

**GILBERTO CARLOS ARNAUTS**

**AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DE UM MISTURADOR DE ÁGUA UTILIZADO  
PARA HIGIENIZAÇÃO DE ORDENHADEIRAS BOVINAS**

**CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
MARÇO - 2015**

**GILBERTO CARLOS ARNAUTS**

**AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DE UM MISTURADOR DE ÁGUA UTILIZADO  
PARA HIGIENIZAÇÃO DE ORDENHADEIRAS BOVINAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura para obtenção do título de Mestre.

Professor Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

Professor Coorientador: Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira.

**CASCADEL**  
**PARANÁ – BRASIL**  
**MARÇO – 2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

A769a

Arnauts, Gilberto Carlos

Automação no controle de um misturador de água utilizado para higienização de ordenhadeiras bovinas./Gilberto Carlos Arnauts. Cascavel, 2015.

60 p.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira  
Coorientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na  
Agricultura

1. Automação. 2. Higienização. 3. Ordenhadeira. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 636.2083

**GILBERTO CARLOS ARNAUTS**

**“Automação no controle de um misturador de água utilizado  
para higienização de ordenhadeiras bovinas”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:   
Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel

  
Prof. Dr. Ricardo Lessa Azevedo  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel

  
Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Medianeira

Cascavel, 03 de março de 2015.

## Dedicatória

Aos meus pais, Stanislau Arnauts e Lucia Wercke Arnauts, pelo apoio, exemplo e dedicação.

**Dedico!**

## **Agradecimento**

À Deus, por me dar vida e saúde;

À minha família, pelo apoio, incentivo e paciência, especialmente aos meus pais e à minha irmã Ivonete Arnauts e sua família por cederem o local para o experimento.

À minha irmã Teresinha Arnauts e sua família por incentivar nos estudos.

Ao professor Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, pela orientação e colaboração;

À secretária do PPGEA, Vanderléia Luzia Stockmann Schmidt, pela atenção e zelo com o programa de mestrado;

Aos demais professores não citados neste momento, mas importantes nesta caminhada;

Aos meus colegas de mestrado, companheiros de bares pela descontração nas horas mais necessárias;

Aos colegas de trabalho das empresas *Wealth Systems* e *DASA*, especialmente ao Cristiano Junior de Oliveira, Fernando Luiz Tetu, Gustavo Paulo Bilert, Fagner Wilkem Mateus, Luan Muller, Mario Sérgio Rossafa, Marcelo Palauro Oldoni, Marcio Henrique Soares, Diego Robles Vieira Ribeiro, Josimar Postal, Franciele Cavalheiro, Anderson Matoso, Eduardo da Silva, Mariana Scur, Giovana Ludovico, Aires Galina Junior, Dorival Santana, Ayala Martins, Cecília Vanin, Matheus Batista Martins e a todos os amigos de São Carlos por apoiarem nesta dupla jornada de trabalho e estudos.

À Unioeste, por oferecer o programa de Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura;

A todos os amigos que fiz nesta Universidade.

A todos que colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho;

**Obrigado!**

ARNAUTS, Gilberto C., M. Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2015. **AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DE UM MISTURADOR DE ÁGUA UTILIZADO PARA HIGIENIZAÇÃO DE ORDENHADEIRAS BOVINAS.** Professor Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

## RESUMO

A higienização de ordenhadeiras é necessária após sua utilização, processo geralmente separado em etapas onde cada uma delas necessita de água em diferentes temperaturas, para a correta limpeza. Porém, obter a temperatura correta para cada etapa não é tão simples de ser realizado manualmente em propriedades rurais. A partir de uma vazão de água quente e outro de água fria, o agricultor precisará misturar corretamente as duas vazões de água a fim de chegar a uma temperatura desejada para a etapa de higienização, e devido às oscilações de temperatura e vazão, é necessária a constante intervenção do mesmo para manter a temperatura ideal da mistura. Neste trabalho foi desenvolvido um misturador com controle automático de vazão de água fria, acoplado a um sistema de aquecimento elétrico, com o objetivo de se chegar a uma temperatura ideal final necessária à higienização das ordenhadeiras, independentemente das oscilações de temperatura e vazão na entrada. Foram comparadas 2 placas de controle, o Arduino e o IOIO. Durante os primeiros segundos de funcionamento do sistema, o ângulo de abertura do registro de água fria é calculado com base nas temperaturas de água quente e fria. Após isto é realizado ajuste gradativo no ângulo. A temperatura foi considerada como alcançada quando atingia um desvio máximo de 1 °C em relação à temperatura desejada. O sistema se mostrou mais satisfatório com o IOIO, já que a temperatura desejada foi estabilizada em menor tempo médio, 24 segundos após a inicialização do sistema.

**Palavras-chave:** Automação, Higienização, Ordenhadeira.

ARNAUTS, Gilberto C., M. Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February 2015. **AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DE UM MISTURADOR DE ÁGUA UTILIZADO PARA HIGIENIZAÇÃO DE ORDENHADEIRAS BOVINAS.** Teacher: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

### **ABSTRACT**

The milking hygiene is necessary after use, usually in separate process steps which each require water at different temperatures for proper cleaning. But getting the correct temperature for each step is not so simple to be performed manually on farms. From a hot flow and other cold water, the farmer will need to properly mix the two water flows in order to reach a desired temperature for the cleaning step, and due to temperature fluctuations and flow, the required constant intervention of the same to maintain optimum temperature of the mixture. This work developed a mixer with automatic control of cold water flow, coupled to an electric heating system, with the goal of reaching a final ideal temperature required for the cleaning of milking machines, regardless of temperature fluctuations and flow at the entrance. We compared two control boards, Arduino and the IOIO. During the first seconds of system operation, the opening angle of the cold water tap is calculated based on the hot and cold water temperatures. After this is accomplished by gradually adjusting the angle. The temperature was considered to be achieved when reached a maximum deviation of 1 ° C compared to the desired temperature. The system was more satisfactory with the IOIO, since the desired temperature was stabilized at lower average time 24 seconds after system startup.

**Keywords:** Automation, Sanitation, Milking.

## SUMÁRIO

<b>Dedicatória</b> .....	iii
<b>Agradecimento</b> .....	iv
<b>RESUMO</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
Sumário .....	vii
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas .....	x
1 Introdução.....	1
2 Objetivos.....	3
2.1 Objetivo Geral .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
3 Revisão Bibliográfica .....	4
3.1 Produção de Leite .....	4
3.2 Fundamentos da Limpeza de Ordenhadeiras .....	5
3.3 Sistemas de Aquecimento de Água .....	6
3.3.1 Aquecedores de Passagem .....	6
3.3.2 Aquecedores de Acumulação .....	7
3.4 Energia Solar .....	8
3.5 Sistemas de Aquecimento Solar de Água.....	9
3.5.1 Coletores Solares.....	9
3.5.1.1 Coletor Solar Plano Fechado.....	10
3.5.2 Reservatórios Térmicos .....	11
3.6 Automação .....	12
3.6.1 Arduíno.....	12
3.6.2 IOIO.....	13

4	Material e Métodos .....	14
4.1	Localização do Experimento .....	14
4.2	Materiais.....	14
4.2.1	<i>Boiler</i> .....	14
4.2.1.1	Misturador.....	15
4.2.1.2	Sensor de Temperatura.....	17
4.2.1.3	Registros.....	19
4.2.1.4	Seção de Turbulência.....	20
4.2.1.5	Fonte de Alimentação.....	21
4.2.1.6	Sensor de Temperatura do Boiler.....	21
4.2.1.7	IOIO.....	22
4.2.1.8	Arduino.....	24
4.3	Métodos .....	25
4.3.1	<i>Vazão</i> .....	29
4.3.2	<i>Tempo de resposta</i> .....	29
4.3.3	<i>Algoritmo</i> .....	29
4.3.4	<i>Testes realizados</i> .....	30
5	Resultados Obtidos .....	32
5.1	Ângulo inicial em 45 graus.....	32
5.2	Ângulo inicial baseado na relação de vazões.....	32
5.3	Ângulo inicial baseado nas temperaturas coletadas.....	34
5.4	<i>Comparando as Equações</i> .....	36
5.4.1	<i>Tempos de estabilização da temperatura</i> .....	37
6	Considerações Finais .....	42
7	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	43
	APÊNDICE A.....	47
	APÊNDICE B.....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formas de Aproveitamento da Energia Solar.....	9
Figura 2: Corte de um coletor solar plano.....	11
Figura 3: Detalhes internos e externos de um reservatório térmico .....	12
Figura 4: Boiler .....	15
Figura 5: Misturador.....	16
Figura 6: Sensor de Temperatura DS18B20 .....	18
Figura 7: Sensor de Temperatura NTC 10K Termopar.....	18
Figura 8: Registro de esfera .....	19
Figura 9: Servo Motor .....	19
Figura 10: Seção de turbulência.....	20
Figura 11: Fonte de alimentação elétrica.....	21
Figura 12: Sensor do <i>boiler</i> .....	22
Figura 14: Bluetooth .....	23
Figura 15: Servidor Android.....	24
Figura 16: Arduino Mega 2560 .....	24
Figura 17: SD Shield.....	25
Figura 18: LCD Shield 16x2.....	25
Figura 19: Misturador construído (esquerda e direita) .....	27
Figura 20: Estrutura do experimento .....	28
Figura 21: Cálculo dos ângulos de abertura .....	36
Figura 22: Temperaturas para 3 experimentos com Arduino.....	38
Figura 23: Ângulos para 3 experimentos com Arduino .....	39
Figura 24: Temperaturas para 3 experimentos com IOIO .....	39
Figura 25: Ângulos para 3 experimentos com IOIO.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de testes realizados com Arduino .....	31
Tabela 2: Quantidade de testes realizados com IOIO .....	31
Tabela 3: Vazão de água Fria e vazão de água quente e fria .....	33
Tabela 4: Temperaturas coletadas e ângulo de abertura do registro .....	34
Tabela 5: Tempos de estabilização da temperatura desejada (Segundos) ..	37
Tabela 6: Desvios padrões das temperaturas de saída e desejadas (°C) ....	40

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização da energia solar no aquecimento de água para a limpeza de equipamentos agrícolas, como os de produção leiteira, é realizada em larga escala. Essa higienização se dá com água quente, porque a elevada temperatura facilita a remoção de sujeira em locais de difícil acesso.

A temperatura ideal da água depende do tipo de equipamento a ser limpo, como também da marca, além da fase da atividade, seguindo as especificações do fabricante. Essa temperatura, para o caso de ordenhadeiras, gira em torno de 30 °C a 80 °C. Se a água não atingir a temperatura ideal, a limpeza pode não ser completa, e se a temperatura exceder o limite máximo, pode danificar o equipamento, trazendo prejuízos.

O que muitos agricultores utilizam para aquecimento da água é um sistema com resistência elétrica ou um aquecedor a GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Estes dois sistemas, na maioria dos modelos, permitem o controle da temperatura ideal.

Outros agricultores utilizam sistemas de aquecimento d'água com energia solar. Este sistema é mais barato e não tem custo energético para aquecer a água, uma vez que utiliza o calor do sol. Em desvantagem aos demais, este método não permite um controle preciso da temperatura, pois depende de fatores como temperatura ambiente e radiação solar.

