



Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778
Nº 2, volume 2, artigo nº 15, Julho/Dezembro 2016
D.O.I: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v2n2a15>

CONTROLADOR AUTOMÁTICO REMOTO PARA AR CONDICIONADO VIA ARDUINO, APLICANDO A LÓGICA FUZZY

Bruno Rodrigues de Souza¹
Engenheiro Mecânico

Henrique Rocha Nuss²
Engenheiro Mecânico

Orientador: Prof. M. Sc. Guilherme N. Lima
M. Sc. em Mecanização Agrícola – UFV

Coorientador: Prof. M. Sc. Rafael Lima de Oliveira
M. Sc. em Métodos de Apoio à Decisão – PUC

Resumo

Em busca de melhores condições de conforto térmico, a utilização de aparelhos de ar condicionado tem sido cada vez maior por parte dos brasileiros, tendo em vista o clima predominantemente quente e úmido. É evidente que o crescimento do setor também gera em contrapartida, aumento no consumo de energia, agravada quando os equipamentos são utilizados em sua potência máxima. Por mérito de um estudo realizado pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), visando o conforto térmico de pessoas que estejam em ambientes condicionados, nasceu a ideia de um controlador automático que realizasse o controle de temperatura do ambiente, observando a variação da umidade relativa, como proposto pelo ábaco de ASHRAE. Para tanto, foi utilizada a plataforma de prototipagem Arduino, a qual permite criar modelos de baixo custo, para estudo. A comunicação do protótipo com o ar condicionado é realizada de forma remota e assim, não necessita de alterações nas configurações originais do aparelho e sim apenas adequação da temperatura de seu “*set point*” às condições do ambiente. A decisão de ajuste é realizada por meio da lógica *Fuzzy*, que consegue definir a partir de condições prévias em quantos graus regular, para mais ou para menos. O desempenho do equipamento dentro desse estudo, e a capacidade de controlar a temperatura de acordo com o conforto foram testados e avaliados neste projeto.

Palavras-chave: Arduino; Conforto Térmico; *Fuzzy*.

¹ Faculdade Redentor, Muriaé - MG, brs-brunorodrigues@hotmail.com

² Faculdade Redentor, Italva-RJ, hnuastrocha@gmail.com

Abstract

In search of better conditions of thermal comfort, the use of air-conditioners has been increasing by the Brazilians, in view of the predominantly hot and humid climate. It is clear that the growth of the sector also generates on the other hand, increase in energy consumption, aggravated when the equipment is used at its maximum power. By merit of a study conducted by ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), aiming the thermal comfort of people who are in conditioned environments, was born the idea of an automatic controller to perform the control of room temperature, noting the change in relative humidity, as proposed by the abacus of ASHRAE. To this end, we used the Arduino prototyping platform, which allows you to create low-cost models to study. The communication of the prototype with the air conditioning is performed remotely and so requires no changes to the original settings of the device and only the temperature of your "set point" environmental conditions. The decision to fit is performed by means of Fuzzy logic, that you can set from preconditions in how many degrees, more or less. The performance of the equipment in this study, and the ability to control the temperature according to the comfort were tested and evaluated in this project.

Keywords: Arduino; Thermal Comfort; Fuzzy.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude do Brasil ser um país de clima tropical, a utilização de equipamentos de ar condicionado é crescente. Segundo dados da ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, o mercado brasileiro tem apresentado um crescimento médio de 8% ao ano, com um faturamento superior a US\$ 14 bilhões em 2013. Todavia, apenas 13% das 57 milhões de residências brasileiras possuem ar condicionado, o que representa um grande mercado em potencial. (REVISTA INFRA, 2013, *online*).

Assim como em países desenvolvidos, o crescimento do setor de ar condicionado também representa um aumento considerável no consumo de energia, esta é uma grande preocupação por parte das autoridades, considerando a crise energética enfrentada no ano de 2015.

Através de estudos realizados pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE), o conforto humano se baseia no controle de temperatura e umidade relativa do ar. A ASHRAE é uma instituição constituída por diversos engenheiros de várias partes do mundo, que se dedicam a desenvolver pesquisas nas áreas de refrigeração, ventilação e aquecimento (ASHRAE, 2004).

Os aparelhos de ar condicionado convencionais disponíveis no mercado brasileiro não possuem orientações ou programações prévias que possibilitem uma definição efetiva da temperatura ideal para o ambiente condicionado, cabe ao usuário programar a temperatura a qual considera ideal para garantir o conforto.

Em virtude dessa necessidade se torna válido a aplicação do ábaco de ASHRAE, em que se faz uma correlação entre a temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar, essa correlação permite a determinação precisa da temperatura, para que a maioria das pessoas no recinto se sintam termicamente confortáveis.

Este trabalho tem por objetivo desenvolver o protótipo de um aparelho que seja capaz de reunir informações de umidade e temperatura de determinado recinto e assim, indicar a temperatura ideal à qual o ar condicionado deverá manter para garantir o conforto térmico. Além disso, promover a regulação adequada do “*set point*” do ar condicionado de maneira contínua, promovendo um melhor controle de temperatura e otimizando o consumo de energia.

1.1 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa. Muito além apenas do controle de temperatura, é uma sensação individual que depende de aspectos biológicos, físicos e emocionais dos ocupantes presentes no recinto (ASHRAE, 2004).

Por considerar fatores intrínsecos a cada pessoa, satisfazer a todos os ocupantes do recinto se torna impraticável. Contudo, os estudos que envolvem o conforto térmico estão empenhados em determinar condições que possibilitem conforto para o maior número possível de pessoas (SILVA, 2001).

Somente o controle de temperatura não é o suficiente para garantir conforto térmico às pessoas. Estão intimamente ligados o controle da temperatura e da umidade relativa do ar. Altos níveis de umidade podem representar necessidade de temperaturas mais baixas, e baixos níveis de umidade podem representar temperaturas mais altas. A figura 1 ilustra a dependência entre temperatura e umidade para garantir conforto térmico.

