

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE LEITURA DAS VARIÁVEIS NATURAIS QUE INTERFEREM NO CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS FECHADOS - EVR2021-0001

W. C. Fortes ^{1,*}, I. M. S. Vieira ², M. Valverde-Ramirez ³

^{1,2,3} Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Várzea Grande

Curso de Engenharia de Controle e Automação

Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 78060-900

* weversoncarlos1@hotmail.com

Resumo

Ambientes internos com conforto térmico são locais apropriados para que as pessoas desenvolvam atividades de forma produtiva. Diante da necessidade do conforto térmico a proposta do presente estudo foi desenvolver um protótipo que avalie as variáveis que interferem no conforto térmico. Para o presente estudo foram utilizados sensores para medir: umidade, temperatura, conteúdo de CO₂ e fluxo de calor. Os sensores utilizados foram integrados no Arduino, com base na linguagem de programação C++. Para a integralização dos sensores foram utilizados resistores tipo *pull-up* internos os quais foram ativados no microcontrolador do Arduino. Outro fator significativo a frisar, foi a manipulação e a coleta de dados a partir da pastilha Peltier, a leitura foi realizada considerando a comparação direta com o sinal de corrente. Os sensores DHT22 (sensor de umidade e temperatura) e MQ135 (sensor de gás) foram calibrados baseados nas especificações dos fabricantes. Após a construção do protótipo foram realizados testes de leitura e logo a colheitas das variáveis de interesse, os resultados são apresentados neste artigo. O protótipo construído possui alto potencial: custos baixos na construção e versatilidade de uso.

Palavras-chave: Pastilha Peltier, sensores, conforto térmico.

Introdução

Conforto térmico é definido pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers*) como “uma condição mental que expressa satisfação com as condições térmicas do ambiente que é avaliado subjetivamente pelo indivíduo”. Os estudos de conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas. No estudo do conforto térmico existem dois grupos de variáveis que influenciam: variáveis de natureza ambiental e variáveis de natureza pessoal. Nas variáveis de natureza ambiental estão principalmente a temperatura, velocidade do vento e a umidade. Nas variáveis de natureza pessoal estão a vestimenta da pessoa (isolamento térmico), atividade física executada (metabolismo) e idade da pessoa, etc. O controle das variáveis, de natureza ambiental, que interferem no conforto térmico, pode ser realizado com sensores de temperatura, umidade, conteúdo de CO₂, e fluxo de calor.

O fluxo de calor representa a energia transferida por unidade de área. A condução de calor é resultante da interação de partículas de maior energia de uma dada substância com partículas adjacentes de menor energia; na convecção de calor a energia é transferida entre a superfície sólida e o escoamento da camada limite, na radiação a energia é emitida pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas resultantes

das mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas. (Çengel, 2012).

As pastilhas de Peltier são geradores termoelétricos, realizam a conversão direta de energia térmica para energia elétrica, a partir de um gradiente de temperatura. O efeito Peltier provoca o aquecimento de uma das junções e o resfriamento da outra se uma corrente elétrica atravessa os dois condutores. Esses condutores são tipicamente semicondutores dopados tipo-p e tipo-n, que possuem respectivamente lacunas livres e elétrons livres entre duas placas de cerâmica conectados por pequenas abas de cobre finas.

Em estudos realizados por Austin et al., 2019, Yang 2017, Austin et al., 2021, foram utilizadas pastilhas Peltier para avaliar o fluxo de calor. O uso das pastilhas Peltier está se tornando conhecido nestes últimos anos basicamente pelas características desejáveis: não possuem partes móveis, promovem o controle de temperatura, requerem pouca manutenção, são compactos e de funcionamento relativamente simples comparado com os sensores de calor comerciais.

Outro ponto de interesse no uso da pastilha Peltier é o preço, a avaliação do fluxo de calor utilizando o sensor de calor comercial é 10 vezes maior do que utilizando módulos com pastilhas de Peltier (Austin et al., 2019).

Austin et al., 2019 indicaram que na avaliação do fluxo de calor sobre a superfície de edificações, o uso das pastilhas Peltier apresenta uma boa alternativa de uso.

Austin et al., 2019 indicaram que para evitar erros na avaliação do fluxo de calor utilizando pastilhas Peltier é necessário analisar a espessura da pastilha, a energia armazenada na pastilha e a influência do método de calibração empregado.

Nos experimentos realizados por Austin et al., 2019, Yang 2017, Austin et al., 2021 foram utilizadas pastilhas Peltier, como sensores de fluxo de calor. Os quais foram revestidos com alumínio (de alta reflexão) e tinta preta (de alta absorção) a partir dos experimentos os autores determinaram a transferência de calor por radiação e a transferência de calor por convecção.