Para controlar a temperatura de forma a não encarecer o projeto de aquecimento utilizando energia solar, uma alternativa é a combinação de dois volumes de água com temperaturas diferentes, em quantidade correta para atingir a temperatura desejável. Este processo é complexo para ser realizado pelo produtor rural, uma vez que necessitaria fazer cálculos para chegar à mistura correta.

Com a popularização da tecnologia na agricultura, sabe-se que a utilização de informática em diversas áreas se tornou viável. Portanto, o desenvolvimento de um sistema que controle a mistura de água em diferentes temperaturas, a fim de obter uma temperatura resultante, pode ser viável financeiramente. Um controlador disponível para venda, e utilizado para projetos iniciais, é o *Arduino*. Ele é um micro controlador que pode ser programado para tarefas como medir temperatura da água e controlar motores responsáveis por abrir

e fechar registros. Outro sistema semelhante é o *IOIO* para *Android*, placa que fornece interface homem-máquina e pode ser controlada por um celular. Neste contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento e avaliação de um sistema automático para mistura de água quente e fria, utilizando as plataformas Arduino e IOIO, de modo a obter água na temperatura desejada para o processo de higienização de uma ordenhadeira mecânica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema automático de mistura de água (quente e fria), para simular as necessidades de higienização de uma ordenhadeira mecânica.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Instalar um aquecedor de água elétrico que possibilite aquecer a água em diferentes temperaturas, de modo a simular um aquecedor de água solar;
- Desenvolver uma pequena central hidráulica (misturador automático de água) que permita o controle de vazão de água fria e quente;
- Manipular a central hidráulica utilizando dois sistemas controladores: *Arduino* e *IOIO* para *Android*;
- Calcular e comparar as eficiências desses dois sistemas controladores;
- Obter uma equação que permita calcular o grau de abertura dos registros de água (responsável pelo controle de vazão da mesma) em função da temperatura da água fria, quente e desejada.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Produção de Leite

O esforço da humanidade levou-a a consumir o leite de outras espécies, mesmo sem total adaptação. É estimado que 5% da população mundial seja alérgica ao leite bovino. A OMS (Organização Mundial de Saúde) recomenda o leite materno para todas as crianças no primeiro ano de vida, além disso, classifica o leite bovino como importante para todos os demais adultos (SANTO, 2001).

O rebanho brasileiro destinado à produção de leite é estimado em 40 milhões de animais, 27% do rebanho total. Destas, 14 milhões são para vacas em ordenha (LEDIC, 2000). Tanta produção é necessária uma vez que o consumo médio do brasileiro é de 130 litros por ano, ainda abaixo do que a OMS recomenda, que é 175 litros anuais (SANTO, 2001).

Com tanta demanda por produtividade, a necessidade de tecnologias para limpeza dos equipamentos, de forma eficiente, é alta.

O início da pecuária leiteira no Brasil se deu em 1532, quando as primeiras vacas foram trazidas da Europa. A partir de 1950, a tecnologia se tornou aliada, mesmo timidamente, deste setor.

A maior mudança ocorreu a partir de 1980, quando o setor decolou como raramente ocorre com um setor da economia. Os últimos 15 anos podem ser divididos em quatro ciclos (RUBEZ, 2003):

- Livre mercado:

Ciclo que começa em 1990 quando a extinta SUNAB decreta o fim do tabelamento para o setor.

Até então os preços do litro eram definidos em comum acordo entre as partes, o que era bom para ambos. A partir desta mudança radical as indústrias de leite passaram a definir o preço sozinhas, restando aos produtores apenas aceitarem tal imposição.

Hoje em dia a definição de preços é semelhante, de forma que o mercado define quanto pode pagar e, na outra ponta da corda, o produtor não pode definir o quanto precisa receber para bancar seus custos.

- Leite Longa vida:

Pela primeira vez a mídia ajudou o leite a se destacar dentre os produtos, pois com apoio de famosos nas décadas de 80 e 90, este leite tornou-se, até 2002, o mais vendido do país.

- Coleta a granel:

A utilização de tarros no Brasil demorou aproximadamente 30 anos para ser substituída pela captação a granel. Esta substituição foi fundamental para manter o leite, um dos alimentos mais perecíveis, conservado por mais tempo. Atualmente, cerca de 60 % do leite das propriedades é captado desta forma.

- Ciclo das exportações:

Este ciclo ainda está no início e não se sabe se vai perdurar, mas é o melhor caminho para o crescimento do setor.

Para que este crescimento todo seja possível, é necessária a mecanização, com utilização de tecnologia. Neste contexto, a limpeza de ordenhadeiras para remoção de resíduos provenientes do leite é indispensável, sendo necessária água quente com adição de detergente.

O GLP também é uma alternativa para aquecimento de água, porém ainda com custo elevado para aquisição.

O resultado é que no custo total da produção leiteira está incluso uma porcentagem significativa de consumo energético para fins de aquecimento de água.

### **3.2 Fundamentos da Limpeza de Ordenhadeiras**

Para uma correta limpeza do equipamento de ordenha são necessárias algumas etapas (MILKPARTS, 2002):

- Pré- enxague: Após a ordenha, o equipamento deve ser colocado no tarro normalmente como se estivesse ordenhando, então ele deve ser mergulhado em 5 a 10 litros de água a 45°C. Desta forma, o leite que havia sobrado no equipamento vai ser drenado para dentro do tarro.
- Limpeza alcalina clorada: Com 10 litros de água a 70°C, com o produto diluído na água. Esta etapa proporciona a remoção de gorduras e proteínas. Durante a passagem da água pelo equipamento o mesmo deve ser mergulhado e removido da água para que entre um pouco de ar nas mangueiras, gerando

turbulência e aumentando a eficiência da limpeza. Esta ação deve ser feita até que a água esfrie até 50°C.

- Enxágüe: A primeira etapa deve ser repetida, mas com a água a 40°C, de modo que o detergente resultante nas mangueiras seja eliminado.

### **3.3 Sistemas de Aquecimento de Água**

É recomendável que a limpeza de ordenhadeiras seja realizada com água em temperatura morna ou quente. Entretanto alguns agricultores não realizam esta ação devido ao alto custo dos equipamentos, de manutenção dos mesmos ou pelo seu consumo energético elevado.

O gás natural é uma fonte alternativa fóssil de energia, considerada ambientalmente uma das melhores (SANTOS, 2002).

A energia elétrica é facilmente utilizada e acessível, porém é cara para ser utilizada para aquecimento de água.

Assim a energia solar, que necessita de um investimento inicial baixo e pouquíssimo gasto em manutenção, é uma ótima solução a médio e longo prazo.

Os aquecedores de água são equipamentos destinados a fornecer água quente suficiente para os pontos de consumo, na temperatura e vazão desejada conforme especificada em projeto (CHAGURI, 2009).O aquecimento de água para banho pode ser feito utilizando-se resistências elétricas (acumulação ou passagem),aquecimento a gás (acumulação ou passagem), ou aquecimento solar de água (SAS).

#### **3.3.1 Aquecedores de Passagem**

Os aquecedores de passagem são aparelhos que produzem água quente instantaneamente, ou seja, no momento em que são solicitados aquecem a água fria até uma temperatura programada para consumo imediato.

O chuveiro elétrico é o principal exemplo de um aquecedor de passagem. Este tipo de aquecedor é instalado na própria peça de utilização e o aquecimento da água ocorre a partir do momento em que se abre o registro, e a própria água aciona a resistência elétrica. Uma vez ligado a uma dada regulagem, o chuveiro elétrico tem

o consumo de energia elétrica independente da vazão, sendo que o calor não absorvido pela água é dissipado para o ambiente (BAPTISTA, 2006).

Adicionalmente existe o aquecedor de passagem a gás, diferencia-se do chuveiro elétrico principalmente pelo fato de que utiliza fogo para aquecer a água. A água também é aquecida imediatamente somente na quantidade necessária para o consumo imediato, mas este aquecimento é realizado por meio do gás que é queimado para aquecer uma serpentina por onde passa a água, que será utilizada para consumo (JANNUZZI; SWISHER, 1997).

Estes equipamentos, quando comparados com os sistemas de acumulação, apresentam como vantagem o fato de não precisarem de um reservatório térmico e terem um menor consumo de energia. Apesar da economia gerada, possuem limitações físicas em função da restrição do uso de vários pontos de utilização simultaneamente, e, devido a esta característica, os equipamentos são dimensionados para o pico de consumo, no instante em que ocorre a maior vazão.

### **3.3.2 Aquecedores de Acumulação**

Este tipo de aquecedor permite manter um volume de água quente armazenado e disponível para atender à demanda em qualquer horário. Para tanto, os aquecedores de acumulação são aparelhos sempre compostos de duas partes: Reservatório térmico e fonte de aquecimento. O tamanho do reservatório e a vazão de água quente fornecida são fatores importantes no dimensionamento (FOSSA et al., 2008).

O reservatório térmico normalmente mantém a água quente armazenada em uma temperatura constante, e são equipamentos isolados termicamente com o intuito de reduzir as perdas térmicas para o ambiente.

Para a manutenção da temperatura em seu interior, possui controladores de temperatura e a água permanece em constante aquecimento. A vantagem deste tipo de aquecedor em relação ao aquecedor de passagem é a possibilidade de atender vários pontos simultâneos.

O *boiler* elétrico é um aquecedor de acumulação onde a resistência elétrica é controlada por um termostato que a aciona quando a temperatura da água está abaixo do programado e a desliga quando a água atinge a temperatura adequada.

Este tipo de aquecedor apresenta perdas no acumulador (cerca de 20 a 30%) e sua eficiência está diretamente ligada à qualidade do isolamento térmico do reservatório (ABRAVA, 2008).

O aquecedor de acumulação a gás possui o mesmo princípio de funcionamento do boiler elétrico. Neste caso, a fonte energética é o gás (natural ou GLP) e o aquecedor opera por meio de queimadores, que são acesos por uma chama piloto quando o termostato detecta que a temperatura da água está abaixo do programado e libera a passagem de gás (BAPTISTA, 2006).

### **3.4 Energia Solar**

O sol é uma fonte inesgotável de energia em longo prazo, sendo de vasta exploração pelo homem, que ainda não o faz com escala significativa em relação às demais gerações de energia (ROGER HINDRICH, 2004). A quantidade total de energia que atinge a atmosfera exterior da terra é cerca de 35000 vezes maior que a consumida no planeta, segundo dados de (STOUT, 1980).

Desta energia toda, cerca de 30% são refletidas pela atmosfera, 10 a 15% são absorvidos por ela, 20% pela evaporação e 5 a 10% são refletidos pela terra (STOUT, 1980).

A radiação solar é utilizada há séculos, desde como arma de guerra sob forma de refleti-la para incendiar embarcações rivais, até para fornalhas que chegam a 3000 °C. Antigamente, as formas mais utilizadas eram com espelhos, para concentrar e obter altas temperaturas. Uma forma mais barata da utilização é sem espelhos, mas sim aquecendo diretamente pequenos ambientes fechados, com o teto transparente e o fundo preto. Assim, o que estiver neste espaço vai ficar aquecido, permitindo colocar, por exemplo, canos com fluido para ser aquecido (ROGER HINDRICH, 2004).