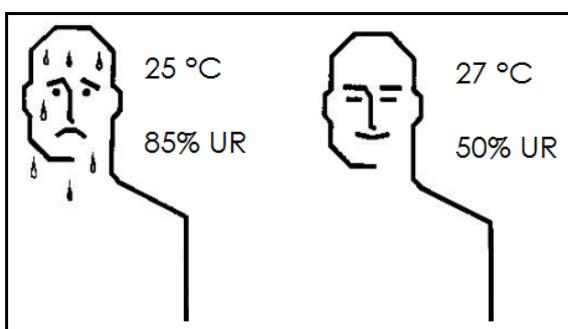


Figura 1: Efeito da umidade relativa alta.
Fonte: (ASHRAE, 2004).

A ASHRAE realizou experimentos em que os resultados são condições aproximadas, de acordo com a maioria dos usuários que estejam em um ambiente, se sintam confortáveis. Experiências foram realizadas com pessoas vestidas com roupa comum, submetidas a uma

série de temperaturas e umidades relativas, com o intuito de estudar as diversas opiniões dos usuários submetidos aos testes. Em face das diversas condições aplicadas surgiu um parâmetro de conforto denominado **temperatura efetiva**, representando um índice que se aplica ao corpo humano e diz respeito ao grau de calor e frio em certas combinações de temperatura e umidade. Mediante os dados coletados, a associação criou um ábaco de conforto para verão e inverno para ocupações contínuas, durando mais de três horas e movimentação do ar de 0,08 a 0,13 m/s que simboliza graficamente a temperatura efetiva ideal para promover o conforto dos usuários, segundo a umidade relativa em que se encontra o ambiente (ASHRAE, 2004). A figura 2 apresenta o ábaco de conforto da ASHRAE.

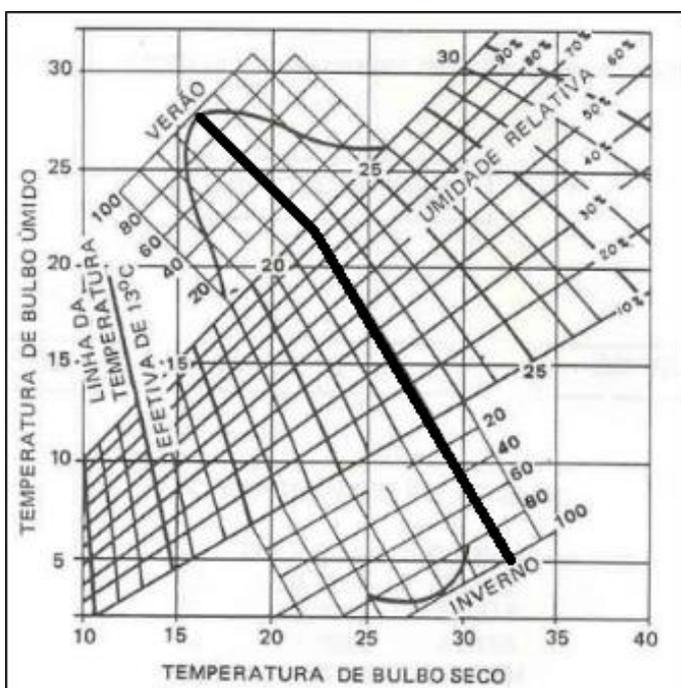


Figura 2: Ábaco de conforto da ASHRAE.

Fonte: ASHRAE, 2004.

Durante o verão, a maioria das pessoas que tenham permanecido numa atmosfera condicionada durante mais de 3 horas, sentir-se-á tão fria a 24°C de bulbo seco e 60% de umidade como a 26°C de bulbo seco e 30% de umidade, porque ambas as condições caem na linha de 22°C de temperatura efetiva (destacada no ábaco) da figura 2 (ASHRAE, 2004).

1.2 ARDUINO

Apesar de toda tecnologia embarcada nos equipamentos de ar condicionado do tipo *Split* atuais, existe, ainda, possibilidades de modificações que podem gerar grande melhoria na eficiência e também no conforto. Para tanto, é indispensável conhecimento em eletrônica, bem como, familiaridade com o ar condicionado. A ferramenta Arduino é uma plataforma simples que permite inúmeras programações, inclusive reconhece sensores de

temperatura e umidade, itens indispensáveis para o conforto humano.

O Arduino consiste numa plataforma de prototipagem de baixo custo, que possibilita às pessoas realizarem testes de novas tecnologias e desenvolverem projetos, sem a necessidade de grandes investimentos. É notável que os projetos desenvolvidos através dessa plataforma não devem ser utilizados como produto final, contudo, os resultados obtidos podem implicar na decisão de prosseguir ou não com um projeto (MELLIS, 2009).

1.3 A LÓGICA FUZZY

A lógica *Fuzzy* (nebulosa) se diferencia das demais lógicas existentes pelo seu raciocínio detalhista, ou seja, apresenta mais respostas do que os usuais verdadeiro ou falso das lógicas binárias. Nela se entende que uma resposta pode não ser de toda uma verdade, como também pode não ser totalmente mentira, de forma que entre os valores de 0 e 1 existem outras respostas que se aproximam da realidade. Um exemplo simples seria um copo com água, este copo pode sim estar completamente cheio, porém, se beber um pouco desta água ele não estará mais, e tampouco estará vazio, poderia estar quase cheio, quase vazio ou até pela metade. Na lógica nebulosa os valores verdades são expressos como: verdade, muito verdade, não verdade, falso, muito falso, etc. onde cada um desses termos é interpretado como subconjuntos *Fuzzy* do intervalo unitário (GOMIDE & GUDWIN, 1994).

Na lógica nebulosa, existe a possibilidade de se empregar probabilidades linguísticas (provável, altamente provável, improvável, etc.) dentro dos sistemas *Fuzzy*, interpretados como números *Fuzzy* e manipulados pela aritmética *Fuzzy* (KAUFMANN & GUPTA, 1985).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 SENSORES DE UMIDADE E TEMPERATURA

No projeto do controle automático via Arduino, será utilizado o sensor DHT 11, o qual consegue medir, simultaneamente, temperatura e umidade e comunicar-se com a interface de programação do Arduino.

