temperatura solicitada e o valor real for menor que 1°C, o protótipo consome potência mínima, isto devido ao controle em malha fechada proposto.

As ferramentas e os softwares utilizados para a montagem e a elaboração deste estudo se mostraram eficientes, necessários e de grande valia para a elaboração e a finalização do projeto, que funcionou conforme o planejado.

Tendo em vista os resultados obtidos neste estudo, posteriormente, será possível, ainda, implantar afinamentos de controle de processos PID para melhoria na performance do sistema de controle de temperatura estudado.

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistemas**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.
- AHMED, A. **Eletrônica de potência**. São Paulo: Pearson, 2000. 479 p.
- ALBUQUERQUE, Rômulo Oliveira. **Utilizando Eletrônica com AO, SCR, TRIAC, UJT, PUT, CI 555, LDR, LED, IGBT e FET de Potência**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2012.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010-2011. 2 v.
- BEZERRA, Prof. Ph.D. Eduardo Augusto. **Estudo sobre o microcontrolador 8051 para o gerenciamento de operações em cartões SmartCard**. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2004.
- BRAGA, Newton C. **Chuveiro eletrônico**. 1996. Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/projetos/3206-art435>. Acesso em: 07 mar. 2018.
- BRAGA, Newton C. **Instalações Elétricas sem Mistérios**. São Paulo: Saber, 1999.
- BRAGA, Newton C. **Como funciona o chuveiro elétrico**. 2011. Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/2936-el033>. Acesso em: 21 mar. 2018.
- BRAGA, Newton C. **Controle de potência com TRIAC**. 2010. Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/projetos/1025-controle-de-potencia-com-triac-art149>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- BUENO, C. **RaspberryPI - Lendo teclado matricial 4x4 com Python**. 2015. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/raspsberrypi-teclado-4x4-com-python/>. Acesso em: 15 mar. 2018.
- DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Moderno**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2001.
- ELETRORIO. **História do Chuveiro elétrico**. Disponível em: <http://www.eletrorio.com/dicas/13/histria-do-chuveiro-eltrico/>. Acesso em: 20 de setembro de 2016
- FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. D. **Máquinas elétricas: com introdução à eletrônica de potência**. Porto Alegre: Bookman, 2006. xiii, 648 p.
- GRUPO ECIL. **Conhecimentos Técnicos sobre Sensores PT 100**. s.d. Disponível em: <http://www.ecil.com.br/temperatura-industrial/sensores-pt100/>. Acesso em: 10 mar. 2018.

GRUPO ECIL. **Tabela de variação da resistência com a temperatura para bulbo de resistência (PT 100)**. s.d. Disponível em: <http://Www.Ecil.Com.Br/Temperatura-Industrial/Tabelas-De-Correlacao/Tabela-De-Correlacao-Para-Termorresistencia-Pt-100/>. Acesso em: 10 mar. 2018.

KÜLKAMP, D. C.; FORMIGHIERI, S. **Chuveiro Microcontrolado** - Relatório do Trabalho Final. UFSC. 2007. Disponível em: <http://www.lisha.ufsc.br/teaching/mpl/ine5349-2007-1/work/g1/trabfinal/relatoriochuveiro.pdf>. Acesso em: 24 maio 2016.

MAYA, Paulo Álvaro; LEONARDI, Fabrizio. **Controle essencial**. Ed Pearson Prentice Hall, 2011.

MICROCHIP. **PIC16F87XA Data Sheet**: 28/40/44-Pin Enhanced Microcontrollers. Microchip Technology Inc, 2003. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2018.

MIRANDA, F. C. P. R. **Identificação de sistemas em malha fechada usando controlador preditivo multivariável: um caso industrial**. São Paulo: USP, 2005.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Tradução de Heloísa Coimbra de Souza. 5. ed. 1. reimp. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 809 p.

OLIVEIRA, A Luiz de Lima. **Instrumentação**: Fundamentos de Controle de Processo. SENAI/CST - ES: [s.n.], 1999. 72 p.

ORENSTEIN, L. P. **Procedimento para identificação de sistemas dinâmicos em ambiente industrial**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2013.

PERUSSOLO, João Paulo; AMANCIO, Marcus Vinicius Garcia. **Chuveiro Inteligente**. 2014. 69 f. TCC (Chuveiro Inteligente - Engenharia Eletrônica) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2014.

POMILIO, José Antenor. **EE-833 Eletrônica de Potência**: Tiristores e Retificadores Controlados. Módulo 2 - FEEC-UNICAMP: [s.n.], 2007. 22 p.

RASHID, M. H. **Eletrônica de potência**: circuitos, dispositivos e aplicações. São Paulo: Makron Books, c1999. 828 p.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais**: Fundamentos e Aplicações. 7.ed. São Paulo: Érica, 2010.

VISHAY. **H11AA1**: Semiconductors. Optocoupler, Phototransistor Output, AC Input, with Base Connection. Document Number: 83608. Rev. 1.7, 23 fev. 2011. Disponível em: <http://www.vishay.com/docs/83608/h11aa1.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2018.