A energia solar pode ser aproveitada para geração direta de energia elétrica através da transformação fotovoltaica. Outra forma é absorvê-la de forma a converter diretamente para calor, transportando este calor. A água, sendo um fluido muito utilizado para limpeza, pode ser diretamente aquecida, sendo posteriormente utilizada para fins diversos de higienização.

### 3.5 Sistemas de Aquecimento Solar de Água

A energia solar pode ser utilizada como fonte de energia térmica, para o aquecimento de fluidos e ambientes, ou para a geração de potência mecânica e elétrica. As formas de aproveitamento da radiação solar dividem-se, basicamente, em energia solar ativa e passiva. A Figura 1 apresenta de forma esquemática as suas principais maneiras de aproveitamento (PEREIRA, 2003).

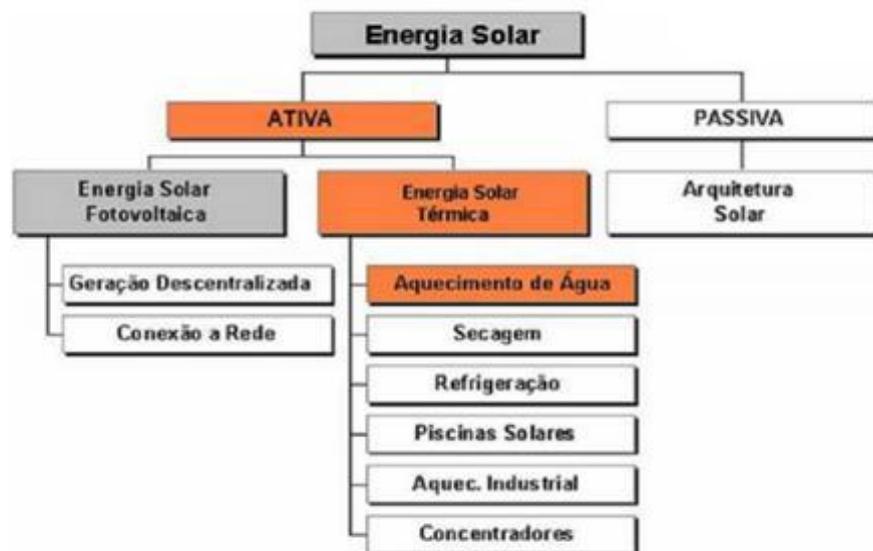


Figura 1: Formas de Aproveitamento da Energia Solar  
Fonte: (PEREIRA, 2003)

O aproveitamento térmico da energia solar de forma ativa é feito com uso de coletores ou concentradores solares, de acordo com a finalidade (BAPTISTA, 2006; COSTA, 2007).

Um sistema de aquecimento solar de água é composto basicamente por coletores solares, reservatórios térmicos e componentes que englobam uma fonte de energia auxiliar e rede de distribuição de água quente (A. G. L. SOUSA, 2009).

A seguir, apresenta-se uma breve descrição dos principais elementos de um sistema de aquecimento solar de água.

#### 3.5.1 Coletores Solares

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define como coletor solar todo dispositivo que absorve a radiação solar incidente e a transfere para um fluido de trabalho sob a forma de energia térmica (ABNT, 2008).

Existem dois tipos de coletores solares, os coletores de concentração e os coletores planos (LAFAY, 2005). Atualmente, os coletores mais empregados são: o coletor plano fechado, mundialmente mais utilizado, e o coletor plano de tubos a vácuo, com mercado em crescimento, devido ao excelente desempenho em regiões de clima frio (ROSA, 2012).

O tipo de coletor solar está relacionado ao tipo de aplicação e à temperatura de operação desejada em cada instalação.

A escolha dos coletores solares deve se restringir aos produtos ensaiados e aprovados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE do INMETRO ([www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br)). A tabela do INMETRO apresenta divisões de classificação de “A” a “E” de acordo com a eficiência e a aplicação dos coletores solares. Esta tabela é atualizada mensalmente, e fornece os parâmetros relacionados às características técnicas de fabricação do coletor (H. M. SOUSA, 2008). A produção de energia dos coletores durante uma hora equivale ao produto de sua eficiência térmica pela energia incidente no plano do coletor neste período (COELHO, 2012).

### **3.5.1.1 Coletor Solar Plano Fechado**

O coletor solar plano fechado é utilizado para aquecer a água até a temperatura de 60°C e possui grande aplicação em residências, edifícios, hotéis, indústrias e hospitais. Suas principais vantagens são a simplicidade de construção, o custo relativamente baixo, a facilidade de reparo e a durabilidade (ABRAVA, 2008; BAPTISTA, 2006).

Esse modelo de coletor é construído com uma caixa metálica e é constituído por uma placa absorvedora, tubulações por onde escoam o fluido a ser aquecido, isolamento térmico e cobertura. A placa absorvedora tem a função de converter a energia radiante em calor, transferi-la para as tubulações e, em seguida, para o fluido. As placas e as tubulações (serpentinadas) costumam ser construídas com material de alta condutividade térmica como cobre, alumínio ou aço (ARANTES, 2008).

Na parte superior há uma cobertura de vidro transparente fechando a caixa e formando um colchão de ar sobre a região onde circulam os tubos que permitem a entrada de radiação solar e reduz as perdas radiativas e convectivas de calor para a atmosfera (GUARIENTE, 2005).

A Figura 2 apresenta o corte de um coletor solar plano e seus componentes.

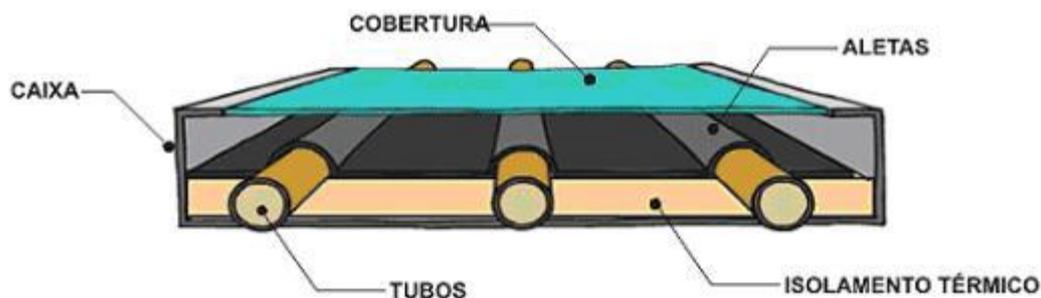


Figura 2: Corte de um coletor solar plano  
Fonte: (SOLETROL, 2014)

### 3.5.2 Reservatórios Térmicos

O reservatório térmico de acumulação é o equipamento que tem por função armazenar a água aquecida pelos coletores solares durante o dia. Este reservatório deve ser termicamente isolado para evitar ao máximo a perda de calor para o meio externo, e é indispensável devido às características de inconstância da radiação solar (MEDEIROS, 2012).

Este reservatório é classificado de acordo com a pressão de trabalho, podendo ser do tipo pressurizado (fechado) ou não pressurizado (aberto), e são dimensionados para garantir a demanda diária de água quente na temperatura requerida.

O reservatório térmico fechado trabalha com pressões acima da atmosférica e é geralmente pressurizado por uma caixa de água mais elevada. O aberto trabalha sempre em pressão atmosférica, independente da forma de alimentação.

As instalações de médio porte (1500 a 5000 litros/dia) e grande porte (acima de 5000 litros/dia) necessitam de grandes volumes para o reservatório térmico. Neste caso são utilizados mais de um reservatório térmico, associados em série ou em paralelo (COELHO, 2012).

Quanto à posição de instalação podem ser horizontais ou verticais. A posição do reservatório é importante para definir a maneira como a água se acomoda em seu interior. Em reservatórios verticais a estratificação ocorre com maior definição que nos horizontais, promovendo mais rapidamente o equilíbrio de temperatura entre as camadas por condução térmica (GUARIENTE, 2005).

A estratificação térmica é a distribuição natural da temperatura no interior do tanque, que ocorre em virtude das diferenças de massa específica da água no seu interior (MANEA, ROSA, KRENZINGER, 2011).

A Figura 3 apresenta a constituição básica de um reservatório térmico para água quente.

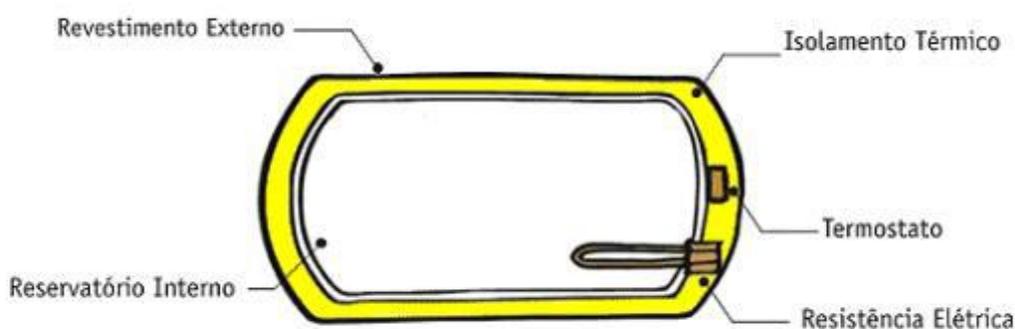


Figura 3: Detalhes internos e externos de um reservatório térmico  
Fonte: (SOLETROL, 2014)

### 3.6 Automação

Automação vai além de utilização residencial ou industrial, é também responsável por aperfeiçoar processos, gerando economia de recursos, como energia (LUIZ HENRIQUE MUSSI MAESTRELLI, 2010).

Neste segmento, existem duas placas de controle de larga utilização, o Arduíno e o IOIO, que apresentam preços bem acessíveis.

#### 3.6.1 Arduíno

É um microcontrolador capaz de interagir com o exterior através de dispositivos de entrada e saída, como sensores e motores, respectivamente. Ele é um pequeno computador com memória, processador e barramentos. Um programa

pode ser escrito em Arduino Programming Language, com a utilização da IDE Arduino Development Environment (ARDUINO, 2014).

### **3.6.2 IOIO**

O IOIO é uma placa de entrada e saída com diversas conexões digitais e analógicas. Nas de entrada podem ser conectados sensores de temperatura, vazão de água, luminosidade e muitos outros que forem necessários. As conexões de saída podem comandar motores, telas e outros dispositivos.

Esta placa é apenas uma interface, portanto não tem a capacidade de executar um programa para interagir com os periféricos, o programa tem que rodar em um servidor com o sistema operacional Android, como um celular, onde pode ser executada linguagem Java com API de alta complexidade. A comunicação da placa com o celular é via USB ou Bluetooth (YTAI, 2011).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização do Experimento

O Trabalho foi desenvolvido na casa do próprio mestrando, localizada no município de Cascavel, Paraná, com localização geográfica definida pelas coordenadas 24° 57' Latitude Sul (S) e 53° 27' Longitude Oeste (W) e altitude média de 781 metros acima do nível do mar. A temperatura média anual é de 23 °C (BRASILCHANNEL, 2000).

### 4.2 Materiais

O dimensionamento dos equipamentos foi realizado apenas para realização dos testes necessários à avaliação técnica do experimento.

Nos itens a seguir estão descritos os principais equipamentos que foram utilizados ou desenvolvidos.