O sensor DHT 11, é capaz de medir temperaturas entre 0 e 50°C, e umidade relativa entre 20 e 90%. A temperatura tem uma faixa de precisão de 2°C, e a umidade tem faixa de precisão de 5%. A aplicação do DHT 11 no projeto de automação de ar condicionado é válida, tendo em vista seu baixo custo e boa exatidão.

2.2 DISPLAY LCD

As informações coletadas pelo sensor DHT 11, serão enviadas para um *display* LCD

(*Liquid Crystal Display*) 16x2, constituído por 2 linhas e 16 colunas, este componente é responsável pela comunicação visual de informações. Essa interface é necessária para que o usuário possa acompanhar as variações sofridas pelo ambiente durante o período de utilização do ar condicionado.

O *display* LCD convencional possui 16 pinos para realizar sua ligação ao Arduino, o que pode prejudicar a instalação de outros componentes, pois o número de portas disponíveis no Arduino é limitada. Para amenizar esse problema, foi adicionado ao projeto o módulo serial I2C específico para o *display* LCD. O módulo utiliza apenas 2 portas do Arduino, deixando livre as demais portas para o desenvolvimento do projeto.

2.3 LED RECEPTOR E EMISSOR INFRAVERMELHO

O controle do ar condicionado é realizado de forma remota, ou seja, não há intervenções no sistema original do aparelho, e sim uma cópia do código que o controle remoto original envia para o comando do ar. Essa clonagem é realizada por meio de um receptor infravermelho. Este componente consegue captar a frequência do código do controle remoto. Esse código, por sua vez, poderá ser reutilizado para atuar a regulação do "*set point*" do aparelho de ar condicionado.

A atuação do "*set point*" é realizada por meio de um LED emissor infravermelho, que utiliza o código copiado pelo receptor infravermelho. O infravermelho é uma forma de radiação eletromagnética, uma forma de luz "invisível", localizada no espectro.

Os LEDs emissores infravermelhos são imunes a interferências externas, o que torna sua aplicação extremamente válida.

2.4 PROGRAMAÇÃO

A programação é a fase do projeto em que as informações e dados coletados pelos sensores serão incluídas na interface do Arduino e atuarão segundo critérios desenvolvidos para que todo o sistema funcione de forma harmoniosa.

2.4.1 Gráfico e Equação

O primeiro passo foi construir um gráfico em três dimensões para representar melhor os dados contidos no ábaco de ASHRAE, este por sua vez auxiliou no desenvolvimento de uma equação que relaciona várias faixas de temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR) e geram um terceiro dado, que é a temperatura efetiva (TE). Como já explicitado anteriormente a temperatura efetiva ideal, em que a maioria das pessoas se sentem confortáveis é de 22° C. A resposta obtida pela equação é uma temperatura efetiva que será comparada com a ideal para realizar os ajustes na temperatura do ar condicionado. A figura 3 apresenta o gráfico.

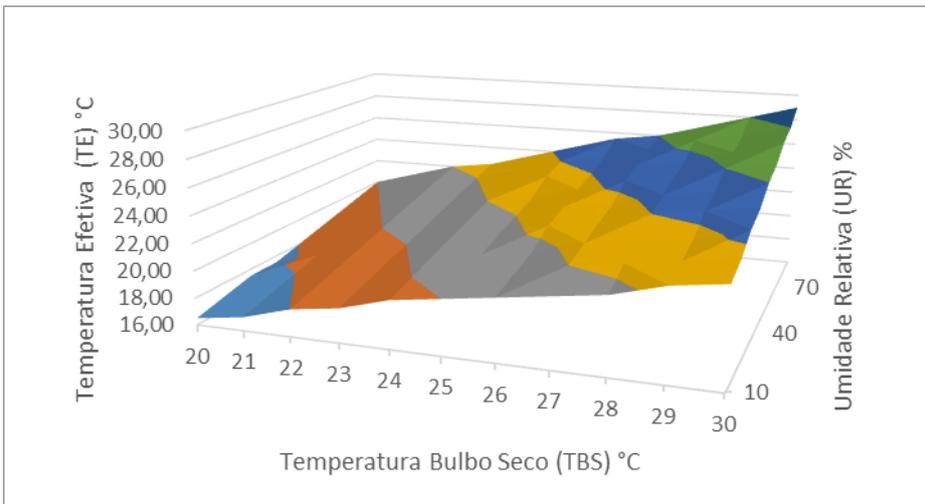


Figura 3: Temperatura Efetiva para a combinação TBS x UR.
Fonte: Arquivo Pessoal.

A equação supracitada (Equação 1.1) foi obtida através da técnica de regressão linear multivariáveis através do programa *R Studio* incorporado ao pacote computacional estatístico *R*, que constitui uma solução de código aberto (*open source*) (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

O programa *R Studio* além de auxiliar na criação de uma equação que represente a relação existente entre variáveis, também possui dispositivos estatísticos que comprovam a veracidade dos resultados. Dito isso, ao submeter os dados contidos no ábaco de ASHRAE, o programa gerou como resultado a Equação 1.1.

$$TE = 3,83333 + 0,616162 * TBS - 0,015909 * UR + 0,002939 * TBS * UR \quad (1.1)$$

Utilizando a Equação 1.1 como referência e alimentando-a com os dados retirados do ábaco de ASHRAE, obtém-se um novo gráfico, que comprova a eficiência dessa equação. A figura 4 apresenta o gráfico criado a partir da Equação 1.1.