O objetivo do presente estudo foi desenvolver um protótipo utilizando uma plataforma Arduino de baixo custo e de fácil programação que auxilie na obtenção de dados para análise de conforto térmico em ambientes internos. Quanto a construção do protótipo, foram utilizados sensores tipo: DHT22 e MQ135. Além disso, o protótipo conta com pastilha Peltier que permite avaliar o fluxo de calor presente na superfície sólida. O protótipo coleta e armazena automaticamente os dados das variáveis de interesse em um cartão de memória SD.

Estrutura do protótipo

Para a construção do protótipo foi considerado uma caixa de madeira com dimensões de 11cm x 11cm x 11 cm. Os critérios para as dimensões foram a facilidade no transporte e os custos. A Figura 1 apresenta a parte externa e a parte interna do protótipo construído no presente estudo.

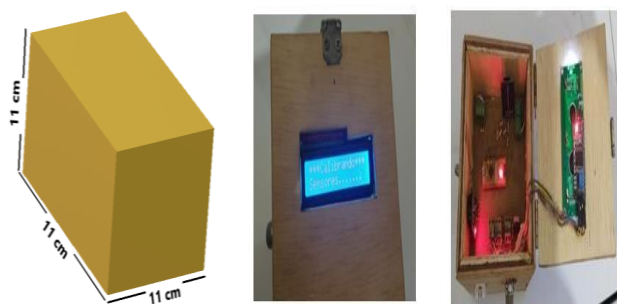


Figura 1: Parte externa e interna do Protótipo funcionando (Fonte: o Autor)

Metodologia

A placa de Arduino utilizado na construção do protótipo possui um microcontrolador ATmega328P que controla as entradas e saídas, convertendo medidas do mundo real em sinais elétricos. Nas entradas e saídas do Arduino foram conectados sensores de umidade (DHT22), temperatura (DHT22), níveis de CO2 (MQ135) e gradiente de temperatura que é transformado em gradiente de potencial elétrico (baseado na pastilha Peltier). Para a montagem dos sensores foram utilizados os conceitos disponibilizados em Lima et al., 2012. Para a programação na placa Arduino foi utilizada a linguagem de programação C/C++.

Os dados informados são armazenados contendo dia, mês, ano, hora. A partir de um dispositivo RTC (**Real Time Clock**), assim os dados são sincronizados conforme a execução dos experimentos.

Além disso, o protótipo conta com uma IHM (Interface Homem Máquina) baseado em um **display** LCD, o mesmo possui a função de informar ao usuário que os sensores estão sendo calibrados, ao término da calibração, caso ocorra eventuais problemas técnicos. Uma mensagem de erro irá ser apresentada no visor do **display**, caso contrário, a somente exibição das medidas de: temperatura, umidade, níveis de CO₂ e o fluxo de calor em tempo real.

Antes de iniciar com as medições foram realizadas as calibrações dos sensores, com o objetivo de reduzir os erros de medição e oscilações bruscas que ocorrem quando os sensores iniciam o seu funcionamento. Para isso foi criado no início do código um **Delay** de 35 segundos, com o objetivo de evitar erros quando o sistema está na fase de inicialização de sua operação. Após o tempo predeterminado os dados passaram a ser escritos em um arquivo CSV (Valores Separados por Vírgula) e gravados no cartão micro SD, dessa maneira os arquivos podem ser acessados numa planilha de base de dados possibilitando a criação de gráficos para análises e modificações das variáveis.

Para calibrar o MQ135 utilizou-se como base as informações presentes na Figura 2, onde é possível observar a razão entre RS/RO (resistência na presença de CO₂ dividido por resistência em ar puro). Com base na figura é possível observar o comportamento dos gases em temperatura e umidade ideal é constante, precisou-se então calibrar o sensor em um ar limpo com o objetivo de encontrar o valor de RO.

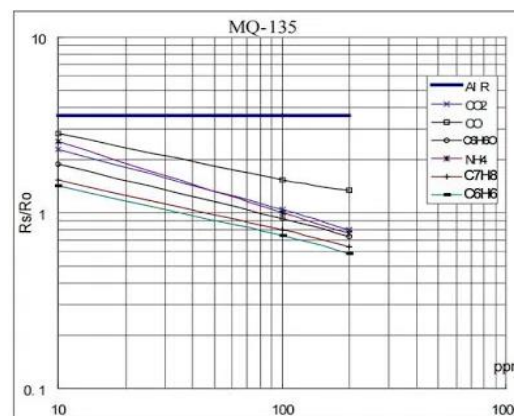


Figura 2: Comportamento da resistência para o sensor MQ135 (Fonte: Datasheet).

Calibrar o sensor DHT22 foi simples, pois, a plataforma utilizada possuía uma biblioteca para a utilização do mesmo, sendo assim bastou definir um pino digital e utilizar a estrutura da IDE (*Integrated Development Environment*) para que dessa maneira os dados lidos possam ser interpretados.