#### 4.2.1 Boiler

O boiler é o equipamento responsável por realizar aquecimento da água a partir da energia elétrica, além de armazená-la sem grandes perdas de temperatura. Este é formado basicamente pela resistência elétrica, responsável por aquecer a água, e pelo reservatório, que armazena a água de forma eficiente para minimizar as perdas de calor.

Foi utilizado um *boiler* da marca Solar Life com as seguintes características: Aço Inox 304, 200 Litros, Baixa Pressão, 3000 W de resistências de aquecimento auxiliares (Figura 4).



Figura 4: Boiler

Este boiler vem de fábrica com configuração para aquecer a água até 60 °C, porém permite configuração do termostato para até 80 °C .

#### 4.2.1.1 Misturador

O misturador foi o responsável por receber duas vazões de água em temperaturas diferentes, tendo uma saída com a vazão de água na temperatura desejada. Para ser capaz de realizar esta função, o misturador é formado por vários componentes, alguns deles específicos da placa *IOIO*, outros do *Arduino* e outros comuns aos dois. Detalhes do misturador estão apresentados na Figura 5. A montagem final deste misturador pode ser visualizada na Figura 19.

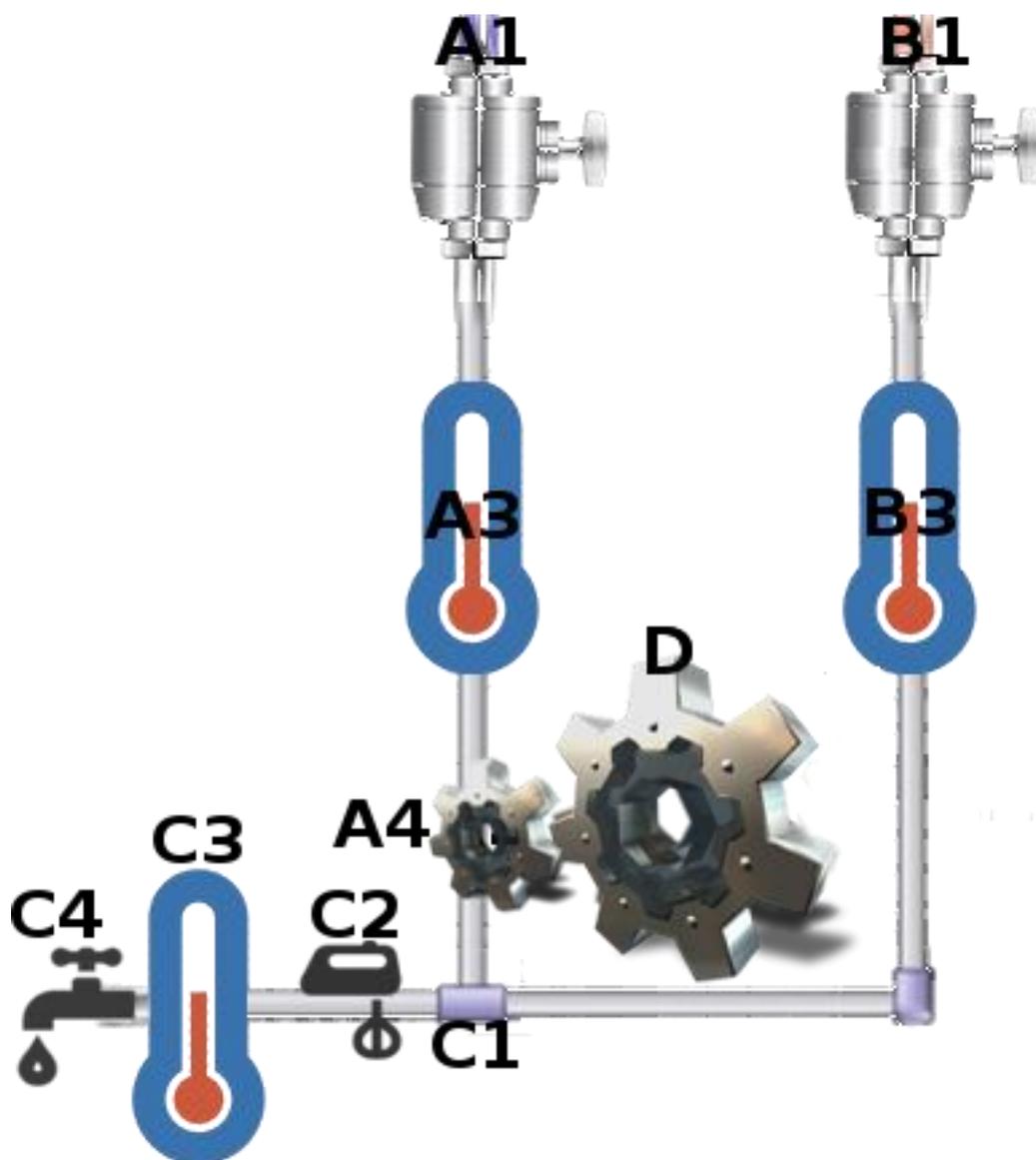


Figura 5: Misturador

Cada item do misturador está detalhado a seguir:

- A1: Entrada de água fria<sup>1</sup>;
- B1: Entrada de água quente<sup>2</sup>;
- A3: Sensor de temperatura de água fria;
- B3: Sensor de temperatura de água quente;
- A4: Registro para controle de vazão de água fria;
- D: Motor controlador do registro A4<sup>3</sup>;

<sup>1</sup> Proveniente da rede pública de abastecimento.

<sup>2</sup> Proveniente do boiler com aquecimento solar.

<sup>3</sup> Servo motor que controla o registro, de modo a fechar e abrir.

- C1: Junção das vazões de água fria e quente<sup>4</sup>;
- C2: Seção para provocar turbulência;
- C3: Sensor de temperatura final;
- C4: Saída de água para utilização na higienização das ordenhadeiras.

Além dos dispositivos hidráulicos comuns, como tubulações e conexões diversas, alguns outros componentes do misturador merecem destaque e estão descritos a seguir.

#### 4.2.1.2 Sensor de Temperatura

Foram utilizados dois modelos de sensor de temperatura, um compatível com o *Arduino* e o outro com o *IOIO*. O primeiro é o modelo DS18B20 à prova d'água que pode ser visualizado na Figura 6. O segundo é o modelo NTC 10K Termopar, visível na Figura 7.

O modelo DS18B20 é formado por três fios, onde dois deles são utilizados para fornecimento de alimentação e o terceiro para comunicação serial. Sua precisão é de 0,5 °C a 25 °C.

O modelo NTC 10K tem apenas dois fios, de modo que a resistência entre a passagem de corrente pode ser convertida em tensão elétrica, porém sua precisão é menor especialmente em temperaturas elevadas.

---

<sup>4</sup> Conexão em forma de T, de modo a unir a água quente com a fria.



Figura 6: Sensor de Temperatura DS18B20



Figura 7: Sensor de Temperatura NTC 10K Termopar

### 4.2.1.3 Registros

Para controle da vazão de água foi utilizado um registro de esfera para água fria. O modelo utilizado é de metal com diâmetro  $\frac{3}{4}$  de polegada (Figura 8).



Figura 8: Registro de esfera

Servo motor: foi utilizado o Blue Bird, modelo BMS-I530MG, para acionar o registro (Figura 9).



Figura 9: Servo Motor  
Fonte: CONRAD, 2015

As principais características deste servo motor são: tensão de operação entre 4,8 e 7,4 V, dimensões de 55 x 30 x 60mm, torque de 200 Ncm e abertura de 141°. Essas características permitem que o servo motor seja utilizado para fechamento e abertura do registro de água, de 0° a 90°.

#### 4.2.1.4 Seção de Turbulência

Foi utilizada uma seção de cano para provocar turbulência na água de modo a misturar os dois volumes de temperaturas diferentes (Figura 10). Desse modo, a temperatura da água fica mais homogênea no sensor de temperatura final.



Figura 10: Seção de turbulência

É constituído por um cano 22 mm de diâmetro cortado em forma de espiral e inserido dentro de outro cano de 28 mm de diâmetro. O comprimento total desta tubulação é 15 cm.

#### 4.2.1.5 Fonte de Alimentação

A alimentação elétrica de todo o misturador é realizado por meio de uma fonte *Bestapress*, modelo BP-503 (Figura 11). Ela recebe 110 ou 220 volts de entrada e fornece saída de 5 e 12 volts, que são as tensões necessárias para os controladores do misturador.



Figura 11: Fonte de alimentação elétrica

#### 4.2.1.6 Sensor de Temperatura do Boiler

Foi utilizado o modelo MT-R16 R, fabricado pela FullGauge. Ele funciona de forma independente, devendo apenas ser conectado a uma fonte de alimentação de 127V. O mesmo pode ser visualizado na Figura 12.



Figura 12: Sensor do *boiler*

#### 4.2.1.7 IOIO

A placa IOIO utilizada pode ser visualizada na Figura 13. Ela possui, além das conexões de entrada e saída, também uma entrada para alimentação elétrica, além de uma conexão USB, que neste trabalho foi utilizada para acoplar o dispositivo *bluetooth*, responsável pela comunicação com o servidor *Android*. A linguagem utilizada para desenvolvimento do *software* foi *Java*.

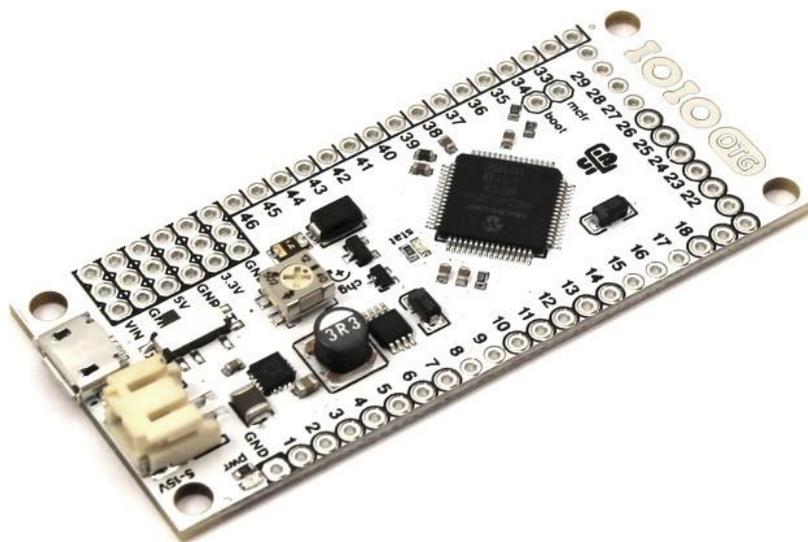


Figura 13: Placa IOIO-OTG

Na Figura 14 pode ser visualizado o adaptador *Bluetooth*, que foi acoplado à placa IOIO, para fins de comunicação com o servidor *Android*.



Figura 14: Bluetooth

O servidor *Android* utilizado foi de um aparelho celular modelo *Philco phone 530* (Figura 15). Este possui suporte para dispositivos de interface humana e plataforma para desenvolvimento de novos *softwares*, além de um cartão mini SD acoplado, que foi utilizado para armazenar os valores de temperatura e vazão da água a cada segundo.