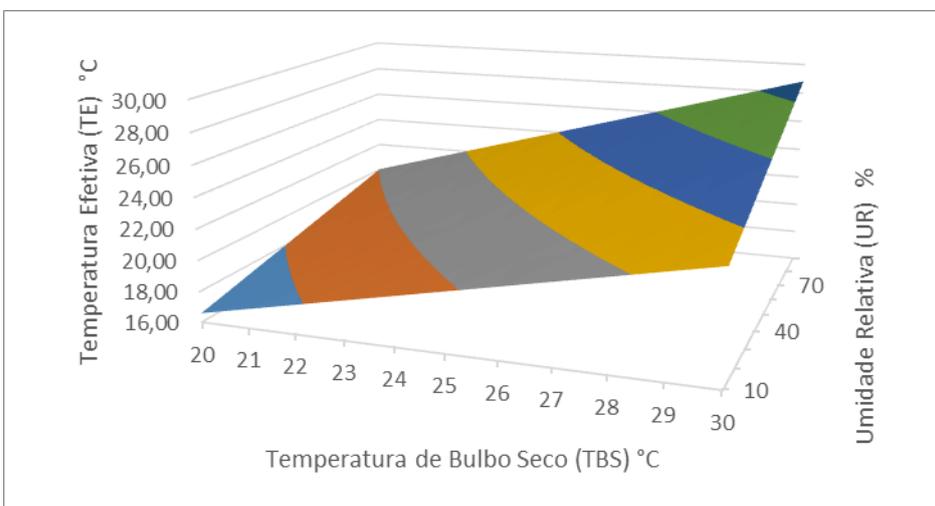


Figura 4: TE para a combinação TBS x UR, utilizando a Equação 1.1.
Fonte: Arquivo Pessoal.

A Equação 1.1 foi desenvolvida para ser incluída na IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino, para que se obtenha a resposta de temperatura efetiva para a combinação de TBS e UR, lida no ambiente em que o protótipo está instalado.

2.4.2 Incorporando o sensor de umidade e temperatura ao Arduino

Para a obtenção da temperatura e umidade do ambiente, foi utilizado o sensor DHT 11, este sensor fornece dados para efetuar o cálculo e envia informações para o *display* LCD, mantendo o usuário informado da umidade e temperatura que o ambiente se encontra.

O sensor DHT 11 possui quatro pinos, sendo o pino 1 VCC (+5V), o pino 2 dados, o pino 3 não utilizado e o pino 4 GND (negativo). Sua instalação é simples, pode ser conectado diretamente ao Arduino através de uma de suas portas analógicas. A figura 5 mostra o esquema de ligação do sensor DHT 11 à placa Arduino Mega.

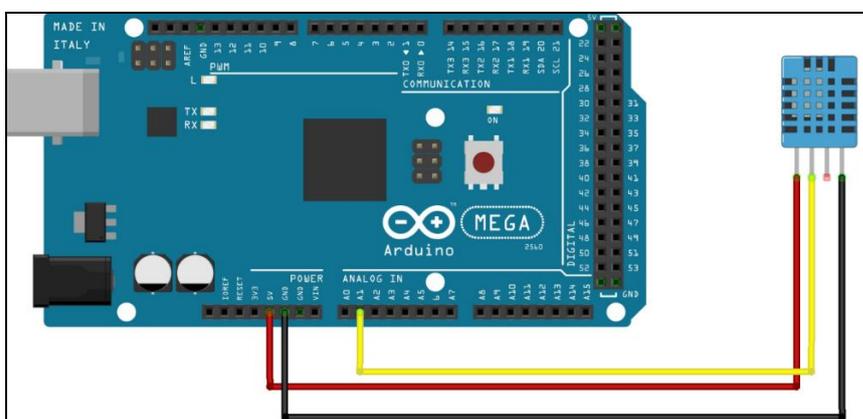


Figura 5: DHT 11 ligado ao Arduino.

Fonte: Arquivo Pessoal.

Após a instalação na placa é necessário realizar a programação do código que faz o sensor funcionar, esse código é escrito dentro da IDE do Arduino e posteriormente feito o *upload* para a placa, onde fica armazenado. Sempre que a placa é ligada, o sensor realiza a leitura.

2.4.3 Incorporando *display* LCD ao Arduino

Para tornar o protótipo mais didático, foi instalado um *display* LCD que mostra a temperatura e umidade lida em tempo real. Os dados lidos pelo sensor de temperatura e umidade, são enviados para o *display*, para que o usuário mantenha-se informado das oscilações ocorridas no ambiente durante o funcionamento do ar condicionado.

O *display* LCD possui 16 pinos, que são conectados diretamente ao módulo I2C, esse módulo possui apenas 4 pinos, sendo o pino 1 GND (negativo), o pino 2 VCC (+5V), o pino 3 (SDA) e o pino 4 (SCL). Os pinos 3 e 4 são ligados à duas portas de comunicação do Arduino, sendo SDA ligada na porta 20 e SCL na porta 21. O esquema de ligação é

apresentado na figura 6.

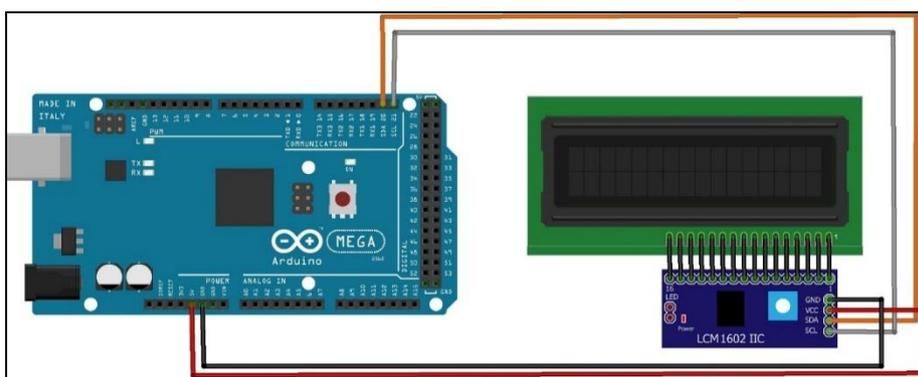


Figura 6: LCD e módulo I2C ligados ao Arduino.

Fonte: Arquivo pessoal

Realizadas conexões com a placa, são aplicados os códigos dentro da IDE do Arduino, no código são utilizados os dados fornecidos pelo sensor DHT 11 para escrever a temperatura e umidade no *display* LCD, estabelecendo assim a comunicação visual conveniente.

2.4.4 Clonando o controle do ar condicionado

O próximo passo foi a clonagem do controle remoto do ar condicionado, nessa fase aplicou-se o receptor infravermelho para a recepção do sinal do controle e identificação do código. Cada temperatura possui um código, sendo assim, foram clonados os códigos referentes a cada grau do aparelho de ar condicionado, o intervalo de temperatura é entre 18 e 30°C, totalizando 13 códigos armazenados.