A pastilha de Peltier utilizada no protótipo foi de 40 mm x 40 mm x 4 mm com potência de operação 72 Watts, e 2,5 Ω de resistência. Austin et al., 2021 utilizaram pastilha de Peltier com 17,3 Ω de resistência. Durante a execução do presente estudo não foi possível comprar a pastilha Peltier similar ao utilizado por Austin et al., 2021. A Figura 3 mostra a pastilha de Peltier utilizada neste estudo.



Figura 3: Pastilha Peltier usada no presente estudo.
(Fonte: FlipFlop)

Os desafios encontrados ao longo da execução do estudo foram: itens para suporte da placa, o acoplamento da pastilha de Peltier ao sistema integrado dada a complexidade do equacionamento e o algoritmo de acoplamento no Arduino e a calibração da pastilha Peltier.

Software do protótipo

As informações referentes a temperatura, umidade, conteúdo de CO₂ e gradiente de temperatura na pastilha de Peltier são transferidas ao Arduino onde foi desenvolvido o programa na linguagem C++. O gradiente de temperatura na pastilha de Peltier gera uma corrente elétrica, devido ao gradiente de temperatura entre as faces da pastilha ocorre o fluxo de calor. A direção do fluxo é determinada pelo sentido da passagem da corrente elétrica. Na Figura 4 podemos observar a sequência lógica de funcionamento do protótipo construído.

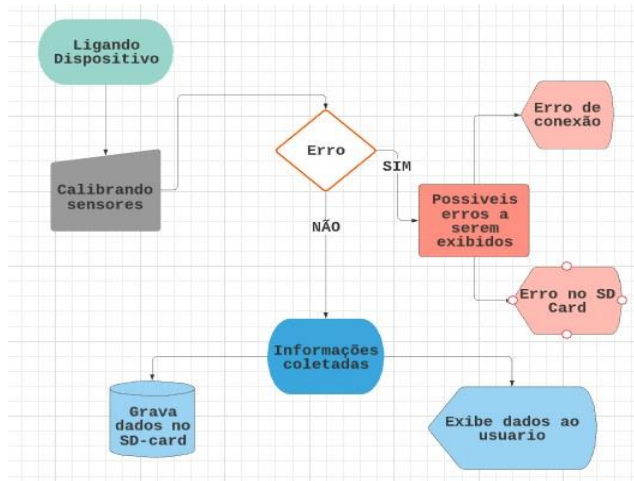


Figura 4 Sequencia logica do funcionamento do protótipo construído. (Fonte: o Autor)

Resultados e Discussão

Na Figura 5, são apresentados os valores médios das variáveis naturais que interferem no conforto térmico em espaços fechados. Os experimentos foram realizados nos dias 20 e 22 de janeiro de 2020, na estação do verão, onde é caracterizada pela ocorrência de chuvas fortes. Na figura é possível observar que com o aumento da temperatura a umidade diminui. O fluxo de calor e o conteúdo de CO₂ se mantem com uma leve tendencia crescente em função ao incremento da temperatura. Com relação ao conteúdo de

CO₂ e a umidade relativa do ar os resultados obtidos neste estudo seguem a mesma tendencia que os apresentados na literatura.

Com relação aos resultados do fluxo de calor é possível afirmar que os resultados estão subestimados, ou seja, são menores que os fluxos de calor experimentais apresentados por Austin et al., 2021 para condições semelhantes de operação. Nesse sentido o acoplamento e a calibração da pastilha de Peltier precisam ser melhorados neste estudo.

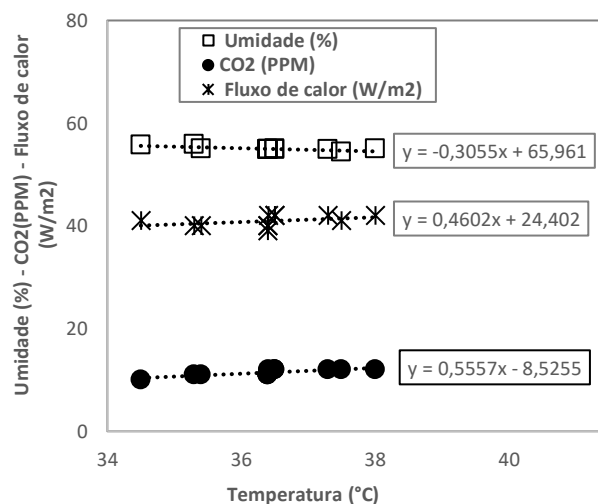


Figura 5: Valores médios das variáveis naturais que interferem no conforto térmico em espaços fechados
(Fonte: o Autor)

Por outro lado, o estudo mostrou o potencial de uso da pastilha de Peltier. Cabe destacar que na literatura são poucos os trabalhos que utilizaram a pastilha de Peltier, como sensor para determinar o fluxo de calor dada à complexidade do equacionamento e o acoplamento da linguagem de programação.