Figura 15: Servidor Android  
Fonte: SUBMARINO, 2015

#### 4.2.1.8 Arduino

O equipamento utilizado é o Arduino Mega 2560 (Figura 16). Este modelo foi o escolhido devido à quantidade de entradas e saídas de comunicação suficientes para conexão de todos os sensores e motores.

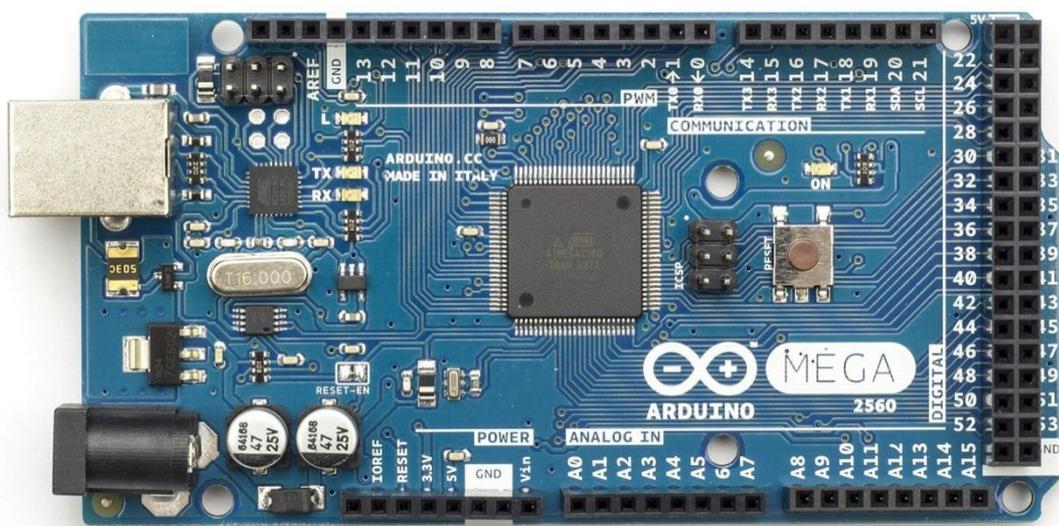


Figura 16: Arduino Mega 2560

As informações coletadas de temperatura e vazão de água foram armazenadas em um cartão mini SD. Este cartão foi encaixado em um *shield* para poder ser gravado e lido (Figura 17).



Figura 17: SD Shield

As informações de vazão de água e temperatura de cada sensor, além da temperatura selecionada pelo usuário, foram exibidas em um visor LCD modelo 16x2, apresentado na Figura 18.



Figura 18: LCD Shield 16x2  
Fonte: ("Laboratório de Garagem," 2014)

### 4.3 Métodos

Todos os equipamentos foram instalados no local de realização do experimento. A água fria é obtida por meio de uma caixa de água sem nenhum controle de temperatura, armazenada ao ambiente externo, com capacidade de 100 litros e reabastecida pela água da rede pública de abastecimento. Já a água quente

é obtida por meio de um *boiler* com capacidade de 200 litros, conforme apresentado na Figura 4.

Estas duas vazões de água, quente e fria, servem de entrada para o misturador que, ao comando do usuário, fornecerá água na temperatura desejada. Esse misturador possui um sensor de temperatura para água quente, outro para fria e outro para a água misturada. Um registro de água é responsável por controlar a vazão da água fria, sendo que a vazão de água quente possui passagem livre. Por fim, um *servo motor* é responsável por abrir ou fechar o registro de água, de maneira a controlar a temperatura da água misturada. Para aumentar a eficiência da mistura, uma parte desuniforme do cano provoca turbulência no interior da tubulação. Logo depois da turbulência, a água passa por outro sensor de temperatura, que deverá indicar a temperatura final selecionada pelo usuário.

O controle da temperatura final é feito a partir do acionamento do *servo motor* conectado ao registro, sendo executado pelas placas controladoras *Arduino* e *IOIO*. Esses dois tipos de controladores foram comparados quanto à eficiência no controle da temperatura final da água, da seguinte maneira: no início do processo, a partir dos dados de temperaturas obtidos dos sensores, o ângulo de abertura do registro é calculado e posicionado em um ponto considerado ideal para atingir a temperatura desejada. A partir de então, a temperatura da água é constantemente ajustada por meio da abertura e fechamento do registro de água fria, até se estabilizar na temperatura desejada. Sendo assim, o controlador mais eficiente é considerado aquele que apresentou o menor tempo para a estabilização dessa temperatura.

Na Figura 19 é ilustrada a montagem final do misturador, cujo esquema foi apresentado e explicado na Figura 5.

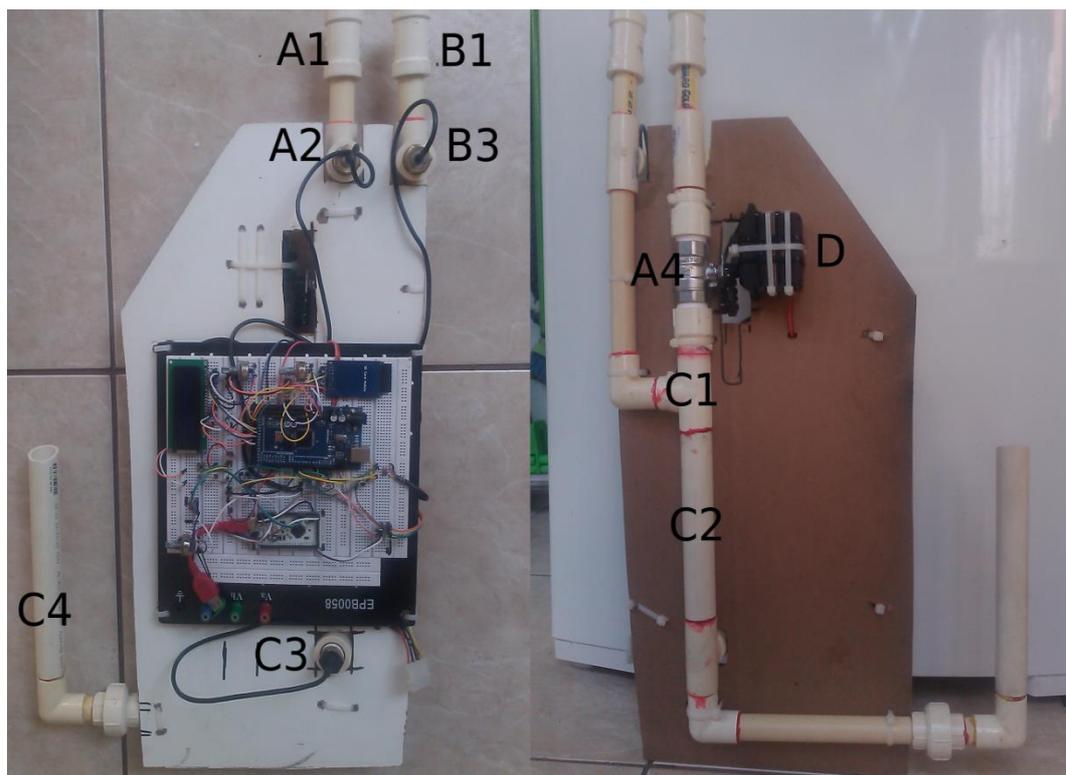


Figura 19: Misturador construído (esquerda e direita)

Esse misturador foi acoplado à caixa de água e ao boiler, numa estrutura única, conforme pode ser visualizado na Figura 20.



Figura 20: Estrutura do experimento

A configuração do termostato do boiler foi alterada para aquecer a água até 80 °C. No entanto, a temperatura desejada para as finalidades deste experimento deve chegar até 95 °C. Para isto, instalou-se uma chave interruptora externa na resistência elétrica, que permite a ligação direta da mesma. Quando a chave é ativada, a resistência mantém-se ligada, e a temperatura da água atinge os valores desejados, medidos pelo termômetro MT-516 R. Este procedimento permite a obtenção de uma ampla faixa de temperaturas, possibilitando a simulação do sistema misturador para várias combinações das mesmas.

### **4.3.1 Vazão**

O sistema possui duas entradas, uma de água quente e outra de fria. Devido às diferenças de pressão e nível, as vazões das duas tubulações são diferentes. Essas vazões foram calculadas com a utilização de um vasilhame com capacidade de 42 litros, e um cronômetro para determinar o tempo de enchimento do mesmo. No caso da água fria, a vazão foi determinada a cada variação de  $10^\circ$  no ângulo do registro (a  $90^\circ$  o registro de água fria está totalmente fechado, e a  $0^\circ$  totalmente aberto). No caso da água quente, como não existe controle do registro, a vazão é única.

### **4.3.2 Tempo de resposta**

O tempo entre alteração no ângulo do registro e mudança na temperatura incide diretamente no desempenho do sistema, e depende de diversos fatores, como tempo de resposta do sensor, distância entre o registro e o sensor de temperatura, perdas de calor, entre outros. Nenhum destes fatores foi investigado ou analisado neste trabalho, onde foi considerado apenas o tempo de resposta final. Este tempo representa intervalo de tempo que ocorre para a estabilização da temperatura desejada, após o início dos ajustes no ângulo do registro.

### **4.3.3 Algoritmo**

O algoritmo utilizado para ajuste do ângulo de abertura do registro, e conseqüentemente ajuste da temperatura desejada, é o mesmo para o *Arduino* e para o *IOIO*. Este é executado a cada segundo, assim como todas as demais funções do misturador, como leitura das temperaturas dos sensores, e registro em cartão SD. O algoritmo está apresentado nos Apêndices A e B.

Também, a cada segundo, é realizada a alteração no ângulo do registro, com base em uma função que determina o valor da alteração.

Esta função determina a velocidade de ajuste e a estabilização da temperatura, e pode ser visualizada na Equação 1.

$$\phi = \frac{\left(\frac{abs(Tf)}{3}\right)^3 + 1}{4} - 0,15 \quad (1)$$

Onde

$\phi$  = Ângulo final de 0° a 90°;

$Tf$  = Diferença entre a temperatura atual e a desejada;

$abs$  = Valor absoluto.

Esta função foi desenvolvida com base em tentativa e erro, sendo ajustada até se obter o modelo atual. Sua eficiência foi testada na seção de resultados.

O algoritmo realiza o cálculo do ângulo com base na equação 1, considerando que o valor de  $Tf$  tem que ser maior que 1 para a execução da equação. Caso contrário, nenhuma ação é realizada. Com isto tem-se uma faixa aceitável como temperatura final correta, onde nenhuma ação é realizada sobre o registro. O tamanho desta faixa é de 1 grau para mais e para menos.

A definição do ângulo inicial foi abordada com as três metodologias seguintes: na primeira delas, o ângulo é estabelecido em 45°; na segunda, o ângulo é calculado utilizando-se uma equação ajustada a partir da relação das vazões de água quente e fria; na terceira, o ângulo é calculado utilizando-se uma equação ajustada a partir dos dados de temperatura da água quente, fria e desejada, coletados em experimentos anteriores. Esses ajustes de equação foram realizados com o software Matlab R2012a. A metodologia que apresentou menor erro no cálculo do ângulo inicial foi testada na prática, para verificar sua influência no tempo de resposta para estabilização da temperatura final desejada.