O receptor utilizado para a clonagem foi o TSOP4838, comumente utilizado nos aparelhos de ar condicionado. O receptor possui 3 pinos, sendo o pino 1 dados, o pino 2 GND (negativo) e pino 3 VCC (+5V). Sendo o pino de dados ligado à porta PWM (*Pulse Width Modulation*) número 2 do Arduino. Na figura 7 é apresentado o esquema de ligação do receptor infravermelho.

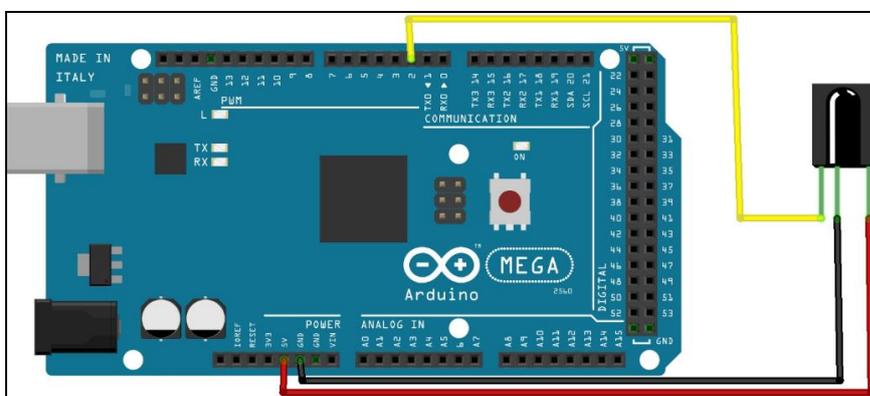


Figura 7: Receptor infravermelho ligado ao Arduino.

Fonte: Arquivo pessoal

O código utilizado para essa fase do projeto é aplicado apenas durante o processo

de clonagem, podendo ser removido posteriormente.

Importante salientar que cada fabricante de ar condicionado possui uma codificação diferente para uso em seu controle remoto, o que conseqüentemente exige uma clonagem específica para cada aparelho.

2.4.5 Implementando a Lógica Fuzzy

Todo aparato de informações e cálculos realizados para efetuar o controle automático do ar condicionado necessitam de inteligência artificial, tendo em vista que o protótipo tem por objetivo avaliar as condições climáticas presentes num recinto e tomar decisões de ajustar ou não a temperatura, e ainda definir quantos graus para mais ou para menos. A aplicação da lógica *Fuzzy* se faz necessária no sentido de comparar inúmeros fatores e criar dispositivos que a partir de informações predeterminadas conseguem dar uma resposta mais próxima da realidade.

Para a aplicação neste projeto foi desenvolvido um modelo *Fuzzy* que subdivide em grupos: frio, confortável, quente e muito quente. Para cada uma das condições são atribuídos intervalos de temperatura, ou seja, o sistema é considerado frio quando a temperatura efetiva se encontra abaixo de 22°C; é considerado confortável entre 20 e 24°C; considerado quente entre 22 e 26°C; e considerado muito quente acima de 24°C. A escolha desse modelo foi baseada no ábaco de ASHRAE, podendo ser alterado os intervalos de temperatura na medida da necessidade e dos resultados alcançados. A figura 8 apresenta o modelo *Fuzzy* desenvolvido.

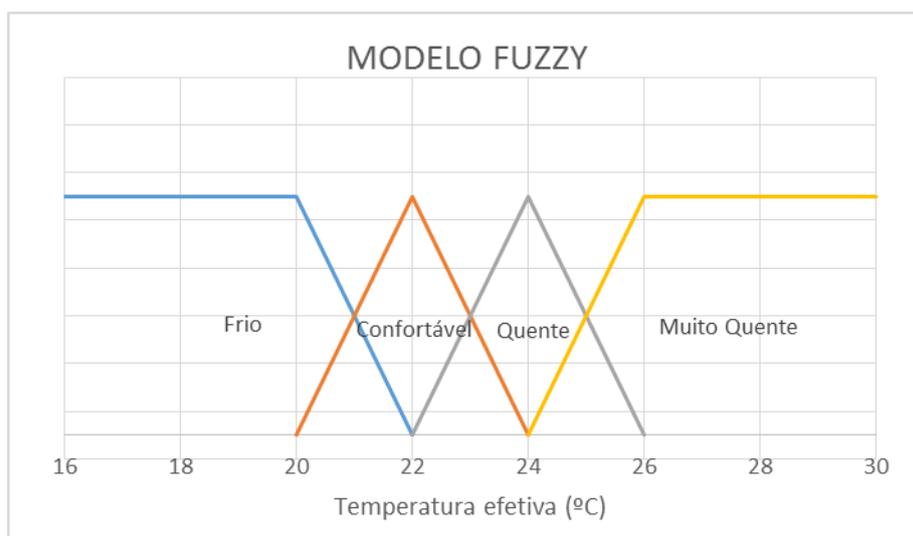


Figura 8: Modelo Fuzzy proposto para o projeto.

Fonte: Arquivo Pessoal

A lógica *Fuzzy* utiliza de inteligência artificial e relaciona as condições de temperatura e conforto definidas no modelo *Fuzzy*, e assim decide ajustar ou não a temperatura do ar condicionado.

De igual forma é necessário desenvolver um modelo *Fuzzy* para decidir em quantos graus ajustar o ar condicionado. De maneira prática imagine por exemplo que a equação desenvolvida para esse projeto (Equação 1.1), dê como resultado uma temperatura efetiva de 25°C, já sabemos que a temperatura efetiva ideal é de 22°C, portanto, é notável que a temperatura deve ser regulada, ou seja, deve-se abaixar em 3°C a temperatura efetiva. Doravante, a resposta a essas variações nem sempre geram números precisos, para que se possa aproximar da realidade, são criados sub grupos, que representam pequeno, médio e grande ajuste, atribuindo aos mesmos, valores de variação, ou seja, quando o ajuste é considerado pequeno, atribui-se de 0 a 2°C, quando o ajuste é médio atribui-se de 1 a 3°C, e ajuste grande entre 2 e 4°C. A figura 9 apresenta o modelo *Fuzzy* para ajuste de temperatura.