As vantagens do uso da pastilha Peltier em relação aos equipamentos comerciais são: os custos e a adaptabilidade; sendo possível adicionar no protótipo outros sensores para diversos objetivos. Na Tabela 1 são apresentados os custos para a construção de 1 protótipo.

Tabela 1: Custos de construção do protótipo utilizado no presente estudo.

Quantidade	Componente	Custo (R\$)
1	Arduino nano	18,00
1	Placa de circuito perfurada	16,00
2	Pilha recarregável	20,00
1	Caixa para montagem	20,00
1	RTC	16,00
1	Jumper macho/fêmea	9,00
1	Cartão de memória 8 GB	25,00
1	Bornier	1,50
3	Tubo de solda	7,00
1	Chave ON/OFF	3,00
1	Sensor DHT22	35,00
1	Sensor MQ135	22,00
1	Módulo cartão micro SD card	11,5
1	Pastilha de Peltier	28,00
Total		266,00

O mercado oferece uma grande gama de medidores prontos para avaliar o conforto térmico, porém com custos elevados, uma forma de incentivar os estudos e a pesquisa é a construção de protótipos que podem ser aprimorados pelos estudantes de graduação. Na Tabela 2 são apresentados custos disponíveis na internet (Filipeflop componentes eletrônicos, Mercado livre, Hukseflux Brasil)

Tabela 2: Custos de Medidores de conforto térmico disponíveis no mercado.

Medidores	Descrição	Custo (R\$)
Extech CO250	Medidor portátil de qualidade do ar interno EXtech. Temperatura, umidade, porto de orvalho e bulbo úmido	2372,58
Incotem TCO100	Medidor de CO2 capacidade 0 a 1000 PPM digital	1243,99
HMTGD-1800	Instrumento obrigatório em higiene ocupacional industrial	1335,00
Anemômetro 410-2	Realiza medições de velocidade, temperatura e umidade.	1020,76
Fluxo de calor HFS-4	Transdutor que gera um sinal elétrico proporcional ao fluxo de calor aplicado a sua superfície.	816,00

Neste trabalho não foi possível realizar os experimentos no ambiente inicialmente programado, locais com circulação de muitas pessoas, como por exemplo escolas, devido a pandemia Corona Vírus 19 as atividades concernentes ao presente estudo foram paralisadas.

Conclusões

O objetivo do estudo foi a construção de protótipos para leitura e coleta das variáveis naturais que interferem no conforto térmico em espaços fechados. Foi possível verificar que a umidade e o conteúdo de CO₂ estão em concordância com a literatura. A avaliação do fluxo de calor precisa ser melhorada, são necessários mais estudos com a pastilha de Peltier para verificar o uso como medidor de fluxo de calor.

Neste estudo foi possível a construção de um medidor de baixo custo, para mensurar variáveis. O protótipo construído fornece praticidade e robustez dado que não se faz necessário uma medição manual constante, com os dados coletados automaticamente temos um banco grande de dados.

O protótipo construído apresenta custos de fabricação baixos comparados com os equipamentos comerciais.

Referências

Austin M. C., Wu T. V. Sempey A., Bruneau D., Sommer A. 2019. Experimental assesment of Peltier modules as an alternative to conventional heat flux meter. Congrès Français de Thermique SFT, Nates, 3 – 6 juin.

Austin M. C., Wu T. V., Sempey A., Sommer A., Dumoulin J., Bruneau D., Batsale J., Yang Y. 2021. Investigation into the use of thermoelectric modules as an alternative to conventional fluxmeters: application to convective and radiative heat flux in buildings. International Journal of Thermal Sciences. 160.

Çengel, Yunus A; Ghajar, Afshin J. 2012. Transferência de Calor e Massa. 4º Edição. AMGH Ltda.

Equipamentos Mercado livre. Disponível em: <<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1346814649-sensor-de-fluxo-de-calor-fino-hfs-4-omega>>. Acessado em 18 de jan. de 2021.

Filipeflop componentes eletrônicos. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/>>. Acesso em: 20 de jan. de 2021.

Hukseflux Brasil ThermalSensors. Disponível em <<https://huksefluxbrasil.com.br/>>. Acessado em 20 de jan. de 2021.

Lima, C. B.; Villaça, M. V. Miorim. 2012. AVR e Arduino: técnicas de projeto. 2. ed. – Florianópolis: Ed. dos Autores.

Yang Y. 2017. Innovative non-destructive methodology for energy diagnosis of building envelope. Tesis Université de Bordeaux.

Aviso de responsabilidade: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste documento.