#### **4.3.4 Testes realizados**

Foram realizados diversos testes para o Arduino e também para o IOIO, para os diferentes métodos de definição do ângulo inicial de abertura do registro: 45° de abertura, ajuste feito pela Equação 2 e ajuste feito pela Equação 3 (essas

equações estão apresentadas nos resultados). Também foi variada a temperatura desejada da água. Estes dados podem ser visualizados nas Tabela 1 e 2.

Tabela 1: Quantidade de testes realizados com Arduino

Temperatura (°C)	Ângulo inicial de abertura (45°)	Equação 2	Equação 3
45		1	
50	1	4	1
55		3	
60	2	6	1
65	1	1	
70		4	2
75		4	
80	4	3	1
85			
90		3	

Tabela 2: Quantidade de testes realizados com IOIO

Temperatura (°C)	Ângulo inicial de abertura (45°)	Equação 2	Equação 3
45			
50	1		
55		1	
60	1	5	2
65			
70	1	4	1
75			
80	5	5	1
85			
90	1	1	

Nas tabelas 1 e 2, os valores não preenchidos podem ser considerados como zero. No total, foram realizados 71 testes de estabilização de temperatura, com mais de 7.000 registros de temperaturas e ângulos coletados.

## 5 RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a aplicação de água quente e fria no sistema, a fim de verificar a eficiência no alcance da temperatura desejada.

A partir dos dados de temperatura da água quente e fria, coletados do sistema, foram calculados os ângulos de abertura do registro de água fria, para que seja atingida a temperatura da água desejada

O desempenho do sistema foi avaliado para o *Arduino* e para o IOIO, utilizando-se cada um dos três métodos aplicados na estabilização da temperatura, que estabelecem o ângulo inicial de abertura do registro.

### 5.1 Ângulo inicial em 45 graus

O primeiro algoritmo foi desenvolvido com ângulo inicial fixo em 45 graus, pois, desconsiderando as temperaturas de água quente e fria, esta é a posição intermediária entre 0° e 90°.

### 5.2 Ângulo inicial baseado na relação de vazões

As vazões de água fria, quente e misturada foram medidas, e estão apresentadas na Tabela 3. A última coluna representa a relação entre a vazão máxima de água quente (18 L/s) e a vazão da água fria, que varia de acordo com o ângulo de abertura do registro.

Tabela 3: Vazão de água Fria e vazão de água quente e fria

Ângulo de abertura do registro (graus)	Vazão da água fria (L/min)	Vazão da água quente e fria (L/min)	Relação Quente / Fria
90	0,00	18,00	$\infty$
80	1,40	19,09	12,86
70	4,96	22,50	3,63
60	10,72	25,45	1,68
50	15,27	27,39	1,18
40	22,11	30,73	0,81
30	25,20	31,50	0,71
20	27,39	32,31	0,66
10	28,64	32,73	0,63
0	29,30	33,16	0,61

Observando a Tabela 3, pode-se verificar que a vazão de água quente isolada é de  $18 \text{ L min}^{-1}$ , pois com o ângulo de  $90^\circ$  não existe vazão de água fria. A vazão máxima de água fria é de  $29,30 \text{ L min}^{-1}$  e a vazão máxima de água quente e fria, juntas, é de  $33,16 \text{ L min}^{-1}$ .

É evidente que o ângulo de abertura do registro é responsável pela relação das vazões entre água quente e água fria, ou seja, alterando-se a abertura do registro, altera-se a vazão da água fria e, conseqüentemente, a relação entre as vazões. Assim sendo, utilizando-se o software Matlab R2012a, ajustou-se a melhor equação que relaciona o ângulo de abertura do registro (coluna 1 da Tabela 3), com a relação de vazões (coluna 4 da Tabela 3), mostrada a seguir.

$$f(x) = -42,23 * x^{-1,015} + 81,79 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.96$$

Onde:

$f(x)$  = Ângulo, graus;

$x$  = relação de vazões, adimensional;

$R^2$  = Coeficiente de determinação.

### 5.3 Ângulo inicial baseado nas temperaturas coletadas

Esta implementação do algoritmo, utilizada para ajustar a equação que define o ângulo inicial de abertura do registro, é baseado nos dados de temperatura da água (fria, quente e desejada), coletados durante o experimento, após a estabilização da temperatura desejada. Esses dados foram coletados tanto para o Arduino quanto para o IOIO, já que independem do controlador utilizado, e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Temperaturas coletadas e ângulo de abertura do registro

$T_{AD}$ (°C)	$T_{AQ}$ (°C)	$T_{AF}$ (°C)	Ângulo (Graus)
92	93	31	88
90	94	27	80
90	94	27	78
80	92	25	74
80	93	24	73
80	93	31	66
80	94	28	71
79	90	23	71
79	94	22	72
78	88	29	76
75	93	28	57
71	93	29	52
70	92	25	57
70	92	31	57
70	93	31	58
69	94	27	58
66	94	29	53
60	93	22	48
60	93	24	47
60	93	28	38
59	94	27	42
59	94	29	40
59	96	31	33
55	94	28	23
55	94	30	11
52	94	27	7

50	88	24	10
50	93	22	18

---

Onde:

$T_{AD}$  = Temperatura da água desejada;

$T_{AQ}$  = Temperatura da água quente;

$T_{AF}$  = Temperatura da água fria.

De modo semelhante ao método anterior, utilizando-se o software Matlab R2012a, ajustou-se a melhor equação que relaciona o ângulo de abertura do registro com as temperaturas coletadas, mostrada a seguir:

$$f(x) = -27,19 * x^{-1,844} + 74,83 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.964$$

Onde:

$f(x)$  = Ângulo, graus;

$x$  = relação de temperaturas, adimensional;

$R^2$  = Coeficiente de determinação.

Essa relação de temperaturas (valor de  $x$ ) foi calculada a partir 1ª Lei da Termodinâmica, considerando que ocorre uma mistura de fluidos com temperaturas diferentes, e é mostrada na equação a seguir (MORAN, 2011):

$$\frac{m_{AQ}}{m_{AF}} = \frac{T_{AD} - T_{AF}}{T_{AQ} - T_{AD}} \quad (4)$$

Onde:

$m_{AQ}$  = Massa ou vazão de água quente, kg ou L s<sup>-1</sup>;

$m_{AF}$  = Massa ou vazão de água fria, kg ou L s<sup>-1</sup>;

$T_{AD}$  = Temperatura da água desejada, °C;

$T_{AF}$  = Temperatura da água fria, °C;

$T_{AQ}$  = Temperatura da água quente, °C.

Como citado anteriormente, alterando-se a abertura do registro, altera-se a relação entre as vazões de água quente e fria. Observando-se a equação 4, verifica-se que essa relação entre vazões pode ser facilmente calculada a partir das temperaturas de água quente, fria e desejada. Portanto, os resultados desses cálculos de temperatura foram associados aos ângulos de abertura do registro, para se ajustar as equações 2 e 3.

#### 5.4 Comparando as Equações

A partir das duas equações ajustadas para o cálculo do ângulo inicial de abertura dos registros (equações 2 e 3), e das temperaturas coletadas de água quente, fria e desejada (Tabela 4), foram calculados ângulos de abertura, e comparados com os ângulos reais obtidos no experimento. Esses resultados estão apresentados na Figura 21.

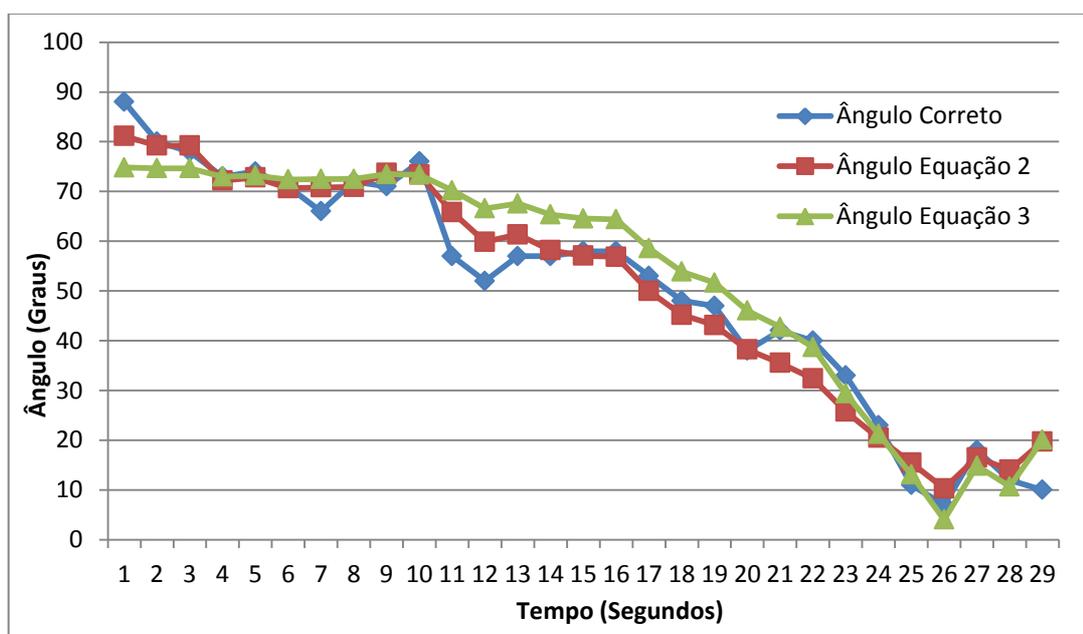


Figura 21: Cálculo dos ângulos de abertura

Calculando-se o desvio padrão dos erros dos ângulos reais obtidos no experimento e dos calculados pelas equações, obtiveram-se os seguintes valores: 4.5 e 6.2, respectivamente para as equações 2 e 3. Verifica-se, portanto, que a equação 2 obteve o menor desvio padrão, e por esse motivo, foi aplicada ao algoritmo para definição do ângulo inicial de aberturas do registro. A partir desse parâmetro, foram realizados os testes de comparação entre os tempos de resposta do *Arduino* e o *IOIO*.

#### 5.4.1 Tempos de estabilização da temperatura

Os tempos de resposta para a estabilização da temperatura desejada foram obtidos considerando duas situações de interesse (ângulos iniciais fixos em  $45^\circ$ , ou ângulos iniciais calculados pela equação 2), tanto para o *Arduino* quanto para o *IOIO*, e estão apresentados na Tabela 5. Verifica-se claramente que a utilização da equação 2 diminuiu bastante o tempo de resposta do sistema, tendo em vista que ela fornece ao algoritmo um ângulo inicial de abertura do registro próximo ao valor real, minimizando o número de iterações necessárias para a estabilização da temperatura. Os valores médios obtidos para os tempos de estabilização, utilizando-se a equação 2, foram **31,6 s** e **24,1 s**, respectivamente para o *Arduino* e *IOIO*.

Tabela 5: Tempos de estabilização da temperatura desejada (Segundos)

Arduino		IOIO	
45°	Equação 2	45°	Equação 2
44	40	16	6
107	30	82	23
108	51	40	16
46	9		67
39	15		22
96	75		11
39	1		
86			
39			

43

Médias:	64,7	31,6	46	24,1
---------	------	------	----	------

Levando-se em consideração o melhor desempenho da Equação 2, os dados coletados com *Arduino* e com IOIO, para as temperaturas desejadas de 60°C, 70°C e 80°C, são apresentados na Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25. A Figura 22 e a Figura 24 mostram, respectivamente para o *Arduino* e IOIO, que as temperaturas de saída, ao longo do tempo, vão convergindo para as temperaturas desejadas. A Figura 23 e a Figura 25 mostram, respectivamente para o *Arduino* e IOIO, que os ângulos de abertura do registro, ao longo do tempo, vão convergindo para os ângulos de abertura corretos, que fazem com que as temperaturas de saída sejam iguais às temperaturas desejadas.