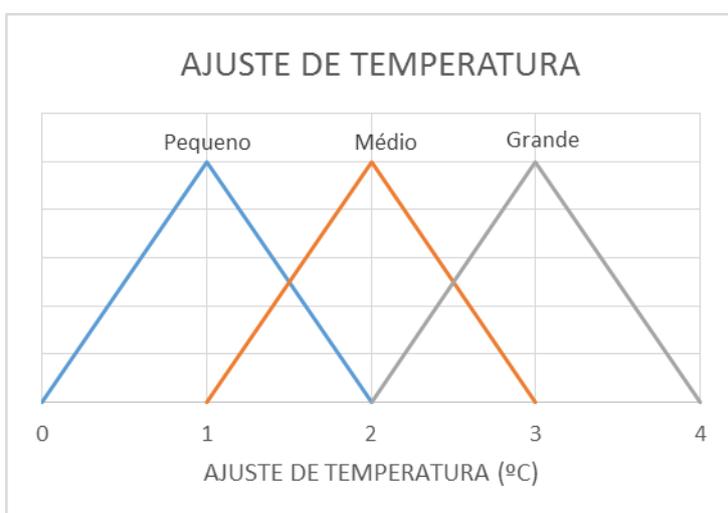


Figura 9: Modelo *Fuzzy* para ajuste de temperatura.

Fonte: Arquivo Pessoal

A resposta dada pelo modelo *Fuzzy* tende a corresponder com a condição de conforto para a maioria das pessoas. Contudo este valor pode sofrer alterações e adequações.

A resposta dada pelo modelo *Fuzzy* de ajuste, corresponde a temperatura efetiva (TE) e não de temperatura de bulbo seco (TBS), portanto, é necessário converter TE em TBS, essa conversão é realizada através da Equação 1.1.

2.4.6 Enviando o sinal IR para o ar condicionado

Para que seja efetuado o ajuste do ar condicionado, foi utilizado o LED emissor infravermelho, capaz de enviar o código clonado do controle remoto para o aparelho de ar condicionado. O LED emissor infravermelho de 5 mm possui dois pinos, sendo o pino menor ligado ao GND (negativo) e o pino maior ligado diretamente à porta PWM número 9 do Arduino. A figura 10 mostra a ligação do LED na placa Arduino.

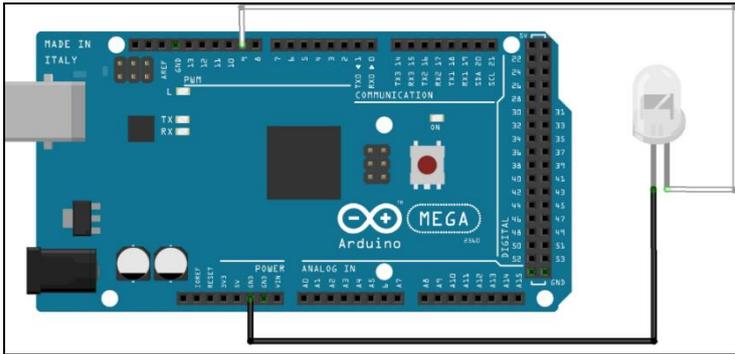


Figura 10: LED emissor infravermelho ligado ao Arduino.

Fonte: Arquivo pessoal

2.4.7 Visão geral da montagem

Com os componentes montados no circuito e ligados à placa do Arduino Mega, a lógica de programação se encarrega de realizar os demais processos pertinentes. Toda vez que o protótipo é ligado à uma fonte de energia, ele começa a armazenar os dados do ambiente, e dentre esses dados faz-se uma comparação com a temperatura efetiva ideal.

Foram escolhidos intervalos de tempo para que o sistema realize as leituras, e assim, não fique ajustando a temperatura em períodos muito curtos. Foi selecionado o tempo de coleta de amostras de um minuto, ou seja, a cada minuto são coletadas as informações de umidade relativa (UR) e temperatura de bulbo seco (TBS), esses dados vão sendo armazenados até o total de 10 amostras, onde se faz uma média aritmética, o resultado dessa média é lançado pela lógica de programação dentro da Equação 1.1, que por sua vez calcula a temperatura efetiva (TE) daquele ambiente.

A próxima fase é a decisão de ajuste ou não da temperatura do ar condicionado, o programa então passa para a lógica *Fuzzy*, para que seja comparada com o valor de TE ideal para conforto e também para definir em quantos graus ajustar, para mais ou para menos.

Tomadas as decisões de ajuste o sistema passa para a fase de atuação no ar condicionado. Nesta fase o LED emissor infravermelho irá enviar para o ar condicionado o código referente aquela temperatura definida pela lógica de programação. Após o ajuste o sistema reinicia o ciclo, decidindo a cada dez minutos realizar o ajuste ou não.

Outro detalhe importante do sistema é que as informações colhidas pelo sensor de temperatura e umidade são impressas no *display* LCD, para que seja feito o acompanhamento por parte do usuário.

2.5 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

O sistema foi implementado na sala 209 da Faculdade Redentor, campus Itaperuna, o ambiente foi selecionado devido às suas instalações conterem apenas um aparelho de ar condicionado, este aparelho por sua vez, é da marca Electrolux modelo PI24F, com

capacidade de resfriamento de 24000 BTU/h.

O controlador automático, foi desenvolvido para substituir funções presentes no controle remoto original do ar condicionado, portanto, é necessário que o controlador seja posicionado de frente para o ar condicionado, sem interferência de nenhum objeto, para garantir seu funcionamento. A distância entre o ar condicionado e o protótipo não deve exceder 5 m.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TESTES

Os testes realizados, tiveram por objetivo a princípio identificar a influência que uma mesma temperatura selecionada por longos períodos, tem sobre a umidade relativa do ar. Num segundo momento, foram realizados testes com o protótipo atuante, ou seja, controlando a temperatura segundo as condições do ambiente, para assim identificar se a oscilação de umidade geraria dados diferentes dos obtidos anteriormente.