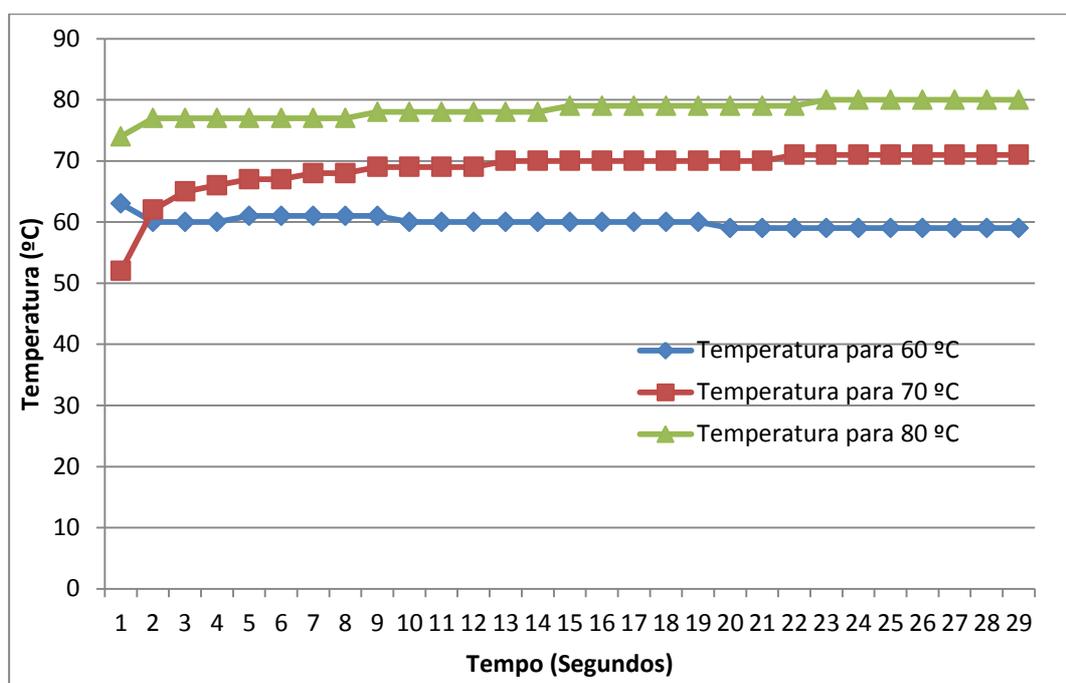


Figura 22: Temperaturas para 3 experimentos com *Arduino*

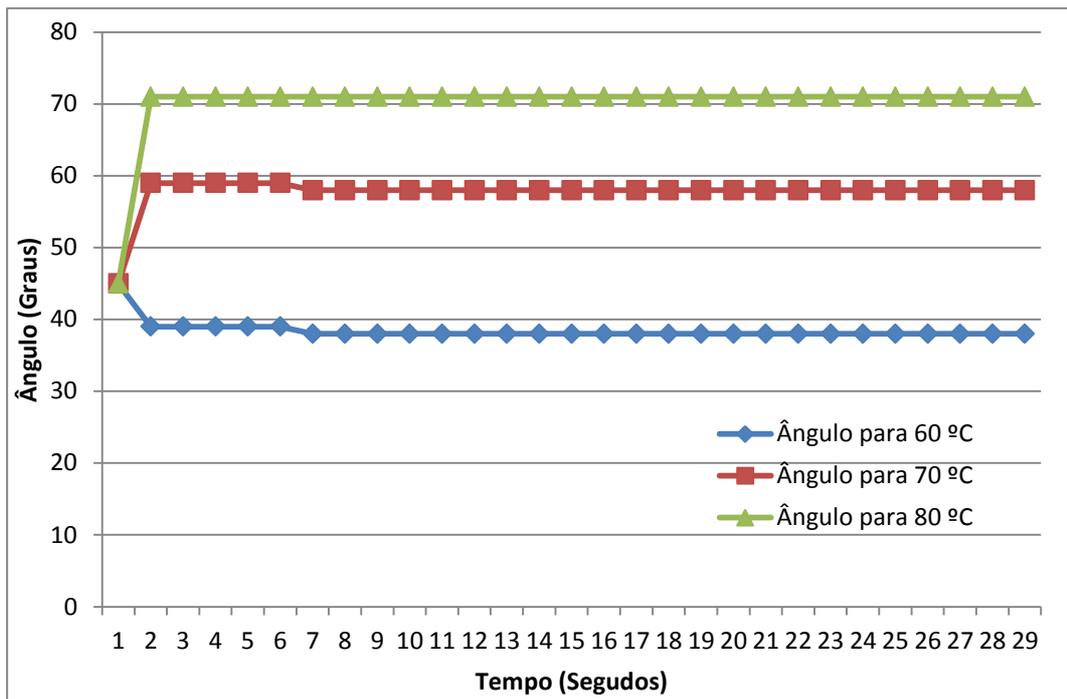


Figura 23: Ângulos para 3 experimentos com Arduino

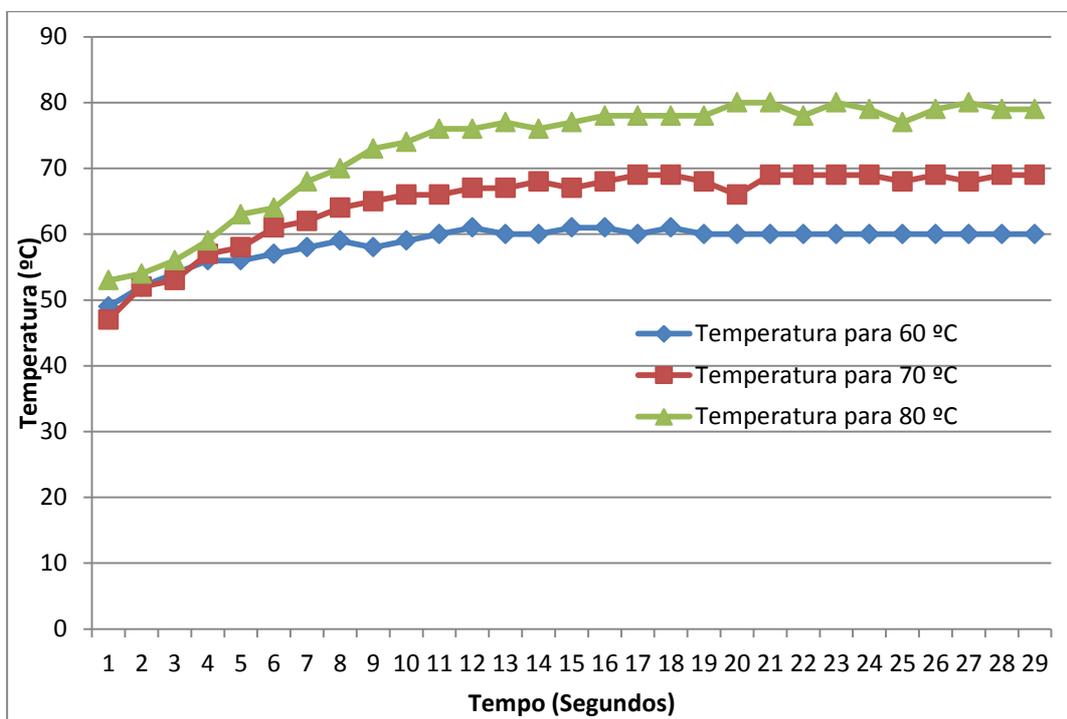


Figura 24: Temperaturas para 3 experimentos com IOIO

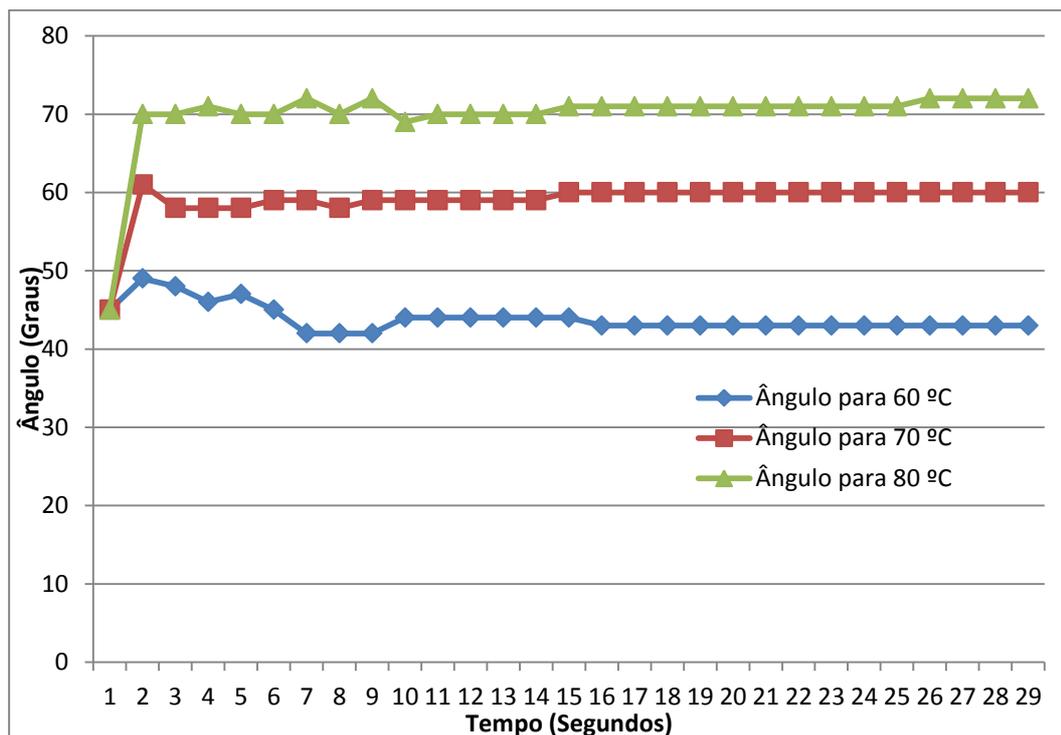


Figura 25: Ângulos para 3 experimentos com IOIO

Fica claro que o resultado final dos dois sistemas é muito semelhante, o que difere é a oscilação que ocorre no ajuste da temperatura de saída e do ângulo de abertura do registro, mas que não influenciam significativamente no resultado final.