Para garantir resultados mais conclusivos, foram realizados testes idênticos durante os dias 16, 17 e 18 de novembro de 2016. Os testes obedeceram alguns critérios para garantir resultados e informações plausíveis.

A sala 209 foi mantida com ar condicionado ligado nas seguintes condições:

- Ar condicionado ligado em 18°C entre 13 e 15 horas, dos dias 16,17 e 18 de novembro.

Durante o período de teste não foram realizados ajustes na temperatura do ar condicionado. O protótipo também foi posicionado em posição estratégica, numa distância de 5 m do aparelho de ar condicionado para garantir que não houvesse interferências nos resultados. A sala se manteve fechada e com apenas duas pessoas em seu interior.

Os resultados dos testes são apresentados no gráfico abaixo (Figura 11).

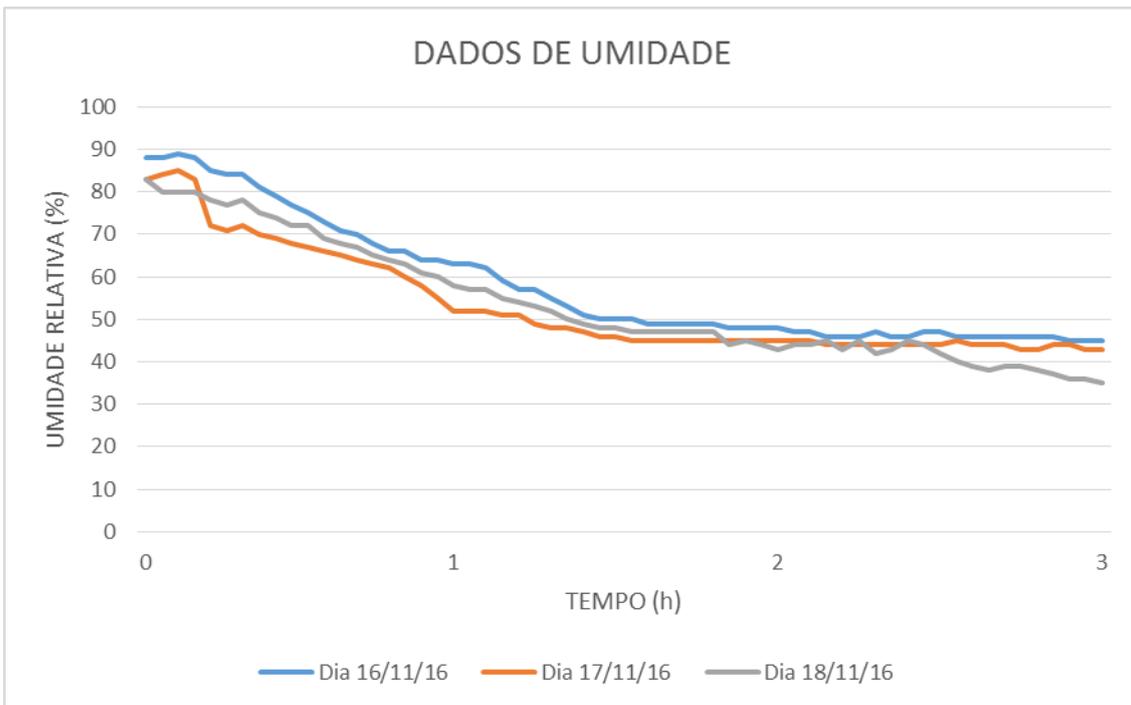


Figura 11: Gráfico representativo da variação da umidade.

Fonte: Pesquisa

No primeiro dia de testes foram observadas durante as duas primeiras horas de funcionamento, grande queda na umidade, após esse período, a umidade se estabilizou, ficando entre 43 e 46%. No segundo teste foram observados resultados semelhantes ao primeiro, a umidade ao final deste teste ficou entre 42 e 45%. Já no terceiro teste a umidade alcançou níveis muito baixos (abaixo dos 40%), o que implica no conforto dos usuários, tendo em vista que o aparelho de ar condicionado não possui a opção de reposição da umidade.

Outros testes foram realizados nos dias 21 de novembro, 6 e 7 de dezembro, com o controlador automático atuante. Foram respeitados os mesmos intervalos de tempo e temperatura inicial dos demais testes, contudo durante o período, foram permitidas as alterações da temperatura sugeridas pelo protótipo. Os resultados dos testes são apresentados no gráfico da figura 12.

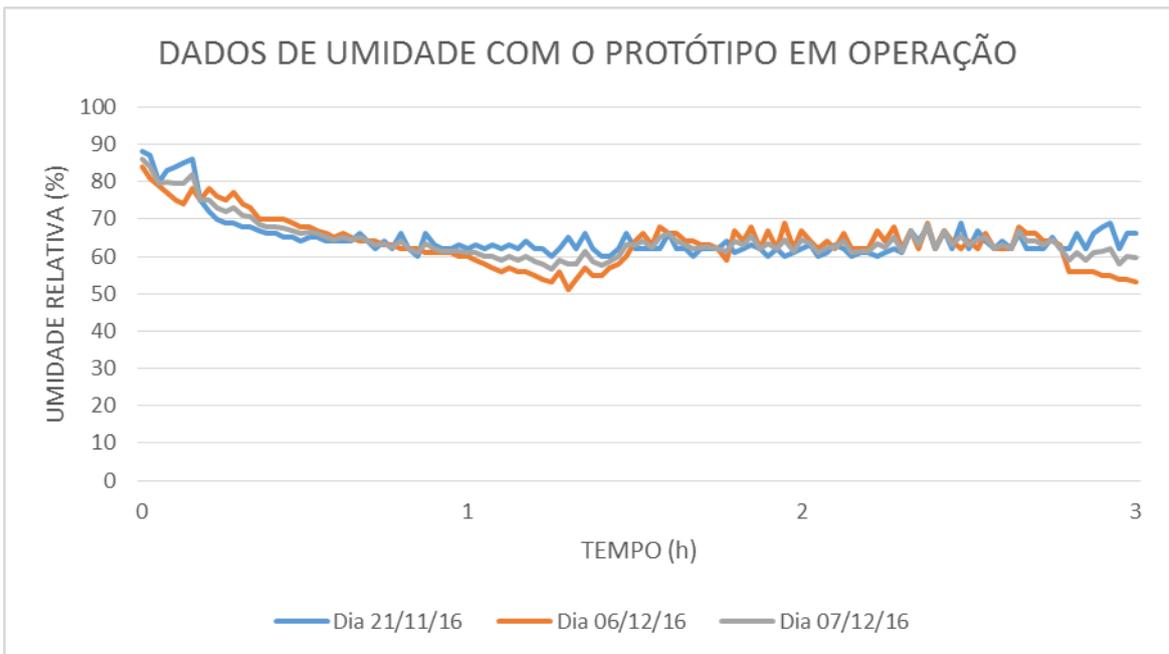


Figura 12: Gráfico representativo da variação da umidade.