Para esta oscilação ficar mais clara, foi calculado o desvio padrão das temperaturas de saída e desejadas, tanto para o *Arduino* quanto para o IOIO, baseado nos dados da Figura 22 e Figura 24. Estas informações estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Desvios padrões das temperaturas de saída e desejadas (°C)

T desejada	Arduino	IOIO
60 °C	0	0,44
70 °C	0	0
80 °C	0,54	0
Médias	0,18	0,15

Como pode ser visualizado na Tabela 6, o desvio padrão das temperaturas de saída e desejadas se mostrou mais acentuado para o *Arduino*. Assim, pode-se

concluir que, para os experimentos realizados, o IOIO mostrou-se mais eficaz que o Arduino para o ajuste da temperatura desejada, embora as diferenças sejam quase insignificantes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que as temperaturas desejadas são alcançadas em poucos segundos após inicialização do sistema e, mantidas estáveis no decorrer do funcionamento.

Isto foi possível mediante o sucesso alcançado nas etapas da construção do sistema de simulação de um aquecedor solar, da central hidráulica, e seu controle eficiente por meio do IOIO e do Arduino.

A estabilização da temperatura de saída se mostrou linear de forma a alcançar a temperatura desejada sem grandes oscilações (menores que 1 °C). O tempo médio de estabilização da temperatura de saída foi de 31,6 s para o Arduino, e de 24,1 s para o IOIO.

O cálculo do ângulo inicial de abertura do registro, com base nas temperaturas de água quente, fria e desejada, foi algo que agilizou bastante o processo de chegada à temperatura desejada. Deste modo, a utilização desses sistemas (Arduino e IOIO) para controle da temperatura da água utilizada para ordenhadeiras bovinas mostrou-se bastante promissor.

## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Algumas questões não levadas em consideração neste trabalho, como o tempo de resposta do sensor, distância entre o registro e o sensor de temperatura, perdas de calor, entre outros, são importantes pra serem realizadas em trabalhos futuros.

Outra abordagem relevante será acoplar o sistema desenvolvido neste trabalho a um sistema de aquecimento solar.

Também será importante utilizar o sistema em uma propriedade rural de produção leiteira, a fim de analisar a melhoria na higienização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - projeto e instalação.** NBR 15569.2008.
- ABRAVA. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar.** Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação E Aquecimento, 138.2008.
- ARANTES, L. O. **Avaliação comparativa do ciclo de vida entre sistemas de aquecimento solar de água utilizado em habitações de interesse social.** Universidade Federal de Uberlândia.2008.
- ARDUINO. **Arduino.** Acessado em 18 de Maio de 2014, de <http://www.arduino.cc>. 2014.
- BAPTISTA, A. S. C. **Análise da Viabilidade Econômica da Utilização de Aquecedores Solares de Água em Resorts no Nordeste do Brasil.** COPPE/UFRJ.2006.
- BRASILCHANNEL. **São Miguel do Iguaçu - PR.** Acessado em 15 de Julho de 2014 de [http://brasilchannel.com.br/municipios/mostrar\\_municipio.asp?nome=S%3o+Miguel+do+Igua%E7u&uf=PR](http://brasilchannel.com.br/municipios/mostrar_municipio.asp?nome=S%3o+Miguel+do+Igua%E7u&uf=PR). 2000.
- CHAGURI, J. J. J. **Sistemas prediais de aquecimento de água: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento.** Universidade de São Paulo.2009.
- COELHO, D. M. **Identificação de variáveis críticas e simulação do uso de coletores solares em prédios residenciais.** UFRJ.2012.
- CONRAD. **Servos.** Acessado em 24 de Janeiro de 2015, de [http://www.conrad.com/medias/global/ce/2000\\_2999/2700/2750/2754/275465\\_GB\\_00\\_FB.EPS\\_1000.jpg](http://www.conrad.com/medias/global/ce/2000_2999/2700/2750/2754/275465_GB_00_FB.EPS_1000.jpg). 2015.
- COSTA, R. N. A. **Viabilidade térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais.** Universidad eFederal do Rio Grande do Norte.2007.
- FOSSA, J. A., SANTOS, E. M. Dos, Junior, J. C., & Fagá, M. T. W. **Perspectivas tecnológicas para instalações internas de gases combustíveis em clientes residenciais.** Cátedra Do Gás, 101.2008.
- GARAGEM. **Laboratorio de Garagem.** Acessado em15 de Julho de 2014, de <http://www.labdegaragem.org/>. 2014.

- GUARIENTE, L. J. **Estudo comparativo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar com circulação natural e com circulação forçada.** Universidade Estadual de Londrina.2005.
- JANNUZZI, G. de M., & Swisher, J. N. P. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos.** (E. A. Associados, Ed.) (1st ed.). Campinas - SP. Disponível em <http://books.google.com.br/books?id=N7jzhXBFgeoC&pg=PA108&dq=aquecedor+a+g%C3%A1s&hl=pt-BR&sa=X&ei=0YXEU6WLJeLjsAS76YFg&ved=0CD8Q6AEwAg#v=onepage&q=aquecedor+a+g%C3%A1s&f=false>. 1997.
- LAFAY, J. M. S. **Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás.** UFRGS.2005.
- LEDIC, I. L. Gir - o grande trunfo da nossa pecuária leiteira. Editora Peirópolis.2000.
- LUIZ HENRIQUE MUSSI MAESTRELLI. **AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL via WEB**(p. 36). Curitiba. Retrieved from <http://www.ppgia.pucpr.br/~laplima/ensino/pfec/concluidos/2010/autores.pdf>. 2010.
- MANEA, T. F., Rosa, F. N., & Krenzinger, A. **Determinação de parâmetros de desempenho para coletores solares tubulares a vácuo.** Labsol - Laboratório de Energia Solar. 2011.
- MEDEIROS, M. **Simulação e avaliação de um sistema de aquecimento solar de água utilizando balanço energético.** Unioeste. 2012.
- MILKPARTS. **Manual de instruções ordenhadeira.** 2002.
- MORAN, MICHAEL J; SHAPIRO HOWARD N. **Princípios de termodinâmica para Engenharia.** Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ. 6 ed. 2011.
- PEREIRA, E. M. D. **Instalações solares de pequeno porte, parte A**(3rd ed.). Editora PUC-MB.2003.
- ROGER HINDRICH. **Energia e Meio Ambiente.** Editora Cengage Learning Editores.2004.
- ROSA, F. N. **Aplicabilidade de coletores solares com tubo evacuado no Brasil.** UFRG. 2012.
- RUBEZ, J. **O leite nos últimos 10 anos.** Retrieved November 10, 2012, from [http://www.leitebrasil.org.br/artigos/jrubez\\_093.htm](http://www.leitebrasil.org.br/artigos/jrubez_093.htm). 2003.
- SANTO, B. R. E. **Os caminhos da agricultura brasileira** (2nd ed.). Orton IICA / CATIE.2001.

- SANTOS, E. M. dos. **Gás natural: Estratégias para uma energia nova no Brasil**. Editora Annablume.2002.
- SOLETROL. **2014**. Acessado em 06 de Fevereiro de 2014, de <http://www.solarsul.com.br/apresentacao.htm>. 2014.
- SOUSA, A. G. L. **Desenvolvimento de software para projeto de sistemas centralizados de aquecimento solar de agua**. Rio de Janeiro.2009.
- SOUSA, H. M. **Apresentação – Energia Solar: Perspectivas, Eficiência e Sustentabilidade**. Forum Estadual de Energias Renováveis.2008.
- STOUT, B. A. **Energia para a agricultura mundial**. Itália: FAO. 1980.
- SUBMARINO. **n.d.** Acessado em 24 de Janeiro de 2015, de <http://www.submarino.com.br>. 2015.
- YTAI. **IOIO Documentation**. Acessado em 15 de Maio de 2014, de <https://github.com/ytai/ioio/wikiraphy>. 2011.

## APÊNDICE A

### ROTINA DE AJUSTE DA TEMPERATURA DESEJADA

```

/**
 * Função que realiza a alteração no ângulo do motor para estabilizar a
 * temperatura
 */
void controle() {
    int temperaturaDesejada = getTemperaturaDesejada();
    float tempAmbiente = getTemperaturaAmbiente();
    float tempDiferenca = tempAmbiente - temperaturaDesejada;
    float qtd = 0;
    lcd.setCursor(0, 1);

    // Cálculo do ajuste no ângulo com a EQUAÇÃO 1:
    //  $=(((D1 / 3) * (D1 / 3) * (D1 / 3)) / 3 + 1) / 4 - 0,15$ 
    qtd = (float) (((powAbs(abs(tempDiferenca) / 3, 3)) / 3 + 1) / 4 - 0.15);

    // Limitado a 20 graus por movimento:
    if (qtd > 20) {
        qtd = 20;
    }

    if (tempDiferenca > 0) {
        // Se for para aquecer, inverte o movimento:
        qtd *= -1;
    }

    // Se a temperatura estiver com mais de 1 grau de diferença entre a
    // desejada e a final, realiza o ajuste, caso contrário, está na faixa
    // aceitável de erro:
    if (abs(tempDiferenca) > 1.0) {
        // Nos 8 primeiros segundos é usada a função de definição do
        // ângulo inicial:
        if (quantidadeExecucoes <= 8) {
            // Execução da EQUAÇÃO 2 (APENDICE B):
            nextServoPosition = getAnguloPrimeirasExecucoes();
        } else {
            // Se já se passaram mais de 8 segundos, realiza
            // ajuste no ângulo:
            incNextServoPosition(qtd);
        }
    } else {
        // Escreve no visor LCD um indicativo de que a temperatura desejada
        // foi alcançada:
        lcd.write("==");
    }
    quantidadeExecucoes++;

    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print(abs(qtd));
}

```

## APÊNDICE B

### ROTINA DE DEFINIÇÃO DO ÂNGULO INICIAL

```

/**
 * Função que retorna o ângulo inicial com base nas temperaturas quente e
 * fria com base na EQUAÇÃO 2
 */
float getAnguloPrimeirasExecucoes() {
    // Parâmetros atuais:
    int temperaturaDesejada = getTemperaturaDesejada();
    float temperaturaQuente = getTemperaturaQuente();
    float temperaturaFria = getTemperaturaFria();

    float grausFluxoFrio = 45;
    // -----
    // Esta é a relação de vazão da água fria para a quente:

    //  $X = (E10 - G10) / (F10 - E10)$ :

    // Onde:
    // E10: TMP DESEJADA
    // F10: TMP QUENTE
    // G10: TMP FRIA

    // Cálculo da relação por meio da EQUAÇÃO 4:
    float relacaoFriaQuente = (temperaturaDesejada - temperaturaFria)
        / (temperaturaQuente - temperaturaDesejada);

    // Se a relação for válida e não for infinita:
    if (!isNaN(relacaoFriaQuente) && !isInfinite(relacaoFriaQuente)) {

        // -----
        // Abaixo a função que calculo o ângulo baseado nas temperaturas de
        // entrada e da vazão:

        //  $\theta = -42,23 * (X^{-1,015}) + 81,79$ 

        // Onde:
        // E10: TMP DESEJADA
        // F10: TMP QUENTE
        // G10: TMP FRIA

        // EQUAÇÃO 2:
        float f = -42.23F * (powAbs(relacaoFriaQuente, -1.015F)) + 81.79F;
        if (!isNaN(f) && !isInfinite(f)) {
            grausFluxoFrio = f;
        }

        // Ajustes para não extrapolar o ângulo:
        if (grausFluxoFrio < 0) {
            grausFluxoFrio = 0;
        } else if (grausFluxoFrio > 90) {
            grausFluxoFrio = 90;
        }
    }

    return grausFluxoFrio;
}

```