Fonte: Pesquisa

Foram observados durante os últimos testes que com a regulagem adequada da temperatura, a umidade manteve-se em níveis mais altos e praticamente constante durante a maior parte do teste.

Em virtude dos resultados dos testes, é possível observar a grande influência que baixas temperaturas têm sobre a umidade relativa do ar em ambientes condicionados, e também que o controle adequado e contínuo de temperatura pode manter níveis de umidade mais altos, e conseqüentemente mais confortáveis para os usuários.

Também é notável que com a adequada escolha da temperatura para o recinto, o ar condicionado permanecerá com seu compressor ligado por menos tempo, o que evidentemente evita o desperdício de energia.

3.2 SUGESTÕES

Outras condições de teste devem ser estudadas e analisadas para garantir melhores resultados e identificar falhas no projeto que podem interferir no seu bom funcionamento. É importante analisar a influência de fatores como:

- Carga térmica do recinto. Neste estudo não foram realizados cálculos de carga térmica do recinto, não se sabe se em ambientes onde a carga térmica se encontra inadequada, se o protótipo também tem a mesma eficiência;
- Presença e movimentação de pessoas. Com a presença das pessoas as oscilações de umidade e temperatura são maiores, portanto, devem ser avaliadas as condições de conforto, com a presença de mais pessoas;
- Outras opções do modelo *Fuzzy*. O modelo *Fuzzy* proposto pode sofrer ajustes para

se adequar melhor as condições de conforto;

- Influência no consumo de energia. É importante estudar o impacto da aplicação desse projeto no consumo de energia de aparelhos de ar condicionado.

São sugeridos também análise das opiniões dos ocupantes dos recintos estudados, para produzirem dados estatísticos que comprovam a eficiência do projeto.

4. CONCLUSÃO

Em virtude da grande demanda de energia necessária para manter os equipamentos de ar condicionado funcionando, é que se torna válido estudos no sentido de minimizar o consumo dessas máquinas. Este trabalho objetivou desenvolver um sistema capaz de ler a temperatura e a umidade de ambientes condicionados e assim definir através de lógica de programação a temperatura ideal de conforto na qual a maioria dos ocupantes do recinto se sintam confortáveis.

A opção proposta foi a construção de um equipamento capaz de reconhecer a temperatura e umidade do ambiente de maneira contínua e calcular a temperatura ideal para ser regulada que garanta conforto a maioria dos ocupante do recinto por meio da plataforma de prototipagem Arduino e sensores adjacentes.

O protótipo atendeu aos objetivos propostos, promovendo os cálculos e realizando as alterações no “*set point*” do ar condicionado segundo as condições definidas e programadas. As alterações da temperatura foram feitas de forma remota, ou seja, sem interferência nas configurações originais do ar condicionado.

De acordo com os testes realizados o protótipo apresenta tendências em atender o escopo do projeto, ou seja, controlar a temperatura do “*set point*” de acordo com a umidade relativa do ar. A comunicação com os sensores e a atuação das alterações do “*set point*” foram realizadas com êxito. Contudo, vale ressaltar que ainda há melhorias e testes que devem ser realizados para promover melhor adequação as condições propostas.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, 2004.

ÇENGEL Y.A, BOLES M.A., **Termodinâmica**. 7ª ed. São Paulo. McGraw-Hill, 2013.

GOMIDE, Fernando A. Campos; GUDWIN, Ricardo R. Modelagem, controle, sistemas e lógica Fuzzy. **Revista SBA: Controle e Automação**. Campinas-SP, vol. 4, nº 3/setembro-outubro, 1994.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo, Novatec Editora, 2011.

MELLIS, D.A. **Arduino – Introduction**. Arduino, 2009. Disponível em:
<<http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>.

NIKU, Saeed Benjamin. **Introdução à robótica: análise, controle, aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

PIRANI, Marcelo José. **Apostila de ar condicionado e refrigeração**. Disponível em:
<<http://pt.slideshare.net/andydurdem/refrigeracao-i>>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language And Environment For Statistical Computing**. Vienna: Austria R Foundation for Statistical Computing, 2012.

REVISTA INFRA. FEBRAVA: Antecipando Tendências. Disponível em:
<<http://www.revistainfra.com.br/portal/Textos/?Entrevistas/14178/FEBRAVA-2013:-Antecipando-tend%C3%AAs>>

SILVA, Jesué Graciliano da. **Introdução a Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. 1ª ed. São Paulo: Artliber Editora, 2003.

SILVA, J. de C.; SILVA, A.C. G. C. **Refrigeração e Climatização para Técnicos e Engenheiros**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2007.

Sobre os Autores

Bruno Rodrigues de Souza: Aluno graduado do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Redentor, graduado em Administração pela Faculdade de Minas (FAMINAS).
E-mail: brs-brunorodrigues@hotmail.com

Henrique Rocha Nuss: Aluno graduado do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Redentor.
E-mail: hnussrocha@gmail.com

Orientador: Prof. M. Sc. Guilherme N. Lima: Professor do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Redentor. M. Sc. em Mecanização Agrícola – UFV.
E-mail: glima.eng.mec@gmail.com

Coorientador: Prof. M. Sc. Rafael Lima de Oliveira: Professor do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Redentor. M. Sc. em Métodos de Apoio à Decisão – PUC.
E-mail: engenheirorafael.professor@gmail.com